

Stört LTE 800 das 868-MHz-Band?

Die Nähe der LTE-800-Sendefrequenzen zu den mit sehr viel geringeren Sendefeldstärken operierenden Geräten im SRD-Frequenzband (Short Range Devices) bei 868 MHz kann zum Problem für die Kleinleistungs-Funksysteme werden. Hier die Gründe, Randbedingungen und die Intensität der Einstrahlung von LTE in das 868-MHz-SRD-Band und das damit entstehende Störpotenzial für bereits bestehende Anwendungen.

Von Prof. Dr. Christian Pätz und André Volkmar



Aufgrund der Überlastung des 2,4-GHz-Frequenzbandes durch Wireless LAN, Bluetooth und andere Funkssysteme wird für Kurzstreckenfunk zur Steuerung und Messwert erfassung gern das sogenannte SRD- (Short Range Device) Frequenzband im Bereich zwischen 863 und 870 MHz genutzt. Dieses SRD-Frequenzband ist lizenzfrei nutzbar, aber aufgrund entsprechender Empfehlungen der CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications) und der Normierung des ETSI (European Telecommunications Standards Institute) reguliert. Es ist in

mehrere Teilbereiche unterteilt, die speziellen Anwendungen vorbehalten sind:

- drahtlose Mikrofone: 863–865 MHz
- RFID: 865–868 MHz
- Allgemeine digitale Steuerung und Messung, soziale Alarmsysteme: 868–870 MHz

Der meistgenutzte Bereich zwischen 868 und 870 MHz ist in Bezug auf maximale Sendeleistung und Duty Cycle spezifiziert. Bild 1 zeigt die Regulierungsvorschriften für diesen Abschnitt des Frequenzbandes. Die dominierende Sendeleistung in diesem Frequenzband liegt bei 10 bzw. 25 mW. Es wer-

den meist einfache ASK- und FSK-Modulationen verwendet. Damit sind je nach Empfängerempfindlichkeit typische Reichweiten von mehreren hundert Metern, im Ausnahmefall bis über einen Kilometer möglich.

Problematik LTE

Eine völlig andere Funkanwendung ist LTE (Long Term Evolution). Diese vierte Generation (4G) des zellularen Mobilfunks wird gegenwärtig in Deutschland von den drei Netzbetreibern Deutsche Telekom, Vodafone und O₂ installiert und ist z.T. schon in Betrieb genommen. Gegenüber den Vorgänger-Mobilfunkstandards GSM und UMTS zeichnet sich LTE durch eine höhere Datenrate und insbesondere durch die Optimierung auf Streaming-Anwendungen aus. LTE nutzt mehrere durch die Abschaltung analoger Rundfunkdienste freigewordene Funkfrequenzen, Stichwort „digitale Dividende“ – im Frequenzbereich bei 800 MHz, aber auch bei 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz. Insbesondere im ländlichen Raum findet wegen einer höheren Reichweite das Frequenzband LTE 800 (800 MHz) Verwendung. Innerhalb dieses Frequenzbandes, das von 791 MHz bis 862 MHz reicht, werden mehrere Unterbereiche für Uplink und Downlink definiert.

