



„Mustermessbericht“
Messung von Immissionen durch
GSM , UMTS und LTE-
Mobilfunkbasisstationen



Impressum

Mustermessbericht bezüglich der Messung von Immissionen durch GSM , UMTS- und LTE-Mobilfunkbasisstationen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2, 47475 Kamp-Lintfort

Dipl.-Ing. Markus Schubert, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2, 47475 Kamp-Lintfort

Marcus de Ridder, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 27

Dr. Thomas Kurz, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 27

Redaktion:

Dr. Thomas Kurz, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 27

Marcus de Ridder, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 27

Bildnachweis:

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2, 47475 Kamp-Lintfort

Dipl.-Ing. Markus Schubert, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2, 47475 Kamp-Lintfort

Druck:

Eigendruck Bayerisches Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

04/2017

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Aufgabenstellung	6
3	Beschreibung der Immissionspunkte	7
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	11
5	Ergebnisse	12

Messung elektromagnetischer Immissionen durch Mobilfunk- sendeanlagen im Rahmen des FEE-2 Projektes

Auftraggeber: <Gemeinde x>
 <Straße y>
 <8xxxx Gemeinde>

Messort: Gemeindegebiet von <Gemeinde>

Messinstitut: <Institut/Firma x>
 <Straße z>
 <8xxxx Ort>

Projektleiter: <Titel Name>

Messbericht Nr.: <xxxx/yyy-zz>

Messdatum: 27.11.2009

Berichtsdatum: 10.05.2017

Ohne schriftliche Genehmigung der <Institut/Firma x> darf der Bericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

1 Zusammenfassung

Das <Institut/Firma x> wurde von der Gemeinde <Gemeinde> beauftragt, im Rahmen des FEE 2-Projektes Messungen der elektromagnetischen Immission durch Mobilfunksendeanlagen an vier Immissionspunkten im Gemeindegebiet durchzuführen.

Die Messungen wurden am 27.11.2009 an vier Immissionspunkten durchgeführt, die einvernehmlich zwischen der Gemeinde und dem Auftragnehmer ausgewählt wurden.

Die höchsten Mobilfunkimmissionen wurden am Immissionspunkt 1 (Musterstraße, Parkplatz neben Nr. 10) mit 1,10 % 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.

Tab. 2: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV)

Immissionspunkt	Beschreibung	Entfernung zum Mobilfunkanlagenstandort	Sichtverbindung zu den Antennen	Höhe	
1	8xxxx Gemeinde, Musterstraße, Parkplatz neben Nr. 10	174 m	ja	ebenerdig	1,1 %
2	8xxxx Gemeinde, Musterstraße, vor Haus Nr. 14	230 m	nein	ebenerdig	0,1 %
3	8xxxx Gemeinde, Beispielstraße 11, 2. OG, Fenster geschlossen	78 m	eingeschränkt	2. OG	0,5 %
4	8xxxx Gemeinde, Beispielstraße gegenüber Anlage, Zebrastreifen	46 m	ja	ebenerdig	0,5 %

2 Aufgabenstellung

Die <Institut/Firma x> wurde von der Gemeinde <Gemeinde> beauftragt, im Rahmen des FEE 2 Projektes Messungen der elektromagnetischen Immission durch Mobilfunksendeanlagen an vier 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 war in unmittelbarer Umgebung der Immissionspunkte folgende Mobilfunksendeanlage in Betrieb:

Tab. 3: In der Umgebung der Immissionspunkte vorhandene Mobilfunkanlagenstandorte

Lfd. Nr.	StOB-Nr.	Adresse (PLZ, Ort, Straße)	Netzbetreiber, Mobilfunksystem	Montagehöhe niedrigste Antenne
1	123456	8xxxx Gemeinde, Musterstraße	T-Mobile (GSM) Vodafone (UMTS)	25 m

Bei der Messung handelt es sich im Sinne des FEE-2-Projektes um eine *Vorher-Messung*. Für die Zukunft ist die Errichtung einer weiteren Mobilfunksendeanlage durch den Betreiber <Betreiber> am Standort <PLZ Ort, Straße> angekündigt worden.

