

Friedliche Koexistenz zwischen Bahn- und dem Überallfunk

Harmonious coexistence between train and general radio telecommunications

Jean-Luc Neumann | Frank Kaiser

In einer Welt mit immer steigender Digitalisierung und kabelloser Vernetzung nehmen auch die gegenseitigen Funkstörungen zu. Das bleibt auch in der Bahnbranche nicht aus, gerade wenn mit beginnender Inbetriebnahme des zweiten Levels des Zugsicherungssystems ETCS auf den Verzicht von kabelgebundenen Signalen und die Verwendung von GSM-R sowie zukünftigen Mobilfunkstandards gesetzt wird. Dieser Beitrag betrachtet aktuelle Schwierigkeiten und wie diese gelöst werden können.

1 Grundlegendes zu GSM-R

Der in die Jahre gekommene, vom internationalen Eisenbandverband (UIC) für digitalen Zugfunk erweiterte und auf GSM basierende Funkstandard GSM-R (R für Railway) hat bei seiner Einführung 1992 eigene Frequenzbänder erhalten und war damit in den Anfangsjahren relativ isoliert. Unterhalb des GSM-R-Bereichs liegt das bis heute praktisch ungenutzte E-GSM-Band, darüber das lange Zeit ungenutzte E-GSM-Band, das ab 2006 in Deutschland für die E-Netze (E-Plus, O2) freigegeben wurde. Genutzt mit 2G-Technologie, führte E-GSM bis 2011 zu etwa 250 Störstellen im Bahnnetz. Ab etwa 2013 wurden auch bahnahe Basisstationen auf Breitbanddienste (UMTS, LTE) umgestellt. Dadurch entfiel dieser Schutzbereich zwischen GSM und GSM-R völlig. Bild 1 zeigt die aktuelle Aufteilung der GSM-Kanäle in Deutschland auf die Mobilfunkanbieter, welche nicht mit den einzelnen Trägerfrequenzen zu verwechseln sind. Aktiv nutzt GSM-R 19 Kanäle von 955 bis 973, was 876–880 MHz für den Uplink und 921–925 MHz für den Downlink entspricht. Durch diese enge Nachbarschaft bleiben Beeinflussungen nicht aus.

2 Die drei wesentlichen Mechanismen von Funkbeeinflussungen

Die Beeinflussung zwischen zwei Funkkanälen erfolgt im Wesentlichen über drei Mechanismen: Spurious Emission (Nebenkanalausendung), Blocking (Nebenkanaldämpfung) und Intermodulation. Während bei der Nebenkanalausendung der Sender zusätzlich zur gewünschten Leistung auch Leistung auf anderen Kanälen aussendet, bezieht der Empfänger durch die Nebenkanaldämpfung auch Leistung außerhalb der Empfangsfrequenz in die Regelung der Vorverstärker ein und verliert dadurch an Empfindlichkeit. Diese beiden Mechanismen spielen insbesondere eine Rolle, wenn die Antennen zweier Funkgeräte nahe beieinander platziert sind, z. B. auf dem Dach eines Triebfahrzeuges. Betrachtet man die Dächer heutiger Triebzüge, so findet man dort oft einen regelrechten „Wald“ an Antennen der verschiedenen Funksysteme. Zunächst einmal werden Antennen für den Betrieb

One of the side-effects of the world's ever greater enthusiasm for digitalisation and wireless networking is reciprocal radio interference. This poses questions for the railroad sector too, not least because the second level of the ETCS train protection system that is now starting to come into use relies on GSM-R and future mobile communication standards rather than wired signals. This article considers the difficulties currently being faced and possible ways of resolving them.

1 GSM-R fundamentals

When first introduced back in 1992, the – now rather long in the tooth – GSM-based GSM-R radio standard (the “R” stands for Railway), which the International Union of Railways (UIC) extended to also cover digital train radio communications, had its own frequency bands and was therefore relatively insulated for the first few years of its existence. The still practically unused E-GSM-R band remains below the GSM-R range, while the E-GSM band, which remained unused for a long time before being released for e-networks (E-Plus, O2) in Germany from 2006, lies above it. When used with 2G technology, E-GSM resulted in around 250 interference points on the rail network up to 2011. Even base stations close to railways were switched over to broadband services (UMTS, LTE) from around 2013, completely eliminating this buffer zone between GSM and GSM-R. Fig. 1 shows the current breakdown of the GSM channels in Germany across the mobile communication providers (not to be confused with the individual carrier frequencies). GSM-R actively uses 19 channels from 955 to 973: 876–880 MHz for the uplink and 921–925 MHz for the downlink. The proximity of these bands means that interference does occur.

