

Messung elektromagnetischer Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen im Rahmen des FEE-2 Projektes

Auftraggeber: Gemeinde Ungerhausen
Memminger Straße 4
87781 Ungerhausen

Messort: Gemeindegebiet der Gemeinde 87781 Ungerhausen

Messinstitut: Zentrum für angewandte Messtechnik Memmingen
(ZAMM) GmbH
In der Neuen Welt 10
87700 Memmingen

Sachbearbeiter Auftraggeber: Hr. Bürgermeister Fickler

Sachbearbeiter EMV-Labor: Robert Mayr Dipl.-Ing.(FH)

Unsere Auftragsnummer: 04 0918 004

Messungen durchgeführt am: 2020-04-09

Aufgabenstellung: Nachhermessung

Berichterstellung: 2020-08-28



Freigegeben:


Dipl.-Ing. (FH) Robert Mayr
Leiter EMV-Prüflabor

Gesichtet:


Jörg Melcher
stellv. Leiter EMV-Prüflabor

Allgemeines: Dieser Bericht besteht aus 25 Seiten. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die genannten Messzeiten und -orte. Ohne schriftliche Genehmigung der ZAMM GmbH darf der Bericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Inhaltsverzeichnis:

1. Zusammenfassung.....	3
2. Aufgabenstellung	4
3. Beschreibung der Immissionspunkte	5
4. Messdurchführung.....	9
4.1 Messgrößen für hochfrequente Felder	9
4.2 Verwendete Messgeräte und Messverfahren	9
4.3 Bestimmung von Minimalimmission und Maximalimmission	10
4.3.1 GSM-Anlagen	10
4.3.2 UMTS-Anlagen.....	11
4.3.3 LTE-Anlagen	11
4.4 Messunsicherheit	12
5. Ergebnisse.....	13
6. Vergleich der Vorher- und Nachhermessung	14
A Fotos der Messorte.....	15
B Ergebnistabellen	18
B Ergebnistabellen	19
B Ergebnistabellen	20
C Erläuterung zu den Grenzwerten	22
D Signalbandbreiten und technische Parameter bei LTE	24
Literaturverzeichnis.....	25

ABKÜRZUNGEN:

26.BImSchV: Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder)

MHz: Frequenz in Megahertz

RMS: Messwertdetektor für den Effektivwert (root mean square) der
Feldstärke

V/m: Feldstärke in Volt pro Meter

$\mu\text{W}/\text{m}^2$: Leistungsdichte in Mikrowatt pro Quadratmeter = 10^{-6} Watt pro
Quadratmeter

MBS: Mobilfunk-Basisstation

GSM: Mobilfunk-Frequenz

UMTS: Mobilfunk-Frequenz

LTE: Mobilfunk-Frequenz

DECT: Schnurlos Telefon (privat)

UKW: UKW-Rundfunk

DAB: Digital Audio Rundfunk

DVBT: Digital TV terrestrisch

1. Zusammenfassung

Die ZAMM GmbH wurde von der Gemeinde Ungerhausen beauftragt, im Rahmen des FEE-2 Projektes Messungen der elektromagnetischen Immission durch Mobilfunksendeanlagen (Mobilfunkbasisstationen, MBS) an sechs Immissionspunkten im Gemeindegebiet durchzuführen.

Die Messungen wurden am 09.04.2020 an sechs Immissionspunkten durchgeführt, die einvernehmlich zwischen der Gemeinde und dem Auftragnehmer ausgewählt wurden.

Die höchsten Mobilfunkimmissionen wurden am Immissionspunkt 4 (Im Hart, Ecke Wiesenstraße) mit 6,2 % des Feldstärke-Grenzwertes der 26. BImSchV festgestellt. In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Mobilfunkmessungen im Überblick dargestellt. Angegeben ist jeweils die Maximalimmission bei Vollausbau und maximaler Sendeleistung der verursachenden Anlagen. Im Realbetrieb liegen die Immissionen unter den hier dargestellten Werten.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden an allen Immissionspunkten eingehalten bzw. unterschritten.

Immissionspunkt	Beschreibung	Entfernung zur nächstgelegenen MBS	Sichtverbindung zu den Antennen	Höhe	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26.BImSchV
1	Bahnhofstraße 32	260 m	Ja, MBS 3	Ebenerdig	5,8 %
2	Im Hart 39	51 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig	5,4 %
3	Im Hart, Ecke Birkenweg	178 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig	4,6 %
4	Im Hart, Ecke Wiesenstraße (Nord, bei Haus Nr. 20)	277 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig	6,2 %
5	Am Wald 13, Ecke Westerheimer Weg	620 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig	3,1 %
6	Holzgünzer Straße 7 (Beim Kindergarten)	850 m	Teilweise, MBS 1, 3	Ebenerdig	2,1 %

Hinweis: Zu MBS 2 bestand von keinem der Immissionspunkte Sichtkontakt.

Tabelle 1: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV)

2. Aufgabenstellung

Die ZAMM GmbH wurde von der Gemeinde Ungerhausen beauftragt, im Rahmen des FEE-2 Projektes Messungen der elektromagnetischen Immission durch Mobilfunksendeanlagen (Mobilfunkbasisstationen, MBS) an sechs Immissionspunkten im Gemeindegebiet durchzuführen.

Die Ergebnisse der Messungen waren zu dokumentieren und hinsichtlich der Einhaltung der in Deutschland gesetzlich geregelten Grenzwerte der 26. BImSchV zu bewerten.

Zum Zeitpunkt der Messungen waren in unmittelbarer Umgebung der Immissionspunkte folgende MBS in Betrieb:

MBS Nr.	StOB-Nr.	Adresse (PLZ; Ort, Straße)	Netzbetreiber Mobilfunksystem	Montagehöhe niedrigste Antenne
1	541769	Ungerhausen, Bahnhofstr. 1	Telefonica GSMR	23,00 m
2	540898	Ungerhausen, Bahnhofstr. 12-16	Vodafone	15,36 m
3	69019177	Ungerhausen, Flurstück 465	Telekom	32,63 m

Tabelle 2: In der Umgebung der Immissionspunkte vorhandene Mobilfunkanlagenstandorte

Bei der Messung handelt es sich im Sinne des FEE-2 Projektes um eine Nachhermessung. Der Standort MBS 3 (Telekom) ist neu aufgebaut und in Betrieb genommen worden.

