

Messung der Immissionen elektromagnetischer Felder im Umfeld einer TETRA BOS-Sendeanlage

LANUV-Fachbericht 11



**Messung der Immissionen elektromagnetischer Felder
im Umfeld einer TETRA BOS-Sendeanlage**

LANUV-Fachbericht 11

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2009

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon **02361-3050**
Telefax 02361-3053215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Autoren Rainer Kindel, Klaus Schwenger (LANUV NRW)

Titelbild Feldstärkeverteilung

ISSN 1864-3930 LANUV-Fachberichte

Informations-
dienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz unter

- www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im

- Telefonansagedienst (02 01) 1 97 00
- WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschafts-
dienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (02 01) 71 44 88

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung
von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Technische Informationen	6
3. Konzept und Durchführung der Messungen	11
4. Zusammenstellung der Messergebnisse	14
5. Diskussion der Messergebnisse	23
6. Ausblick	25
7. Literaturangaben	26

1. Einleitung

In Deutschland wird derzeit ein digitales zelluläres Funknetz für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) auf der Grundlage des "TETRA"-Standards [Tet] aufgebaut, das die technisch veralteten analogen Funknetze [Bfu] innerhalb der nächsten Jahre schrittweise ablösen und zu einem einheitlichen, gemeinsam nutzbaren Funknetz zusammenführen soll. [Lzp] Damit folgt nun auch dieser Funkdienstbereich dem Trend der Digitalisierung, der in der jüngeren Vergangenheit bereits beim Mobilfunk und beim Fernsehfunk (DVB-T) Einzug gehalten hat. Hierbei werden voraussichtlich mehrere hundert neue Basisstations-Standorte in NRW benötigt; insgesamt bestehen derzeit rund 15.000 anzeigepflichtige Senderstandorte mit mehr als 10 Watt Sendeleistung (EIRP), überwiegend mit Sendeanlagen des öffentlichen Mobilfunks. [Bna]. Nach erfolgtem Ausbau des TETRA BOS-Netzes sollen ca. 170.000 Angehörige der Hilfsdienste und Feuerwehren sowie 40.000 Polizisten in diesem per Funk kommunizieren können. Der "Startschuss" für den Rollout des "TETRA BOS"-Funknetzes in NRW erfolgte im Rahmen einer Pressekonferenz beim Landesamt für Zentrale Polizeiliche Dienste Nordrhein-Westfalen (LZPD NRW) in Duisburg am 29.8.2007, welches mit dem Netzaufbau in NRW mit Unterstützung durch den BLB NRW befasst ist. [Pol]. Die bundesweite Gesamtkoordinierung erfolgt durch die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) in Berlin [Bdb]. Zuvor hatte in den Jahren 2001-2003 im Raum Aachen bereits eine Erprobung im Rahmen eines grenzübergreifenden Pilotprojektes mit Belgien und Niederlande stattgefunden. [Ppa]

TETRA BOS-Basisstationen unterliegen wie andere Sendeanlagen dem Standortbescheinigungsverfahren durch die Bundesnetzagentur nach der BEMFV [Bem] und den Grenzwerten der 26. BImSchV [Sec]. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) hat als zentrale Immissionsmessstelle in NRW gemäß der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) im Auftrag des MUNLV NRW Feldstärke-Messungen im Umfeld einer TETRA-Schulungsanlage (Basisstation) in NRW aus Immissionsschutzsicht durchgeführt, die in diesem Bericht dokumentiert sind.

2. Technische Informationen

TETRA (=Terrestrial Trunked Radio) stellt ein international standardisiertes [Ets] digitales schmalbandiges "Bündelfunk-System" zur Sprach- und Datenübertragung per Funk für geschlossene Benutzergruppen dar [Gab, Bae, Woe]. Es ist als "TETRA BOS" für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) einsetzbar, wo es bereits in verschiedenen europäischen Ländern wie Niederlande, Belgien oder Österreich eingeführt wurde. Somit wird zukünftig technisch auch eine länderübergreifende Funkkommunikation möglich (International Roaming). In anderen Ländern wie Frankreich oder Schweiz wurde demgegenüber das technisch nicht kompatible Digitalfunksystem TETRAPOL eingeführt. Außer als TETRA BOS werden TETRA-Systeme auch bereits in zivilen und privatwirtschaftlichen Nutzungen des Bündelfunks für geschlossene Benutzergruppen bei Stadtwerken, Verkehrsflughäfen, Energieversorgungs-unternehmen, Betrieben der Autoindustrie oder Transportunternehmen auch in Deutschland eingesetzt. [Bna, Bmw] Mit Release 2 ist der TETRA-Standard bereits für neue Leistungsmerkmale weiterentwickelt worden.

TETRA gehört zum "Bündelfunk" [Emf, Buf], welcher eine Weiterentwicklung des Betriebsfunks darstellt. Hierbei werden den einzelnen Diensteteilnehmern die Frequenzen dynamisch statt eines bestimmten Funkkanals fest zugeteilt. So wird ein Bündelungsgewinn erzielt und die Spektrumseffizienz erhöht. Unterschiede zu öffentlichen Mobilfunksystemen wie GSM oder UMTS bestehen u.a. im schnellen Verbindungsaufbau (< 0,5 s), der Möglichkeit von Gruppenrufen, Prioritätsrufen, Alarmierung, der End-zu-End-Verschlüsselung und der Direktkommunikation zwischen Mobilstationen. Mit der Digitaltechnik erhöhen sich zudem die Qualität und Abhörsicherheit der Funksysteme. Außer der Sprachkommunikation wird auch eine Datenkommunikation mit begrenzter Übertragungskapazität von bis zu 28,8 kBit/s, z.B. für den Versand vordefinierter Meldungen, unterstützt. [Bak]

Ähnlich wie der "öffentliche" Mobilfunk stellt TETRA (BOS) ein zelluläres Funksystem mit vielen verteilten Basisstationen dar. [Hae] Die Versorgung der Funkzellen erfolgt über geeignete Senderstandorte. Diese können mit omnidirektionalen (=rundumstrahlenden) **(Stab-)Antennen** oder **Sektorantennen** ausgestattet sein, welche sich in geeigneter Höhe im Bezug zur Umgebung befinden müssen (höheres Gebäudedach, Mast, Turm). Während bei der hier untersuchten Anlage eine omnidirektionale Antenne eingesetzt wird (Abb. 1) ist insbesondere in den Ballungsgebieten wegen der größeren Leistungsfähigkeit eine Versorgung mit Sektorantennen (Abb. 2) ähnlich wie auch beim Mobilfunk zu erwarten.



Abb . 1: Omnidirektionale Senderantenne



Abb. 2: TETRA-Sektorantenne

TETRA-Endgeräte stellen die mobilen Pendants zu den ortsfesten Basisstationen dar und werden als Handfunkgeräte oder Mobilfunkgeräte genutzt. [Ead, Boc] Die TETRA BOS-Basisstationen werden ebenso wie Endgeräte von der Fa. EADS geliefert und entsprechen den Vorgaben des Gesetzes über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (CE-Kennzeichnung).

Die bisherigen analogen BOS-Funknetze arbeiten im 2 m- und 4 m-Band (160 MHz bzw. 80 MHz). Digitale TETRA-Funknetze können grundsätzlich in verschiedenen von ETSI [Ets] vorgegebenen Frequenzbereichen bis ca. 1000 MHz eingesetzt werden. Länderspezifisch sind jedoch nur bestimmte **Frequenzen** freigegeben. In Deutschland wurden für TETRA entsprechend der BOS-Funkrichtlinie [Bo1, Bo2] Frequenzen im Bereich 380-400 MHz zugewiesen: Uplink (vom Endgerät zur Basisstation) 380-385 MHz, Downlink (von der Basisstation zum Endgerät) 390-395 MHz. Zwischen der Trägerfrequenz und der Frequenzkanalnummer besteht der Zusammenhang:

Trägerfrequenz=300 MHz+Kanalnummer x 25 kHz + Offset (-6,25|0|+6,25| +12,5 kHz). [Hae]

In der BOS-Funkrichtlinie sind auch weitere wesentliche Rahmenbedingungen, z.B. hinsichtlich der Berechtigten des BOS-Funks, der Antennen, der Nutzfeldstärken oder des Schutzes von Personen in EMF/STOB-Pflicht festgelegt.

Abgesehen vom Direktmodus unmittelbar zwischen Mobilgeräten wird bei TETRA das **Frequenzduplexverfahren** (FDD) angewandt; die Übertragung von bzw. zum Mobilgerät (Uplink/Downlink) erfolgt jeweils auf zwei verschiedenen Frequenzen, die durch den festen Duplexabstand getrennt sind. Dieser beträgt gemäß TETRA-Spezifikation im hier vorliegenden Frequenzbereich 10 MHz.