2 The three essential mechanisms of radio interference

There are essentially three mechanisms that can give rise to interference between two radio channels: spurious emission,

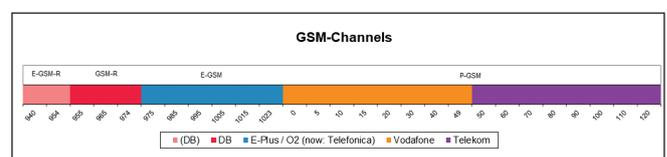


Bild 1: Frequenznutzung im 900 MHz-Band in Deutschland

Fig. 1: Frequency utilisation in the 900 MHz band in Germany

Quelle/Source: Siemens Mobility GmbH

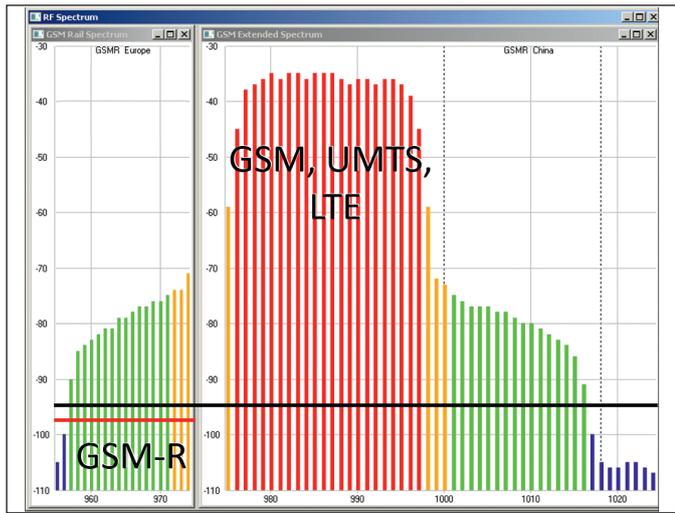


Bild 2: Intermodulation innerhalb eines Breitbandträgers; Trace vom TrioTrace-Tool, Triorail Bahnfunk GmbH

Fig. 2: Intermodulation in a broadband carrier; Trace by TrioTrace-Tool, Triorail Bahnfunk GmbH
 Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH

von Zugfunk (Sprache) und Zugsicherungssystem ETCS (Daten), in Zukunft auch noch für das Automatic-Train-Operation (ATO)-System benötigt. Dazu kommen weitere betriebsnahe Systeme, wie z. B. der Energiezähler des Fahrzeugs, der seine Messdaten permanent an seine Zentrale überträgt. Nicht fehlen darf in Zügen die Bereitstellung der kabellosen Kommunikationskanäle für die Fahrgäste. Schon lange werden die Fahrzeuge mit Repeatern ausgestattet, die das Signal der öffentlichen Netze im oft sehr gut abgeschirmten Fahrgastraum zur Verfügung stellen. Insbesondere zur Verbesserung der Internetversorgung werden immer häufiger Internet-On-Board-Systeme eingebaut. Diese bündeln alle verfügbaren Mobilfunknetze und bringen mit multipler Antennentechnik allein schon sechs Sender mit. Es bleibt noch die Intermodulation als dritte Beeinflussung offen. Diese entsteht in einem Funkempfänger, wenn dieser aufgrund einer zu hohen Eingangsleistung übersteuert. Dadurch entstehen zusätzliche Träger-Frequenzen als Mischprodukte. Die neuen Träger liegen dabei links und rechts der realen Träger mit einem Abstand, der der Frequenzdifferenz der beiden intermodulierenden Träger entspricht. Somit können zwei Träger der öffentlichen Netze einen „Störsender“ auf einem GSM-R-Kanal generieren. Eine Sonderform der Intermodulation entsteht im Fall von Breitbanddiensten. Einen solchen 3G- oder 4G-Breitbandträger kann man sich als Summe vieler Einzelträger vorstellen, die alle miteinander intermodulieren können. Befindet sich ein GSM-R-Gerät in der Nähe einer Breitband-Basisstation, die das angrenzende E-GSM-Band nutzt, so kann das Gerät so viel Leistung in einem Frequenzbereich nahe seines eigentlichen Empfangskanals empfangen, dass der Eingangsverstärker übersteuert. Da hier die Leistung von vielen Trägern gebündelt wird, passiert das bereits bei einer geringeren Feldstärke, als es zu erwarten wäre (Bild 2). Infolgedessen entstehen im Empfänger – nicht in der Luft – Mischprodukte des Trägers, wie im Bild 2 zu sehen ist. Aufgrund der Breite des störenden Trägers und der daraus resultierenden Breite des Seitenbandes überdecken diese Mischprodukte alle GSM-R-Kanäle. Die schwarze Linie in Bild 2 kennzeichnet die in der Norm EIRENE (European Integrated Radio Enhanced Network; Projektgruppe Funk des UIC) definierte Versorgungsfeldstärke der GSM-R-Netze, die um bis zu 20 dB überschritten wird. Zum Vergleich: 6 dB weniger Signalstärke entsprechen