Die in Deutschland im Jahre 2010 versteigerten 4G-Frequenzen im 800-MHz-

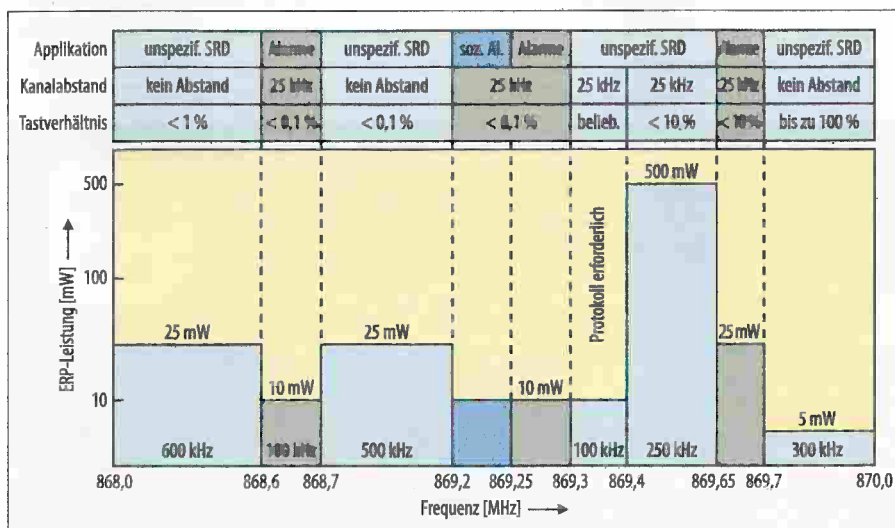


Bild 1. Der Bereich zwischen 868 und 870 MHz ist in Bezug auf maximale Sendeleistung und Duty Cycle spezifiziert. Hier die entsprechenden Regulierungsvorschriften.

(Quelle: CEPT)

Band sind in Deutschland unter drei Anbietern aufgeteilt (Tabelle 1). Die abgestrahlten Leistungen der Basisstationen mit 400 W (56 dBm) für städtische und 2.500 W (64 dBm) für ländliche Gebiete – jeweils bezogen auf einen Frequenzblock von 5 MHz – liegt um viele Größenordnungen über den im SRD-Band genehmigten Sendeleistungen. LTE-Endgeräte senden adaptiv mit niedrigerer Sendeleistung, können aber den SRD-Empfängern räumlich sehr nahe kommen.

Die komplexen Modulationsarten mit hoher Datenrate bei LTE erzeugen leider außerhalb des eigentlichen Nutzfrequenzbandes sogenannte „Out-Of-Band Emissions“, die sich ähnlich wie normales weißes Rauschen verhalten. Die regulatorischen Anforderungen an LTE begrenzen diese Aussendungen zwar in Bezug auf Bandbreite und Leistung; sie sind aber gerade bei Frequenzbereichen nahe der Nutzfrequenz messbar und führen zu einem verschlechterten Signal-Rausch-Verhältnis der SRD-Empfänger im betroffenen Frequenzband.

Gerade die frequenzmäßige Nähe der LTE-Sendefrequenzen zu den mit sehr viel geringeren Sendefeldstärken operierenden Geräten im SRD-Frequenzband wird hier zum Problem. Erste Hersteller [1] wurden bereits gezwungen, ihre 868-MHz-Technik vom Markt zu nehmen.

Wie stark funkt LTE ins 868-MHz-Band?

Die folgend geschilderten Untersuchungen zu den Gründen, Randbedingungen und zur Intensität der Einstrahlung von LTE in das 868-MHz-SRD-Band wurden in einer Kooperation zwischen der Firma IK Elektronik GmbH [2] und dem Stiftungslehrstuhl für Systemzuverlässigkeit an der Technischen Universität Chemnitz [3] durchgeführt.

Die LTE-Basisstationen [4] senden zwar mit relativ hoher Leistung (+60 dBm/10 MHz ERP Leistung pro Bandbreite), sind aber im Frequenzbereich und auch räumlich in den meisten Fällen so weit von den SRD-Geräten entfernt, dass deren Einfluss vernachlässigt werden kann. LTE-Endgeräte [5] senden auf Frequenzen, die teilweise nur 10–30 MHz „neben“ den SRD-Frequenzen liegen. Ihre Sendeleistungen-

dichte ist ungefähr auf +20 dBm/10 MHz begrenzt. Dies ist im Vergleich zu den im SRD-Band [6] genutzten Leistungen aber immer noch beachtlich. Spektrale Nebenausstrahlungen und Störungen aus diesen Aussendungen der Endgeräte können also in das SRD-Band einstreuen, insbesondere wenn diese End-

Das erlaubte Maximum an Störausstrahlung durch LTE-Endgeräte im SRD-Band liegt bei typisch -11,5 dBm/1 MHz (-71,5 dBm/Hz [5]). Praktische Messungen zeigten, dass in 10 cm Abstand je nach verwendeten Antennen am Empfänger Werte bis zu -115 dBm/Hz erreicht werden. Je nach Bandbreite des