Für die **Sendeleistung** von TETRA-Fest-/Basisstationen wurden neun Leistungsklassen von **0,6 W-25 W ERP pro Frequenzkanal festgelegt** [Em1, Gab], nach [Bmw] bis zu **max. 40 W ERP**. Die Gesamtsendeleistung (maximal wirksame Strahlungsleistung) ist für BOS-Funkanlagen nach der BOS-Funkrichtlinie [Bo1] insgesamt begrenzt, für **Feststationen** auf max. 25 dBW (= 316 W), für **Fahrzeugfunkanlagen** auf max. 15 dBW (= 31,6W) und für **Handsprechfunkanlagen** auf max. 8 dBW (= 6,3 W). Für TETRA-Mobilstationen/Endgeräte bestehen drei Leistungsklassen von 1 W, 3 W und 10 W. Die Sendeleistung der Basisstation wird bei TETRA nicht geregelt, so dass diese stets mit voller Leistung sendet, während bei den Mobilgeräten eine Leistungsregelung in sieben Schritten von 5 dB bis hinunter auf minimal ca. 30 mW zur Minimierung von Interferenzen und Maximierung der Akkulebensdauer erfolgt. [Bak] Aufgrund des TDMA-Verfahrens beträgt die mittlere Leistung bei einem belegten Zeitschlitz nur $\frac{1}{4}$ des Maximalwertes. [Bmw]. Die **Reichweite** einer einzelnen Sendestation hängt bei TETRA stark ab von der Umgebung der Antennenanlage (Bebauung, jahreszeitabhängiger Bewuchs, Bodeneigenschaften) und weiteren Einflussfaktoren wie z.B. dem Antennengewinn (**Rundstrahlantenne ca. 2dB_i - max. 10 dB_i**, bei Sektorantenne darüber); sie variiert etwa **zwischen 4 - 5 km in städtischem Gebiet** und ca. **14 km - max. 25 km in ländlichem Gebiet**. Der **minimale Empfangspegel** im TETRA-Netz für einwandfreie Funkversorgung liegt bei **ca. 20-32 dB μ V/m**, d.h. ca. 10-80 μ V/m. [Bo1] Für eine flächendeckende Funkversorgung müssen die Abstände der Basisstationen entsprechend gewählt werden.

Das für TETRA benutzte **Kanalzugriffsverfahren** ist - ähnlich wie beim öffentlichen GSM-Mobilfunk - TDMA (Time Division Multiple Access). Zeitlich betrachtet werden Sprach- oder Dateninformationen in hier vier unabhängigen Kommunikationskanälen innerhalb von 14,167 ms langen aufeinander folgenden Zeitschlitzes übertragen (510 Bit/Slot). Jeder Frequenzkanal verfügt somit über 4 unabhängige Kommunikationskanäle. Innerhalb des ersten Zeitschlitzes wird von der Basisstation ein Kontrollkanal ausgesendet, der die Systemdaten übermittelt und die Synchronisation zwischen Basisstation und Mobilgeräten ermöglicht. Aus der sich wiederholenden Folge der Zeitschlitzes kann eine Pulsung des TETRA-Signals mit einer Pulsfolgefrequenz von 17,65 Hz oder einem Mehrfachen bis zu 70,6 Hz an der Basisstation bzw. am Mobilgerät auftreten. [Bmw, vgl. auch Nrp]

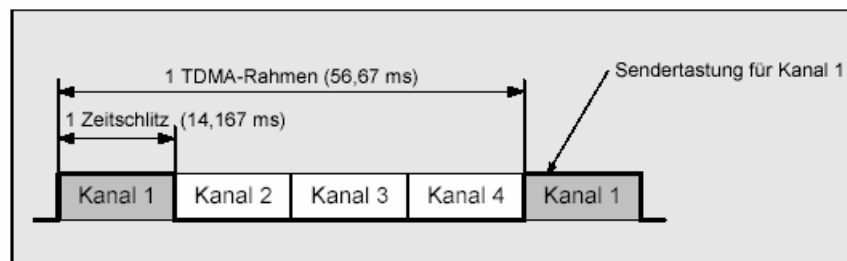


Abb. 3: Das Kanalzugriffsverfahren TDMA von TETRA (Zeitmultiplex) [Bak, Bmw]

Als **Modulationsverfahren** wird bei TETRA BOS $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) angewendet, ein sehr spektrumeffizientes lineares Modulationsverfahren mit höherer Gewichtung der Übertragungskapazität gegenüber der Reichweite. Hierbei werden die zu übertragenden Einzelbits auf die Trägerfrequenz aufmoduliert. Die **Datenübertragungsrate** beträgt bei TETRA 7,2 kBit/s, bei Zeitschlitzbündelung max. 28,8 kBit/s.

In den folgenden Tabellen 1 und 2 werden wesentliche Systemdaten und technische Parameter zu TETRA (BOS) zusammengefasst dargestellt.

Tab. 1: Zusammenstellung von TETRA-Systemdaten im Überblick [Sk1]

Funkanwendung, Benutzer	Frequenzbereich	Modulation / Codierung	Leistung	Senderabdeckung bzw. reichweite	Entfernung zu Personen	Sicherheitsabstand	Stückzahl / Versorgungsgebiet
Mobilfunk / professionelle TETRA; Sender: Firmennetze / besondere Bedarfsträger (z.B. Polizei, Feuerwehren, Flughäfen, ÖPNV, öff. Bündelfunk)	390 - 400 MHz 420 - 430 (380 - 400) 440 - 450 460 - 470 870 - 876 915 - 921	DQPSK	bis 100 W ERP	standortbezogen, ca. 10 km bei BOS bundesweit	körperfern	< 10 m; entspr. Standortbescheinigung	< 20.000 in Europa/ regionale bzw. bundesweite Netze
Mobilfunk / prof. TETRA; Mobilteil, Einzelpersonen beruflich, auch Kfz-Einbaugeräte	380 - 390 MHz 410 - 420 440 - 450 450 - 460 870 - 876 915 - 921	DQPSK bis 200 kbps	Fahrzeug bis 6 W ERP	zukünftig Reichweiten bis 120 - 200 km (Release 2)	körpernah	< 1 m	> 10 000 in Deutschland
			Handheld bis 2,5 W ERP	> 10 km	Körperkontakt	nicht erforderlich	< 5 Mio. in Europa

Tab. 2: Zusammenstellung technischer Parameter von TETRA [Bak, Bae, RuS, Em1, Bmw]

Parameter	Wert
Netzstruktur	Zellular, u.U. Gleichwellenfunk
Frequenzbereiche (Bündelfunk Europa) CEPT Decision ERC/DC (96) 04	380-400 MHz 410-430 MHz, 450-470 MHz 870-876 MHz, 915 MHz - 921 MHz
Kanalraster	25 kHz
Sendeleistung Basisstation, pro Trägerfrequenz (typisch)	25 W ERP
Zahl Träger je Zelle (typisch)	4-5
Zahl Kommunikationskanäle (typisch)	16-20
Sendeleistung Mobilgerät	1 W, 3 W; 10 W (Fahrzeuganlagen)
Empfängerempfindlichkeit statisch (BER=1,2%; 4,8 kBit/s; N=4)	MS: -113 dBm BTS: -115 dBm
Empfängerempfindlichkeit dynamisch (Geräteklasse A; BER=1,2%; 4,8 kBit/s; N=4)	MS: -104 dBm BTS: -106dBm
Betriebsart	Semiduplex, Duplex (FDD)
Max. Teilnehmergewindigkeit	Rural: 200 km/h Suburban: 50 km/h
Kanalzugriffsverfahren	TDMA
Kanalzahl pro Träger	4
Modulation	$\pi/4$ -DQPSK
Kanalbitrate	36 kBit/s
Maximale Datenrate, ungeschützt	28,8 kBit/s
Nettodatenrate	1...4 x 7,2 kBit/s non-protected 1...4 x 4,8 kBit/s low-protected 1...4 x 2,4 kBit/s high-protected
Sprachcodierung	A-CELP (Code-book Excited Linear Predictive Coding); 4,8 kBit/s
Spektrumseffizienz in interferenzbegrenzter Umgebung (viel Verkehr, viele Zellen)	50 kBit/(s*kHz*Zelle)
Spektrumseffizienz in rauschgrenzter Umgebung (eine isolierte Zelle)	384 kBit/(s*kHz*Zelle)
Reichweite (dynamisch; f=400 MHz; P- MS=3W; Antennenhöhe BTS=30m u.a.m.)	Land: ca. 14 km (max. ca 25 km) Stadt: ca. 5 km
ETSI-Standard	TETRA V+D: ETS 300 392 (Voice+Data) TETRA PDO: ETS 300 393 (Packet Data Optimized) TETRA DMO: ETS 300 396 (Direct Mode Operation) Testing: ETS 300 394

3. Konzept und Durchführung der Messungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten an einer in Betrieb befindlichen TETRA BOS-Sendeanlage in NRW Feldstärkemessungen vor Ort durchgeführt werden, um konkrete Messdaten zur Größenordnung und Verteilung der Immissionen zu erhalten. Diese Immissionsmessungen wurden am 26.6.2008 werktags im Umfeld einer Schulungsanlage im Abstand weniger Meter bis hin zu rund 500 Metern durchgeführt.

Die für die Abstrahlung relevante omnidirektionale (=rundumstrahlende) Sendeantenne der Anlage ist an einem Mast auf dem Satteldach eines mehrgeschossigen Gebäudes in 22,75 m Höhe über Grund installiert. Das gesamte Umfeld des Anlagenstandortes war für die Messungen zugänglich; es kann als weitgehend eben angesehen werden. Außer im Umfeld der Anlage auf Bodenniveau konnten auch Messungen auf dem Gebäudespitzboden unterhalb der Antenne durchgeführt werden. Die TETRA-Sendeanlage war zum Zeitpunkt der Messungen in Betrieb, als Schulungsanlage im Wesentlichen aber ohne Verkehrslast.