blocking and intermodulation. Spurious emission involves the transmitter transmitting on other channels as well as the intended one. Blocking is when the receiver loses sensitivity as a result of incorporating transmissions from outside the receiving frequency into the preamplifier control process. These two mechanisms come to the fore when the antennas of two radio units are positioned in close proximity to one another – on the roof of a locomotive, for example. Locomotives now often sport a veritable jungle of antennas for different radio systems on their roofs. First of all, antennas are essential for the operation of train radio (voice) and the ETCS train protection system (data) and will also be required in future for the automatic train operation (ATO) system. Then there are other operating systems such as the vehicle energy counter, which continuously transmits its measured data to its control centre. Wireless communication channels for passengers are an absolutely non-negotiable requirement too. Vehicles have long been equipped with repeaters that make the signals from public networks available in the passenger area, which is often very well shielded. It is becoming increasingly common to install onboard internet systems, in particular to improve internet access. These systems combine all available mobile communication networks and, with their multiple antenna technology, are responsible for an additional six transmitters. The third interference mechanism to consider is intermodulation. Intermodulation occurs in a radio receiver when excessive input power causes the receiver to overdrive the input amplifier, resulting in the generation of additional carrier frequencies as mixed products. The generated new carriers are located to the left and right of the real carrier at a distance corresponding to the frequency difference between the two intermodulated carriers. It is possible for two public network carriers to create interference on a GSM-R channel via this mechanism. Broadband services are associated with a special form of intermodulation. A 3G or 4G broadband carrier can be imagined as the sum of a large number of individual carriers, all of which can be intermodulated with each other. A GSM-R device in the vicinity of a broadband base station using the adjacent E-GSM band can receive such a strong signal in a frequency band close to its own receive channel that its input amplifier ends up being overdriven. The fact that the broadband carrier combines the power of many individual carriers means that this happens at a lower field strength than might ordinarily be expected. This results in the generation (in the receiver, not in the air) of mixed products on the carrier as can be seen in fig. 2. The width of the interfering carrier and the resulting width of the sideband are such that these mixing products overlap all the GSM-R channels. The black line in fig. 2 marks the coverage field strength defined for GSM-R networks in the EIRENE standard (European Integrated Radio Enhanced Network; UIC radio project group), which is exceeded by up to 20 dB. By way of context, a 6 dB drop in signal strength reduces coverage by half. This being the case, is interference-free communication even still possible? The answer is yes, but not without some effort. And there is no silver bullet: the necessary measures depend on the type of interference involved.

3 Challenges of interference-free radio communication

Bearing in mind the aforementioned proliferation of antennas, the first step must be to define the objective of the measures. ETCS and the train radio system have absolute priority, because both are responsible for the safety and operating performance of

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DW Media Group GmbH

einer Halbierung der Funkreichweite. Ist damit eine störungsfreie Kommunikation noch möglich? Die Antwort ist ja, aber nur mit Aufwand. Und es gibt kein Allheilmittel, die notwendigen Maßnahmen sind von der Art der Störung abhängig!

3 Herausforderungen der störungsfreien Funkkommunikation

Betrachtet man die schon angesprochene Vielzahl an Antennen, so gilt es zunächst das Ziel der Maßnahmen zu definieren. Dabei haben ETCS und der Zugfunk absolute Priorität, da beide Systeme für die Sicherheit und Betriebsperformance des Zuges verantwortlich sind. Bei einem Ausfall kann der Zug nur noch in einem Rückfallmodus und bei wesentlich geringerer Geschwindigkeit fahren. Störungen dieser Systeme, auch untereinander, sind daher in jedem Fall auszuschließen.

Zunächst zur Störung der GSM-R-Systeme untereinander. Zur Vermeidung von Störungen senken die Funkgeräte ihre Sendeleistung auf das notwendige Maß, das den Empfang an der Basisstation sicherstellt. Zum Ausschluss der gegenseitigen Beeinflussung der Funkgeräte durch Spurious Emission und Blocking ist eine Mindestisolation zwischen den Antennenanschlüssen bei der Arbeitsfrequenz von etwa 900 MHz notwendig. Da nur bei Geräten mit besonders geringer Spurious Emission das Blocking zum begrenzenden Faktor wird, beschränken wir uns zur Einschätzung meist auf die Spurious Emission.

4 Technische Lösungen: Abstand und Funkfilter

Wie kann man die notwendige Isolation nun erreichen, um die Störungen durch Spurious Emission zu verhindern? Am einfachsten geschieht das durch einen entsprechenden Abstand zwischen den Antennen. Hier zeigen Messungen, dass die Isolation auf einem Fahrzeugdach geringer ist, als die Freifeldämpfung erwarten lassen würde. Danach beträgt der resultierende Abstand, um die nötige Isolation zu erreichen, etwa 3,5 m.

Was sich erst einmal nicht nach viel anhört, wird in der Praxis aufgrund der vielen unterzubringenden Antennen zum Problem. Hier kann man durch spezielle Duplexfilter Antennenplatz sparen. Die beiden in einer ETCS-Onboard-Einheit eines Zuges genutzten Funkgeräte arbeiten grundsätzlich nur im GSM-R-Netz. Roaming in die öffentlichen Netze, welches die Filterkomplexität und damit dessen Kosten erhöhen würde, ist nicht vorgesehen. Ein Duplexfilter besteht nun aus zwei Sperrfiltern: Einem für die Sende- und einem weiteren für die Empfangsfrequenz. Das Verfahren setzt getrennte Anschlüsse am jeweiligen Funkmodul für den Sende- und den Empfangsweg voraus, welche aber die am Markt verfügbaren Geräte bereitstellen. Der erste Sperrfilter wird in die Antennenleitung auf der Empfangsseite geschaltet und dämpft die Leistung auf der Sendefrequenz zu Vermeidung von Blocking. Der andere Filter kommt auf der Sendeseite in den Antennenpfad und unterdrückt die Nebenkanaalausendungen. Damit verringert sich die notwendige Distanz zwischen den beiden ETCS-Antennen auf weniger als einen Meter, sodass praktisch ein Antennenstandort auf dem Fahrzeug eingespart wird. Dieses Prinzip funktioniert mit dem Zugfunkgerät leider nicht, da dieses bei Störungen des GSM-R-Netzes durch Roaming in die öffentlichen Netze wechseln können muss. Dazu bedarf es einer komplexeren Lösung (dazu später). Meist sind die GSM-R-fremden Funkgeräte als Störquelle in einem Zug das größere Problem im Gegensatz zu den GSM-R-internen Störungen. Entsprechend der internationalen Harmonisierung der Funkssysteme darf jeder Sender im Frequenzbereich bis 1 GHz mit einer Leistung von bis zu -36 dBm auf 100 kHz Band-

the train. If either fails, the train can only proceed in a fallback mode, which means traveling at much-reduced speeds. Interference affecting these two systems – including interference affecting either of them that is caused by the other – must consequently always be prevented.

