

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

$E_{\text{res}} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \left(\frac{P_{\text{max},j}}{P_{\text{CPICH},j}} E_{\text{CPICH},j}^2 \right)}$ mit:	E_{res}	hochgerechneter Feldstärkewert
	j	Index über den Scramblingcode einer jeden einbezogenen Antenne(-nstandort)/Frequenz
	N	Anzahl der berücksichtigten Scramblingcodes
	$P_{\text{max},j}$	maximale Sendeleistung eines Frequenzkanals des j 'ten Scramblingcodes
	$P_{\text{CPICH},j}$	Sendeleistung des CPICH (typ. CPICH = 28 .. 33 dBm, abhängig vom Netzbetreiber)
	$E_{\text{CPICH},j}$	codeselektiv gemessene Feldstärke für den CPICH

Formel 1: hochgerechneter Feldstärkewert

7.1.5 Messunsicherheiten und Kalibrierung

7.1.5.1 Messunsicherheiten

Bei Messungen wird näherungsweise der wahre Wert einer physikalischen Größe bestimmt. Wiederholte Messungen sowohl mit demselben Messinstrument als auch mit verschiedenen Messinstrumenten liefern unterschiedliche Werte, die sich um den wahren Wert in einer Verteilungsfunktion gruppieren. Jede Messung ist mit einer Messunsicherheit behaftet. Bei der Angabe der Messunsicherheit muss immer angegeben werden, auf welchen Vertrauensbereich sich diese bezieht. Die Messunsicherheit wird den Messwerten bzw. hochgerechneten Feldstärkewerten vor dem Vergleich mit Grenzwerten immer aufgeschlagen.

Die gesamte Messunsicherheit ergibt sich aus der mathematisch-statistischen Verteilung der einzelnen Messunsicherheiten der verwendeten Mess- und Prüfsysteme. Dabei nimmt man an, dass alle Einzelfehler zufällig aber nicht zwangsläufig normal verteilt sind, wobei allerdings der Gesamtfehler als normalverteilt angenommen wird (RSS=Root-Sum-of-the-Squares entspricht Messunsicherheit die mit 68% Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird).

Für die EMVU- Feldstärkemessung bei „Vor-Ort“-Messungen kann die kombinierte Standardabweichung mit $RSS = \pm 1,49$ dB angegeben werden.

Die Messunsicherheit Δ , die mit 95% Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird errechnet sich aus

$$2 \times RSS:$$

$$\Delta = \pm 3,0 \text{ dB}$$

Bei Immissionsmessungen ist immer mit einer gerätebedingten Messunsicherheit von typisch 3 dB zu rechnen. Gründe dafür sind unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung von Messantennen, entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheiten der Kabelkalibrierung. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit mit Faktor 1,413 (3dB) multipliziert.

Die Intensität der Felder von Mobilfunksendeanlagen ist zusätzlich abhängig von der momentanen Gesprächsauslastung. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen [BRD96]. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die gefundenen Messergebnisse der Mobilfunksender (Immission, verursacht durch den Signalisierungskanal je Sektor) unter Zuhilfenahme der vom Mobilfunknetzbetreiber zur Verfügung gestellten technischen Daten der Anlagen (von der BNetzA genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, um eine echte "worst-case"-Betrachtung sicherzustellen.

7.1.5.2 Erweiterte Messunsicherheit

Im Temperaturbereich von 15 bis 30°C beträgt die erweiterte Gesamtmessunsicherheit des verwendeten Meßsystems 24,3%, wenn es für die Schwenkmethode eingesetzt wird. Bei Punktrastermessung ist die Elliptizität der Antennen zu berücksichtigen, was zu einer erweiterten Gesamtmessunsicherheit von 32,6% führt. Vom Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) wird in [BUW5] gefordert, dass die erweiterte Messunsicherheit des Meßsystem, zusammengefasst mit einer erweiterten Messunsicherheit durch die Probenentnahme durch die Schwenkmethode, unter 45 % liegt. Dabei wird für die erweiterte Messunsicherheit der

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

Probenentnahme ein Wert von 30 % angenommen. Wird das SRM-3000 für die Schwenkmethode eingesetzt, erreicht man nach quadratischer Addition der beiden Messunsicherheiten einen Wert von 38,6 %, womit die Forderung des BUWAL mit Abstand erfüllt ist.

