

# IP-basierte Fernwirknetze über GSM, UMTS, WLAN, Wimax und Tetra

Ralf Thomas • Martin Zehrfeldt

*Vielschichtige Dienstangebote öffentlicher Funknetzbetreiber und neue IP-basierte Technologien für den Aufbau privater Funknetze ermöglichen nun auch in ländlichen Gebieten die Prozessdatenübertragung auf der Basis des internationalen Standards IEC 60870-5-104. Die Auswahl der Technologie ist abhängig von den technischen Anforderungen und von wirtschaftlichen Überlegungen zu Investitions- und Betriebskosten. Diese Technologieanalyse, basierend auf Erfahrungen aus verschiedenen Projektlösungen, soll den Netzbetreibern eine Entscheidungshilfe für die Systemtechnik sein und Konzepte für den Netzausbau anbieten.*

## Technische Anforderungen an Fernwirkverbindungen

Der Einsatz von Fernwirktechnik zur Steuerung und Überwachung von Infrasturkturernetzen stellt an die Kommunikation zwischen Prozessstation und Netzleitstelle hohe Anforderungen [1]. Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit für diese Applikation oft separate Netzstrukturen auf der Basis von Kupfer- oder Lichtwellenkabel und Richtfunkverbindungen errichtet.

Angesichts der hohen Investitions- und den Folgekosten für die Unterhaltung

und Pflege eines unabhängigen Übertragungsnetzes werden reine Fernwirkübertragungsnetze mehr und mehr durch die Integration moderner IP-basierter Übertragungsdienste über eine einheitliche Netzinfrastruktur substituiert. Dabei können Netze öffentlicher Funknetzbetreiber problemlos in ein einheitliches IT-Konzept integriert und zentral gemanagt werden.

Die Verfügbarkeit neuer Dienstangebote öffentlicher Funknetzbetreiber und neue IP-basierte Technologien für den Aufbau privater Funknetze werfen die

Frage nach deren Eignung für die schmalbandige Fernwirkdatenübertragung mit dem dafür genormten hochsicheren Übertragungsprotokoll nach IEC 60870-5-104 [2, 3] auf. Eine Vielzahl von Diensten für Daten-, Sprach- und Videoinformationen kommunizieren in derartigen Netzen nebeneinander über virtuelle Kanäle mit reservierter Dienstgüte (QoS). Die wichtigsten Voraussetzungen für deren Eignung sind:

- eine hohe Verfügbarkeit der Dienste (QoS) mit nur geringen Dienstunterbrechungen und Verzögerungszeiten (Latenzen),
- die Duplexfähigkeit dieser Funktechnologien, welche das komplexe Protokoll-Handshake für Melde- und Befehlsrichtung bei höchster Datenintegrität ermöglicht und
- ein quasi-determiniertes Zeitverhalten der Übertragungsstrecke, mit geringen Laufzeitunterschieden (Jitter), die eine hinreichend genaue Zeitsynchronisation mit NTP/SNTP ermöglichen, um eine einheitliche Zeitführung der Prozessstationen und die Zeitfolgerichtigkeit der einzelnen Informationen sicherzustellen.



IP-basierte Funknetze mit Datendiensten über das Internet sind hinsichtlich fahrlässiger Handlungen und vorsätzlicher Angriffe besonders gefährdet. Zur Sicherstellung eines effektiven Schutzes der Datenverbindung sind Verfahren zur Authentifizierung und Verschlüsselung von Daten notwendig. Die typischen Schutzmechanismen Firewall, IP-VPN-Tunnel und VPN-Dienste müssen von den Dienstangeboten unterstützt werden [4]. Die typischen Anforderungen an die Leistungsmerkmale sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

### Vielschichtige Systemangebote

Neben den öffentlichen Netzen wie GSM und UMTS, bieten regionale oder private Netze auf Basis von Tetra, WLAN, oder Wimax unterschiedlichste Lösungen für eine IP-basierte Fernwirkdatenübertragung an. Diese Systeme unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer technischen Leistungsmerkmale, wie Datenrate, Latenz, Jitter, Paketverluste und Bitfehlerrate als auch bezüglich der Investitionskosten und Tarife. Im Folgenden sollen die verschiedenen Systemangebote in Bezug auf ihre Eignung zur Überwachung und Steuerung von Infrastrukturnetzen untersucht werden. Folgende IP-Anwendungen stehen dabei im Fokus:

- die Übertragung von Prozessdaten nach IEC 60870-5-104 [2, 3],
- die Übertragung von Nutzinformatio- nen (Dateien, Video und Sprache),

- Schutzapplikationen gegen Angriffe auf das Prozessnetz und
- die Zeitsynchronisation der Prozessstationen.