The first aspect to consider is interference caused by GSM-R systems that affects other GSM-R systems. Radio units counter the threat of interference by reducing their transmission power to the level necessary to ensure reception by the base station. Minimum separation between the antenna connections at a working frequency of around 900 MHz is necessary to prevent the radio units interfering with each other via spurious emission and blocking. Blocking only becomes a limiting factor in units with particularly low spurious emission, so we will base our assessment largely on spurious emission.

4 Technical solutions: Distance and radio filters

How can the separation needed to avoid the interference caused by spurious emission be achieved? The easiest way is to ensure that the antennas are a suitable distance apart. Measurements have shown that the separation on a vehicle roof is less than the free-space path loss would suggest. Accordingly, the distance between antennas needed to achieve the required separation is about 3.5 metres.

That may not sound like much in theory, but it is actually quite problematic in practice given the many different antennas that have to be accommodated. Antenna space can be saved by using special duplex filters. Both the radio units used in a train's ETCS onboard unit operate in principle solely on the GSM-R network. They are not intended for roaming on public networks, which would increase filter complexity and in turn costs. A duplex filter consists of two band-stop filters: one for the transmit frequency and one for the receive frequency. This method relies on the radio module in question having separate connections for the transmit and receive paths, but the devices on the market meet this requirement. The first band-stop filter is connected to the antenna cable on the receiving end and attenuates the signal on the transmit frequency to prevent blocking. The other filter is fitted on the antenna path at the transmitting end and suppresses spurious emissions. The necessary distance between the two ETCS antennas can thus be reduced to less than a metre, effectively freeing up one additional antenna site on the vehicle. Unfortunately, this principle does not work with the train radio unit, which has to be able to switch over to roaming on the public networks if the GSM-R network is disrupted. A more complex solution is therefore required; more of which later.

Non-GSM-R radio units are usually more of a problem than interference within the GSM-R area in terms of sources of interference on a train. The international radio system harmonisation rules also allow each transmitter within the frequency range up to 1 GHz with an output of up to -36 dBm on a 100 kHz bandwidth to emit on transmit frequencies other than its own. The effective separation required while taking account of the standards is 80 dB or 130 m, which is almost always more than can be achieved with the distance between the antennas alone. The tool of choice in this case is GSM-R band-stop filters, which deliver attenuation of 50 dB (for example) in the transmit path on the GSM-R receive frequency. This powerful filtering on the receive branch leaves blocking as the limiting factor in this special case, which reduces the

breite auch auf anderen als der eigenen Sendefrequenz abstrahlen. Aus den Normen lässt sich eine notwendige Isolation von 80 dB bzw. 130 m Abstand ableiten, die fast nie allein durch die Distanz zwischen den Antennen erreicht werden kann. In diesem Fall sind GSM-R-Sperrfilter das Mittel der Wahl. Diese fügen eine Dämpfung von z. B. 50 dB in den Sendepfad auf der GSM-R-Empfangsfrequenz ein. Aufgrund der hohen Filterung im Empfangszweig wird in diesem speziellen Fall das Blocking zum begrenzenden Faktor, sodass sich der Mindestabstand der Antennen nur auf etwa 3 m verringert.

Allerdings gibt es noch eine weitere Situation, die es zu beherrschen gilt: Steht ein entsprechend ausgerüstetes Fahrzeug in der Nähe einer Basisstation (die oft in Bahnhöfen stehen), so wird auch deren Empfänger gestört und damit die Verbindung zu Fahrzeugen, die sich am Rand dieser Zelle befinden. Daher blockieren solche Sperrfilter auch die GSM-R-Sendefrequenz.

Leider ist auch diese Betrachtung noch nicht ganz vollständig. In Deutschland sind z. B. die „oberen“ Kanäle des GSM-Bandes an die Telekom vergeben. Wird dieses Band nun vollständig für einen Breitbanddienst wie LTE genutzt, so wird damit das GSM-R-Band vollständig überdeckt. Für das Seitenband ist entsprechend Harmonisierung eine Dämpfung von 40 dB gefordert, was zu einer abgestrahlten Leistung von 17 dBm in jedem GSM-R-Empfangskanal führt. Auch bei Einsatz eines GSM-R-Sperrfilters muss damit ein Mindestantennenabstand zu den GSM-R-Geräten von etwa 8,5 m zum Erreichen der notwendigen Isolation eingehalten werden. Alternativ kann die Nutzung dieses Bandes von LTE-Geräten verhindert werden.

Störungen gehen aber nicht nur von den auf dem Fahrzeug installierten Funksystemen aus. Auch die Basisstationen der Mobilfunknetze beeinflussen den Empfang der GSM-R-Systeme auf dem Zug. Während es für das Fahrzeug nur einen Verantwortlichen für den Betrieb der Funksysteme gibt, den Fahrzeugbetreiber, kommt in diesem Fall der Betreiber des Funknetzes hinzu. Absprachen zwischen den Betreibern der öffentlichen Netze und den Bahnbetreibern zur Vermeidung von Störungen wären sinnvoll. Eine einfache Lösung wäre z. B., die Basisstationen mit einem Mindestabstand zur Bahntrasse zu positionieren. Dadurch würde die empfangene Leistung unter die Übersteuerungsgrenze der Empfänger fallen und die Intermodulation bleibt aus.