Anbieter	Uplink	Downlink
Deutsche Telekom	852–862 MHz	811–821 MHz
Vodafone	842–852 MHz	801–811 MHz
O2	832–842 MHz	791–801 MHz

Tabelle 1. Frequenzbelegung durch die drei LTE-Anbieter

geräte in der Wohnung sehr nahe an SRD-Empfängern stehen oder im Ernstfall sogar in einem Gerät verbaut wurden. Gerade die von der Deutschen Telekom verwendeten Frequenzen bis 862 MHz liegen nahezu direkt neben dem SRD-Band, so dass hier die größten Probleme zu erwarten sind.

Die Störungen durch LTE führen im SRD-Band in erster Linie zu einer Anhebung des Rauschniveaus. Diese Anhebung kann messtechnisch nachgewiesen werden, wie Bild 2 zeigt. Für die Messungen wurden folgende Randbedingungen verwendet: Abstand zur LTE-Antenne 10 cm, Spektrumanalysator mit Stabantenne mit einer Auflösungsbandbreite von 30 kHz. Festgestellt wurde eine Rauschleistung von -77,3 dBm/30 kHz (Leistung pro Bandbreite, also Leistungsdichte). Das entspricht einer normierten Rauschleistungsdichte von -122 dBm/Hz am Empfänger.

Empfängers und Abstand zum LTE-Endgerät ergibt sich am Eingang eine entsprechende Stör-Rauschleistung, die dazu beiträgt, dass die Empfängerempfindlichkeit reduziert wird.

Die Störungen aus dem LTE-Band sind auch zeitlich nicht gleichverteilt. Im Ruhezustand, in dem das Endgerät zwar im Netz eingebucht ist, aber keine Daten sendet, werden nur sporadisch höhere Störimpulse generiert (Bild 3). Dies kann zu Bitfehlern führen, die ein robustes Funkprotokoll mittels Korrekturmaßnahmen ausgleichen kann. Wird allerdings ein größerer Daten-Upload vom Endgerät angestoßen (Bild 4), ändert sich die Situation. Jetzt wird über einen längeren Zeitraum (Bild 3 und 4 zeigen 100 ms mit einer typ. Auflösungsbandbreite von 300 kHz) ein hoher Störpegel generiert, der sich sehr negativ auf die Übertragungssicherheit der SRD-Funkverbindung auswirken wird.

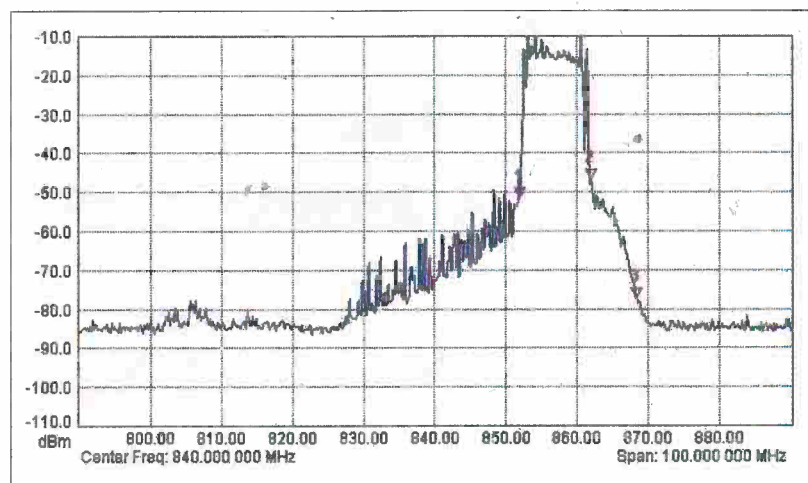


Bild 2. Frequenzspektrum eines LTE-Endgerätes im Netz der Deutschen Telekom. Deutlich ist der hohe Signalpegel für die LTE-Frequenzen zwischen 852 und 862 MHz zu sehen. Der Marker 3 zeigt auf eine typische Frequenz im SRD-Band (868,3 MHz), bei der immer noch eine recht hohe Leistung von -77,3 dBm/30 kHz empfangen wird.