3 Beschreibung der Immissionspunkte

Die Messungen wurden an vier Immissionspunkten (IP) im Gemeindegebiet von <Gemeinde> durchgeführt. Die Immissionspunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Die Immissionspunkte 1, 2 und 4 befanden sich im Freien. Immissionspunkt 3 war ein Indoor-Immissionspunkt. Bild 1 zeigt die Lage der Immissionspunkte in Bezug zum relevanten Anlagenstandort/Mobilfunksendeanlage. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Lage der Immissionspunkte. Bilder der Immissionspunkte sind im Anhang A enthalten.

Tab. 4: Beschreibung der Immissionspunkte (IP) in der Gemeinde <Gemeinde>

IP Nr.	Beschreibung	Entfernung zum nächsten Anlagenstandort	Sichtverbindung zu den Antennen	Höhe
1	8xxxx Gemeinde, Musterstraße, Parkplatz neben Nr. 10	174 m	ja	ebenerdig
2	8xxxx Gemeinde, Musterstraße, vor Haus Nr. 14	230 m	nein	ebenerdig
3	8xxxx Gemeinde, Beispielstraße 11, 2. OG, Fenster geschlossen	78 m	eingeschränkt	2. OG
4	8xxxx Gemeinde, Beispielstraße gegenüber Anlage, Zebrastreifen	46 m	ja	ebenerdig

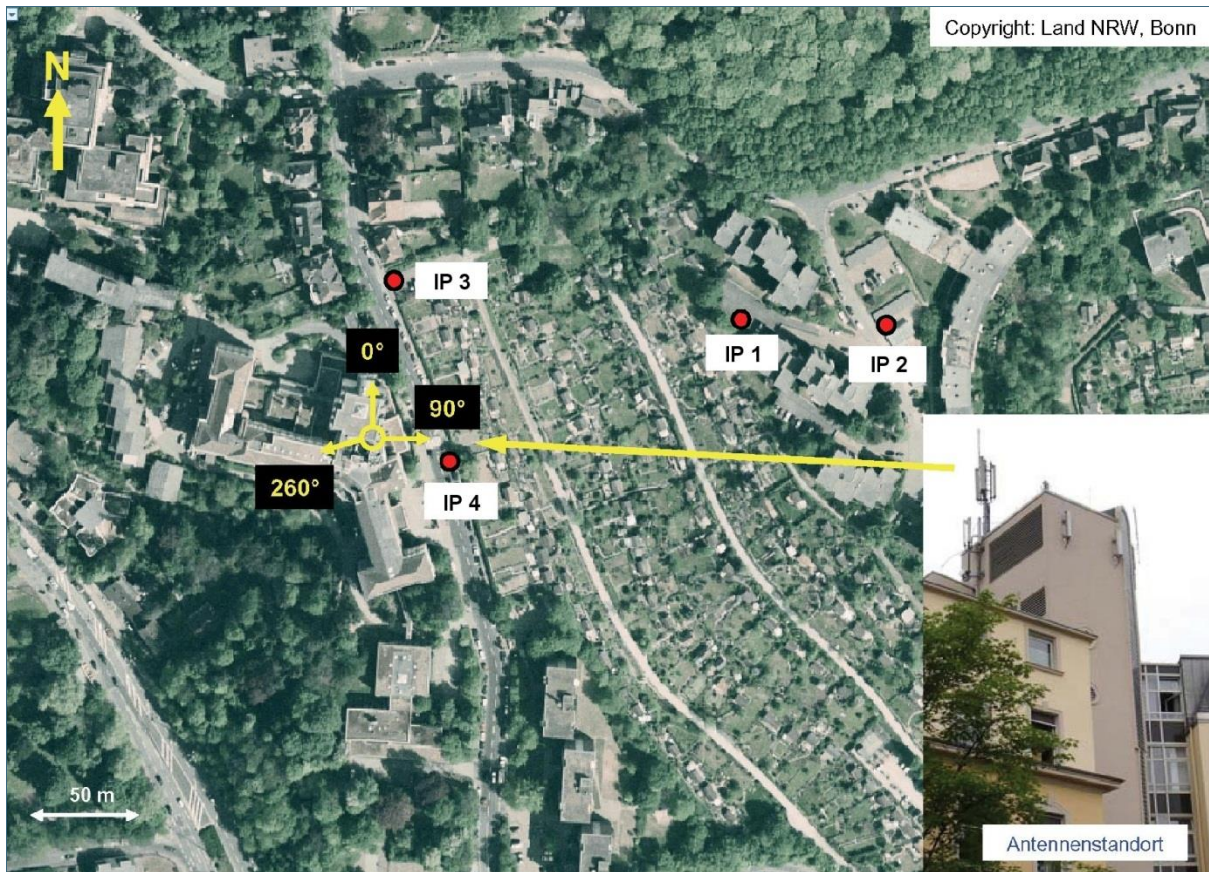


Abb. 1: Lageplan der Mobilfunkbasisstation und der Immissionspunkte (IP)