3. Beschreibung der Immissionspunkte

Die Messungen wurden an sechs Immissionspunkten (IP) im Gemeindegebiet der Gemeinde Ungerhausen durchgeführt. Die Immissionspunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Die Immissionspunkte befanden sich alle im Freien. Die Immissionspunkte waren soweit möglich identisch zu denen der Vorhermessung.

Bild 1 zeigt die Lage der Immissionspunkte.

Bilder 2.X zeigen die MBS.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte.

IP Nr.	Beschreibung	Entfernung zum nächsten Anlagenstandort	Sichtverbin- dung zu den Antennen	Höhe
1	Bahnhofstraße 32	260 m	Ja, MBS 3	Ebenerdig
2	Im Hart 39	51 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig
3	Im Hart, Ecke Birkenweg	178 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig
4	Im Hart, Ecke Wiesenstraße (Nord, bei Haus Nr. 20)	277 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig
5	Am Wald 13, Ecke Westerheimer Weg	620 m	Ja, MBS 1, 3	Ebenerdig
6	Holzgünzer Straße 7 (Beim Kindergarten)	850 m	Teilweise, MBS 1, 3	Ebenerdig

Hinweis: Zu MBS 2 bestand von keinem der Immissionspunkte Sichtkontakt.

Tabelle 3: Beschreibung der Immissionspunkte (IP) in der Gemeinde Ungerhausen

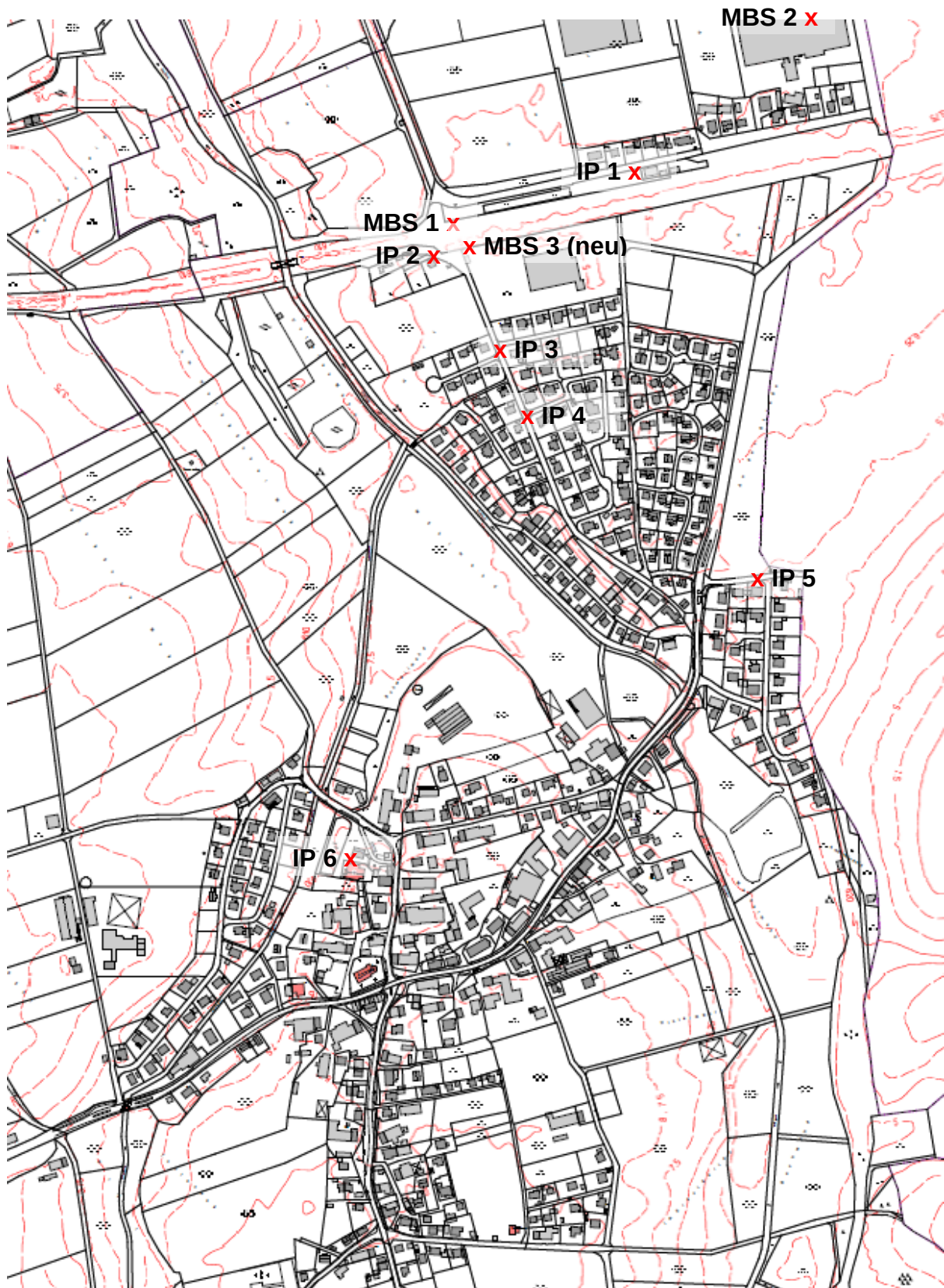


Bild 1: Lageplan der Mobilfunkbasisstationen (MBS) und der Immissionspunkte (IP)



Bild 2.1: MBS 1, Ungerhausen, Bahnhofstr. 1



Bild 2.2: MBS 2, Ungerhausen, Bahnhofstr. 12-16



Bild 2.3: MBS 3, Ungerhausen, Flurstück 465



Bild 2.4: MBS 1 und 3, Ungerhausen, Bahnhofstr. 1 und Flurstück 465

4. Messdurchführung

4.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Sendeanlagen im Hochfrequenzbereich werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet:

- der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter (V/m)
- der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter (A/m)
- die Leistungsdichte S in Watt pro Quadratmeter (W/m²)

Im Fernfeld eines Senders stehen die elektrische und magnetische Feldstärke sowie die Leistungsdichte in einem festen Verhältnis zueinander. Bei Messungen an Mobilfunksendeanlagen kann im allgemeinen von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich in ausreichender Entfernung von den Sendeantennen befindet. Deswegen genügt zur Beurteilung der Immission die Angabe eine dieser drei Größen. In der Auswertung der durchgeführten Messungen wird primär die **elektrische Feldstärke** bzw. ihr Grenzwert-Ausschöpfungsgrad als Größe für die Immissionswerte verwendet.