Dabei ergibt sich ein organisatorisches Problem: Natürlich wollen die öffentlichen Mobilfunkbetreiber die Fahrgäste bestmöglich mit ihrem Mobilfunknetz versorgen. Wenn sie nun aber ihre Basisstationen abseits der Bahnstrecken aufstellen müssen, um die Funkkommunikation der Zugsicherungssysteme (ZSS) nicht zu stören, dann schränkt das ihren Versorgungsbereich deutlich ein, was die Kosten hochtreibt, um dennoch den Empfang in den Triebfahrzeugen zu sichern. Auch hier können Filter weiterhelfen.

5 Regulatorische Lösungen – interne Filter

Mit der ETSI Norm TS 102 933, verpflichtend vorgeschrieben seit 2016 mit den EU-Vorschriften zur Interoperabilität im Eisenbahnwesen (TSI ZZS), werden erhöhte Anforderungen an die Störfestigkeit der Endgeräte gestellt, die sich relativ kostengünstig durch Oberflächenwellen-Filter (AOW- oder englisch SAW-Filter) realisieren lassen. Alle heute erhältlichen GSM-R-Mobiles sind mit diesen Filtern ausgestattet. Sie stellen ein Kompromiss zwischen den Kosten und der erreichbaren Filterwirkung dar: Ohne die Empfindlichkeit der Mobiles im GSM-R-Empfangsband übermäßig zu beeinflussen, wird eine akzeptable Dämpfung des angrenzenden E-GSM-Bands erreicht. In den meisten Fällen wird die am Empfänger

minimum separation between the antennas to no more than about 3 metres.

This is still not the complete answer, however: if a correspondingly equipped vehicle finds itself in the vicinity of a base station (and base stations are often located in railway stations), the base station receivers – and thus the connections with the vehicles at the edge of the cell – will also be disrupted. Accordingly, such band-stop filters also block the GSM-R transmit frequency.

Unfortunately, this is still not the full picture. In Germany, the “upper” channels of the GSM band have been allocated to the Telekom communications company. If this band is used in full for a broadband service such as LTE, the whole of the GSM-R band will be overlapped. The harmonisation rules require 40 dB attenuation for the sideband, which will result in an emitted power of 17 dBm on each GSM-R receive channel. This would mean that the antennas would have to be at least 8.5 m away from the GSM-R units to achieve the necessary separation even when using a GSM-R band-stop filter. Alternatively, the use of this band by LTE devices can be prevented.

The radio systems installed on the vehicle are not the only source of interference though: the mobile communication networks’ base stations also affect the GSM-R reception on the train. There is only one party responsible for the operation of radio systems on the vehicle and that is the vehicle operator. Potential conflicts with external systems such as mobile communication networks, however, bring additional operators into the equation. Arrangements between the public network operators and the rail network operators aimed at avoiding any interference would be a good idea. One possible simple solution would be to ensure that base stations are located at least a certain distance from the track so that the strength of any received transmissions remains below the receiver overdrive threshold and intermodulation does not occur.

However, this presents an organisational problem: public mobile communication network operators naturally want to provide passengers with optimal access to their networks and having to keep their base stations away from the track to avoid disrupting train protection system (CCS) radio communications would significantly restrict their coverage and drive up the cost of ensuring a good signal on board trains. Here too, filters have much to offer.

5 Regulatory solutions – internal filters

The TS 102 933 ETSI standard, mandatory since 2016 under the EU rail system’s interoperability provisions (TSI CCS), imposes more stringent requirements on the interference immunity of terminal devices that can be satisfied relatively inexpensively using surface acoustic wave (SAW) filters. All currently available GSM-R mobiles are equipped with these filters, which represent a compromise between costs on the one hand and the attainable filter effect on the other: the adjacent E-GSM band is attenuated to an acceptable degree without overly affecting mobile sensitivity in the GSM-R reception band. The strength of any transmissions picked up at the receiver is usually reduced to the extent that there is no overdriving and hence no intermodulation.

Irrespective of this, broadband base stations (as explained above for LTE mobiles) also emit quite strong signals on the sidebands of the actual carrier as a result of intermodulation in the base station output stages. Sideband suppression has certainly improved substantially since the GSM days, but the emissions are

**Bild 3: Referenz-
filter Kaelus
DDF9007F1V1-1**

Fig. 3: The
reference filter –
Kaelus DDF9007F1V1-1

Quelle / Source:
Siemens Mobility GmbH



anliegende Leistung soweit verringert, dass es keine Übersteuerung und die daraus resultierende Intermodulation gibt.

Unabhängig davon strahlen Breitband-Basisstationen (wie oben schon für die LTE-Mobiles erläutert) aber auch nicht unerhebliche Leistung in den Seitenbändern des eigenen Trägers ab, die durch Intermodulation in den Endstufen der Basisstation entstehen. Auch wenn sich die Seitenbandunterdrückung im Vergleich zu den GSM-Zeiten deutlich verbessert hat, ist es noch genug Leistung, um Störungen auf den GSM-R-Kanälen zu verursachen. Ein entsprechender Standard zur stärkeren Einschränkung dieser Störstrahlung wurde bei den Arbeiten zur TS 102 933 zwar gefordert, aber nie umgesetzt.