### Fernwirken über GSM (CSD, HSCSD, GPRS)

Das GSM-Netz ist das am besten ausgebaute Infrastrukturnetz weltweit. Es werden nahezu flächendeckende Datendienste mit Zeit- und Volumentarifen angeboten. Für die Fernwirkdatenübertragung ist die Nutzung dieses Netzes als Haupt- oder Ersatzweg weit verbreitet, jedoch grenzt die geringe Bandbreite Videoanwendungen weitgehend aus.

Bei den klassischen GSM-Datendiensten CSD und HSCSD wird eine schmalbandige Punkt-zu-Punktverbindung (9,6 kbit/s bzw. 43,2 kbit/s) mit zugesicherter Dienstgüte zu einer festen Gegenstelle aufgebaut. Die Abrechnung erfolgt nach Verbindungszeit, daher werden diese Dienste nicht dauerhaft in Anspruch genommen. Typische Anwendungen sind die Anbindung von Datenloggern und Störmeldesystemen oder die Nutzung als Ersatzweg für größere Prozessstationen.

Die IP-basierten GSM-Datendienste über das Internet wie GPRS [7] und GPRS Edge bieten höhere Datenraten (bis ca. 171 kbit/s) und eine variable Ankopplung

Leistungsmerkmal	Typische Anforderung für eine Fernwirkverbindung nach IEC 60870-5-101/-104 [2, 3, 5, 6]
Bandbreite	2 kbit/s ... 100 kbit/s
Übertragungsverfahren	Vollduplex oder Halbduplex mit Umschaltzeit < 0,1 s
Dienstverfügbarkeit	> 95 % (pro Stunde)
Dienstunterbrechung	< 10 s
Laufzeit (Latenz)	< 1 s
Laufzeitunterschiede (Jitter)	< 0,2 s
Bitfehlerrate	< 0,0001
Paketverlustrate	< 0,001
Zeitführungsgenauigkeit mit NTP	< 0,001 s

**Tabelle 1.** Anforderungen an die Leistungsmerkmale einer Fernwirkverbindung

Dr.-Ing. Ralf Thomas (45), VDE, hat Elektrotechnik in der Fachrichtung Nachrichtentechnik an der HFV Dresden studiert. Er ist Abteilungsleiter bei der IDS GmbH in Ettlingen und dort zuständig für die Qualitätssicherung. E-Mail: ralf.thomas@ids.de



Dipl.-Ing. Martin Zehrfeldt (39), hat Elektrotechnik in der Fachrichtung Automatisierungssysteme an der FH Hamburg und Nachrichtentechnik an der TH Hamburg-Harburg studiert. Er ist Application Manager bei der IDS GmbH in Ettlingen. E-Mail: martin.zehrfeldt@ids.de



an mehrere Gegenstellen. Nachteilig ist, dass die Dienstleister keine dauerhafte Dienstgüte garantieren können, da die Datendienste nachrangig zu den Sprachdiensten behandelt werden.

Die Erreichbarkeit einer GPRS-Fernwirkstation wird mittels einer VPN-Verbindung über IPsec-, PPTP- oder L2TP-Protokoll über das Internet hergestellt. Viele Funknetzbetreiber bieten mittlerweile günstige Zusatzdienste an, mit denen eine GPRS-Fernwirkstation als gesicherter Zugangspunkt (VPN-Server) im Internet zu erreichen ist. Eine GPRS-Verbindung stellt eine Quasi-Standleitung

zur Verfügung. Die gelegentlichen Dienstunterbrechungen können durch die Kurz- und Langzeitarchivmechanismen der Fernwirknorm IEC 60870-5-104 [2, 3] sehr gut kompensiert werden.

### Fernwirken über UMTS

Das Verhalten des in Zellstrukturen aufgebauten UMTS-Netzes ähnelt für Datendienste dem einer GPRS-Verbindung, bietet aber regional höhere Datenraten (in der Praxis bis 384 kbit/s). Auch hier wird eine Verbindung für die Prozessdatenübertragung über das Internet mittels ei-

nes gesicherten VPN-Tunnels hergestellt. Allerdings beschränkt sich die territoriale Abdeckung des Netzes auf Ballungsgebiete und entlang wichtiger Verkehrswege. Mit zunehmender Netzabdeckung und sinkenden Tarifen dürfte dieses Netz für die Fernwirkdatenübertragung interessanter werden.