Für den Standort liegt die gültige Standortbescheinigung der Bundesnetzagentur vor. Weitere evtl. zu berücksichtigende Sender/Funkdienste waren am Standort nicht vorhanden. Der Sicherheitsabstand beträgt in Hauptstrahlrichtung 2,09 m und vertikal 0,95 m; er wurde für die maximal mögliche Sendeleistung am Standort, d.h. unter Berücksichtigung aller verfügbaren Kanäle mit allen Zeitschlitten im Vollastbetrieb, berechnet und berücksichtigt ggf. auch den Schutz von Trägern "aktiver Körperhilfsmittel" (Herzschrittmacher) gemäß § 10 BEMFV. [Bna, Bmw, BEM]. In der weiteren Umgebung waren bei der Bundesnetzagentur analoge BOS-Funkanlagen und GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen registriert; diese hatten aufgrund ihrer Senderleistung und dem Abstand keinen relevanten Einfluss auf die TETRA BOS-Messungen.

Die Feldstärkemessungen wurden mit dem akkubetriebenen portablen Spektrumanalysator Selective Radiation Meter SRM-3000 der Fa. NARDA mit isotroper Standard-Antenne für den Frequenzbereich von 75 MHz bis 3 GHz durchgeführt. Zusätzliche Messungen erfolgten mit dem netzgebundenen Spektrumanalysator Rhode&Schwarz FSP13 mit den Messantennen EFS9218, VUBA.9117 und HL040 der Firmen Schwarzbeck bzw. Rhode&Schwarz sowie dem Breitbandmessgerät NARDA NBM 550. Alle Messgeräte sind herstellerseitig werkskalibriert. Die erweiterte Gesamtmessunsicherheit des SRM-Messsystems (Antenne, Verlängerungskabel, Grundgerät) beträgt beim Einsatz mit der Schwenkmethode nach Herstellerangabe 24,3 %; unter Berücksichtigung der erweiterten Messunsicherheit der Probenahme von 30 % ergibt sich eine Gesamtunsicherheit von 38,6 %. [Kel] Die Angaben in diesem Bericht entsprechen jeweils den Originalmessdaten ohne Berücksichtigung eines Aufschlages für die Messunsicherheit. Bzgl. der Messwerte insbesondere für UMTS ist ggf. noch eine (für die vorliegende Messaufgabe unwesentliche) Bandbreitenkorrektur zu beachten. Der (Sicht-)Abstand zur Antenne wurde, wo möglich, mit einem Entfernungsmessgerät Bushnell elite 1500 meteregenau gemessen.

Erste Messungen wurden an einem Messpunkt vor dem Gebäude mit Sicht zur Antenne durchgeführt, um einen orientierenden Überblick über die Immissionsverhältnisse vor Ort zu erhalten und die Geräteeinstellungen abzustimmen. Hierbei wurden Gesamtspektren im Frequenzbereich von 9 kHz (FSP13) bzw. 75 MHz (SRM-3000) bis 3 GHz sowie ein Messwertzeitverlauf (NBM 550) im Hinblick auf die Erfassung zeitlicher Schwankungen der Immission aufgezeichnet. Die TETRA-Abstrahlung des Senderstandorts wurde bei einer Frequenz von rund 390 MHz mit (nur) einem Frequenzkanal gemessen. Für die Messaufgabe und die Spektrumanalyse war somit primär der Frequenzbereich von 380 - 400 MHz von Interesse und wurde daher für die weiteren Messungen schwerpunktmäßig berücksichtigt. Die Bandbreite am Spektralanalysator (RBW/VBW) wurde hierbei jeweils zu 30 kHz eingestellt. Beim SRM-Spektrumanalysator wurde ebenso wie beim NBM-550 der Auswertemodus "Max" mit Peakdetektor gewählt, der die maximale Feldstärkeerfassung berücksichtigt.

Die Feldimmissionen variieren i.A. sowohl räumlich (je nach genauem Bezugsort) wie auch zeitlich (je nach genauem Messzeitpunkt). Die räumlichen und zeitlichen Feldvariationen können jedoch physikalisch als voneinander unabhängig betrachtet werden. Beim Raumbezug sind der (horizontale) Abstand zur Anlage, die Raumrichtung und die relative Höhe zur Antenne relevant, außerdem die Eigenschaften des Ausbreitungsweges wie direkte Sichtverbindung oder Hindernisse, Dämpfung z.B. durch Bewuchs oder Reflexionen. Zeitliche Pegelschwankungen können Änderungen der Sendeleistung, z.B. durch wechselndes Verkehrsaufkommen, oder durch Einflüsse der momentanen Messumgebung, z.B. das Wetter, als Ursachen haben. [z.B. Kau] Da letztere bei der hier betreffenden Schulungsanlage ohne merkliche Verkehrslast mit eher konstanten Emissionsverhältnissen weniger relevant waren, konnten insbesondere raumbezogene Messungen im Umfeld der Sendeanlage konkrete Messdaten zu der relativen Stärke des Strahlungsfeldes an verschiedenen Messorten liefern.

Insgesamt wurden vor Ort die folgenden Messungen durchgeführt. Die Messorte sind in den Karten der Abb. 4 dokumentiert.

- (1) Messungen auf Bodenniveau zwischen dem Sendergebäude "2" und dem nordöstlichen Nachbargebäude "1" in einem Meter über Grund: Gesamtimmission 9 kHz bzw. 75 MHz - 3 GHz; Vergleich SRM-Messung und FSP-Messung; Entfernungsabhängigkeit der TETRA-Immission (grüne Linie); Messwertzeitverlauf der Gesamtimmission mit NBM; Messung Spektrum bei aktiviertem Handgerät
- (2) Messungen der TETRA-Immission antennennah auf dem Dachboden des Sendergebäudes; Entfernungsabhängigkeit der TETRA-Immission auf dem Dachboden (zweite grüne Linie)
- (3) Messungen der TETRA-Immission an Messpunkten der Umgebung auf Bodenniveau bis ca. 200 Meter Entfernung unter verschiedenen Abständen und Sichtbarkeitsbedingungen (freie Antennensicht, verdeckt durch Baumbewuchs, hinter Gebäude; Messpunkte 1-10); Messungen der TETRA-Immission im Obergeschoss des Nachbargebäudes "1" (Fensterbereich mit Antennensicht; Messpunkt 14); Messungen der TETRA-Immission an Messpunkten 11-13 in weiterer Entfernung bis ca. 500 Meter.



Abb. 4 : Lage der Messpunkte (blau) im Umfeld der TETRA-Sendeanlage (rot)
© LVermA NRW/BR K

Die Messungen erfolgten im Wesentlichen mit der bewährten Schwenkmethode, bei der das Messgerät mit Antenne (SRM) bzw. die abgesetzte Antenne (FSP) an der jeweiligen Bezugsposition im Stehen per Hand geführt wurde. Im Maxholdmodus des Spektrumanalysators wurde die maximale Immission im abgetasteten Raumvolumen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einfallsrichtungen und Polarisierungen über eine Mittelungszeit von jeweils mehreren Minuten erfasst, bis keine weitere Änderung im Signalpegel mehr zu verzeichnen war. Die Messungen spiegeln somit die maximale Feldstärke am Bezugsort während der Messzeit wieder. [Kel, Kau]

Wetterbedingte Einschränkungen der Messungen etwa durch Regen bzw. Niederschlag lagen während der Messungen nicht vor.

4. Zusammenstellung der Messergebnisse

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse der Vor-Ortmessung vom 26.6.2008 dokumentiert.

(1) Abb. 5 zeigt das vor dem Gebäude auf Bodenniveau gemessene TETRA-Signal im zugewiesenen Frequenzbereich. Die Frequenz liegt nach der Messung bei $390,5 \pm 0,05$ MHz. Die gemessene Feldstärke E wird am Messgerät SRM-3000 direkt angezeigt (Einheit mV/m). Das Signal liegt mit einer Stärke von 479 mV/m weit oberhalb der Nachweisgrenze des Messgerätes von ca. 10 mV/m.