4.2 Verwendete Messgeräte und Messverfahren

Für die Immissionsmessungen wurden folgende Messgeräte eingesetzt:

Gerät	Hersteller	Art	Ser. Nr.
SRM-3006	Narda	Tragbarer Spektrumanalysator 9 kHz – 6 GHz mit codeselektiver Messooption	C-0036
Antenna Three-Axis	Narda	Isotrope Sonde, E-Feld, 27 MHz – 3 GHz	K-0170
Antenna Three-Axis	Narda	Isotrope Sonde, E-Feld, 420 MHz – 6 GHz	B-0092

Tabelle 4: Verwendete Messgeräte

Die verwendeten Messgeräte sind kalibriert und unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierturnus.

Mit dem Spektrumanalysator und einer geeigneten Empfangsantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort untersuchten Funksignale festgestellt. Unter Berücksichtigung der Kalibrierdaten der verwendeten Antenne sowie der Dämpfung des Kabels zwischen Antenne und Analysator wird daraus die am Messort herrschende Feldstärke bestimmt.

Bei den Messungen wurde die *Schwenkmethode* verwendet: Hierbei wird mit der Antenne das Messvolumen abgetastet (Messhöhe ca. 0,75 m - 1,75 m, Durchmesser mind. 1 m). Der Spektrumanalysator wird dabei in der Betriebsart „Max-Hold“ betrieben. Gemessen wurde jeweils so lange, bis keine Änderungen der Messwertanzeige mehr zu beobachten waren. Damit wird zuverlässig die jeweils stärkste im Messvolumen vorhandene Immission gesucht und aufgezeichnet. Beim Schwenken wurde ein Mindestabstand von 50 cm zu Personen, Boden, Decke, Wänden und metallischen Objekten eingehalten.

GSM-Signale werden bei der Messung mit einer Auflösebandbreite von 200 kHz, UMTS-Signale mit einer Bandbreite von 5 MHz und LTE-Signale mit einer Bandbreite von 1 MHz erfasst. Als Detektor kommt jeweils der RMS-Detektor zum Einsatz.

Die Einzelimmissionen der verschiedenen gemessenen Funksignale wurden gemäß der in Anhang C beschriebenen Summenformel zur Bildung einer Gesamtimmission aufsummiert. Einzelimmissionen, die aufgrund geringer Stärke nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Gesamtimmission liefern, wurden vernachlässigt.

Die Messungen wurden am 09.04.2020 zwischen 13.45 Uhr und 17.00 Uhr von Herrn Robert Mayr durchgeführt. Die Messungen fanden bei trockenem Wetter statt.

4.3 Bestimmung von Minimalimmission und Maximalimmission

Die von Mobilfunkbasisstationen erzeugten elektromagnetischen Immissionen sind zeitlich nicht konstant, sondern schwanken in Abhängigkeit von Verkehrsauslastung und Verbindungsqualität. Bei geringer Verkehrsauslastung (z.B. nachts) kann die Immission bis auf einen Minimalwert, der nur durch die permanent abgestrahlten Signalisierungssignale erzeugt wird. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Dies erfolgt wie folgt:

4.3.1 GSM-Anlagen

Mehrkanalige GSM-Anlagen senden ab Kanal 2 meist mit einer Leistungsregelung, wohingegen Kanal 1 (Signalisierungskanal, BCCH-Träger) permanent mit maximaler Sendeleistung arbeitet. Um aus den mit dem Spektrumanalysator gemessenen Werten auf die maximale Anlagenauslastung zu schließen, wird je Sektor die durch den Signalisierungskanal erzeugte Immission mit der maximalen Anzahl der Kanäle verknüpft. Die in diesem Bericht dokumentierte *Maximalimmission* beinhaltet die Hochrechnung auf den *bei der Bundesnetzagentur beantragten bzw. genehmigten maximalen Betriebszustand der Anlage*, auch wenn dieser derzeit noch nicht realisiert ist. Die *Minimalimmission* ergibt sich durch alleinige Betrachtung der installierten *BCCH-Kanäle* mit ihren *derzeit* verwendeten Sendeleistungen.

Arbeitet ein GSM-Sender mit einer niedrigeren Sendeleistung als beantragt, wird für die Bestimmung der Minimalimmission der derzeit verwendete, niedrigere Wert angesetzt. Die Zahl der bei der BNetzA beantragten bzw. genehmigten Kanäle sowie deren Kanalnummern wurden von den Netzbetreibern zur Verfügung gestellt.

Wurde bei den Messungen festgestellt, dass ein Verkehrskanal (TCH) am Immissionspunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH, bildet die Immission des TCH die Basis für die weitere Auswertung.

4.3.2 UMTS-Anlagen

Bei UMTS-Stationen existiert ein Signalisierungssignal (der „Common Pilot Channel“, kurz „CPICH“), das mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Die Feldstärke jedes vorhandenen CPICH wird mittels einer codeselektiven Messung bestimmt. Die *Minimalimmission* ergibt sich aus der *CPICH-Feldstärke mit einem Aufschlag von 3 dB* (Faktor zwei bezogen auf die Leistung) zur Berücksichtigung anderer permanent vorhandener Signalisierungskanäle. Für die Minimalimmission werden alle derzeit betriebenen Kanäle berücksichtigt (d.h. einer oder zwei).

Die Maximalimmission ergibt sich durch Multiplikation der gemessenen CPICH-Immission mit einem Faktor, der sich aus der aktuell eingestellten Leistung des CPICH und der maximal beantragten Sendeleistung des Frequenzkanals ergibt. Dieser Faktor (in der Regel 10 bezüglich der Leistung) wurde für vorliegende Messungen bei den Netzbetreibern abgefragt. Die somit ermittelte Immission wird dann auf die Zahl der maximal beantragten bzw. genehmigten Frequenzkanäle hochgerechnet (in der Regel zwei, sofern bei der Messung nur ein Kanal in Betrieb war).

4.3.3 LTE-Anlagen

Bei LTE-Basisstationen werden die Signale P-SS (Primary Synchronization Signal), S-SS (Secondary Synchronization Signal), RS (Reference Signal) und der Kanal PBCH (Physical Broadcast Channel) permanent mit konstanter und von der *derzeitigen Verkehrslast unabhängiger Leistung* gesendet. Sie sind daher als Basis für eine Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung geeignet. P-SS, S-SS und PBCH belegen eine Bandbreite von ca. 1 MHz in der Kanalmitte unabhängig von der Bandbreite des gesamten LTE-Signals, die RS-Signale sind hingegen gleichmäßig über das gesamte Signal-spektrum verteilt.