### Fernwirken über Richtfunk (WLAN, Wimax)

In den kommenden Jahren werden Richtfunklösungen für die Internetanbindung von schwer zugänglichen Standor-

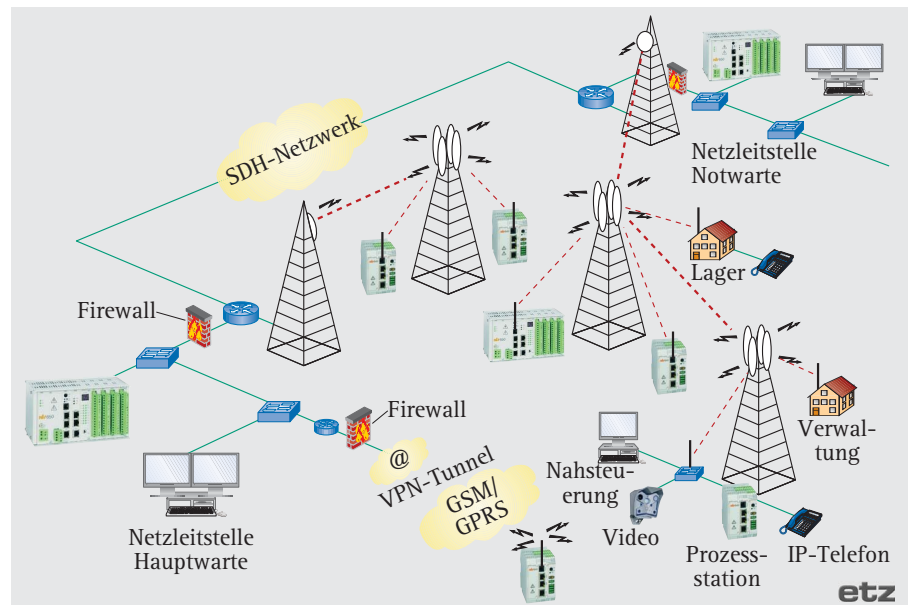


Bild 1. Typische Struktur von WLAN- und Wimax-Netzen



ten mit WLAN nach IEEE 802.11 [8, 9] und Wimax nach IEEE 802.16 [10, 11] an Bedeutung gewinnen. Die Vorteile dieser Systeme, wie hohe Datenraten (> 1 Mbit/s) auf permanenten Verbindungen und geringe Latenzen, lassen deren Nutzung für die Prozessüberwachung und -steuerung im breiten Stil erwarten.

Die WLAN- und Wimax-Standards eignen sich hervorragend für den Aufbau einer eigenen zentralisierten Netzinfrastruktur als Ersatz für Standleitungen. Die Netztopologie entspricht einer sternförmigen Punkt-zu-Multipunktstruktur. Von der Kleinstanwendung, der Kopplung zweier Fernwirkstationen, bis hin zur Standortvernetzung über eine 50 km lange Richtfunkstrecke sind hier zahlreiche Systeme am Markt erhältlich. Zudem stehen lizenzfreie Bänder zur Verfügung, deren Nutzung dem Betreiber keine laufenden Kosten verursacht. Wesentlicher Nachteil dieser Bänder sind zu erwartende Frequenzstörungen durch andere Funkssysteme in den lizenzfreien Bereichen. Bereits heute können Versorgungsbetriebe eigene Systeme errichten, deren typische Struktur in Bild 1 dargestellt ist.

In den nächsten Jahren werden landesweit kommerzielle und regionale Wimax-Netze aufgebaut, mit dem Ziel in ländlichen Regionen schnelle Internetzugangspunkte zur Verfügung zu stellen. Über eine gesicherte VPN-Verbindung können diese Internetzugangspunkte (Hotspots) für die Anbindung einer Fernwirkstation oder Netzleitstelle genutzt

werden. Als einen der wesentlichen Vorteile von Wimax kann die Sicherstellung der Dienstgüte gesehen werden, die von sicherheitsrelevanten Fernwirklösungen gefordert werden. Inwieweit durch die Wimax-Diensteanbieter zukünftig definierte Dienstgüte, VPN und günstige Flatrates für Fernwirkanwendungen angeboten werden, bleibt aber noch abzuwarten.