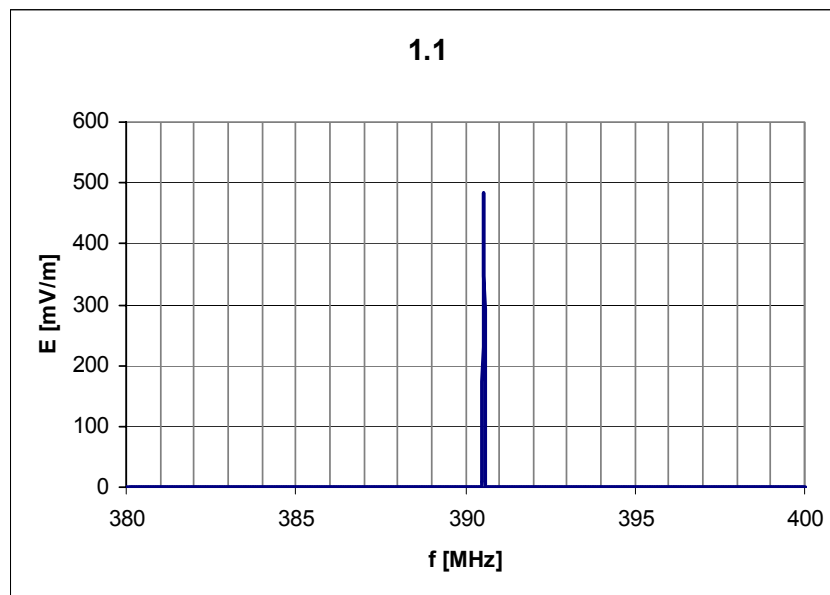


Abb. 5: Nachweis des TETRA-Signals im Frequenzbereich 380-400 MHz

Abb. 6 zeigt die TETRA-Immission in Relation zu den sonstigen an diesem Messort vorhandenen Immissionsanteilen auch außerhalb des TETRA-Frequenzbereichs. Die jeweiligen Peaks entsprechen den relativen Stärken der entsprechenden Funkdienste. Man erkennt, dass aufgrund der Nähe zum TETRA-Sender sowie lagebedingt zwischen den Gebäuden die TETRA-Immission deutlich dominiert und ansonsten hauptsächlich die Immissionsanteile des GSM1800-, GSM900- und UMTS-Mobilfunks vorherrschen. Die zugehörigen relativen Immissionsanteile sind in Abb. 7 tabelliert. Die Dominanz des TETRA-Anteils wird auch durch eine vergleichbare Messung des Gesamtspektrums mit dem Spektrumanalysator FSP13 bestätigt (Abb. 8); der erweiterte Frequenzbereich bis hinunter zu 9 kHz zeigt - in direkter Nähe des Nachbargebäudes - zusätzlich noch einen markanten Immissionsanteil bei 9 kHz in Höhe von mehreren V/m, der auf Störfelder im Gebäudeinnern, etwa durch medizinische Großgeräte, zurückzuführen sein dürfte.

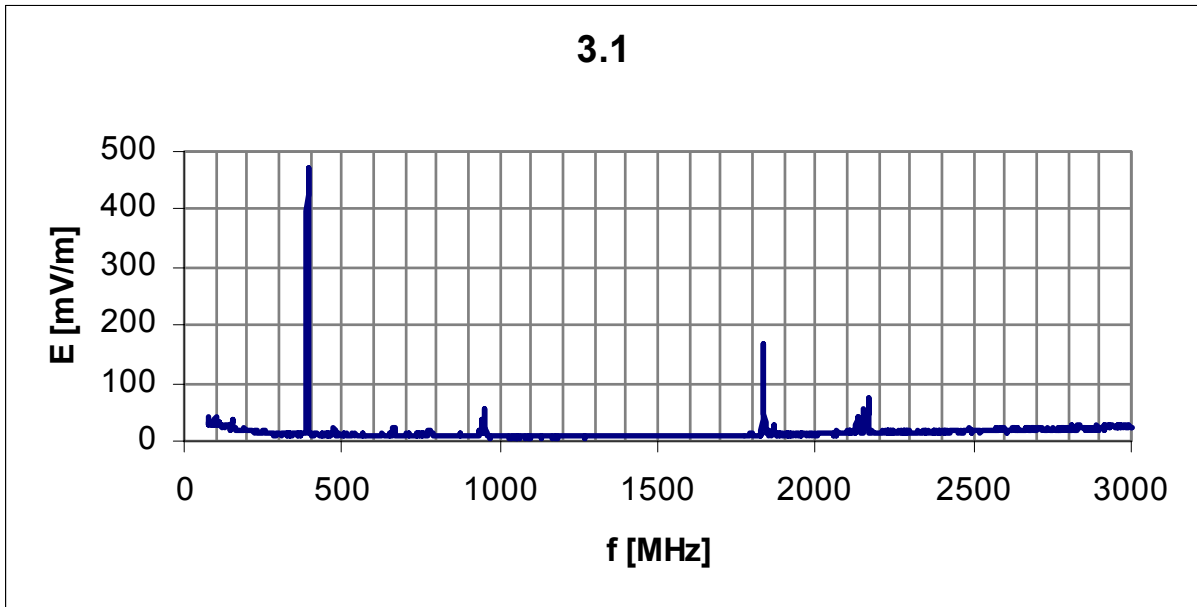


Abb. 6: Gemessenes Gesamtspektrum 75 MHz - 3 GHz

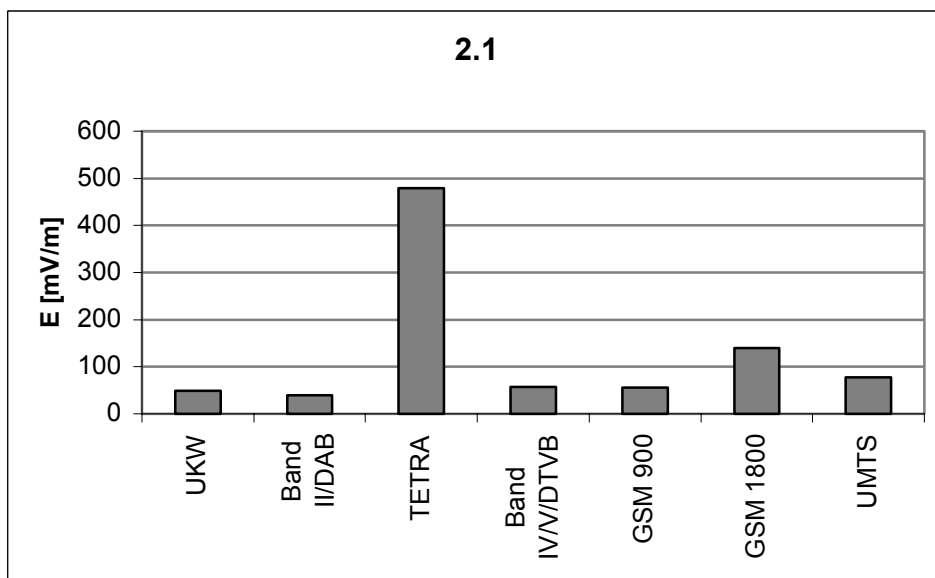


Abb. 7: Relative Stärke der Immissionsanteile auf Bodenniveau bei freier Antennensicht

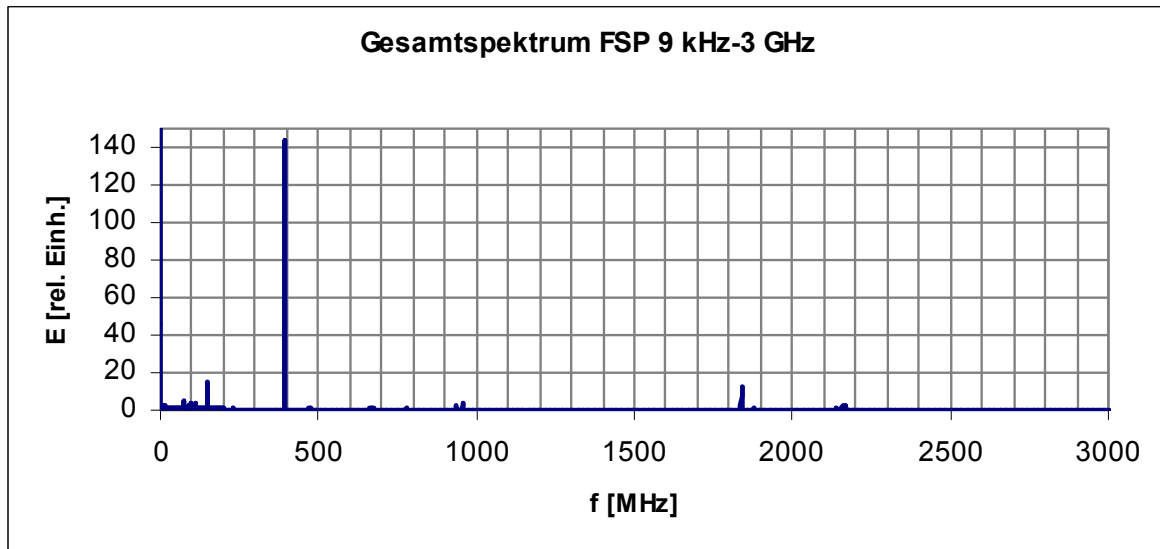


Abb. 8: Gesamtspektrum mit SA FSP13 von 9 kHz - 3 GHz

Mit dem Abstand zur Sendeantenne verändert sich die Feldstärke. Das Abstandsverhalten in Bodennähe wurde durch mehrere Einzelmessungen der TETRA-Feldstärke in Verbindung mit dem gewechselten Sichtabstand zur Antenne (Unterkante) erfasst (grüne Linie in Abb. 4) und ist in Abb. 9 dokumentiert. Die relativ höchsten Feldstärkewerte wurden zwischen den Gebäuden in einem Sichtabstand von ≥ 35 m gemessen. Zum Sendergebäude hin nimmt die Immission mit zunehmender Gebäudeabschattung merklich ab, beim ersten Messpunkt im Diagramm war die Antenne nicht mehr sichtbar. Jenseits des gemessenen Maximums nimmt die Feldstärke ebenfalls, aber in deutlich geringerem Ausmaß wieder ab; wegen des nahen Nachbargebäudes war eine Messung über einen noch größeren Abstand hier nicht sinnvoll möglich.