Die Hochrechnung auf *Maximalimmission* erfolgt mit Hilfe des Verhältnisses aus eingestellter Leistung (ERPE-Wert) des RS-Signals und maximal möglicher Sendeleistung der LTE-Zelle. Die Minimalimmission bestimmt sich aus dem Verhältnis zur Maximalimmission und spiegelt einen Anlagenzustand wieder bei dem nur auslastungsunabhängig das Signalisierungssignal von der Anlage abgestrahlt wird.

4.4 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit für die Immissionsmessungen beträgt typisch ± 3 dB (erweiterte Messunsicherheit für $k=2$, d.h. Vertrauensintervall 95%). Hierbei sind sowohl die Unsicherheitsbeiträge für die Kalibrierung von Messantenne, Messkabel und Spektrumanalysator, als auch die Unsicherheit der Probennahme berücksichtigt.

Die Messunsicherheit wurde **nicht** zu den Messergebnissen addiert.

5. Ergebnisse

In Tabelle 5 sind die an den Immissionspunkten ermittelten und gemäß Beschreibung in Abschnitt 4.3 ausgewerteten Summenimmissionswerte für Mobilfunk dargestellt.

Dabei wird in Spalte 2 angegeben, welche Immissionen auftreten, wenn die Mobilfunkanlagen keinen Telefon- bzw. Datenverkehr abwickeln (z.B. nachts). Dieser Wert stellt die *Minimalimmission* dar und wird nur von den permanent von der Anlage abgegebenen Signalisierungssignalen im derzeit vorliegenden Ausbauzustand erzeugt.

In Spalte 3 ist die *Maximalimmission* für Vollausbau und Vollausslastung der MBS angegeben. Dieser tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung voll ausgebaut sind und gerade den maximal möglichen Telefon- bzw. Datenverkehr mit größtmöglicher Sendeleistung abwickeln. Für eine Beurteilung der gemessenen Immissionen bezüglich der Grenzwerte der 26. BImSchV ist die Maximalimmission relevant.

In der Realität liegen die Immissionen je nach momentaner Auslastung und Ausbau der Stationen zwischen den beiden Werten für Minimal- und Maximalimmission.

In Tabelle 5 werden nicht die absoluten Feldstärkewerte angegeben, sondern die auf die Feldstärke-Grenzwerte der 26. BImSchV bezogenen relativen Werte in Prozent. Ausführliche Messwerttabellen mit den absoluten Werten für Feldstärke (in V/m) und Leistungsdichte (in $\mu\text{W}/\text{m}^2$) sind in Anhang B dokumentiert.

Immissionspunkt	<u>Minimalimmission</u> Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26.BImSchV	<u>Maximalimmission</u> Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26.BImSchV
1	2,1 %	5,8 %
2	1,9 %	5,4 %
3	2,0 %	4,6 %
4	2,2 %	6,2 %
5	0,96 %	3,1 %
6	0,85 %	2,1 %

Tabelle 5: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV)

An allen Immissionspunkten wurde auch an anderen als den Mobilfunkfrequenzen nach Immissionen gesucht und bei Bedarf gemessen. Die Immissionen von anderen Sendergruppen waren an allen Immissionspunkten im Vergleich zu den Aussendungen der Mobilfunksendeanlagen vernachlässigbar.

6. Vergleich der Vorher- und Nachhermessung

Bild 3 zeigt zum Vergleich die Maximalimmission von Vorher- und Nachhermessung. Die Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke ist durch die Inbetriebnahme der zusätzlichen Mobilfunkstation und Änderung der bestehenden Anlagen um den Faktor 1,5 bis 2,8 angestiegen. Am deutlichsten ist die Erhöhung am Messpunkt 1. Insgesamt liegen die Werte auch nach der Inbetriebnahme der neuen MBS deutlich unter dem gültigen Grenzwert.

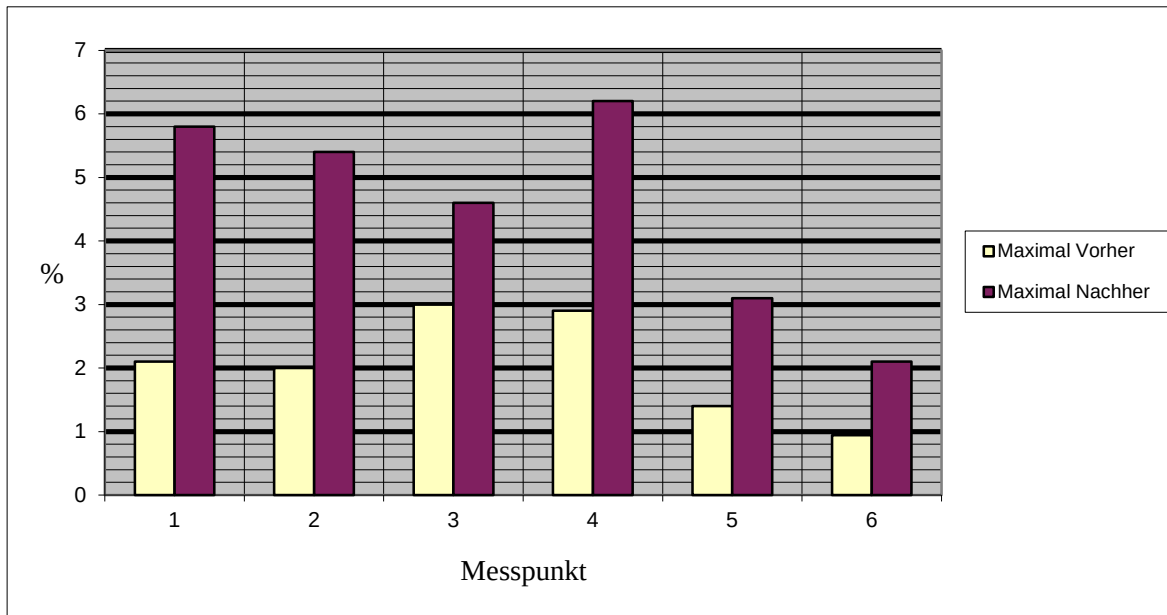


Bild 3: Vergleich der maximalen Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke für die Immissionspunkte 1 bis 6, vorher und nachher