### Fernwirken über Tetra

Das im Wesentlichen von Behörden und Netzbetreibern genutzte zellulare Netz „Tetra“ (Terrestrial Trunked Radio) ist ebenfalls gut für die Fernwirkdatenübertragung nach IEC 60870-5-104 [2, 3]

geeignet. Bei kundenseitig vorhandener Netzinfrastruktur bietet Tetra als Betriebsfunk eine integrierte und bandbreiteneffiziente Nutzung von Sprach- und Datendiensten. Die Datenkommunikation wird hier vorrangig als transparenter Datenstrom zwischen zwei Teilnehmern genutzt. In Tetra-Netzen sind drei Datendienste definiert [12]:

- SDS (Short Data Service), ein SMS-ähnlicher Dienst, eingebettet in den Sprachkanal und nur geeignet zur Übertragung von Störmeldungen,
- PDA (Packet Data Application), die Übertragung von IP-Paketen in einem separaten Tetra-Kanal mit garantierter

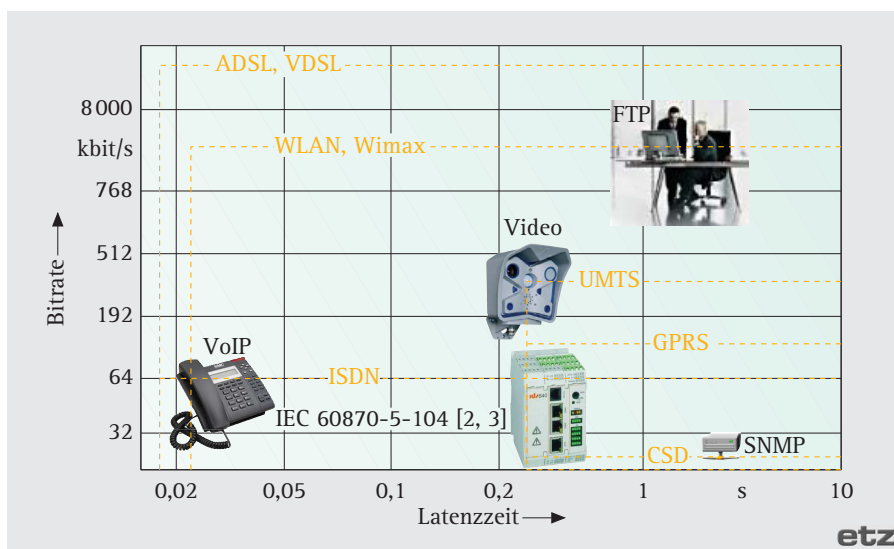


Bild 2. Vergleich der Dienstgüte (QoS) unterschiedlicher Übertragungsdienste

- Verfügbarkeit und Bandbreite (7,2 kbit/s) und
- MDA (Multislot Packet Data Application), die gebündelte Übertragung in

vier Tetra-Kanälen mit garantierter Verfügbarkeit und Bandbreite (max. 28,8 kbit/s).  
Mit den Datendiensten PDA und MDA

eignet sich das Tetra-Netz für die Fernwirkdatenübertragung. Die geringe Datenrate ist bei Verwendung der genormten und hinsichtlich Datenvolumen opti-

Netz Dienst	Mobilfunk					Richtfunk	
	CSD	GSM HSCSD	GPRS/Edge	UMTS	Tetra PDA/MDA	WLAN	Wimax
Bedeutung	Circuit Switched Data	High Speed Circuit Switched Data	General Packet Radio Service	Universal Mobile Telecommunication System	Terrestrial Trunked Radio	Wireless Local Area Network	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Kanalbündelung	–	max. 8	max. 8	<i>n</i>	– / max. 4	–	–
Übertragungsverfahren	leitungsvermittelnd	leitungsvermittelnd	paketvermittelnd	paketvermittelnd	paketvermittelnd	paketvermittelnd	paketvermittelnd
Abrechnung	Zeit	Zeit	Volumen	Volumen	Volumen	Zeit, Flatrate, Volumen	Flatrate, Volumen
Datenrate/ Kanal	9,6 kbit/s oder 14,4 kbit/s	14,4 kbit/s	21,4 kbit/s, 48 kbit/s	16 kbit/s	7,2 kbit/s	–	–
Maximale Datenrate	14,4 kbit/s	115,2 kbit/s	171,2 kbit/s, 384 kbit/s	2 Mbit/s	7,2 kbit/s, 28,8 kbit/s	1 Mbit/s ... 54 Mbit/s	134 Mbit/s
Effektive Datenrate	9,6 kbit/s	43,2 kbit/s down, 28,8 kbit/s up	53,6 kbit/s down, 13,4 kbit/s up	16 kbit/s ... 384 kbit/s	7,2 kbit/s, 28,8 kbit/s	6 Mbit/s down, 0,5 Mbit/s up	6 Mbit/s down, 0,5 Mbit/s up
Typische Tarife	0,30 €/min	0,60 €/min	20 € für 30 MByte/m 42 € für 5 GByte/m	69,60 € für 150 MByte/m	k. A.	40 €/m ... 100 €/m	40 €/m ... 100 €/m
Bemerkung	für Fernwirk- anwendungen im Wähldienst stark verbreitet	für Fernwirk- anwendungen uninteressant	fast flächen- deckend ver- fügbar	nicht flächen- deckend ver- fügbar	nur bei kunden- eigener Infra- struktur interes- sant	nur regional be- grenzt verfügbar oder eigene In- frastruktur	nicht flächen- deckend ver- fügbar