7.1.5.3 Berechnung der Summenfeldstärke und der Anteil an den gesetzlichen Personenschutzgrenzwerten

Das in Deutschland und in vielen anderen Staaten geltende Grenzwertkonzept erfordert, dass die Summenfeldstärke unterhalb der Grenzwerte liegt. Die Summenfeldstärke wird für unkorrelierte Signale berechnet, indem man die geometrische Summe der Einzelfeldstärken E_1, E_2, E_3, \dots nach Formel 2 bildet:

$$E_{\text{gesamt}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots}$$

Formel 2: Summenfeldstärke

Da der Grenzwert, der auf die Feldstärke angewendet werden muss, frequenzabhängig ist, ist zunächst nicht klar, welcher Grenzwert auf die Summenfeldstärke angewendet werden muss. Die Summenfeldstärke ist somit zur Bewertung der Exposition allein nicht aussagekräftig. Falls nämlich die Summenfeldstärke unterhalb des kleinsten Grenzwertes für das betrachtete Frequenzintervall liegt, kann lediglich gefolgert werden, dass der Grenzwert unterschritten wurde. Es kann jedoch nicht ausgesagt werden, welchen prozentualen Anteil vom Grenzwert die Summenfeldstärke ausmacht. Um diesen Anteil zu berechnen, muss Formel 2 zu Formel 3 modifiziert werden.

Summenanteil am Grenzwert

$$= \sqrt{\frac{E_1^2}{E_{G1}^2} + \frac{E_2^2}{E_{G2}^2} + \frac{E_3^2}{E_{G3}^2} + \dots}$$

Formel 3: Summenfeldstärke mit Summenanteil am Grenzwert

Dabei sind $E_{G1}, E_{G2}, E_{G3}, \dots$ die jeweiligen Grenzwerte bei den Frequenzen der Signale 1, 2, 3 Das bedeutet die geometrische Addition der Anteile der einzelnen Signale am Grenzwert.

Die geometrische Addition hat die Eigenschaft, dass kleinere Signale in der geometrischen Summe nur einen geringen Einfluss haben. Werden zum Beispiel zwei Signal in der Summe berücksichtigt und das kleiner der beiden Signale ist nur halb so groß wie das größere Signal, so trägt es zur geometrischen Summe lediglich 10 % bei. Hat das kleinere Signal nur 1/5 der Größe des größeren Signals führt die Berücksichtigung des kleineren Signals nur zu einer Vergrößerung der geometrischen Summe um ca. 2 %.

Bei der Auswertung der in diesem Gutachten beschriebenen Messungen wurden daher innerhalb eines Frequenzbandes Signale, die kleiner waren als 1/5 des Pegels des größten Signals, nicht mehr berücksichtigt. Diese Vereinfachung ist gerechtfertigt und zulässig, da die so verursachte Abweichung der geometrischen Summe vom tatsächlichen Messwert gegenüber der Messunsicherheit vernachlässigbar ist.

7.1.5.4 Kalibrierung

Für die verwendete Messtechnik sind die Kalibrierdaten beigelegt.

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

8 Anlage: Messtechnik und Kalibrierdaten

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurden die folgenden Messgeräte eingesetzt:

Messgerät	Frequenzbereich	Messeigenschaften
Spektrumanalysator NARDA SRM-3000 BN 3001/01 (S/N: G-0143) Letzte Kalibrierung: 05.10.2010	100 kHz bis 3 GHz	Frequenzselektive, codeselektive und Breitbandmessung
Messantenne SRM BN 3501/01 (S/N: G-0034) Letzte Kalibrierung: 06.10.2010	75 MHz bis 3GHz	Antennenfaktor: Wird automatisch berücksichtigt
RF-cable SRM BN 3601/01 (S/N: J-0012) Letzte Kalibrierung: 06.10.2010	100kHz bis 3 GHz	Kabeldämpfung wird automatisch berücksichtigt
Broadband Field Meter NBM-550 (S/N:A-0094) Letzte Kalibrierung: 06.10.2010	100kHz bis 3 GHz	Breitbandmessung mit GPS-Ortsbestimmung
Probe EF0391 (S/N: A-0087) Letzte Kalibrierung: 05.10.2010	100kHz bis 3 GHz	Breitbandmessung
Probe ED5091 P/N 2402/10 (S/N: 01012) Letzte Kalibrierung: 06.10.2010	300kHz bis 50 GHz	Bewertete Breitbandmessung in Mehrfrequenzumgebungen

