

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Moderne Technik und Komfort, Vorsorgeprinzip und Umweltschutz – kein notwendiger Widerspruch</b> | <b>13</b> |
| 1.1      | Verändertes Konsumverhalten: Die Welt wird mehr und mehr „elektronisch“                             | 13        |
| 1.2      | Feldmesstechnik stellt hohe Ansprüche an die fachliche Qualifikation                                | 14        |
| 1.3      | Baubiologische Elektrotechnik als Wirtschaftsfaktor                                                 | 17        |
| 1.4      | Reduktion von EMF – ein Gewinn für alle                                                             | 18        |
| <b>2</b> | <b>Die Veränderung des EMF-Spektrums und ihre Folgen</b>                                            | <b>21</b> |
| 2.1      | Das natürliche EMF-Spektrum                                                                         | 21        |
| 2.1.1    | Grundlegendes                                                                                       | 21        |
| 2.1.2    | Ausgewählte Aspekte zu Wirkungen Sonne – Erde – Gesundheit                                          | 23        |
| 2.1.2.1  | Erdmagnetfeld                                                                                       | 23        |
| 2.1.2.2  | Sonnenaktivität                                                                                     | 24        |
| 2.1.2.3  | Schumannresonanzen                                                                                  | 25        |
| 2.1.2.4  | Auswirkungen der Änderungen des Erdmagnetfeldes bzw. der Schumannresonanz auf den Menschen          | 26        |
| 2.1.2.5  | VLF-Atmospherics                                                                                    | 29        |
| 2.1.2.6  | Auswirkungen der VLF-Atmospherics auf den Menschen                                                  | 29        |
| 2.2      | Technische Nutzung des Frequenzspektrums                                                            | 32        |
| 2.2.1    | Niederfrequenz                                                                                      | 33        |
| 2.2.2    | Hochfrequenz                                                                                        | 34        |
| 2.2.3    | Anwendungen und Frequenzbereiche                                                                    | 36        |
| 2.3      | Biologische und gesundheitliche Aspekte                                                             | 36        |
| 2.3.1    | Niederfrequenz                                                                                      | 39        |
| 2.3.1.1  | Magnetische Wechselfelder und Leukämie                                                              | 39        |
| 2.3.1.2  | Weitere Untersuchungen                                                                              | 41        |
| 2.3.1.3  | Nationale und internationale Einschätzungen                                                         | 43        |
| 2.3.2    | Hochfrequenz (elektromagnetische Wellen)                                                            | 45        |
| 2.3.2.1  | Studien zu elektromagnetischen Wellen                                                               | 45        |
| 2.3.2.2  | Studien zu Mobilfunksendeanlagen                                                                    | 46        |

|          |                                                                                                |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.2.3  | Studien zur gesundheitlichen Wirkung<br>von Mobiltelefonen .....                               | 48        |
| 2.4      | Vorsorgeprinzip .....                                                                          | 52        |
| 2.4.1    | Prävention .....                                                                               | 52        |
| 2.4.2    | Grenz- und Richtwerte .....                                                                    | 54        |
| 2.5      | Grundlegende Begriffe zu statistischen Untersuchungen .....                                    | 56        |
| <b>3</b> | <b>Physik der EM-Felder .....</b>                                                              | <b>61</b> |
| 3.1      | Grundlagen .....                                                                               | 61        |
| 3.1.1    | Feldbegriff – räumliche Darstellung von Feldern .....                                          | 61        |
| 3.1.2    | Zeitverhalten von Feldern .....                                                                | 63        |
| 3.1.3    | EM-Feldarten und ihre Beschreibung .....                                                       | 67        |
| 3.1.3.1  | Quellenfelder .....                                                                            | 69        |
| 3.1.3.2  | Wirbelfelder .....                                                                             | 71        |
| 3.1.4    | Gleichfelder .....                                                                             | 74        |
| 3.1.5    | Niederfrequente Wechselfelder (NF) .....                                                       | 75        |