A Fotos der Messorte



Bild A1: Immissionsspunkt 1, Bahnhofstraße 32;
(Sichtverbindung zur MBS 3)



Bild A2: Immissionspunkt 2, Im Hart 39; (Sichtverbindung zur MBS 1 und 3);



Bild A3: Immissionspunkt 3, Im Hart, Ecke Birkenweg;
(Sichtverbindung zur MBS 1 und 3)



Bild A4: Immissionspunkt 4, Im Hart, Ecke Wiesenstraße (Nord, bei Haus Nr. 20);
(Sichtverbindung zur MBS 1 und 3)



Bild A5: Immissionspunkt 5, Am Wald 13, Ecke Westerheimer Weg;
(Sichtverbindung zur MBS 1 und 3)



Bild A6: Immissionspunkt 6, Holzgünzer Straße 7 (Beim Kindergarten);
(teilweise Sichtverbindung zur MBS 1 und 3)

B Ergebnistabellen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frequenz in MHz	Kanal Nr oder ScrCode	Betreiber	ges. GW in V/m	E (gemessen) in V/m	Aufschlag MU in dB	Faktor minimale Immission	E _{min} in V/m	E _{min} in %	S _{min} in µW/m²	Faktor maximale Immission Leistung (BNetzA)	Faktor maximale Immission Anzahl Kanäle (BNetzA)	E _{max} beantragt in V/m	E _{max} beantragt in %	S _{max} beantragt in µW/m²
IP1														
816	44	Telekom	38,6	0,041	0		0,041	0,106	4,46			1,004	2,602	2675,33
922,6		GSMR	41,7	0,31	0		0,310	0,743	254,91			0,310	0,743	254,91
927,6	987	Telefonica	41,7	0,077	0		0,077	0,185	15,73			0,137	0,328	49,70
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,48	0		0,480	1,151	611,14			0,679	1,628	1222,28
934	1019	Telefonica	41,7	0,02	0		0,020	0,048	1,06			0,028	0,068	2,12
943,8	44	Vodafone	41,7	0,11	0		0,110	0,264	32,10			0,355	0,851	333,79
944,4	47	Vodafone	41,7	0,017	0		0,017	0,041	0,77			0,055	0,131	7,97
950,4	77	Telekom	41,7	0,42	0		0,420	1,007	467,90			1,295	3,104	4445,09
952,2	86	Telekom	41,7	0,12	0		0,120	0,288	38,20			0,370	0,887	362,86
958,6	118	Telekom	41,7	0,015	0		0,015	0,036	0,60			0,046	0,111	5,67
1815	127	Telekom	58,4	0,07	0		0,070	0,120	13,00			1,715	2,936	7798,41
1815	128	Telekom	58,4	0,0048	0		0,005	0,008	0,06			0,118	0,201	36,67
2162,4	111	Telekom	61,0	0,34	0		0,481	0,788	613,26			0,833	1,365	1839,79
2162,4	130	Telekom	61,0	0,033	0		0,047	0,077	5,78			0,081	0,133	17,33
2167,2	111	Telekom	61,0	0,35	0		0,495	0,811	649,87			0,857	1,405	1949,60
2167,2	130	Telekom	61,0	0,045	0		0,064	0,104	10,74			0,110	0,181	32,23
						minimal:	1,01	2,10	2719,56		maximal:	2,82	5,81	21033,76
IP2														
816	42	Telekom	38,6	0,033	0		0,033	0,085	2,89			0,808	2,094	1733,16
816	43	Telekom	38,6	0,013	0		0,013	0,034	0,45			0,318	0,825	268,97
816	44	Telekom	38,6	0,01	0		0,010	0,026	0,27			0,245	0,635	159,15
922,6		GSMR	41,7	0,092	0		0,092	0,221	22,45			0,092	0,221	22,45
927,6	987	Telefonica	41,7	0,31	0		0,310	0,743	254,91			0,551	1,322	805,51
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,21	0		0,210	0,504	116,98			0,297	0,712	233,95
934	1019	Telefonica	41,7	0,11	0		0,110	0,264	32,10			0,156	0,373	64,19
943,8	44	Vodafone	41,7	0,043	0		0,043	0,103	4,90			0,139	0,333	51,01
944,4	47	Vodafone	41,7	0,0046	0		0,005	0,011	0,06			0,015	0,036	0,58
950,4	77	Telekom	41,7	0,11	0		0,110	0,264	32,10			0,339	0,813	304,91
952,2	86	Telekom	41,7	0,14	0		0,140	0,336	51,99			0,432	1,035	493,90
958,6	118	Telekom	41,7	0,54	0		0,540	1,295	773,47			1,664	3,991	7348,01
1815	126	Telekom	58,4	0,026	0		0,026	0,045	1,79			0,637	1,091	1075,86
1815	127	Telekom	58,4	0,005	0		0,005	0,009	0,07			0,122	0,210	39,79
1815	128	Telekom	58,4	0,005	0		0,005	0,009	0,07			0,122	0,210	39,79
2162,4	111	Telekom	61,0	0,099	0		0,140	0,230	51,99			0,242	0,398	155,98
2162,4	130	Telekom	61,0	0,013	0		0,018	0,030	0,90			0,032	0,052	2,69
2162,4	415	Telekom	61,0	0,26	0		0,368	0,603	358,62			0,637	1,044	1075,86
2167,2	111	Telekom	61,0	0,053	0		0,075	0,123	14,90			0,130	0,213	44,71
2167,2	130	Telekom	61,0	0,031	0		0,044	0,072	5,10			0,076	0,124	15,29
2167,2	415	Telekom	61,0	0,21	0		0,297	0,487	233,95			0,514	0,843	701,86
						minimal:	0,86	1,87	1959,94		maximal:	2,35	5,38	14637,61