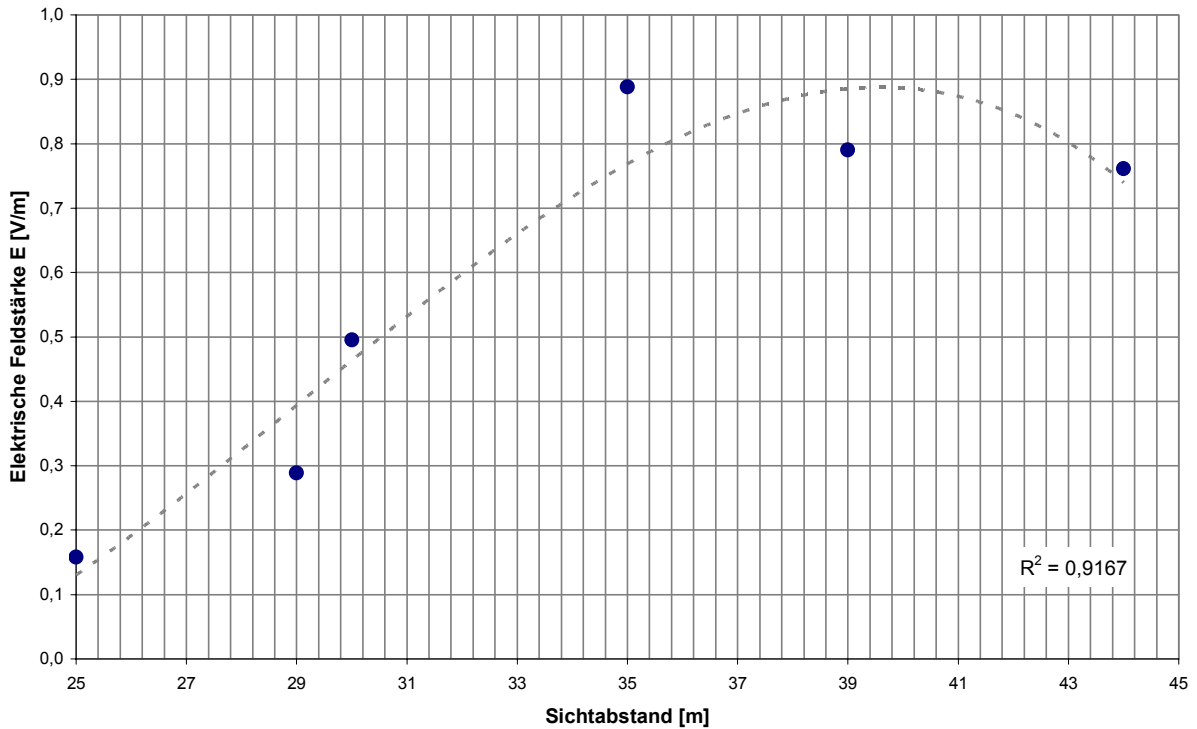


Abb. 9: Gemessene Abhängigkeit der bodennahen TETRA-Feldstärke vom Sichtabstand zur Sendeanenne

Abb. 10 zeigt einen breitbandig gemessenen Messwertzeitverlauf der von der TETRA-Abstrahlung dominierten Gesamtimmission am Messort vor dem Gebäude auf Bodenniveau zur Dokumentation des Zeitverhaltens. Der Feldstärkepegel korrespondiert in der Größe (0,5 V/m) mit den vorigen Messergebnissen und zeigt über zehn Minuten einen recht konstanten zeitlichen Verlauf ohne wesentliche Schwankungen ($\leq +20\%$) oder Spitzen.

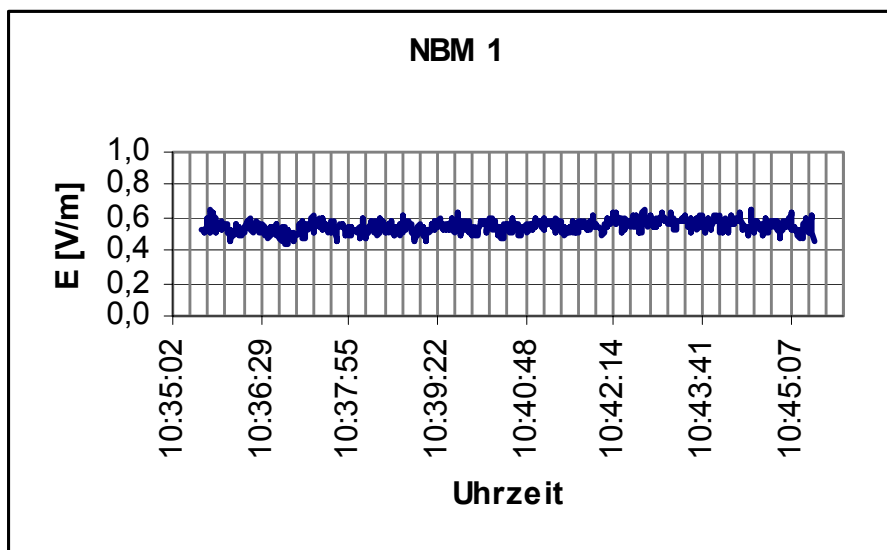


Abb. 10: Messwertzeitverlauf der durch TETRA dominierten Gesamtimmission

Bei Abb. 11 wurde am Messort vor dem Sendergebäude ein TETRA-Handgerät (EADS, 1 W Sendeleistung) aktiviert. Man erkennt neben dem TETRA-Signal der Basisstation bei 390,5 MHz das abgestrahlte Signal des Handgerätes. Die Sendefrequenz des Handgerätes liegt offensichtlich bei 380,5 MHz und somit erwartungsgemäß um die Duplexfrequenz von 10 MHz zu niedrigerer Frequenz hin verschoben. Seine Feldstärke liegt am Immissionsort zeitweise deutlich oberhalb derjenigen der Basisstation, in direkter Körper- bzw. Antennen-nähe wurde ein Maximalwert von ca. 24,5 V/m gemessen, also in ähnlicher Größenordnung wie auch bei Handys des (GSM-)Mobilfunks.

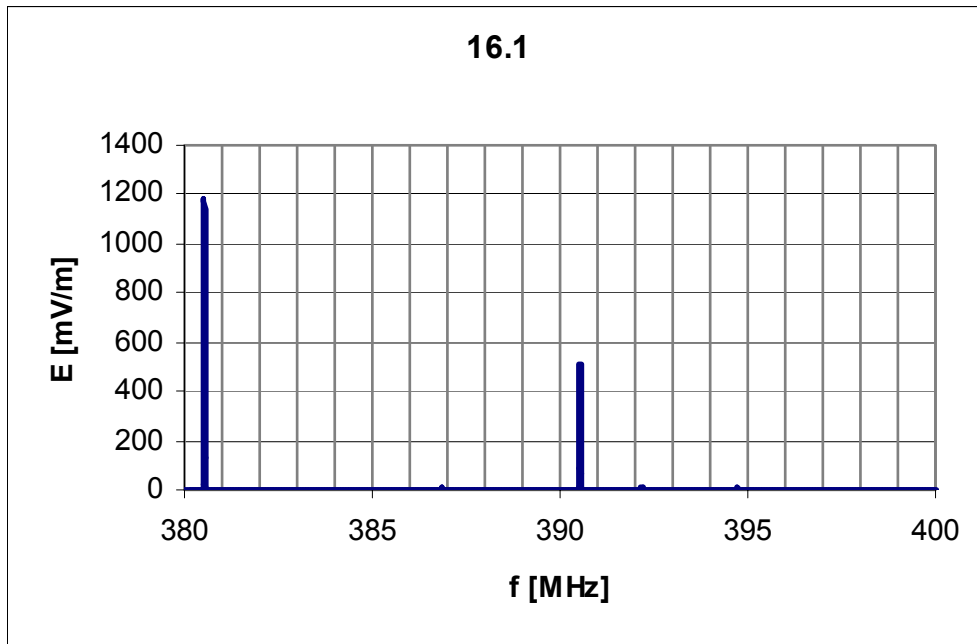


Abb. 11: TETRA-Spektrum mit aktiviertem Handgerät am Messort

(2) Im Folgenden sind die Messergebnisse dargestellt, die antennennah auf dem ausgedehnten Dachboden des Sendergebäudes gewonnen wurden. Durch die Dachluke des Satteldachs war unter Nachaußenhalten des Messgerätes auch eine Messung in Antennennähe ohne die Dämpfung des gedeckten Daches (Dachziegel, Holzbalken) möglich. Erwartungsgemäß traten im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Messungen auf Bodenniveau im Bereich der größeren Antennennähe deutlich höhere Feldstärkepegel auf.

Abb. 12 beinhaltet auf dem Dachboden gemessene Spektren direkt unterhalb des Antennennestes auf dem Dach (Abstand zur Antennenunterkante ca. 3 m) und vor der Dachluke (schräg unterhalb der Antennenunterkante im Abstand ca. 3 m) im TETRA-Frequenzband im Vergleich. Die Feldstärke wurde unterhalb der Antenne mit 5,3 V/m gemessen, durch die Dachluke ergaben sich 10,9 V/m. Man erkennt deutlich den erheblichen Einfluss durch die Winkeldämpfung und die Dämpfung der Dachbebauung auf die Feldstärke.