Tabelle 6: Übersicht über die verwendete Messausrüstung

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

9 Zu Grunde liegende Normen und Spezifikationen

EU-Empfehlung 1999/519/EG:	"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)" Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.7.1999, S. 59 -70
26. BImSchV/1996:	"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 66, Bonn 20.12.1996
DIN VDE 0848-1/2000:	"Sicherheit in elektromagnetischen Feldern - Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren" VDE - Verlag GmbH, Berlin 08/2000
BEMFV/2002:	„Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder“, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002, Teil I, Nr. 60, Bonn, 27. August 2002

Abbildung 13: Normen und Spezifikationen

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

10 Anhang: Abgeleitete Personenschutzgrenzwerte (26. BImSchV)

Mobilfunksystem/ LTE-System	Grenzwert (26. BImSchV) Elektrische Feldstärke E_{eff} [V/m]	Äquivalente Leistungsflussdichte S [W/m ²]
LTE 800MHz	38,7	4,0
GSM900 D- Netz	41,7	4,6
GSM1800 E-Netz	58,8	9,2
DECT	58,8	9,2
UMTS	61,0	10
LTE 2600MHz	61,0	10
WLAN	61,0	10

Tabelle 7: Personenschutzgrenzwerte der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung

Zu beachten ist, dass die Personenschutzgrenzwerte D-, E- Netz und DECT sowie LTE800 frequenzabhängig sind.

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

11 Anhang: Abkürzungsverzeichnis/Glossar

Abkürzung	Bedeutung
BCCH	Broadcast Channel
BTS	Base Station System = Basisstation
CCPCH	Common Control Physical Channel Der P-CCPCH ist jener physikalische Übertragungskanal, über den die für den Betrieb innerhalb einer Zelle relevanten Informationen (Broadcast-Informationen) übertragen werden.
CPICH	Common Pilot Channel Wichtiger Pilotkanal bei UMTS, der permanent von der Node B gesendet wird.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
EMF	Elektromagnetische Felder
Exposition	Als Exposition bezeichnet man in der Medizin das Ausgesetzt sein des Körpers gegenüber Umwelteinflüssen, insbesondere gegenüber schädigenden. Ein Bergarbeiter z.B. ist gegenüber Steinstaub exponiert, ein Passivraucher gegenüber Zigarettenrauch. Eine Exposition muss nicht unbedingt krank machen, es ist aber eine mögliche Ursache für eine Gesundheitsschädigung oder Erkrankung (aus www.wikipedia.de)
FDMA	Frequency Division Multiple Access
Gw	Personenschutzgrenzwert. Wo nicht anders vermerkt, ist immer der Personenschutzgrenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemeint.
GFSK	GFSK steht für Gaussian Frequency Shift Keying. Diese Art der Frequenzmodulation unterscheidet sich von der herkömmlichen Frequenzumtastung (engl. Frequency shift keying) dadurch, dass die Frequenzübergänge zunächst durch einen Gauss-Filter geschickt werden, um sie „weicher“ zu machen und die Spektralbreite zu begrenzen. Bei diesem Modulationsverfahren wird durch den Gausschen Filter der Oberwellenanteil reduziert, der durch einen harten Übergang zwischen den Frequenzen entstehen würde. Diese Oberwellen könnten bei der Funkübertragung Störungen in Nachbarkanälen verursachen (Übersprechen). Wenn digitale Pulse nicht in Rechteckform über ein Medium übertragen werden, sondern durch geeignete Hardware wie z.B. durch Filter in eine Form gebracht werden, die als Pulsmaske vorgegeben wird, so wird dies gewöhnlich als Pulsformung (engl.: puls shaping) bezeichnet. Das GFSK-Verfahren wird z.B. bei Bluetooth und DECT verwendet. (aus: www.wikipedia.de)
Grenzwert	Wo nicht anders vermerkt, ist immer der Personenschutzgrenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemeint.
MP	Messpunkt: Unter einem Messpunkt wird die definierte Position der Messantenne bei einer Messung bezeichnet. Jeder Messpunkt wird durch einen Satz von Messwerten charakterisiert. Die Messpunkte werden am Messort in der Regel mit der Maßgabe gewählt, dass dort die höchsten Immissionen zu erwarten sind.
Node B	Basisstation eines UMTS-Netzes
RBW	Resolution Bandwidth Auflösebandbreite des Messgerätes. In der Regel sollte die Auflösebandbreite größer oder gleich der Bandbreite des zu messenden Signals gewählt werden.
SCH	Synchronisation Channel.