| 3.1.6    | Hochfrequente elektromagnetische Wellen (HF) .....                                             | 76        |
| 3.1.6.1  | Funkwellen .....                                                                               | 79        |
| 3.1.6.2  | Infrarotlicht (IR) / Wärmestrahlung .....                                                      | 79        |
| 3.1.6.3  | Sichtbares Licht .....                                                                         | 80        |
| 3.1.6.4  | Ultraviolettes Licht (UV) .....                                                                | 80        |
| 3.1.6.5  | Röntgenstrahlung .....                                                                         | 81        |
| 3.1.6.6  | Gammastrahlung .....                                                                           | 82        |
| 3.1.7    | Höhenstrahlung .....                                                                           | 83        |
| 3.1.8    | Teilchenstrahlung .....                                                                        | 84        |
| 3.1.9    | Zusammenfassung der Grundlagen zu EMF .....                                                    | 84        |
| 3.2      | Elektrische Wechselfelder (Niederfrequenz) .....                                               | 84        |
| 3.2.1    | Elektrische Quellenfelder .....                                                                | 86        |
| 3.2.2    | Elektrische Wirbelfelder .....                                                                 | 86        |
| 3.2.3    | Elektrische Quellenfelder und Influenz .....                                                   | 87        |
| 3.2.4    | Elektrische Feldstärke und Potential .....                                                     | 89        |
| 3.3      | Magnetische Wechselfelder (Niederfrequenz) .....                                               | 95        |
| 3.3.1    | Magnetische Wirbelfelder .....                                                                 | 95        |
| 3.3.2    | Magnetische Induktion .....                                                                    | 98        |
| 3.4      | Der Kilohertz- und untere Megahertz-Bereich:<br>Netzoberschwingungen, „Dirty Power“, PLC ..... | 102       |
| 3.4.1    | Netzoberschwingungen, „Dirty Power“ .....                                                      | 102       |
| 3.4.2    | PLC – Powerline Communication .....                                                            | 104       |

|         |                                                                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5     | Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenz) .....                                                                | 106 |
| 3.5.1   | Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen .....                                                             | 106 |
| 3.5.2   | Abstrahlung und Ausbreitung elektromagnetischer<br>Wellen .....                                               | 107 |
| 3.5.3   | Hochfrequenzdämpfung / „Abschirmung“ .....                                                                    | 111 |
| 3.5.3.1 | Maßstäbe für die Hochfrequenz-Schirmdämpfung ...                                                              | 113 |
| 3.5.3.2 | Wirkprinzipien der Hochfrequenzdämpfung .....                                                                 | 115 |
| 3.5.4   | Antennen .....                                                                                                | 117 |
| 3.5.4.1 | Polarisation .....                                                                                            | 117 |
| 3.5.4.2 | Frequenzgang und Antennenfaktor .....                                                                         | 119 |
| 3.5.4.3 | Richtcharakteristik und Antennengewinn,<br>ERP und EIRP .....                                                 | 119 |
| 3.5.4.4 | Immissionsverlauf in der Umgebung von<br>Antennen mit Richtwirkung .....                                      | 122 |
| 3.5.4.5 | Antennenneigung (Downtilt) .....                                                                              | 126 |
| 3.5.4.6 | Antennenarten .....                                                                                           | 128 |
| 3.5.4.7 | Adaptive Antennen (Smart Antennas) .....                                                                      | 135 |
| 3.5.5   | Spezifische Absorptionsrate (SAR) .....                                                                       | 136 |
| 3.5.6   | Modulationsverfahren .....                                                                                    | 136 |
| 3.5.6.1 | AM – Amplitudenmodulation .....                                                                               | 138 |
| 3.5.6.2 | FM – Frequenzmodulation .....                                                                                 | 142 |
| 3.5.6.3 | PM – Phasenmodulation oder Winkelmodulation ....                                                              | 143 |
| 3.5.7   | Zugriffsverfahren .....                                                                                       | 145 |