(Bild: Autoren)

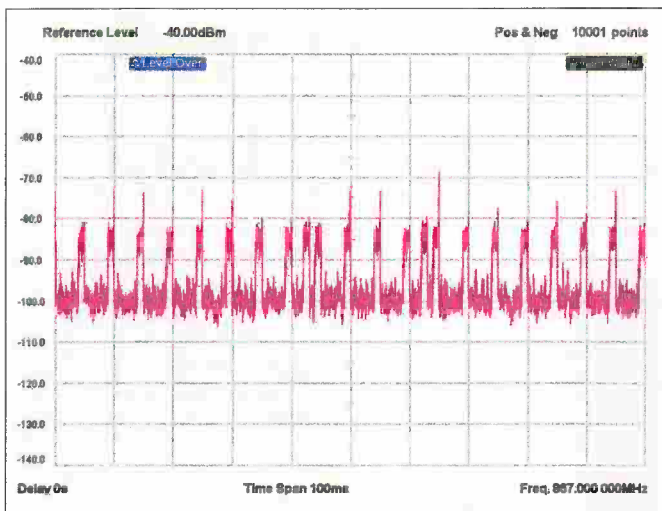


Bild 3. LTE-Störeinstrahlungen im Ruhezustand.

(Bild: Autoren)

Keine Störungen mehr – ab welcher Entfernung?

Anhand der Messergebnisse bzw. der normativen Grenzwerte der Störaussendung bei LTE kann für jedes bekannte Funksystem im 868-MHz-Band nach der Friis'schen Formel zur Freiraumausbreitung in erster Näherung abgeschätzt werden, ab welchem Sicherheitsabstand des LTE-Senders zum SRD-Empfänger keine Störungen mehr zu erwarten sind, weil die Störleistung unter das ohnehin vorhandene Rauschniveau sinkt. Je nach konkret verwendeter Systemarchitektur liegt der sichere Abstand zwischen 15 und 30 m. In der Praxis wird es aber möglich sein, mit deutlich geringeren Sicherheitsabständen zu arbeiten, da

- der Abstand zwischen Störer und Empfänger quadratisch in die Berechnung des notwendigen Sicherheitsabstandes eingeht und bereits damit nach wenigen Metern praktisch kaum noch Störkomponenten vorhanden sind,
- kurzzeitige Störungen durch die meisten Funkprotokolle im SRD-Bereich ausgeglichen werden können,
- die LTE-Anbieter ihre Upload-Geschwindigkeit begrenzen und Uploads aus wirtschaftlichen Erwägungen drosseln und

→ Geräte im SRD-Bereich nur selten an der Grenze ihrer Funkreichweite arbeiten.

Ein Maß für die Reichweite (und indirekt auch für die Qualität) einer Funkverbindung heißt Link Budget. Befinden sich bei gegebener Modulationsart, Sendeleistung, Empfangsempfindlichkeit und bei gegebenen Antennen Sender und Empfänger

in geringerem Abstand als der Grenzüberschreitung beieinander, entsteht eine Sicherheitsreserve (Link-Budget-Reserve), welche zur Übertragungssicherheit beiträgt. Eine Störeinstrahlung reduziert diese Reserve möglicherweise sogar soweit, dass nur noch kürzere Reichweiten erzielbar sind. Die Störeinstrahlung bzw. die Anhebung des Stör-Rauschens kostet also Budget-Reserve.