Die Messungen wurden am 27.11.2009 zwischen 10.30 Uhr und 13.00 Uhr von Herrn <M. Muster> und Frau <F. Probe> durchgeführt. Von Seiten des Auftraggebers war Herr <Mustermann> (Gemeindeverwaltung) bei einem Teil der Messungen anwesend.

Die Messungen fanden bei trockenem Wetter statt.

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/m^2)

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 Sendeanlagen befindet. Deswegen genügt zur Beurteilung der Immission die Angabe einer 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:

Tab. 5: Verwendete Messgeräte

Gerät	Hersteller	Art	Seriennummer
SRM-3006	Narda	Tragbarer Spektrumanalysator 100 kHz — 3 GHz mit codeselektiver Messoption	L-0043
USLP 9142	Schwarzbeck	Logper-Antenne 0,7 GHz — 5 GHz	102
FSH-8	Rohde & Schwarz	Spektrumanalysator 9 kHz — 8 GHz	100433

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 mindestens 1 m) und dabei die

Ausrichtung und Polarisationsrichtung der Antenne variiert. 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 nicht mit in die Auswertung aufgenommen.

4.3 Bestimmung von Minimalimmission und Maximalimmission

Die von Mobilfunkbasisstationen erzeugten elektromagnetischen Felder sind zeitlich nicht konstant, sondern schwanken in Abhängigkeit von Verkehrsauslastung und Verbindungsqualität.

Bei geringer Verkehrsauslastung (z.B. nachts) sinkt die Immission durch geringes Verkehrsaufkommen in der Regel 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 wurde 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. eine 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.

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 Signalspektrum verteilt.

Beim codeselektiven Verfahren wird der Pegel des RS-Signals jeder Zelle getrennt erfasst, da dieses Signal zellspezifisch codiert ist. Decodiert bzw. gemessen wurde die RS nur über einen Bereich von 72 Unterträgern um die Mittenfrequenz. 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 Probenahme berücksichtigt.

Die Messunsicherheit wurde nicht zu den Messergebnissen addiert.

5 Ergebnisse

In Tabelle 6 sind die an den Immissionspunkten ermittelten und gemäß Beschreibung im Anhang B ausgewerteten Summenimmissionswerte für den 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 Vollaustattung der Station 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 Anlagen zwischen den beiden Werten für Minimal- und Maximalimmission.

In Tabelle 6 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.

Tab. 6: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV)

Immissionspunkt	Minimalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV
1	0,5 %	1,1 %
2	0,1 %	0,1 %
3	0,3 %	0,5 %
4	0,2 %	0,5 %

A Fotos der Messorte



Abb. 2:
Immissionspunkt 1 mit
Anlagenstandort im
Hintergrund



Abb. 3:
Blick auf Immissions-
punkt 2 (es bestand
keine Sichtverbindung
zum Anlagenstandort)



Abb. 4:
Blick vom Immissionspunkt 3 zum Anlagenstandort.

Die Sicht war teilweise durch einen Baum verdeckt. Zum Zeitpunkt der Messung war der Baum nicht belaubt. Das Fenster war während der Messung geschlossen.