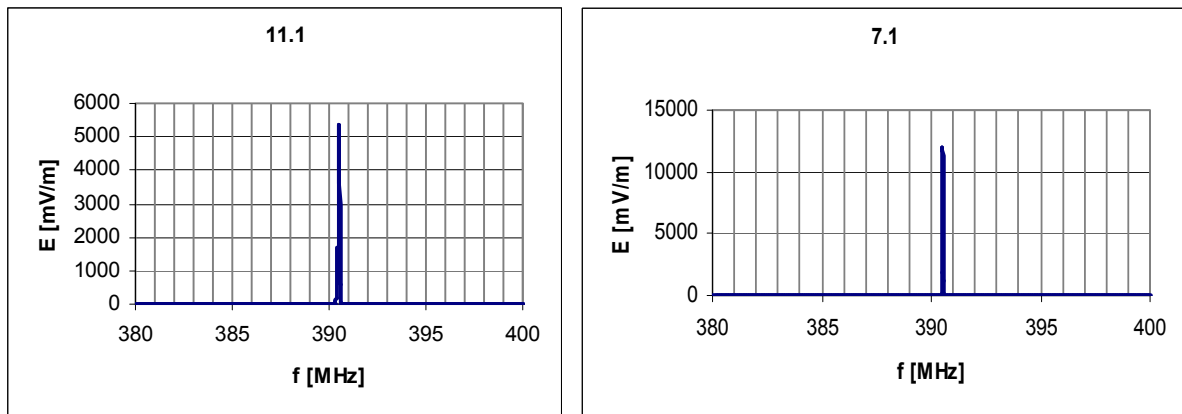


Abb. 12: Messung der TETRA-Immission in Antennenähe
links: auf dem Dachboden, unterhalb des Antennenmastes;
rechts: im Freien durch Dachluke

Abb. 13 zeigt den TETRA-Anteil im Bereich der Dachluke im Vergleich zu den sonstigen Immissionsanteilen. Wegen der direkten Nähe zur Sendeanenne ist dieser offensichtlich besonders stark ausgeprägt. Einzelne Wiederholungsmessungen im Bereich des Dachbodens ergaben eine Reproduzierbarkeit bis auf ca. 10 %.

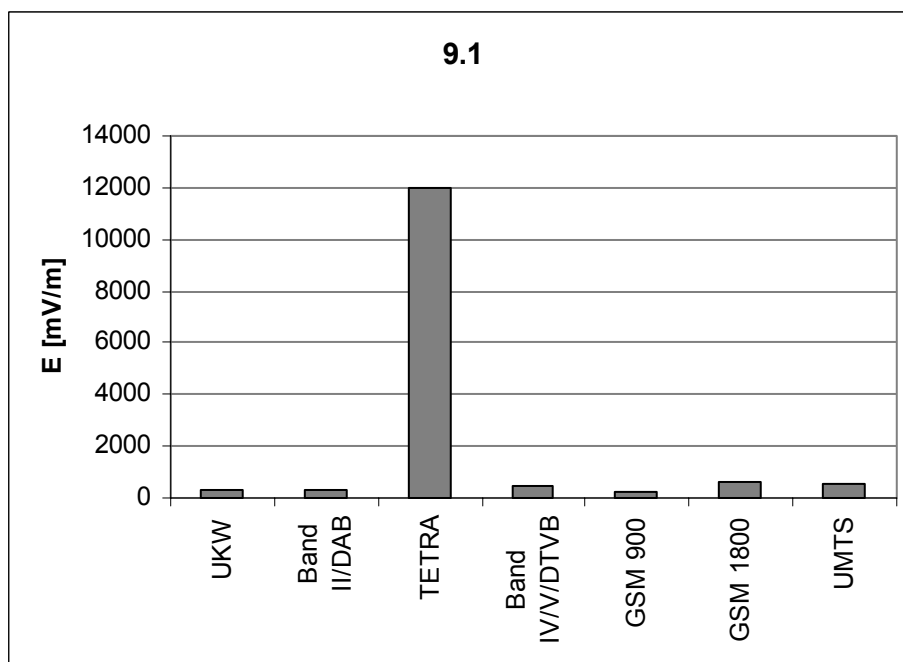


Abb. 13: Relative Stärke der Immissionsanteile in direkter Antennenähe

Auf dem Dachboden mit den vergleichsweise hohen Feldstärkeimmissionen konnte aufgrund dessen relativ großer Ausdehnung und Zugänglichkeit ein engmaschiges Feldstärkeprofil abhängig vom Horizontalabstand über 35 m Länge gemessen werden, vgl. Abb. 14. Die relative Bezugshöhe des Messgerätes zur Antennenunterkante betrug hierbei etwa 2 m.

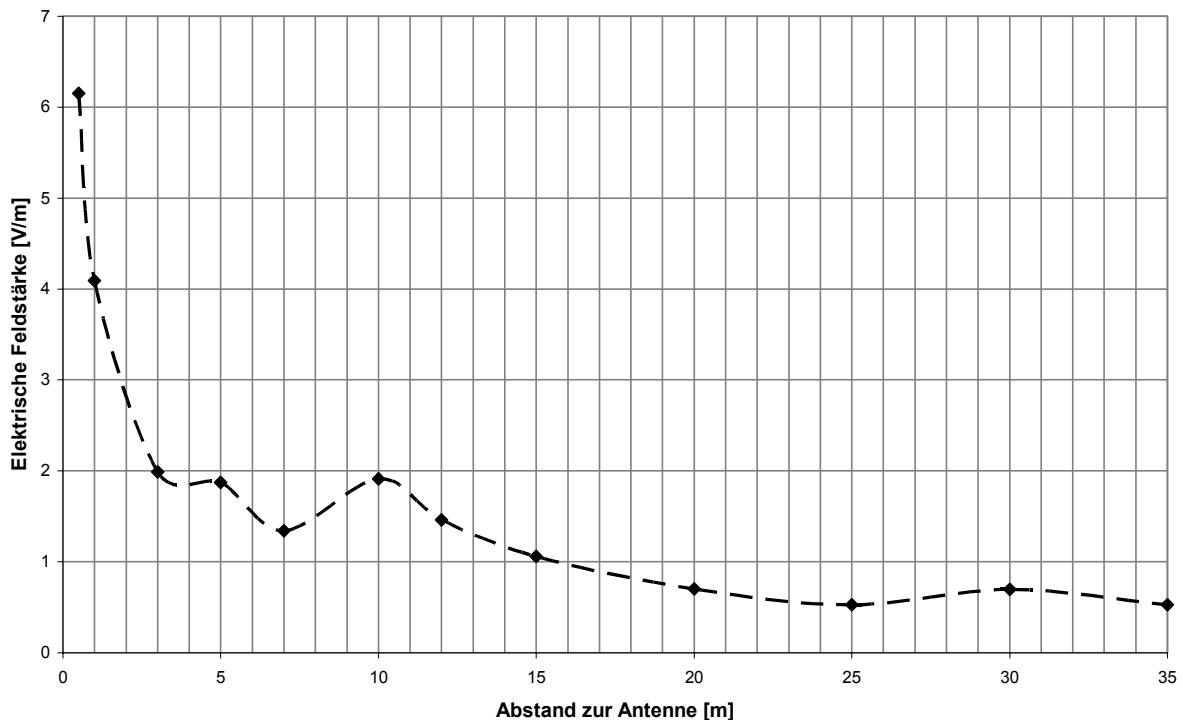


Abb. 14: Gemessene Abhängigkeit der TETRA-Feldstärke vom horizontalen Abstand zur Sendeantenne auf dem Dachboden des Sendergebäudes

Man erkennt die höchsten Feldstärken in der Nähe des Antennenfußes, von wo aus sie mit dem Abstand unregelmäßig und nur noch langsam abnehmen. Die Abnahme ist in den ersten vier Metern besonders ausgeprägt, danach sind Auf- und Ab-Schwankungen im Verlauf zu erkennen. Der Verlauf dürfte der (im Vorfeld nicht konkret vorliegenden) Antennencharakteristik der Sendeantenne im Vertikalprofil folgen, jedoch können auch Einflüsse des Satteldaches und der unregelmäßigen Dachbodeneinbauten (aus Holz) z.B. durch ortsabhängige Reflexionen usw. mit eine Rolle spielen.

(3) Im Folgenden sind die weiteren Messergebnisse von außerhalb des Sendergebäudes dargestellt. **Abb. 15** zeigt das Ergebnis der TETRA-Messung zusammen mit den weiteren Immissionsanteilen aus dem **Obergeschoss des Nachbargebäudes** im Besprechungsraum **215 mit freier Sicht** auf die Antenne (Messpunkt 14 **in Abb. 4**). Der gemessene **Sichtabstand zur Antenne betrug 51 m**. Die TETRA-Feldstärke betrug bei geöffnetem Fenster 1,1 V/m und war somit wegen der Lage des Messpunktes mehr in Hauptstrahlrichtung der Antenne erwartungsgemäß höher als im Bodenbereich (vgl. hintere Messpunkte in Abb. 9). Die Messungen der TETRA-Immission an Messpunkten auf Bodenniveau in der Umgebung der Sendeanlage bis ca. 200 Meter Entfernung unter verschiedenen Abständen und Sichtbarkeitsbedingungen (freie Antennensicht, verdeckt durch Baumbewuchs, hinter Gebäude; Messpunkte 1-10) und an den Messpunkten 11-13 in weiterer Entfernung bis ca. 500 Meter sind in Tab. 3 zusammengestellt.