B Ergebnistabellen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frequenz in MHz	Kanal Nr oder ScrCode	Betreiber	ges. GW in V/m	E (gemessen) in V/m	Aufschlag MU in dB	Faktor minimale Immission	E _{min} in V/m	E _{min} in %	S _{min} in µW/m²	Faktor maximale Immission Leistung (BNetzA)	Faktor maximale Immission Anzahl Kanäle (BNetzA)	E _{max} beantragt in V/m	E _{max} beantragt in %	S _{max} beantragt in µW/m²
IP3														
816	42	Telekom	38,6	0,0031	0		0,003	0,008	0,03			0,076	0,197	15,29
816	43	Telekom	38,6	0,018	0		0,018	0,047	0,86			0,441	1,142	515,65
816	44	Telekom	38,6	0,0058	0		0,006	0,015	0,09			0,142	0,368	53,54
922,6		GSMR	41,7	0,043	0		0,043	0,103	4,90			0,043	0,103	4,90
927,6	987	Telefonica	41,7	0,68	0		0,680	1,631	1226,53			1,209	2,899	3875,82
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,12	0		0,120	0,288	38,20			0,170	0,407	76,39
934	1019	Telefonica	41,7	0,081	0		0,081	0,194	17,40			0,115	0,275	34,81
943,8	44	Vodafone	41,7	0,015	0		0,015	0,036	0,60			0,048	0,116	6,21
944,4	47	Vodafone	41,7	0,0033	0		0,003	0,008	0,03			0,011	0,026	0,30
950,4	77	Telekom	41,7	0,031	0		0,031	0,074	2,55			0,096	0,229	24,22
952,2	86	Telekom	41,7	0,41	0		0,410	0,983	445,89			1,264	3,030	4235,94
958,6	118	Telekom	41,7	0,026	0		0,026	0,062	1,79			0,080	0,192	17,03
1815	126	Telekom	58,4	0,0016	0		0,002	0,003	0,01			0,039	0,067	4,07
1815	127	Telekom	58,4	0,0012	0		0,001	0,002	0,00			0,029	0,050	2,29
1815	128	Telekom	58,4	0,025	0		0,025	0,043	1,66			0,612	1,049	994,69
2162,4	111	Telekom	61,0	0,013	0		0,018	0,030	0,90			0,032	0,052	2,69
2162,4	130	Telekom	61,0	0,13	0		0,184	0,301	89,66			0,318	0,522	268,97
2162,4	415	Telekom	61,0	0,025	0		0,035	0,058	3,32			0,061	0,100	9,95
2167,2	111	Telekom	61,0	0,013	0		0,018	0,030	0,90			0,032	0,052	2,69
2167,2	130	Telekom	61,0	0,12	0		0,170	0,278	76,39			0,294	0,482	229,18
2167,2	415	Telekom	61,0	0,008	0		0,011	0,019	0,34			0,020	0,032	1,02
						minimal:	0,85	1,99	1912,02		maximal:	1,98	4,59	10375,65
IP4														
816	43	Telekom	38,6	0,062	0		0,062	0,161	10,20			1,519	3,934	6117,77
922,6		GSMR	41,7	0,02	0		0,020	0,048	1,06			0,020	0,048	1,06
927,6	987	Telefonica	41,7	0,75	0		0,750	1,799	1492,04			1,333	3,197	4714,85
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,079	0		0,079	0,189	16,55			0,112	0,268	33,11
934	1019	Telefonica	41,7	0,057	0		0,057	0,137	8,62			0,081	0,193	17,24
943,8	44	Vodafone	41,7	0,01	0		0,010	0,024	0,27			0,032	0,077	2,76
944,4	47	Vodafone	41,7	0,0025	0		0,003	0,006	0,02			0,008	0,019	0,17
950,4	77	Telekom	41,7	0,032	0		0,032	0,077	2,72			0,099	0,237	25,80
952,2	86	Telekom	41,7	0,35	0		0,350	0,839	324,93			1,079	2,587	3086,87
958,6	118	Telekom	41,7	0,039	0		0,039	0,094	4,03			0,120	0,288	38,33
1815	128	Telekom	58,4	0,048	0		0,048	0,082	6,11			1,176	2,013	3666,84
2162,4	111	Telekom	61,0	0,0047	0		0,007	0,011	0,12			0,012	0,019	0,35
2162,4	130	Telekom	61,0	0,22	0		0,311	0,510	256,76			0,539	0,883	770,29
2167,2	111	Telekom	61,0	0,0023	0		0,003	0,005	0,03			0,006	0,009	0,08
2167,2	130	Telekom	61,0	0,258	0		0,365	0,598	353,12			0,632	1,036	1059,37
						minimal:	0,97	2,16	2476,58		maximal:	2,71	6,21	19534,91

B Ergebnistabellen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frequenz in MHz	Kanal Nr oder ScrCode	Betreiber	ges. GW in V/m	E (gemessen) in V/m	Aufschlag MU in dB	Faktor minimale Immission	E _{min} in V/m	E _{min} in %	S _{min} in µW/m²	Faktor maximale Immission Leistung (BNetzA)	Faktor maximale Immission Anzahl Kanäle (BNetzA)	E _{max} beantragt in V/m	E _{max} beantragt in %	S _{max} beantragt in µW/m²
IP5														
816	43	Telekom	38,6	0,024	0		0,024	0,062	1,53			0,588	1,523	916,71
922,6		GSMR	41,7	0,033	0		0,033	0,079	2,89			0,033	0,079	2,89
927,6	987	Telefonica	41,7	0,13	0		0,130	0,312	44,83			0,231	0,554	141,66
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,031	0		0,031	0,074	2,55			0,044	0,105	5,10
934	1019	Telefonica	41,7	0,015	0		0,015	0,036	0,60			0,021	0,051	1,19
943,8	44	Vodafone	41,7	0,12	0		0,120	0,288	38,20			0,387	0,928	397,24
944,4	47	Vodafone	41,7	0,075	0		0,075	0,180	14,92			0,242	0,580	155,17
950,4	77	Telekom	41,7	0,045	0		0,045	0,108	5,37			0,139	0,333	51,03
952,2	86	Telekom	41,7	0,3	0		0,300	0,719	238,73			0,925	2,217	2267,90
958,6	118	Telekom	41,7	0,0079	0		0,008	0,019	0,17			0,024	0,058	1,57
1815	128	Telekom	58,4	0,015	0		0,015	0,026	0,60			0,367	0,629	358,09
2162,4	130	Telekom	61,0	0,13	0		0,184	0,301	89,66			0,318	0,522	268,97
2167,2	130	Telekom	61,0	0,12	0		0,170	0,278	76,39			0,294	0,482	229,18
						minimal	0,44	0,96	516,41		maximal:	1,34	3,13	4796,70
IP6														
816	43	Telekom	38,6	0,012	0		0,012	0,031	0,38			0,294	0,761	229,18
922,6		GSMR	41,7	0,016	0		0,016	0,038	0,68			0,016	0,038	0,68
927,6	987	Telefonica	41,7	0,29	0		0,290	0,695	223,08			0,516	1,236	704,92
932,4	1011	Telefonica	41,7	0,01	0		0,010	0,024	0,27			0,014	0,034	0,53
934	1019	Telefonica	41,7	0,026	0		0,026	0,062	1,79			0,037	0,088	3,59
943,8	44	Vodafone	41,7	0,0066	0		0,007	0,016	0,12			0,021	0,051	1,20
944,4	47	Vodafone	41,7	0,0017	0		0,002	0,004	0,01			0,005	0,013	0,08
950,4	77	Telekom	41,7	0,0055	0		0,006	0,013	0,08			0,017	0,041	0,76
952,2	86	Telekom	41,7	0,17	0		0,170	0,408	76,66			0,524	1,257	728,25
958,6	118	Telekom	41,7	0,03	0		0,030	0,072	2,39			0,092	0,222	22,68
1815	126	Telekom	58,4	0,00018	0		0,000	0,000	0,00			0,004	0,008	0,05
1815	127	Telekom	58,4	0,0001	0		0,000	0,000	0,00			0,002	0,004	0,02
1815	128	Telekom	58,4	0,015	0		0,015	0,026	0,60			0,367	0,629	358,09
2162,4	130	Telekom	61,0	0,053	0		0,075	0,123	14,90			0,130	0,213	44,71
2167,2	130	Telekom	61,0	0,081	0		0,115	0,188	34,81			0,198	0,325	104,42
						minimal	0,37	0,84	355,75		maximal:	0,91	2,07	2199,15