Bild 5 illustriert diesen Zusammenhang. Die Leistungsdichte an einem Empfänger fällt vom Maximum am Koordinatenursprung (wo der Sender steht) quadratisch und fällt am Punkt G2 unter den Rauschpegel, der von der Empfängerempfindlichkeit und anderen Einflüssen definiert wird. Dieser Punkt ist die maximale Reichweite des Funksystems. Empfänger in den Punkten R1 und R2 können das Signal sicher empfangen. Hebt ein LTE-Störer diesen Rauschpegel an, sinkt die Reichweite auf

den Punkt G1. Die Funkverbindung zum Empfänger am Punkt R2 ist nunmehr gestört, die Verbindung zum Empfänger am Punkt R1 ist weiterhin möglich, da hier eine hohe Link-Budget-Reserve vorhanden war. Die Höhe des Störeintrages hängt vom Abstand des LTE-Störers zum betrachteten Empfänger ab.

Einfluss auf die verschiedenen am Markt verfügbaren Funkprotokolle

Es existiert eine Vielzahl von Funksystemen und Funkprotokollen, die im 868-MHz-Band arbeiten und sich durch unterschiedliche Modulationsart, Empfangsempfindlichkeit, Sendeleistung und Verfahren zur Fehlerkorrektur voneinander unterscheiden. Da viele der Funkprotokolle proprietärer Natur sind, d.h. deren technische Eigenschaften nicht offengelegt sind, ist eine genaue und umfassende Analyse dieser Funkprotokolle hinsichtlich ihrer Robustheit gegen LTE-Störeinstrahlung nicht möglich. Durch praktische Tests konnten trotzdem einige Erkenntnisse gewonnen werden. Tabelle 2 vergleicht beispielhaft die beiden führenden Funkprotokolle für die intelligente Hausautomation, EnOcean und Z-Wave, in Bezug auf ihre Robustheit.

Beim Vergleich fallen einige Unterschiede sofort ins Auge. Z-Wave verwendet eine vergleichsweise deutlich geringere Sendeleistung und nutzt die erlaubte maximale Sendeleistung nicht aus. Der errechnete sichere Schutzabstand zu LTE ist entsprechend größer. In der Praxis drehen sich die Verhältnisse im Vergleich zu EnOcean herum. Hier spielt auch eine Rolle, dass EnOcean bei

unidirektionalem Betrieb durch die fehlende Rückbestätigung der Datenpakete bei der in Bild 4 gezeigten typischen Burst-Störung keine Möglichkeit hat, ein Paket erneut zu senden. Die bei EnOcean immer mehrfach hintereinander gesendeten Pakete werden durch den Burst gegebenenfalls komplett gestört. Generell sind kurze Datenpakete weniger „verwundbar“, im konkreten Falle kann EnOcean seinen Vorteil der sehr kurzen Datenpakete jedoch

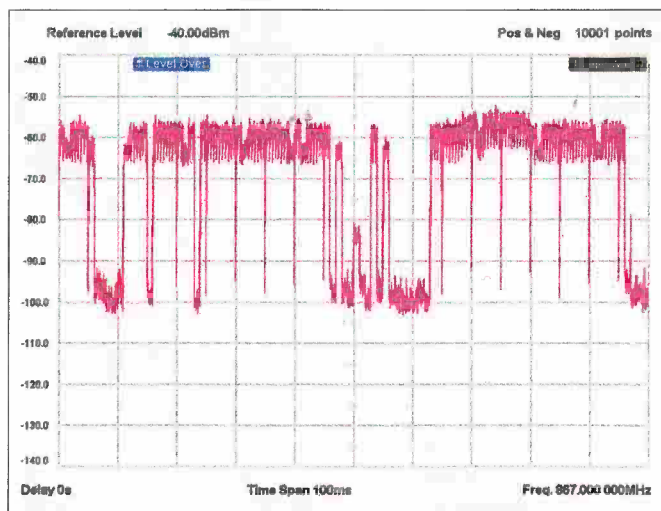


Bild 4. LTE-Störeinstrahlung beim Upload.

(Bild: Autoren)

wegen der langen Burstzyklen kaum ausspielen.