Abb. 5: Immissionspunkt 4 (links) und Blick vom Immissionspunkt 4 zum Anlagenstandort (rechts)

B Ergebnistabellen

Tab. 7: Messergebnisse

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f in MHz / ScCode (UMTS) CellID (LTE)	Betreiber	ges. GW in V/m	E (gemessen) in dBµV/m	Aufschlag MU in dB	Faktor minimale Immission	E _{min} in dBµV/m	E _{min} in V/m	E _{min} bzgl. GW	S _{min} in mW/m ²	Faktor maximale Immission (BNetzA)	E _{max} beantragt in dBµV/m	E _{max} beantragt in V/m	E _{max} beantragt bzgl. GW	S _{max} beantragt in mW/m ²
IP 1														
942.6 / 38	Telekom	41.7	103.7	0.0	1	103.7	0.15	0.4%	0.06	4	109.7	0.31	0.7%	0.25
954.4 / 97	Telekom	41.7	101.2	0.0	1	101.2	0.11	0.3%	0.03	4	107.2	0.23	0.6%	0.14
1845.6 / 714	Telefonica O2	58.4	90.6	0.0	1	90.6	0.03	0.1%	0.00	2	93.6	0.05	0.1%	0.01
1870.5 / 195	E-Plus	58.4	59.5	0.0	120	80.3	0.01	0.0%	0.00	600	87.3	0.02	0.0%	0.00
2112.8 / 131	Vodafone	61.0	98.2	0.0	2	101.2	0.11	0.2%	0.04	20	111.2	0.36	0.6%	0.35
2112.8 / 369	Vodafone	61.0	82.5	0.0	2	85.5	0.02	0.0%	0.00	20	95.5	0.06	0.1%	0.01
						minimal:	0.23	0.5%	0.14		maximal:	0.53	1.1%	0.76
IP 2														
942.6 / 38	Telekom	41.7	79.5	0.0	1	79.5	0.01	0.0%	0.00	4	85.5	0.02	0.0%	0.00
954.4 / 97	Telekom	41.7	70.3	0.0	1	70.3	0.00	0.0%	0.00	4	76.3	0.01	0.0%	0.00
1845.6 / 714	Telefonica O2	58.4	70.6	0.0	1	70.6	0.00	0.0%	0.00	2	73.6	0.00	0.0%	0.00
1870.5 / 195	E-Plus	58.4	49.7	0.0	120	70.5	0.00	0.0%	0.00	600	77.5	0.01	0.0%	0.00
2112.8 / 131	Vodafone	61.0	83.3	0.0	2	86.3	0.02	0.0%	0.00	20	96.3	0.07	0.1%	0.01
2112.8 / 369	Vodafone	61.0	70.8	0.0	2	73.8	0.00	0.0%	0.00	20	83.8	0.02	0.0%	0.00
						minimal:	0.02	0.0%	0.00		maximal:	0.07	0.1%	0.01
IP 3														
942.6 / 38	Telekom	41.7	99.5	0.0	1	99.5	0.09	0.2%	0.02	4	105.5	0.19	0.5%	0.09
954.4 / 97	Telekom	41.7	90.3	0.0	1	90.3	0.03	0.1%	0.00	4	96.3	0.07	0.2%	0.01
1845.6 / 714	Telefonica O2	58.4	90.6	0.0	1	90.6	0.03	0.1%	0.00	2	93.6	0.05	0.1%	0.01
1870.5 / 195	E-Plus	58.4	59.5	0.0	120	80.3	0.01	0.0%	0.00	600	87.3	0.02	0.0%	0.00
2112.8 / 131	Vodafone	61.0	70.8	0.0	2	73.8	0.00	0.0%	0.00	20	83.8	0.02	0.0%	0.00
2112.8 / 369	Vodafone	61.0	82.5	0.0	2	85.5	0.02	0.0%	0.00	20	95.5	0.06	0.1%	0.01
						minimal:	0.11	0.2%	0.03		maximal:	0.22	0.5%	0.12
IP 4														
942.6 / 38	Telekom	41.7	92.5	0.0	1	92.5	0.04	0.1%	0.00	4	98.5	0.08	0.2%	0.02
954.4 / 97	Telekom	41.7	96.1	0.0	1	96.1	0.06	0.2%	0.01	4	102.1	0.13	0.3%	0.04
1845.6 / 714	Telefonica O2	58.4	75.7	0.0	1	75.7	0.01	0.0%	0.00	2	78.7	0.01	0.0%	0.00
1870.5 / 195	E-Plus	58.4	63.8	0.0	120	84.6	0.02	0.0%	0.00	600	91.6	0.04	0.1%	0.00
2112.8 / 131	Vodafone	61.0	92.0	0.0	2	95.0	0.06	0.1%	0.01	20	105.0	0.18	0.3%	0.08
2112.8 / 369	Vodafone	61.0	82.5	0.0	2	85.5	0.02	0.0%	0.00	20	95.5	0.06	0.1%	0.01
						minimal:	0.10	0.2%	0.03		maximal:	0.25	0.5%	0.16