Frequenzen, deren Signale zu schwach waren, um auf die Gesamtimmission einen nennenswerten Einfluss zu haben, wurden nicht protokolliert.

In den geschwärzten Zellen sind vertrauliche Daten der Mobilfunkbetreiber enthalten.

Legende:

- Spalte 1 Immissionspunktnummer; Frequenz des Signalisierungskanals BCCH/MCCH bei GSM/TETRA bzw. Mittenfrequenz bei UMTS und LTE
- Spalte 2 Kanalnummer des Signalisierungskanals BCCH/MCCH bei GSM/TETRA bzw. Scramblingcode/Cell ID bei UMTS/LTE
- Spalte 3 Betreiberzuordnung
- Spalte 4 Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m
- Spalte 5 Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Symbole (LTE) in V/m
- Anmerkung: Wurde bei den GSM bzw. TETRA Messungen festgestellt, dass ein

Verkehrskanal (TCH) am Immissionspunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH bzw. MCCH, ist hier die Immission des TCH dokumentiert und bildet die Basis für die weitere Auswertung.

- Spalte 6 Messunsicherheit in dB – Es wurde keine Messunsicherheit aufgeschlagen; der Wert ist somit auf null gesetzt.
- Spalte 7 Faktor für die minimale Immission; in der Regel bei GSM und TETRA 1 (da die minimale Immission durch den BCCH bzw. MCCH bestimmt wird) und bei UMTS 2 (da die minimale Immission durch die doppelte CPICH-Leistung bestimmt wird). Bei LTE wird hier ein Wert verwendet, der um den Faktor 5 kleiner ist als der in der Spalte 11 verwendete Faktor zur Extrapolation auf die maximale Leistung, da bei LTE die minimal abgestrahlte Leistung in etwa ein Fünftel der maximalen Leistung beträgt.
- Spalte 8 minimale Immission in V/m:
 $\langle \text{Spalte 8} \rangle = \langle \text{Spalte 5} \rangle * 10^{(\langle \text{Spalte 6} \rangle / 20)} * \text{Wurzel}(\langle \text{Spalte 7} \rangle)$
- Spalte 9 minimale Immission in Prozent des Grenzwertes:
 $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% * \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 4} \rangle$
- Spalte 10 minimale Immission als Leistungsdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
- Spalte 11 Faktor für die maximale Immission, Anteil durch reduzierte Leistung; Verhältnis von beantragter Leistung zu betriebener Leistung. Bei UMTS erfolgt zusätzlich die Hochrechnung der CPICH-Leistung auf die maximale Kanalsendeleistung (in der Regel ein Faktor 10 bezüglich der Leistung). Bei LTE wird ein Faktor verwendet, der sich als Quotient aus maximaler Leistung und der Leistung des RS-Signales ergibt.
- Spalte 12 Faktor für die maximale Immission: Anzahl der Kanäle. Für GSM entspricht dies der bei der BnetzA beantragten und genehmigten Kanalzahl. Für UMTS und LTE erfolgt der Aufschlag nur, wenn weitere Kanäle noch nicht in Betrieb, aber beantragt sind.
- Spalte 13 maximale Immission in V/m:
 $\langle \text{Spalte 13} \rangle = \langle \text{Spalte 5} \rangle * 10^{(\langle \text{Spalte 6} \rangle / 20)} * \text{Wurzel}(\langle \text{Spalte 11} \rangle) * \text{Wurzel}(\langle \text{Spalte 12} \rangle)$
- Spalte 14 maximale Immission in Prozent des Grenzwertes:
 $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% * \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 4} \rangle$
- Spalte 15 maximale Immission als Leistungsdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$

C Erläuterung zu den Grenzwerten

Für den Schutz von Personen gegen schädliche Umwelteinwirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder (außermedizinisch) im Hochfrequenzbereich besteht in Deutschland seit dem 16. Dezember 1996 mit der „Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)“ und den darin festgelegten Grenzwerten eine gesetzliche Regelung in diesem Bereich. Dieses Gesetz ist seit dem 01. Januar 1997 in Kraft und wurde zuletzt am 14. August 2013 geändert [26. BImSchV]. Die darin festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den international anerkannten Empfehlungen des Komitees für nichtionisierende Strahlen der Internationalen Strahlenschutzvereinigung (IRPA/INIRC), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), die die Arbeit von IRPA/INIRC fortsetzt, sowie den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) und gewährleisten als einzuhaltende Schutzwerte den Schutz vor bekannten Gesundheitsgefahren und erheblichen Belästigungen [393/96].

Im Hochfrequenzbereich gilt die 26. BImSchV für ortsfeste Sendeanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz erzeugen. Sie ist damit auf Mobilfunkbasisstationen voll anwendbar.

Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind Hochfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere ortsfeste Sendefunkanlagen die in Tabelle A1 bestimmten Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke für den jeweiligen Frequenzbereich nicht überschritten werden. Bei gepulsten elektromagnetischen Feldern, wie z.B. von Radaranlagen, darf zusätzlich der Spitzenwert für die elektrische und magnetische Feldstärke das 32fache der Werte nach Tabelle A1 nicht überschreiten.

Frequenz f in MHz	Effektivwert, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke E_{eff} in V/m	Magnetische Feldstärke H_{eff} in A/m
0,1 – 1	87	$0,73 (f / \text{MHz})$
1 – 10	$87 / \sqrt{f / \text{MHz}}$	$0,73 (f / \text{MHz})$
10 – 400	28	0,073
400 – 2000	$1,375 \sqrt{f / \text{MHz}}$	$0,0037 \sqrt{f / \text{MHz}}$
2000 – 300000	61	0,16

Tabelle A1: Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke im Hochfrequenzbereich nach 26. BImSchV.

Elektrische und magnetische Feldstärken sind im Fernfeld einer Antenne über den Wellenwiderstand des Freiraumes, $Z_0 \approx 377 \Omega$, ineinander überführbar und beinhalten dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die Größe des elektrischen Feldes zu messen.

Das Produkt von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Fernfeld einer Antenne ergibt die elektrische Leistungsdichte S . Da auch diese dieselbe Information wie die Feldstärken beinhaltet, wird sie oft alternativ zur elektrischen Feldstärke bei der Grenzwertüberprüfung herangezogen.

Tabelle A2 fasst die relevanten Grenzwerte der 26. BImSchV für die Abstrahlung der Basisstationen (Downlink) in den Mobilfunkbereichen GSM-R, GSM, UMTS und LTE zusammen. Für die Auswertung in diesem Bericht wird je System derjenige Grenzwert verwendet, der für die Banduntergrenze des jeweiligen Frequenzbereiches gültig ist.

Mobilfunksystem	Elektrische Feldstärke E_{eff} in V/m		Äquivalente Leistungsdichte S in W/m ²
LTE 800	38,6		3,9
GSM 900, GSM-R, UMTS 900	41,7		4,6
GSM 1800, LTE 1800	58,4		9,0
UMTS 2100	61,0		10
LTE 2600	61,0		10

Tabelle A2: Grenzwerte für die Mobilfunkfrequenzbereiche nach 26. BImSchV. Der Grenzwert wird bei der Auswertung in diesem Bericht als konstant über dem gesamten Frequenzbereich des jeweiligen Mobilfunksystems angesetzt.

Sofern neben Mobilfunkimmissionen auch Immissionen durch andere Funkdienste(>10MHz) gemessen wurden, gelten dafür die Grenzwerte nach Tabelle A1.

Wirken, so wie in vorliegendem Fall, gleichzeitig Felder unterschiedlicher Frequenzen zusammen, dann sind die grenzwertbezogenen Ausschöpfungsgrade (GW_ASG) geeignet zu summieren. Für Frequenzbereiche von 100 kHz bis 300 GHz (thermische Wirkungen) gilt nach Anhang 2b 26. BImSchV:

$$GW_ASG_{\text{thermisch}} = \sum_{f=1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_f}{E_{L,f}} \right)^2 \quad (1)$$

Hierin sind:

E_f : gemessene elektrische Feldstärke bei der Frequenz f ;
 $E_{L,f}$: Referenzwert für die elektrische Feldstärke nach Tabelle A1, A2;

Der 100% multiplizierte grenzwertbezogene Ausschöpfungsgrad nach Gleichung 1 ergibt die prozentuale Ausschöpfung des zulässigen Feldstärke-Grenzwertes. Dieser darf den Wert 100% nicht überschreiten.

D Signalbandbreiten und technische Parameter bei LTE

	Kanalbreite					
	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Signalbandbreite	1,08 MHz	2,7 MHz	4,5 MHz	9,0 MHz	13,5 MHz	18,0 MHz
OFDM-Träger	72	180	300	600	900	1200
Physical Resource Blocks (= 12 OFDM-Träger)	6	15	25	50	75	100
REs pro Frame (normal cyclic prefix)	10080	25200	42000	84000	126000	168000
REs pro Frame (extended cyclic prefix)	8640	21600	36000	72000	108000	144000
Reference signals (je Frame; Antennenports 0 und 1)	480	1200	2000	4000	6000	8000
Reference signals (je Frame; Antennenports 2 und 3)	240	600	1000	2000	3000	4000
Minimalauslastung (normal cyclic prefix) (ca., MIMO-1/2/4)	23 % / 27 % / 29 %	13 % / 16 % / 21 %	12 % / 16 % / 20 %	11 % / 15 % / 20 %	11 % / 15 % / 19 %	11 % / 15 % / 19 %
Minimalauslastung (extended cyclic prefix) (ca., MIMO-1/2/4)	27 % / 31 % / 34 %	15 % / 19 % / 25 %	14 % / 18 % / 24 %	13 % / 17 % / 23 %	13 % / 17 % / 23 %	13 % / 17 % / 23 %
Minimalauslastung	31 %	19 %	18 %	17 %	17 %	17 %

Tabelle A3: Signalbandbreiten und technische Parameter bei LTE (Rel.8)

Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 2013 Teil I, Nr. 50, 21.08.2013.
- [393/96] **Bundesrats-Drucksache 393/96**, Amtliche Begründung zur Verordnung der Bundesregierung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV), 22.05.1996.
- [99/519/EG] **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 L 199/59, 30.07.1999.
- [Bornkessel 12] Christian Bornkessel, Markus Schubert, Matthias Wuschek: **Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunk-techniken**, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht, Kamp-Lintfort, 2012.
- [Bornkessel 13] Christian Bornkessel: **Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen (Teil 2: Messmethoden)**, Application Note Nr. AN_HF_1064_D, Firma Narda Safety Test Solutions GmbH, Pfullingen, 2013.
- [ICNIRP 98] **ICNIRP Guidelines**, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, vol. 74 no. 4, S. 494-522, (1998).
- [Keller 11] Helmut Keller: **Bewertung rauschartiger Impulse moderner Kommunikationssysteme**, NIR 2011, 43. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., 2011; S. 209–223
- [RegTP 03] **RegTP MV 09/EMF/3**, *Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken*, Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, 28.02.2003.
- [Schmid 05] **Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro**, ARC Seibersdorf research GmbH, Abschlussbericht im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz, Juli 2005.
- [Wuschek 14] Matthias Wuschek, Christian Bornkessel: **Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken**, Studie im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, 2013.