Die geringe Sendeleistung bei Z-Wave erstaunt, ist jedoch auf das konkret zu Tests verwendete Produkt der Firma REV Ritter zurückzuführen, das vor über sechs Jahren auf den Markt gebracht wurde und einen vergleichsweise alten und wenig leistungsfähigen Funkchip enthält. Die Z-Wave-Funk-Transceiver der neuesten Generation (Serie 500) [7] ermöglichen eine um mehrere dB höhere Sendeleistung, wengleich auch da – wohl aus Gründen der Batterie-Lebensdauer – auf eine komplette Ausnutzung des erlaubten Sendepiegels im SRD-Band verzichtet wurde.

Robustheit von Anwendungen gegenüber LTE-Störungen

Verschiedene Anwendungen arbeiten mit unterschiedlichen Link Budgets je nach notwendigen Funkreichweiten und geforderter Sicherheit der Übertragung. Hier einige Beispiele mit Anmerkungen zur Robustheit der Übertragung in Abhängigkeit von den Randbedingungen und in Bezug auf Störungen:

- Zählerauslesung: Es wird selten gesendet. Ist ein Empfang gestört, werden die Werte in der Regel am nächsten Tag/nächste Woche erneut gesendet. Bei Drive-by-/Walk-by-Szenarien, wo ein Ableser manuell aus der Ferne einen Zähler ausliest, kann ein erneuter Ausleseversuch notwendig werden.
- Hausautomation: Im Bereich Lichtsteuerung ist ein gelegentlicher Ausfall der Funkverbindung akzeptabel. Der entsprechende Schalter wird dann einfach nochmals gedrückt. Einige Funkprotokolle in diesem Bereich arbeiten bidirektional mit aktiver Rückbestätigung und können so bei Störung einen erneuten Sendeversuch starten.
- Sicherheitstechnik: Empfänger für Rauchmelder etc. sind evtl. unsicher, wenn sich LTE-Geräte in direkter Nähe befinden. Durch hohe notwendige Reichweiten verbunden mit hoher Anforderung an die Sicherheit der Übertragung existiert nur eine kleine Link-Budget-Reserve. Ein höherer Sicherheitsabstand zu LTE-Technik wird notwendig sein.
- Umweltmesstechnik: Es sind hohe Reichweiten erforderlich, wodurch

empfindliche Empfänger verwendet werden. Durch hohe Anforderungen an die Sicherheit und Verfügbarkeit der Funkverbindung existiert nur eine kleine Link-Budget-Reserve. Ein höherer Sicherheitsabstand zu LTE-Geräten wird notwendig sein.

- Industrieller Datenfunk: Die Anforderungen an die Zuverlässigkeit können sehr hoch sein, so dass LTE hier als relevanter Störer betrachtet werden muss. Zusätzliche Maßnahmen zur Überwachung der Link-Qualität können Probleme vermeiden.
- Gateways: Geräte, die Transceiver mit mehreren Funkfrequenzen enthalten, bedürfen besonderer Betrachtung. Gerade bei Smart Home Gateways kann es möglich sein, dass neben dem dort üblichen 868-MHz-Transceiver ein LTE-Modul als Zugang ins Internet existiert. Aufgrund der geringen Abstände der beiden Funkkomponenten in einem Gehäuse ist das Störpotenzial besonders groß.

Welche Anforderungen stellt dies alles an die Funktechnik im 868-MHz-Bereich?

- Alle Empfänger im 868-MHz-Bereich sollten über optimierte Kanalfilter verfügen, um die Störeinstrahlung durch LTE auf das nicht vermeidbare, weil im eigenen Frequenzbereich befindliche Minimum zu reduzieren. Breitbandige Empfänger laufen Gefahr, durch

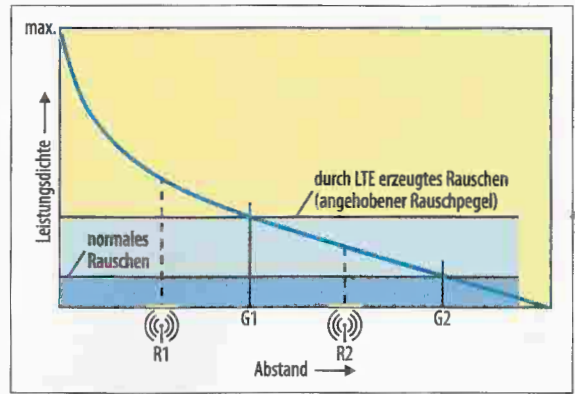


Bild 5. Einfluss eines durch LTE erhöhten Rauschpegels auf die Empfangsqualität: Erhöhter Rauschpegel führt zu geringeren Reichweiten.