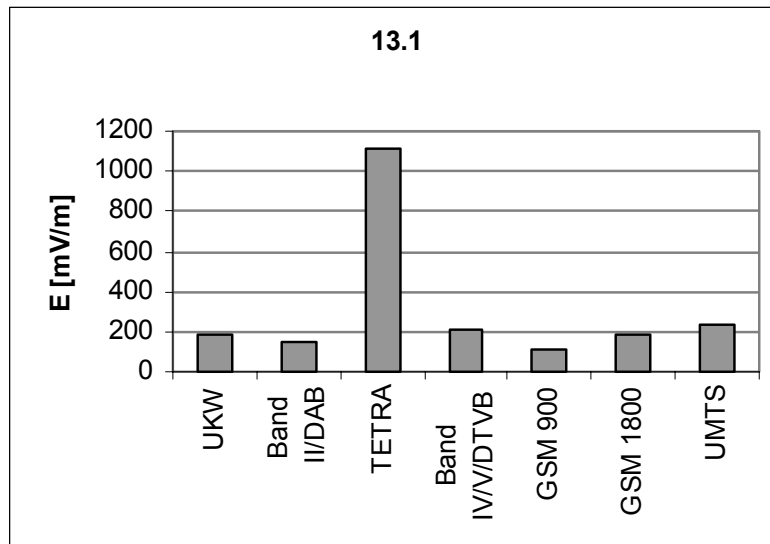


Abb. 15: Relative Stärke der Immissionsanteile im Obergeschoss des Nachbargebäudes

Tab. 3: Gemessene TETRA-Feldstärken an den Messpunkten 1-13 auf Bodenniveau in der Umgebung der Sendeanlage

Nr.	Messort	Sichtverbindung zur Antenne ?	(Sicht-) Abstand [m]	Elektrische Feldstärke [V/m]
1	Eingang Gebäude 1	ja	53	1,240
2	an Laterne neben Gebäude 1	ja / Baumbewuchs	65	0,336
3	vor Eingang Flachdachgebäude	ja / Baumbewuchs	195	0,358
4	vor Werkstattgebäude	ja	164	0,410
5	Höhe Tankstelle	nein	193	0,113
6	vor Tor 16	nein	195	0,050
7	vor Tor 6	ja	190	0,369
8	vor Tor 2	ja	205	0,170
9	Sportplatz, Ecke	ja	145	0,486
10	Weg zwischen Sportplätzen auf Höhe Kantinegebäude	ja	112	0,556
11	Straßenecke	nein	280	0,048
12	Straßenecke	nein	470	0,027
13	Straßenecke	nein	470	0,008

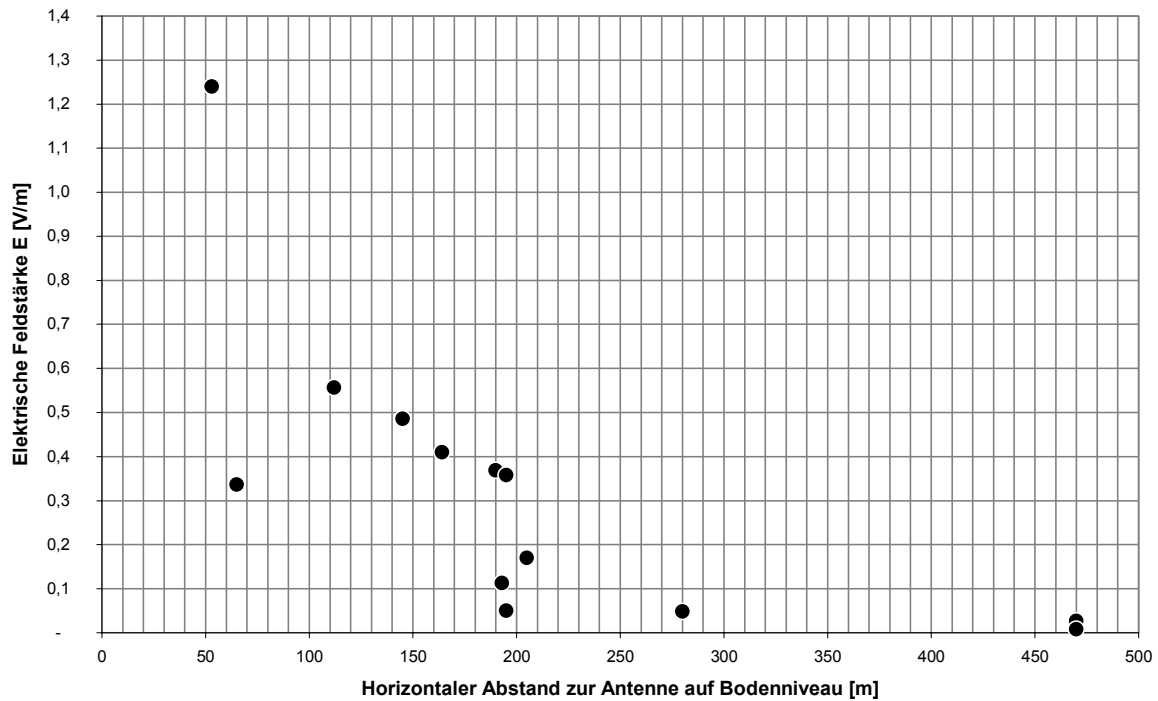


Abb. 16: Gemessene Feldstärke gemäß Tab. 3 in Abhängigkeit vom horizontalen Abstand zur Sendeanlage

In Abb. 16 wurden die Messergebnisse der TETRA-Immission an den Messpunkten 1-13 in der Anlagenumgebung auf Bodenniveau (rein) abstandsabhängig entsprechend Tab. 3 eingetragen. Man erkennt einen Trend bzgl. der mit der Entfernung zur Anlage abnehmenden Feldstärke. Es besteht jedoch kein eindeutiger einfacher Zusammenhang zwischen Abstand und Feldstärke in der realen Umwelt, wie man z.B. sehr gut an den Variationen der Feldstärke um fast eine Größenordnung bei den mehreren Messpunkten in rund 200 m Entfernung sehen kann. Der Einfluss der Sichtbarkeitsbedingungen (freie Antennensicht oder Ausbreitungsstörung durch Gebäude oder Baumwuchs) ist für eine genauere Prognose offensichtlich wesentlich.

5. Diskussion der Messergebnisse

Die durchgeführten Messungen haben konkrete Messdaten der Feldimmissionen im Umfeld einer TETRA BOS-Sendeanlage geliefert. In der vorliegenden Situation lagen zeitlich vergleichsweise konstante Immissionsverhältnisse vor.

An keinem der zugänglichen Messorte wurden die Grenzwerte der 26. BImSchV (korrespondierend mit ICNIRP-Empfehlung und EU-Ratsempfehlung 1999) überschritten, so dass der Personenschutz durchweg sicher gestellt ist. Dies korrespondiert mit dem von der Bundesnetzagentur berechneten Sicherheitsabstand der vorliegenden Standortbescheinigung. Die Grenzwerte betragen bei den vorliegenden Frequenzen 27,5 V/m für die elektrische Feldstärke bzw. 0,073 A/m für die magnetische Feldstärke. Die Spitzenwerte gepulster Felder sind auf das 32-fache dieser Werte begrenzt. Außer im direkten Nahbereich zur Antenne ($3\lambda = 2,40\text{ m}$) kann unter Fernfeldbedingungen aufgrund der physikalischen Feldkoppelung eine direkte Umrechnung der Feldstärken untereinander erfolgen, so dass der Bezug auf die elektrische Feldstärke ausreicht. Die Grenzwerte entsprechen einer Leistungsflussdichte von 2 W/qm.

Relativ hohe Feldstärken in Bezug zu den Grenzwerten der 26. BImSchV wurden in direkter Nähe zur Basisstationsantenne gemessen. Besonders innerhalb von Gebäuden ist aufgrund von Überlagerungen mit reflektierten Feldern von ausgeprägten kleinskaligen unregelmäßigen Feldstärkeschwankungen auszugehen, während sich außerhalb von Gebäuden meist einfachere Reflexionsverhältnisse ergeben, z.B. mit dem Boden als Verursacher einer Hauptreflexion. In 50 m Abstand zur Sendeanlage waren ortsabhängig noch Feldstärken bis über 1 V/m festzustellen, die ansonsten diesen Wert bereits unterschritten. In diesem Entfernungsbereich dominiert die (TETRA-)Sendeanlage aufgrund ihrer räumlichen Nähe die Gesamtimmission. In 500 m betrug die Feldstärke noch bis ca. 30 mV/m. Da die Feldstärken als Spitzenwerte gemessen wurden, sind im Netz lastabhängig etwas geringere Effektivwerte zu erwarten. Für die Abstandsabhängigkeit der Immission im Bodenbereich ist qualitativ ein unregelmäßiger Verlauf vergleichbar wie auch beim Mobilfunk zu erwarten. [Em2] Die Reichweite der Funkversorgung soll für die betreffende Anlage bei etwa 4 km liegen.