| 3.5.7.1 | FDMA – Frequency Division Multiple Access<br>(Frequenzmultiplex) .....                                        | 145 |
| 3.5.7.2 | TDMA – Time Division Multiple Access<br>(Zeitmultiplex) .....                                                 | 146 |
| 3.5.7.3 | FHMA – Frequency Hopping Multiple Access<br>(Zeitmultiplex plus Frequenzsprungverfahren) .....                | 150 |
| 3.5.7.4 | CDMA – Code Division Multiple Access<br>(Codemultiplex) .....                                                 | 151 |
| 3.5.7.5 | TD-CDMA – Time Division-Code Division<br>Multiple Access (Zeit- und Codemultiplex) .....                      | 156 |
| 3.5.7.6 | SDMA – Space Division Multiple Access<br>(Vielfachzugriff durch Raumaufteilung) .....                         | 156 |
| 3.5.7.7 | OFDM(A)/COFDM(A) – Orthogonal Frequency<br>Division Multiplexing bzw. Multiple Access/<br>Coded OFDM(A) ..... | 157 |

|          |                                                                                      |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.8    | Duplexverfahren .....                                                                | 163        |
| 3.5.8.1  | FDD – Frequency Division Duplex /<br>Frequenzduplex .....                            | 163        |
| 3.5.8.2  | TDD – Time Division Duplex / Zeitduplex .....                                        | 164        |
| 3.6      | Elektrisches Gleichfeld .....                                                        | 164        |
| 3.7      | Magnetisches Gleichfeld .....                                                        | 165        |
| 3.8      | Darstellung von Feldgrößen in Dezibel (dB) .....                                     | 166        |
| 3.8.1    | Dezibel als dimensionsloser, relativer<br>Verhältniswert .....                       | 166        |
| 3.8.2    | Dezibel als absoluter Wert .....                                                     | 168        |
| 3.8.3    | Übertragungsfaktoren in Dezibel .....                                                | 170        |
| <b>4</b> | <b>Baubiologische Feldmesstechnik .....</b>                                          | <b>177</b> |
| 4.1      | Messung von Vektorfeldern .....                                                      | 177        |
| 4.1.1    | Prinzipieller Aufbau von Feldmessgeräten .....                                       | 178        |
| 4.1.2    | Spitzenwert, Effektivwert (RMS) und Average .....                                    | 185        |
| 4.1.3    | Spektrumanalyse .....                                                                | 191        |
| 4.1.3.1  | Darstellungsmöglichkeiten von Signalen im Zeit-<br>und im Frequenzbereich .....      | 191        |
| 4.1.3.2  | Impuls – Puls – Periodischer Puls .....                                              | 192        |
| 4.1.3.3  | Mittler zwischen den Welten Zeit und Frequenz:<br>Fourieranalyse und -synthese ..... | 194        |
| 4.1.3.4  | Technische Realisierung der Spektrumanalyse .....                                    | 199        |
| 4.1.3.5  | Betrachtung von Signalen exemplarischer<br>Funkdienste .....                         | 201        |
| 4.2      | Elektrische Wechselfelder .....                                                      | 204        |
| 4.2.1    | Übersicht über die direkten und indirekten<br>Messverfahren .....                    | 204        |
| 4.2.2    | Beschreibung der Messverfahren und Messgeräte ...                                    | 205        |
| 4.2.2.1  | Potentialfreie Messung des ungestörten E-Feldes ....                                 | 205        |
| 4.2.2.2  | Erdpotentialbezogene E-Feldmessung .....                                             | 211        |
| 4.2.2.3  | Körperpotentialbezogene E-Feldmessung .....                                          | 213        |
| 4.2.2.4  | Potentialfreie E-Feldmessung an der Körper-<br>oberfläche .....                      | 214        |
| 4.2.2.5  | Körperspannungsmessung .....                                                         | 214        |
| 4.2.2.6  | Messung des Körperableitstromes .....                                                | 218        |
| 4.2.2.7  | Messung der Körperstromdichte .....                                                  | 218        |
| 4.2.3    | Eigenschaften und Grenzen der Messverfahren .....                                    | 220        |

|         |                                                                                                                               |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3.1 | Homogenes elektrisches Feld und potentialfreie E-Feldmessung .....                                                            | 220 |
| 4.2.3.2 | Erdpotentialbezogene E-Feldmessung .....                                                                                      | 222 |
| 4.2.3.3 | Körperpotentialbezogene E-Feldmessung .....                                                                                   | 227 |
| 4.2.3.4 | Leitfähiger Körper im homogenen E-Feld: potentialfreie E-Feldmessung an der Körperoberfläche .....                            | 230 |
| 4.2.3.5 | Messfehler-Fallen .....                                                                                                       | 231 |