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

Legende

Spalte 1	Immissionspunktnummer; Frequenz und Kanalnummer des Signalisierungskanals BCCH / MCCH) bei GSM / TETRA bzw. Mittenfrequenz und Scramblingcode / Cell ID bei UMTS / LTE.
Spalte 2	Betreiberzuordnung
Spalte 3	Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m
Spalte 4	Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Symbole (LTE) in dB μ V/m Anmerkung: Wurde bei den 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 5	Messunsicherheit in dB – ss wurde keine Messunsicherheit aufgeschlagen; der Wert ist somit auf null gesetzt.
Spalte 6	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. <i><Dieser pauschale Faktor wird zur Verwendung empfohlen und ist ein Näherungswert, der je nach Anlagenkonfiguration variieren kann; vgl. Anhang D></i>
Spalte 7	Minimale Immission in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log_{10} \langle \text{Spalte 6} \rangle$
Spalte 8	Minimale Immission in V/m
Spalte 9	Minimale Immission in Prozent des Grenzwertes: $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 10	Minimale Immission als Leistungsdichte in mW/m ²
Spalte 11	Faktor für die maximale Immission: für GSM bzw. TETRA entspricht dies der bei der BNetzA beantragten und genehmigten Kanalzahl, bei UMTS erfolgt zusätzlich die Hochrechnung der CPICH-Leistung auf die maximale Kanalsendeleistung. Bei LTE wird ein Faktor verwendet, der sich als Quotient aus maximaler Leistung und der Leistung des RS-Signales ergibt. Zusätzlich berücksichtigt dieser Faktor — soweit erforderlich — den Unterschied zwischen der aktuell pro Kanal abgestrahlten Sendeleistung und der bei der BNetzA beantragten Maximalleistung pro Kanal, sowie die Anzahl der Kanäle.
Spalte 12	Maximale Immission in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 12} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log_{10} \langle \text{Spalte 11} \rangle$
Spalte 13	Maximale Immission in V/m
Spalte 14	Maximale Immission in Prozent des Grenzwertes: $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 15	Maximale Immission als Leistungsdichte in mW/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 8 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 32-fache der Werte nach Tabelle 8 nicht überschreiten.

Tab. 8: Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke im Hochfrequenzbereich nach 26. BImSchV.

Frequenz f	Effektivwert, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke E_{eff} in V/m	Magnetische Feldstärke H_{eff} in A/m
100 kHz — 1 MHz	87	$0,73 \cdot (f / \text{MHz})$
1 MHz — 10 MHz	$87 / \sqrt{f/\text{MHz}}$	$0,73 \cdot (f / \text{MHz})$
10 MHz — 400 MHz	28	0,073
400 MHz — 2,0 GHz	$1,375 \cdot \sqrt{f/\text{MHz}}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f/\text{MHz}}$
2,0 GHz — 300 GHz	61	0,16

Elektrische und magnetische Feldstärken sind im Fernfeld einer Antenne über den Wellenwiderstand des Freiraumes, $Z_0 \approx 377 \Omega$, ineinander überföhrbar und beinhalten dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die GröÙe 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 9 fasst die relevanten Grenzwerte der 26. BImSchV für die Abstrahlung der Basisstationen (Downlink) für die Mobilfunksysteme 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.

Tab. 9: 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.

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	10,0
LTE 2600	61,0	10,0

Sofern neben Mobilfunkimmissionen auch Immissionen durch andere Funkdienste (>10 MHz) gemessen wurden, gelten dafür die Grenzwerte nach Tabelle 8.

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:

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

Hierin sind:

E_f : gemessene elektrische Feldstärke bei der Frequenz f ,

$E_{L,f}$: Referenzwert für die elektrische Feldstärke nach Tabelle 8, 9.

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

Tab. 10: Signalbandbreiten und technische Parameter bei LTE (Rel. 8)

	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 <empfohlen>	31 %	19 %	18 %	17 %	17 %	17 %

Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV), Bundesgesetzblatt, Jahrgang 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 Mobilfunktechniken**, 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.