Im neu aufzubauenden TETRA BOS-Funknetz können omnidirektionale Antennen wie im vorliegenden Bericht eingesetzt werden; insbesondere in den Ballungsräumen Nordrhein-Westfalens werden jedoch wegen der höheren Leistungsfähigkeit voraussichtlich Sektorantennen (quasi-omnidirektional mit Abdeckung dreier Raumsektoren je 120°) wie im Mobilfunk installiert werden. An den beschriebenen Signaleigenschaften an sich ändert sich hierbei nichts. Die genaue Immissionssituation in der Umgebung hängt jedoch im Detail letztlich stets vom Einzelfall wegen der konkreten Anlagendetails einschließlich der Antennencharakteristik und der jeweiligen Umgebung ab.

Die Immissionsdaten dieses Berichts sind der Sendeleistung der Basisstation von 20 W ERP direkt proportional und können somit für abweichende Leistungen entsprechend umgerechnet werden. Da die künftigen Anlagen im Wirknetz i.d.R. mehrere Frequenzkanäle aufweisen, sind auch entsprechend höhere Maximal-Immissionen zu erwarten. Laut [Bmw] werden in einer typischen TETRA BOS-Funkzelle 4-5 Funkkanäle, entsprechend 16-20 Kommunikationskanälen, installiert [Bmw], im Einzelfall aber auch z.B. 7 Funkkanäle, wodurch sich die Gesamtsendeleistung entsprechend bis höchstens zum Maximalwert gemäß [Bo1] erhöht. Würde die im vorliegenden Bericht betrachtete Anlage z.B. mit 4 Funkkanälen betrieben, würde sich die Leistungsflussdichte an den jeweiligen Immissionsorten ebenso vervierfachen, die elektrische Feldstärke wegen physikalisch quadratischer Abhängigkeit jedoch nur verdoppeln. Der auszuweisende Sicherheitsabstand wäre entsprechend größer. Vorbelastungen durch weitere Sendeanlagen am Standort sind ggf. zusätzlich zu berücksichtigen.

Ein Vergleich der Messergebnisse mit extern veröffentlichten TETRA-Messdaten ist nicht möglich, weil zum Berichtszeitpunkt keine entsprechenden veröffentlichten Daten vorlagen. Eine theoretische Abschätzung der Leistungsflussdichte unter Freiraumausbreitungsbedingung ergibt jedoch für eine Anlage mit 20 W Sendeleistung und einem Antennengewinn von 2 dB_i in Entfernungen von 2 m 0,66 W/qm, dies entspräche unter Annahme von Fernfeldbedingungen einer elektrischen Feldstärke von 16 V/m. Für 30 m ergeben sich $3 \cdot 10^{-3}$ W/qm bzw. 1,1 V/m, für 100 m $3 \cdot 10^{-4}$ W/qm bzw. 0,3 V/m. [Em1] Der Vergleich mit den Messwerten zeigt - unter Berücksichtigung der Winkeldämpfung und fehlender genauerer Detaildaten - eine ausreichende Konsistenz.

6. Ausblick

Der vorliegende Bericht hat neben einer Zusammenstellung von technischen Daten und Literaturinformationen systematische Messdaten zur Befeldungssituation durch den TETRA BOS-Funkdienst geliefert und somit einen Beitrag zur Beurteilung im Hinblick auf den Schutz von Personen vor den abgestrahlten elektromagnetischen Feldern. Die Messungen erfassten die reale Ist-Situation an der betreffenden Sendeanlage und ermöglichten eine Extrapolation der zu erwartenden Immissionen auf leistungsstärkere Anlagen im TETRA BOS-Wirkbetrieb. Das Konzept der Untersuchung lässt bei Bedarf auch zu einem späteren Zeitpunkt ergänzende Untersuchungen bei ggf. weiteren Fragestellungen zu, so an den konkreten Messorten.

Die Übertragungstechnik von TETRA (BOS) ist, wie im Bericht erläutert, ähnlich derjenigen des GSM-Mobilfunks, wobei der Betrieb bei niedrigeren Frequenzen in der Nähe derjenigen des Fernsehrundfunks erfolgt. Da die Immissionen um eine Anlage maßgeblich von der (Gesamt-) Sendeleistung abhängen und diese in ähnlicher Größenordnung wie beim o.g. Mobilfunk liegen, gilt dies als erster Anhalt auch für die Immissionen.

Die Messergebnisse an der betreffenden Sendeanlage haben gezeigt, dass die geltenden Grenzwerte in allgemein zugänglichen Bereichen sicher eingehalten werden. **Im Sinne der Vorsorge sollten bei der Planung wie auch bereits bisher Maßnahmen hinsichtlich der Platzierung der Sendeantennen zur Vermeidung unnötiger Expositionen an Aufenthaltsorten berücksichtigt werden.** Da für neue mehrkanalige Anlagen im Wirkbetrieb wie oben dargelegt höhere Immissionen insbesondere in Anlagennähe auftreten können, empfehlen sich zur Überwachung und Vorsorge im Einzelfall auch Überprüfungen im Anlagenbetrieb. [Sk2]

Nicht primärer Gegenstand dieser Untersuchung, aber exemplarisch mitgemessen wurde die maximale Feldstärke an einem TETRA-Handgerät. Die Exposition ist etwa vergleichbar mit der eines Mobilfunkhandys. Es kann mit hier 1 W Sendeleistung, möglich jedoch bis zu 3 W, über eine etwas höhere Sendeleistung verfügen, wird dafür aber in der Regel nicht unmittelbar am Kopf betrieben. Für NRW ist ausschließlich der Einsatz von Handgeräten mit 1 W Sendeleistung vorgesehen.

7. Literaturangaben

- [Bae] K. Bäumer, FGF-newsletter 4/2004, Forschungsgemeinschaft Funk, www.fgf.de
- [Bak] Faktenblatt TETRA, Bundesamt für Kommunikation (Bakom), Schweiz, 2001, <http://www.ai.ch/dl.php/de/20040719095714/FaktenblattTetra.pdf>
- [Bdb] www.bdbos.bund.de/
- [Bem] Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder vom 20. August 2002 (BGBl. I S. 3366), geändert durch Artikel 3 Abs. 20 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)
- [Bfu] www.wikipedia.de, BOS-Funk
- [Bmw] Der Bündelfunkstandard TETRA, Ausführliche Informationen zu Tetra, Mobilfunkinformation des BMWi, www.bmw.de
- [Bna] www.bundesnetzagentur.de
- [Bo1] Bestimmungen für Frequenzuteilungen zur Nutzung für das Betreiben von Funkanlagen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), BOS-Funkrichtlinie, 1.7.2006
- [Bo2] Bestimmungen für Frequenzuteilungen zur Nutzung für das Betreiben von Funkanlagen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) im Frequenzbereich 380-385 MHz sowie 390-395 MHz, BOS-Funkrichtlinie Digitalfunk, Bek. des BMI v. 15.6.2006 - B I 4 670 001/I
- [Buf] www.wikipedia.de, Bündelfunk
- [Ead] http://www.eads.com/1024/de/businet/defence/dcs/solutions/pmr/products_services/tetra_terminals/tetra_terminals.html
- [Em1] Elektromagnetische Felder in NRW, Bestimmung Anlagenarten, MUNLV NRW (Hrsg.), Düsseldorf 2001
- [Em2] Elektromagnetische Felder in NRW, Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk-Basisstationen, MUNLV NRW (Hrsg.), Düsseldorf 2002
- [Ets] www.etsi.org; ETSI annual report 2006, http://www.etsi.org/Website/document/aboutETSI/Annual_report/ETSI_AR_2007.pdf
- [Gab] G. Gabis, R. Rudersdorfer, Professionelle Funktechnologien, S. 6f, Funkschau 10/2008
- [Hae] A. Häufle u.a., TETRA, Lehrveranstaltung Telematics, FH Koblenz 2005
- [Kau] J. Kausche, Einfluss von Umgebungsbedingungen bei EMVU-Messungen, Neues von Rhode&Schwarz, Heft 180 (2003/IV)
- [Kel] H. Keller, B. Braach, Stehen, gehen oder drehen ?, Funkschau 20/2005
- [Lzp] Die Basisstationen des digitalen Sprech- und Datenfunknetzes der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, Allgemeine Informationen, LZPD NRW/BLB NRW
- [Nrp] Report on Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA), NRPB Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR), 7/2001, Rev. 2007, http://www.hpa.org.uk/webw/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/1195733724571?p=1192454969657
- [Pol] <http://www1.polizei-nrw.de/lzpd/informationen/digitalfunk/>
- [Ppa] <http://www.pilotprojekt-digitalfunk-aachen.de/>, <http://www.bocom.de/Tetra/Technologie/technologie.html>

- [RuS] Wireless Communication Standards, Poster, Rohde&Schwarz 2008
- [Sec] Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966) - 26. BImSchV
- [Sk1] Elektromagnetische Felder neuer Technologien, Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 188. Sitzung der SSK am 2./3. Dezember 2003, <http://www.ssk.de/werke/volltext/2003/ssk0320.pdf>
- [Sk2] Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Strahlenschutzkommission, Verabschiedet auf der 173. Sitzung der SSK am 04.07.2001, <http://www.ssk.de/werke/volltext/2001/ssk0103.pdf>
- [Tet] www.wikipedia.de, TETRA
- [Woe] www.raif-woelfle.de/elektrosmog/index.html, TETRA

Landesamt für Natur, Umwelt
und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de