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

Abkürzung	Bedeutung
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VBW	Video Bandwidth
WCDMA	CDMA= Code Division Multiple Access: Multiplexverfahren, bei dem die Teilnehmer auf der Leistungsachse aufgeteilt werden. Das „W“ steht für „Wideband“, da UMTS (5MHz) im Gegensatz zum amerikanischen CDMA-2000- Netz breitere Frequenzbänder für die Übertragung verwendet.
WLAN	Wireless Local Area Network

Projekt	Ort	Datum	
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

12 Anhang: Literaturverzeichnis

Kurzform	Autor, Titel, Erscheinungsort, Erscheinungsdatum
[Boc03]	Bochtler et. Al.: „Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg – Beschreibung und wissenschaftliche Bewertung des Messvorhabens“; Landesamt für Umweltschutz, Karlsruhe, 2003
[Bor02]	Christian Bornkessel et. Al. Abschlußbericht: „Messverfahren zur Ermittlung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen“, erstellt für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 28. August 2002
[BRD96]	Bundesrepublik Deutschland „26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 66, Bonn 20.12.1996
[BRD02]	Bundesrepublik Deutschland „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder“, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002, Teil I, Nr. 60, Bonn, 27. August 2002
[BUW04]	Siegenthaler et. Al.: „Basis for UMTS measurement recommendation“, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Manno, Schweiz, 2004
[BUW05]	Schweizer Bundesamt für Umwelt Wald und Landwirtschaft (BUWAL): „Mobilfunk-Basisstationen (UMTS - FDD), Messempfehlung“, Bern, Entwurf vom 17.09.2003, www.umweltschweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/vorschriften
[EUR99]**	Der Rat der Europäischen Union: "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)" Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.7.1999, S. 59 -70
[ICN98]	International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) "Guidelines for Limiting to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)" Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522
[prEN 50xyy]	CENELEC: prEN 50xyy "Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations" Stand: 01.2004
[RegTP03]	Bundesnetzagentur (früher: RegTP): RegTP MV 09/EMF/03: „Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärke“, Bonn, 2003
[SSK01]	Strahlenschutzkommission (SSK) "Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission" Bonn, 14.9.2001 (www.ssk.de)
[VDE00]	DIN VDE 0848 "Sicherheit in elektromagnetischen Feldern - Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren" VDE - Verlag GmbH, Berlin 08/2000
[Wei00]	Paul Weiß, Bernd Gutheil, Dirk Gust, Peter Leiß: „Praxiswissen EMVU- Messtechnik.“ Vieweg Verlagsgesellschaft 2000 ISBN 3 – 528 – 03901 – 9

Projekt	Ort	Datum	EMV UMWELT CONSULT
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

[Wus00]	M. Wuschek: „Bericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage“ – Bericht für die Gemeinde Großheubach, 2000
[Wus01a]	M. Wuschek: EMVU-Messtechnik, Schulungsunterlagen, FH Deggendorf 2001
[Wus01b]	M. Wuschek: "Mobilfunk: Feld - Emissionen unter der Lupe" Elektronik 5 / 2001, Seite 74 bis 83
[Wus03]	Prof. Wuschek: „UMTS-Messtechnik“ Schulungsunterlagen, November 2003

Projekt	Ort	Datum	
11-02-22-dbk-0504	Barleben	2011-02-22	

EMVUMWELT CONSULT
GROTRIANSTR. 20
14480 POTSDAM

MITGLIED DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR EMV- TECHNOLOGIE E.V.