Leider verhindern Empfänger nach TS 102 933 nicht alle Störstellen in einem GSM-R-Netz, insbesondere nicht, wenn höhere Leistungen als üblich durch die öffentlichen Netze genutzt werden.

Ein Beispiel ist Schweden. Zur besseren Versorgung der sehr dünn besiedelten Bereiche wurde den Betreibern der öffentlichen Mobilfunknetze gestattet, die Sendeleistung der Basisstationen deutlich anzuheben, sodass der Pegel der Basisstation 4 m über dem Gleisbett bis zu 0 dBm betragen kann. Das entspricht etwa der 100-fachen Leistung des normalen Störpegels. Dieser aus Bahnsicht zu hohe Pegel verursacht trotz der internen Filter eine Übersteuerung des Eingangs und die resultierenden Mischfrequenzen eine Störung des GSM-R-Empfangs.

Eine weitere Erhöhung der Filterwirkung der internen Oberflächenwellenfilter ist aber nicht mehr möglich, ohne dass die Empfindlichkeit der Mobiles unter das für den Betrieb des Funksystems notwendige Minimum sinkt. Es werden daher hochwertigere Filter mit steileren Kennlinien und niedriger Durchgangsdämpfung gebraucht. Deren Integration in die Mobiles scheidet aufgrund der resultierenden Bauformen und Größe aus.

6 Grenzen der Physik – externe Filter

Diese Anforderungen sind nur noch durch externe Filter lösbar und führen zu räumlich sehr großen und schweren Geräten. Das wiederum steht im Widerspruch zum begrenzten Einbauplatz in Schienenfahrzeugen.

still strong enough to cause interference on the GSM-R channels. A standard imposing tougher restrictions on this spurious emission was called for in the course of the work leading up to TS 102 933, but never realised.

Receivers built to TS 102 933 unfortunately do not eliminate all interference points in a GSM-R network, especially where public networks use a higher output than usual.

One example of this is Sweden, where public mobile communication network operators are permitted to significantly increase the transmission power of their base stations to provide better coverage for the very thinly populated regions of the country. The base station level 4 metres above the track bed can be as high as 0 dBm there, which is approximately 100 times more powerful than the usual interference level. This level, which is excessive from the point of view of rail operations, causes the input to be overdriven despite the internal filters and the resulting mixed products interfere with GSM-R reception.

However, the filter effect of the internal surface acoustic wave filters cannot be increased any further without reducing the sensitivity of the mobiles below the minimum necessary for the operation of the radio system. More advanced filters with steeper characteristics and lower throughput loss are consequently required, but these cannot be practically integrated into the mobiles because of the resulting shapes and sizes.

6 Physical constraints – external filters

The requirements can still be met with external filters, but this makes for bulky, heavy units that cannot easily be accommodated in the restricted locations available on rail vehicles.

Few manufacturers have ventured to design such filters and bring them into production on a significant scale. The pioneer was Comsys Communications Systems Service GmbH, which first developed a passive filter and then an active filter for Deutsche Bahn AG (DB).

The reference device (fig. 3) for the call for bids by the Swedish rail operator was the filter produced by Swedish Kaelus company, which also contributed to the associated specification. The

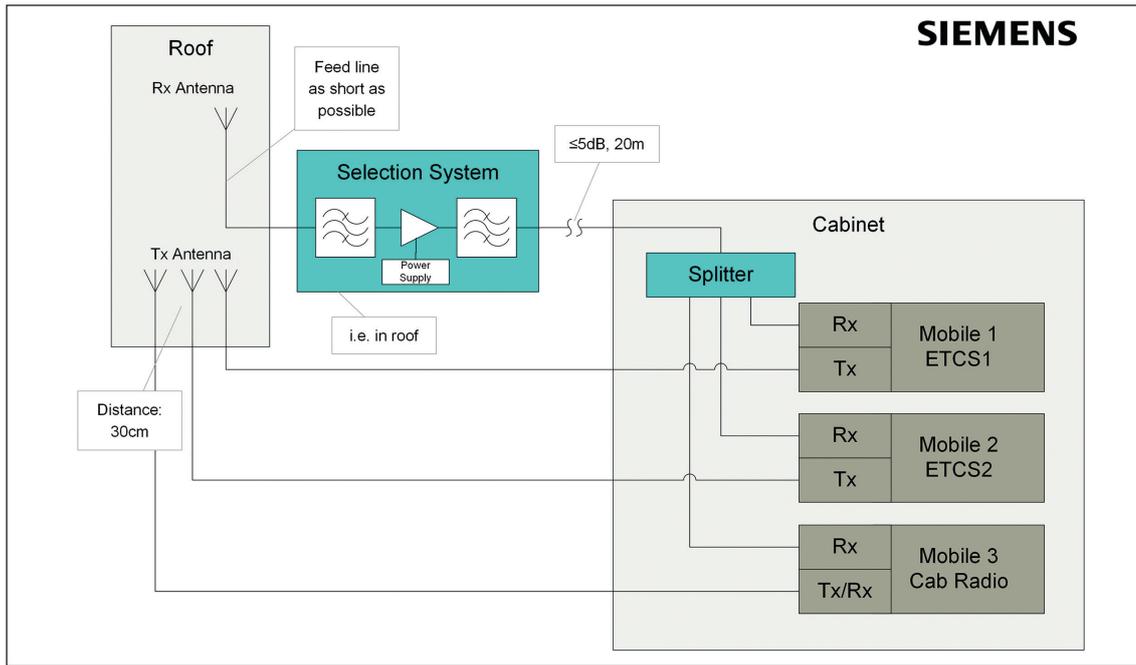


Bild 4: Prinzip des aktiven Filtersystems
 Fig. 4: The principle of the active filter system
 Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH

Nur wenige Hersteller haben sich an die Konstruktion und letztlich an die Serienfertigung solcher Filter herangewagt. Vorreiter war die Firma Comsys Communications Systems Service GmbH, die für die Deutsche Bahn AG (DB) einen passiven und später einen aktiven Filter entwickelte.