**Tabelle 2.** Vergleich von Funkdatendiensten



## Abkürzungen

ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
CSD	Circuit Switched Data
Edge	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FTP	File Transfer Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IP	Internet Protocol
IPsec	Internet Protocol Security
ISDN	Integrated Services Digital Network
L2TP	Layer 2 Tunneling Protocol
MDA	Multislot Packet Data Application
NTP	Network Time Protocol
PDA	Packet Data Application
PPTP	Point-to-Point Tunneling Protocol
QoS	Quality of Service
SDH	Synchrone Digitale Hierarchie
SDS	Short Data Service
SMS	Short Message Service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNTP	Simple Network Time Protocol
Tetra	Terrestrial Trunked Radio
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very high Data Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

mierten Fernwirkprotokollen nach IEC 60870-5-104 kein wirklicher Nachteil. Allerdings wird man auf breitbandige Anwendungen, wie Netzleitstellenkopplungen oder Videoüberwachung verzichten müssen.

### Vergleich der Systeme für Fernwirkapplikationen

Ob eine IP-basierte Applikation überhaupt über einen Kommunikationsdienst genutzt werden kann, hängt maßgeblich von der jeweiligen Dienstgüte ab. Bei paketorientierten Übertragungsdiensten wird die Dienstgüte im Wesentlichen durch die Parameter Bitrate, Latenz, Jitter und die Bitfehlerrate bestimmt und unter dem Oberbegriff Quality of Service (QoS) beschrieben. Neben der Bitrate sind besonders die Latenzen, also die Zeit bis zu der ein neues Paket übermittelt werden kann, für die Applikation wesentlich. Bild 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Der Datendienst nach IEC 60870-5-104

[2, 3] benötigt nur geringe Bandbreiten und kommt mit GSM-typischen Latenzen von über 200 ms bestens zurecht. Bei dieser Fernwirkapplikation stehen vorrangig der gesicherte Datendurchsatz und die schnelle Verarbeitung von spontanen Kurzinformationen im Vordergrund. Hierzu bietet diese Fernwirkkommunikationsnorm spezielle Mechanismen zur Flusssteuerung und Priorisierung der Daten.

Ein Sprachdienst wie Voice over IP (VoIP) hingegen benötigt je nach verwendeten Codec eine sehr gute Latenz von unter 30 ms. Für die Sprachdatenkommunikation müssen die Pakete als kontinuierlicher Datenstrom mit vertretbaren Verzögerungszeiten ausgetauscht werden können. Eine Bürovernetzung hingegen benötigt vorrangig nur hohe Bitraten. Da hier große Datenpakete verwendet werden, wirken sich große Latenzen hier nicht negativ aus.

Wenn man die GSM-Kommunikationsdienste (CSD, HSCSD und GPRS), UMTS, WLAN, Wimax und Tetra miteinander vergleicht, sind neben den technischen Unterschieden auch die Netzabdeckung, Verfügbarkeit und Tarifstrukturen zu betrachten (Tabelle 2).