(Bild: Autoren)

zu viel Energie aus benachbarten Frequenzbereichen ihre Eingangsstufen zu „verstopfen“ [1]. Schmalbandige Empfänger und hohe Frequenzgenauigkeit im SRD-System helfen, die empfangenen Stör-Rauschpegel zu senken.

- Systeme sollten über genügend Link-Budget-Reserve verfügen, um Störeinstrahlungen kompensieren zu können bzw. sie sollten mit maxi-

Parameter	Funkstandard: EnOcean	Funkstandard: Z-Wave
Funkfrequenz	868,3 MHz	868,4 MHz
Modulationsart	ASK mit ca. 30 dB Modulationstiefe	2-FSK mit ± 20 kHz Frequenzhub
Datenrate	125 kbit/s	40 kbit/s
Sendeleistung	ca. 10 mW	0,1 mW
Redundanz	Telegrammwiederholung, CRC, meist unidirektional	CRC, rückbestätigtes Signal mit Mehrfachsendung, bidirektional
Telegrammdauer	< 1 ms	> 7,5 ms
Empfindlichkeit	-95...-97 dBm	-98...-102 dBm
Mind. notw. Signal-Rausch-Verhältnis bezogen auf 1 Hz (C/N0)	ca. 67,3 dB/Hz	ca. 68,2 dB/Hz
max. zuläss. Rauschleistungsdichte	-163,3 dBm/Hz	-166,2 dBm/Hz
Energiebedarf	sehr energieeffizient durch hohe Datenrate, speziellen Telegrammaufbau, kurze Telegramme	weniger energieeffizient durch Bidirektionalität und lange Telegramme
Redundanz	Immer Redundanz durch Telegrammwiederholungen	Redundanz durch CRC/Bidirektionalität
Zuverlässigkeit, Acknowledge	Statistisch zuverlässig, meist nicht bidirektional	Garantiert zuverlässig, bidirektional, bei fehlender Rückmeldung mehrere Versuche innerhalb von 3 s
Typ. Reichweiten (Gebäude/freie Sicht)	50 m/300 m	25 m/150 m
Berechneter (theor.) Schutzabstand	19 m	26 m
Praktischer Abstand	10 m	3 m
Bemerkungen	ASK-Empfänger mit kurzer Präambel sind empfindlich gegenüber Amplitudenschwankungen	FSK-Empfänger sind relativ unempfindlich gegenüber Amplitudenschwankungen
Hersteller des getesteten Gerätes	EnOcean	REV Ritter

Tabelle 2. Vergleich zweier Funkstandards bezüglich verschiedener Parameter

mal erlaubter Sendeleistung arbeiten.

- Die verwendeten Funkprotokolle sollten gegen Bitfehler robust sein und zusätzlich als bidirektionale Verbindung eine Neusendung eines Datenpaketes ermöglichen, wenn eine Aussendung durch einen LTE-Upload-Vorgang mehrere Millisekunden lang blockiert wurde.
- Robuste Modulationsverfahren, welche bei geringerem Signal-Rausch-Abstand arbeiten und Modulation, Datenrate und Sendeleistung adaptiv anpassen können, werden zuverlässiger funktionieren.