Referenzgerät (Bild 3) bei den Ausschreibungen der Schwedischen Bahn wurde der Filter der schwedischen Firma Kaelus, die auch an der entsprechenden Spezifikation mitgearbeitet hat. Der Filter DDF9007F1V1-1 verhilft auch einem Mobile der ersten Generation, also ohne interne Filter, zu einem störungsfreien Empfang. Diese Leistungsfähigkeit hat aber auch ihre Schattenseiten: Mit ca. 15 l Volumen und 15 kg Gewicht ist der Filter annähernd so groß und schwer wie eine Getränkekiste. Zudem sind für die bei ETCS genutzten zwei Datenkanäle und einem Sprachkanal drei solche Filter notwendig. Aufgrund ihres empfindlichen Aufbaus müssen sie in Schaltschränken im Zug verbaut werden. In 19"-Schränken erfordert das etwa 15 Höheneinheiten bzw. ein Drittel eines 2 m-Schranks.

7 Maßgeschneidertes Filtersystem für ETCS-Funkanwendungen

Das motivierte die Mitarbeiter der Siemens Mobility GmbH im Jahr 2017 zum Entwurf einer eigenen Lösung. In Zusammenarbeit mit Comsys wurde das Problem neu angegangen.

Da alle am Markt erhältlichen GSM-R-Mobiles den Sendepfad an getrennten Anschlüssen bereitstellen können, kann man einen externen Filter auch nur in den Empfangspfad integrieren. Eine Umleitung des Sendepfades zur Umgehung des Filters (Zirkulator oder zweiter Bandpassfilter für die Sendefrequenz) wie in den herkömmlichen Filtern ist dann nicht notwendig. Letztendlich muss nur der Empfangspfad des Mobiles geschützt werden, den Sender beeinflussen die Störungen durch die öffentlichen Netze kaum.

Nach einem Grundsatz der Funktechnik sollte immer so dicht wie möglich an der Signalquelle gefiltert werden. Dadurch wird zusammen mit dem Signal auch der Rauschpegel gedämpft, sodass Letzterer möglichst klein gegenüber dem Eingangsrauschen der

DDF9007F1V1-1 filter helps even first-generation mobiles with no internal filter to achieve interference-free reception. This capability comes at a price though: with a volume of close to 15 litres and a weight of 15 kilograms, the filter is almost as large and heavy as a case of wine – and three such filters are needed for the two data channels and one voice channel used with ETCS. The delicate nature of the filters means that they have to be installed on the train in switchgear cabinets. Three filters will need 15 rack units in a 19" cabinet, which amounts to one third of a 2-metre cabinet.

7 Customized filter system for ETCS radio applications

Motivated by these issues, the engineers at Siemens Mobility GmbH decided to design their own solution in 2017. Working with Comsys, they tried approaching the problem from a different angle.

All commercially available GSM-R mobiles are able to provide access to the transmit and receive paths at separate connections, so the option exists to integrate an external filter only on the receive path. This removes the need to divert the transmit path around the filter (with a circulator or a second band-pass filter for the transmit frequency) as with conventional filters. Ultimately, only the receive path of the mobile needs to be protected, because transmitters are not really affected by any interference stemming from public networks.

One of the principles of radio technology is that filtering should take place as close as possible to the signal source. This means that the noise level is attenuated as well as the signal, ensuring that the former is as small as possible relative to the front-end noise of the first amplification stage. It is important that the first amplification stage is connected to the filter in a way that minimises attenuation. The new filter system incorporates a highly linear amplifier with a redundant design. The signal-to-noise ratio is thus "frozen" at the signal input and the signal can be transmitted to mobiles over longer distances and/or through thinner and less expensive cable with the appropriate amplification. The combined received signal is then split between the reception inputs close to the mobiles. An adjustable attenuator in each channel of the splitter in the system is

**Bild 5: Filtersystem
GSMR-4P7M von
Siemens Mobility**

Fig. 5: Siemens
Selection System

Quelle / Source:

Siemens Mobility GmbH



ersten Verstärkerstufe ist. Dazu muss diese dann aber möglichst dämpfungsarm an den Filter angeschlossen werden. Im neuen Filtersystem ist ein hochlinearer und redundant ausgelegter Verstärker integriert. Damit wird der Signal-Rausch-Abstand am Signaleingang „eingefroren“ und kann durch entsprechende Verstärkung über längere Entfernungen bzw. dünnere und günstigere Kabel zu den Mobiles geleitet werden. In der Nähe der Mobiles

configured so that the signal received at the antenna and the signal present at the receiver are of the same magnitude. There are therefore no losses anywhere along the path to the receiver. The limitation at 0 dB is necessary to avoid negatively impacting the GSM system's control mechanisms (fig. 4).