Das gut ausgebaute GSM-Netz ist im Vergleich zum UMTS-Netz zurzeit nahezu flächendeckend in Europa ausgebaut. GPRS als IP-basierten Kommunikationsdienst steht annähernd überall innerhalb des GSM-Netzes zur Verfügung und wird kontinuierlich durch den schnelleren Dienst GPRS Edge ergänzt. WLAN und Wimax lassen sich sowohl als Internetzugangspunkte als auch für den Aufbau eigener Infrastruktur als unternehmensinterne WAN-Lösung zur Fernwirkdatenübertragung nutzen. Die aus der Internetwelt bekannten nicht prognostizierbaren Latenzen und Jitter bei Verwendung von GPRS, UMTS, WLAN und Wimax müssen jedoch an den Anforderungen für die Prozessdatenübertragung gemessen werden.

Netzbetreiber, die eine eigene Tetra-Infrastruktur aufbauen, erhalten ein integriertes und abhörsicheres System für die Sprach- und Datenübertragung. Bei niedrigen Anforderungen an die Datenrate eignet sich dieses Netz auch für die IP-basierte Fernwirkdatenübertragung.

### Ausblick

Für die Fernwirkübertragung haben sich zukünftig vorrangig skalierbare IP-basierte Normen, wie die IEC 60870-5-104 [2, 3] durchgesetzt. Mit dieser kann sich der Anwender variabel auf die unterschiedliche Dienstgüte und die vertraglichen Rahmenbedingungen einstellen.

Wegen der Vielzahl von Systemangeboten sollten jedoch zur Auswahl des geeigneten Systems zuerst die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen des Nutzers detailliert beschrieben und dann an den Eigenschaften des Systems gespiegelt werden.

### Literatur

- [1] Thomas, R.; Schweitzer, D.: Fernwirktechnik: Das Gateway zwischen Automatisierungs-, Schutz- und Leittechnik. S. 489-496 in ETG-Fachbericht 108. Internationaler ETG-Kongress vom 23.10.-24.10.2007 in Karlsruhe (Baden). Berlin - Offenbach: VDE VERLAG (ISBN 978-3-8007-3064-3)
- [2] IEC 60870-5-104:2000-12 Telecontrol equipment and systems - Part 5-104: Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (ISBN 2-8318-5576-4)
- [3] DIN EN 60870-5-104:2002-01 Fernwirkeinrichtungen und -systeme - Teil 5-104: Übertragungsprotokolle - Zugriff für IEC 60870-5-101 auf Netze mit genormten Transportprofilen. Berlin: Beuth
- [4] Thomas, R.; Gerber, C.: IEC 61850, IP-Gateways und Safety in leitetchnischen Netzen. etz Elektrotech. + Autom. 128 (2007) H. 1, S. 18-21 (ISSN 0948-7387)
- [5] IEC 60870-5-101:2003-02 Telecontrol equipment and systems - Part 5: Transmission protocols - Section 101: Companion standard for basic telecontrol tasks. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (ISBN 2-8318-6836-X)
- [6] DIN EN 60870-5-101:2003-12 Fernwirkeinrichtungen und -systeme - Teil 5-101: Übertragungsprotokolle - Anwendungsbezogene Norm für grundlegende Fernwirkaufgaben. Berlin: Beuth
- [7] Seiler, A.: Einbindung von Unterstationen in den Netzbetrieb über GPRS. S. 57-62 in ETG-Fachbericht 108. Internationaler ETG-Kongress vom 23.10.-24.10.2007 in Karlsruhe (Baden). Berlin - Offenbach: VDE VERLAG (ISBN 978-3-8007-3064-3)
- [8] IEEE 802.11-2007 15.4-2006 Standard for LAN/MAN - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) Specifications (ISBN 978-0-7381-5656-9). Zu beziehen über IEEE Customer Service, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA (www.standards.ieee.org)
- [9] Gast, M. S.: IEEE 802.11 Wireless networks: The definitive guide. Sebastopol, Kalifornien/USA, u. a.: O'Reilly, 2002 (ISBN 978-0-596-0183-4)
- [10] IEEE 802.16-2004 8 Standard for local and metropolitan area networks - Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems (ISBN 978-0-7381-4069-8). Zu beziehen über IEEE Customer Service, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA (www.standards.ieee.org)
- [11] Andrews, J.; Ghosh, A.; Muhamed, R.: Fundamentals of WiMAX. Upper Saddle River, New York/USA, u. a.: Prentice Hall, 2007 (ISBN 978-0-1322-2552-6)
- [12] Stavroulakis, P.: Terrestrial Trunked Radio - TETRA. Berlin, u. a.: Springer, 2007 (ISBN 978-3-5407-1190-2)