Mit Störungen wird man leben müssen

Das populäre, lizenzfreie SRD-Band zwischen 868 (863) und 870 MHz wird mit Störungen durch LTE leben müssen. Diese Störungen sind aber an gewisse Gegebenheiten gebunden und können gegebenenfalls kompensiert werden. LTE wird nur dort zum Problem, wo LTE 800 genutzt wird. Dies ist eher in ländlichen Gegenden, jedoch seltener in Ballungsgebieten der Fall. Die LTE-Nutzung mit Geräten der Telekom ist wegen der Frequenznähe zu

868 MHz am ungünstigsten. Dies bedeutet aber keine komplette Entwarnung für Dienste der anderen beiden Mobilfunkanbieter. Erfahrungen haben gezeigt, dass bei Abständen von 15 bis 30 m zwischen LTE-Endgerät und SRD-Empfänger auch in ungünstigen Fällen keine negativen Auswirkungen zu erwarten sind, aber bei geringen Abständen unter 0,5 m nahezu immer – unabhängig vom Anbieter – Einflüsse von LTE-Endgeräten festgestellt werden können. Und: Der Einfluss der LTE-Basisstationen kann meist vernachlässigt werden.

Die theoretischen Schutzabstände zwischen 15 und 30 m sind für nahezu alle Anwendungen im 868-MHz-Bereich praktisch nicht realistisch einzuhalten, jedoch werden die Abstände in der Regel deutlich geringer ausfallen. Man sollte auch berücksichtigen, dass LTE im Ruhezustand nur kurze Störimpulse sendet, die von soliden Funkprotokollen kompensiert werden sollten. Der ungünstigere Fall eines Upload vom LTE-Endgerät in der Wohnung oder im Haus zur Basisstation kann jedoch Störungen über mehrere Sekunden hervorrufen, danach ist meistens wieder ein störungsfreier Betrieb möglich.

LTE-800-Geräte werden also zur Beeinträchtigung der Verbindungsqualität von SRD-Funkverbindungen führen. Ein Funkprotokoll mit Rückbestätigung und der Möglichkeit der Sendewiederholung sowie hohe Link-Budget-Reserve und hohe Sendeleistung können aber auch hier einen reibungslosen Betrieb ermöglichen. Der Anwender sollte übrigens bei der Positionierung eines LTE-Routers auf möglichst hohe Abstände zu eventuell schon verbauten und kritischen Geräten mit 868-MHz-Technik achten. Bereits ein Sicherheitsabstand von 1 m reduziert den Störeinfluss auf nur noch theoretisch interessante Werte. *ha*

Literatur

- [1] www.heise.de/ct/artikel/Hausautomationssystem-ELV-FS20-Probleme-mit-LTE-Routern-1758453.html
- [2] IK Elektronik GmbH, <http://www.ik-elektronik.com>
- [3] TU Chemnitz, <http://www.tu-chemnitz.de>
- [4] ETSI EN 301 908-14-V5.1.1 Part 14: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Stations (BS)
- [5] ETSI EN 301 908-13-V5.1.1 Part 13: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)
- [6] ETSI EN 300 220-1 V.2.4.1, Elektromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD)
- [7] www.sigmadesigns.com/zwavenextgen/brochures/SD3503_br.pdf



Prof. Dr. Christian Pätz studierte in Dresden und Chemnitz Elektrotechnik, diplomierte 1993 und promovierte 1998. Im Jahre 2000 gründete er die Peppercon AG, ausgezeichnet als erfolgreichstes

Startup in Sachsen. Nach dem Verkauf des Unternehmens an die Raritan Inc. in New Jersey arbeitete er dort in verschiedenen Management-Positionen. 2012 kehrte er als Professor für Systemzuverlässigkeit an die TU Chemnitz zurück. Er publiziert zu wissenschaftlich-technischen und betriebswirtschaftlichen Themen, hält sieben Patente und ist seit 2012 europäischer Sprecher der Z-Wave Alliance.



Dipl.-Ing. (FH) André Volkmar

besitzt 10 Jahre Erfahrung im Bereich Entwicklung von Antennen und Hochfrequenzschaltungen für drahtlose Kommunikation. Bei IK Elek-

tronik ist er Leiter eines Entwicklungsteams, Spezialist für EMV, Funk-Zertifizierung und Hochfrequenzfragen und ist verantwortlich für einen neuen reflexionsarmen Raum zur Messung der Strahlungscharakteristiken von Funkgeräten.