Separate antennas are connected at the mobiles' transmission outputs. A distance of no more than about 30 cm is needed

Steuern, stellen, sichern.



Scheidt & Bachmann – innovative
Sicherheitstechnologie seit 1872.

- Betriebsleittechnik
- Stellwerkstechnik
- Bahnübergangstechnik

wird das gemeinsame Empfangssignal dann auf die Empfangseingänge aufgeteilt. Ein einstellbares Dämpfungsglied in jedem Kanal des zum System gehörenden Splitters wird so eingestellt, dass das an der Antenne empfangene und das am Empfänger anliegende Signal gleich groß ist. Damit entstehen keine Verluste im Gesamtpfad bis zum Empfänger. Die Begrenzung auf 0 dB ist notwendig, um die Regelmechanismen des GSM-Systems nicht negativ zu beeinflussen (Bild 4).

An die Sendeausgänge der Mobiles werden getrennte Antennen angeschlossen. Zum Erzielen der notwendigen Entkopplung zwischen den Sendern ist ein Abstand von nur etwa 30 cm notwendig, sodass nur ein Antennenstandort für diese Antennen gebraucht wird. Den für den Zugfunk im Fall des Ausfalls des GSM-R-Netzes geforderten Rückfall und die Nutzung des öffentlichen Netzes kann man ohne zusätzliche Hardware erreichen, indem das Mobile in einen Modus mit gemeinsamen Empfangs- und Sendesignal über nur einen Antennenanschluss zurückgeschaltet wird.

8 Die Lösung: Das Filtersystem GSMR-4P7M

Das Filtersystem GSMR-4P7M von Siemens und Comsys stellt hinsichtlich Rauschfaktor, Selektivität und Integrationsfähigkeit das technische Optimum dar. Es besteht aus den zwei beschriebenen Komponenten: dem Filter selbst und einem nachgeschalteten Splitter. Der Filter wiegt weniger als die Hälfte (6,8 kg) und ist ein Drittel kleiner (9 l) als vergleichbare Filter. Die neueste Variante des Systems erlaubt es sogar bis zu vier Geräte anzuschließen. Des Weiteren wird der durch räumliche Faltung sehr kleine und robuste Filter temperaturstabilisiert und kann nahe der Antenne direkt im Fahrzeug verbaut werden. Die Empfangsantenne kann letzten Endes weit vom Nutzsysteem entfernt verbaut werden. Dieser entscheidende Punkt gibt maximalen Spielraum beim Einbau.

Zudem kann die Funktionalität erweitert werden. Werden zusätzliche Sperrfilter für die Empfangsfrequenz in die Sendepfade der GSM-R-Geräte eingebaut, so wird das System zum Duplexfilter: Zwischen dem Bereich der Sendeantennen und der Empfangsantenne reduziert sich der Mindestabstand auf etwa 1 m. Wie oben schon angedeutet, ist damit auch auf kleinen Rangierloks ein störungsfreier Betrieb der drei GSM-R-Systeme möglich.

Alles in allem wurde ein kostenoptimiertes und leistungsstarkes System entworfen, das insbesondere auch flexibel in ETCS-Retrofit-Projekten verbaut werden kann, ohne dass dabei eine Neuzulassung des Systems nötig wird. Anwendung findet das patentierte Selektionssystem heute bereits in Schweden und wird in Vectron-Lokomotiven des Eisenbahnverkehrsunternehmens Hector Rail erfolgreich genutzt. (Bild 5) ■

to achieve the necessary decoupling between the transmitters, meaning that just one antenna location is required for these antennas. The fallback required for the train radio system, if the GSM-R network fails, and the ability to use the public network can be provided without any additional hardware by switching the mobile back to a mode with shared receive and transmit signals via a single antenna connection.

8 The solution: The filter system GSMR-4P7M

The GSMR-4P7M filter system created by Siemens and Comsys represents the optimal technical solution with regard to the noise factor, selectivity and integration capability. It consists of the two described components: the filter itself and the downstream splitter. The filter weighs less than half as much (6.8 kilograms) as equivalent filters and is a third smaller (9 litres). The latest system variant allows up to four devices to be connected. The filter, which is very small and robust thanks to its meticulous layout and packing, is temperature-stabilised and can be installed directly on the vehicle close to the antenna. The receiving antenna, for its part, can be installed well away from the main part of the system. This crucial point ensures maximum scope for installation.

The functionality can be expanded too. Additional band-stop filters for the receive frequency can be installed in the transmit path of the GSM-R devices to turn the system into a duplex filter, thus reducing the minimum distance between the transmitting antenna and the receiving antenna zones to about 1 metre. As already mentioned, this makes it possible to operate the three GSM-R systems without interference, even on small switching locomotives.

In the final analysis, a powerful, cost-optimised system has been designed that offers particular versatility, not least for installation in ETCS retrofit projects, without necessitating the recertification of the system. The patented selection system is already at work in Sweden and is being successfully used on the Vectron locomotives operated by the Hector Rail transport company. (fig. 5) ■

AUTOREN | AUTHORS

Jean-Luc Neumann

Product Manager and ETCS Test Expert
for onboard unit communication systems
Siemens Mobility GmbH
Anschrift /Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: jean-luc.neumann@siemens.com

Frank Kaiser

Product Line Manager for onboard unit communication systems
Siemens Mobility GmbH
Anschrift /Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: frank.kaiser@siemens.com