| 4.2.3.6 | Fazit und die Fragen zu den Antworten .....                                                                                   | 235 |
| 4.2.3.7 | Gegenüberstellung von Körperspannungsmessung und potentialfreier E-Feldmessung oder: „Entspannt ist nicht entfeldet“ .....    | 237 |
| 4.2.3.8 | Abnahmemessung bei baubiologischer Elektroinstallation mit geschirmten Komponenten .....                                      | 240 |
| 4.2.4   | Messungen bei Dreiphasensystemen/ Dreh„spannungs“-systemen .....                                                              | 243 |
| 4.3     | Magnetische Wechselfelder (Niederfrequenz) .....                                                                              | 253 |
| 4.3.1   | Funktionsprinzipien von Magnetfeldmessgeräten ....                                                                            | 253 |
| 4.3.2   | Direkte Messverfahren .....                                                                                                   | 255 |
| 4.3.2.1 | Messung an einem Punkt .....                                                                                                  | 255 |
| 4.3.2.2 | Messung der räumlichen Magnetfeldverteilung – Rastermessung .....                                                             | 257 |
| 4.3.2.3 | Bestimmung des Ortes des Magnetfeld-Verursachers                                                                              | 259 |
| 4.3.3   | Indirekte Messverfahren .....                                                                                                 | 260 |
| 4.3.4   | Aspekte bei der Bewertung von Magnetfeld-Immissionen .....                                                                    | 261 |
| 4.3.4.1 | Zeitverhalten von niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern .....                                                          | 261 |
| 4.3.4.2 | Gebräuchliche Beurteilungswerte .....                                                                                         | 262 |
| 4.3.4.3 | AVG+ und 95. Perzentil im Vergleich (SBM-2003/SBM-2008) .....                                                                 | 263 |
| 4.3.4.4 | Bewertung von Immissionen auf Basis der TCO-Richtwerte .....                                                                  | 267 |
| 4.3.4.5 | Bewertung von Immissionen bei maximaler Anlagenauslastung .....                                                               | 267 |
| 4.4     | Der Kilohertz- und untere Megahertz-Bereich: Netz-<br>überschwingungen, „Dirty Power“, PLC – Powerline<br>Communication ..... | 268 |

|          |                                                                                     |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.1    | Spannungs- und Strommessungen .....                                                 | 268        |
| 4.4.2    | Feldmessungen .....                                                                 | 271        |
| 4.5      | Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenz) .....                                      | 272        |
| 4.5.1    | Breitbandige Messungen .....                                                        | 272        |
| 4.5.2    | Frequenzselektive Messungen .....                                                   | 274        |
| 4.5.3    | Handhabung der Messantenne/Schwenkmethode ...                                       | 275        |
| 4.5.4    | Ortsabhängigkeit der Immissionen in Innen-<br>räumen .....                          | 276        |
| 4.6      | Elektrische Gleichfelder .....                                                      | 277        |
| 4.7      | Magnetische Gleichfelder .....                                                      | 279        |
| <b>5</b> | <b>Anhang</b> .....                                                                 | <b>283</b> |
| 5.1      | Vorsätze für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten .....                       | 283        |
| 5.2      | Frequenzaufteilung nach IEC.....                                                    | 284        |
| 5.3      | HF-Bänder im Mikrowellenbereich .....                                               | 284        |
| 5.4      | Dezibel-Tabelle .....                                                               | 286        |
| 5.5      | Hochfrequenzdämpfung von exemplarischen<br>Baustoffen und Abschirmmaterialien ..... | 287        |
| 5.6      | Abkürzungsverzeichnis .....                                                         | 290        |
| 5.7      | Glossar .....                                                                       | 293        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b> .....                                                   | <b>299</b> |
|          | Kapitel 1 und 2 .....                                                               | 299        |
|          | Kapitel 3 und 4 .....                                                               | 308        |
|          | Kapitel 5 .....                                                                     | 312        |
|          | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                                                   | <b>313</b> |