

## ■ Rollende Hotspots

**Mobilfunk- und Internetempfang im ICE sind keine Selbstläufer. Züge und Streckennetz müssen hierfür umgerüstet werden.**

1) vgl. Physik Journal Juli 2011, S. 38

**M**obil zu telefonieren und im Internet zu surfen ist Teil unseres Alltags geworden. Auch bei der Zugfahrt wollen wir darauf nicht verzichten. Deshalb statten die Deutsche Bahn zusammen mit der Deutschen Telekom die ICE-Züge mit Hotspots für den WLAN-Zugang aus. Inzwischen ist das 5200 Kilometer lange ICE-Kernnetz, auf dem 98 Prozent der ICE-Verkehrsleistung erbracht wird, für den Internetempfang ausgerüstet. Ende 2013 verfügten 180 ICE-Züge über die notwendige Technik, bis Jahresende soll auch der Großteil der verbleibenden rund 80 ICE-Züge zu rollenden Hotspots umgerüstet werden.

Notwendig ist der ganze Aufwand nur deswegen, weil der ICE einen Faradayschen Käfig bildet und deshalb das Mobilfunksignal um 20 bis 30 Dezibel dämpft. 30 Dezibel bedeuten, dass der Zug 99,9 Prozent des Signals abschirmt! Prinzipiell kann man also als ICE-Reisender zwar ohne Funkunterstützung des Zuges sein Mobiltelefon nutzen, aber das Signal ist relativ schwach und störanfällig.

Die Bereitstellung von Mobilfunkservices im ICE ist für Sprachtelefonie und Internetnutzung unterschiedlich gelöst. In erster Linie liegt dies an den Eigenheiten der Mobilfunktechnologien und ihrer Verbreitung in Deutschland, aber auch an Investitionsentscheidungen der Bahn und der Mobilfunknetzbetreiber. Es gibt drei Mobilfunkstandards: 2G, 3G und LTE.<sup>1)</sup> Das



Fotos: Deutsche Bahn

Ein ICE bildet einen Faradayschen Käfig. Dass man während der Zugfahrt also

mobil telefonieren und im Internet surfen kann, ist nicht selbstverständlich.

2G-Netz ist fast flächendeckend vorhanden und spielt sich primär in den beiden Frequenzbereichen um 900 MHz und um 1800 MHz ab. Dieses Netz dient der Sprachtelefonie, da die erzielbaren Datenraten sehr gering sind. Das 3G-Netz (UMTS) eignet sich vor allem für die Datenübertragung, die Sprachtelefonie allein wäre kein Grund für seine Einführung gewesen. Anders als 2G ist 3G jedoch auf Ballungsräume beschränkt. UMTS arbeitet in Deutschland im Frequenzbereich zwischen 1900 und 2100 MHz. Erst mit LTE, der neuesten Mobilfunktechnologie, lassen sich die „weißen Flecken“ in der schnellen Datenübertragung schließen. LTE nutzt die Frequenzbänder bei 800 MHz, 1,8 GHz und 2,6 GHz. Entlang der ICE-Strecken existiert das 2G-Netz und seit diesem Jahr das LTE-Netz. Das 3G-Netz dagegen ist nur in Bahnhöfen und Ballungsräumen entlang der ICE-Trassen zu finden.

Ist ein ICE in Bewegung, müssen sich die Mobiltelefone der Reisenden immer wieder in den jeweils nächstgelegenen beiden Funkzellen der Basisstationen an- bzw. abmelden, damit eine nahtlose Übergabe erfolgen kann und zum Beispiel ein Telefonat nicht unterbrochen wird. Der Wechsel zwischen 2G- und 3G-Netz verkompliziert dies unnötig,

weil in diesem Fall eine erneute Anmeldung in einem technisch anderen Netz erforderlich ist. Da die 3G-Zellen in Städten im Schnitt nur ein bis zwei Kilometer groß sind, hat ein ICE sie selbst bei mittleren Geschwindigkeiten in ein bis zwei Minuten durchquert, sodass ständige Übergaben erforderlich wären. Eine 2G-Funkzelle ist mit durchschnittlich fünf bis zehn Kilometer Durchmesser deutlich größer – eine Übergabe zwischen zwei Basisstationen ist also seltener erforderlich. Daher bekommen Kunden mancher Mobilfunkanbieter eine SMS, wenn sie in einen ICE einsteigen – eine Empfehlung, 3G im Interesse einer stabileren Sprachverbindung während der Zugfahrt zu deaktivieren.

Das liegt jedoch auch an der in die ICE-Züge integrierten 2G-Unterstützung. Die Züge führen sozusagen ihre eigene Basisstation mit, die zwischen Mobilfunknetz und Mobiltelefon in beiden Richtungen als Verstärker fungiert. In den betreffenden Waggons sind dazu entweder Schlitzkabel oder Antennen in der Decke verbaut. Schlitzkabel sind Koaxialkabel, die in regelmäßigen Abständen kleine Öffnungen in der Schirmung haben. Über diese Schlitzlöcher lässt sich das Hochfrequenzsignal über die gesamte



Über WLAN-Hotspots in den ICE-Zügen können Reisende mit ihren Smartphones und Laptops eine Verbindung zum Internet aufbauen.

Kabellänge ein- oder auskoppeln. Verstärker für die 3G-Sprachtelefonie gibt es dagegen in keinem ICE – der Modernisierungsaufwand war den Betreibern bislang zeit- und kostenmäßig zu hoch.

Stattdessen haben sich Deutsche Bahn und Deutsche Telekom für den Einbau von WLAN-Hotspots entschieden, zumal viele Notebooks und Tablets keine Mobilfunkschnittstelle besitzen. In einem Wagen jedes ICE-Zuges gibt es dafür einen Server mit Modems für alle Mobilfunktechnologien, die ihre Signale an zwei Multibandantennen auf dem Dach weiterleiten. Jeder Zug hat eine feste IP-Adresse. Durch den gesamten Zug sind Netzwerkkabel verlegt, im Idealfall Gigabit-Ethernet mit Datenraten von 1000 Megabit pro Sekunde, beim ICE 1 musste dafür aus Platzgründen die vorhandene Verkabelung erhalten, die erzielbaren Datenraten sind daher niedriger. In jeden Wagen des Zuges sind zwei WLAN-Zugangspunkte in die Decke integriert. Der Server entscheidet aufgrund des „vom Land“ empfangenen Signals, welches Mobilfunknetz aktuell den höchsten Signalpegel hat, ob er also 3G oder LTE für die Datenübertragung nutzt.

Bleibt das Problem längerer Eisenbahntunnel, die sich funktechnisch nicht einfach über das Netz der Basisstationen versorgen lassen,

weil die Dämpfung des Erdreichs zu hoch ist. Für die Sprachtelefonie- und Internetversorgung der ICE-Züge dienen in diesem Fall Tunnel-funkanlagen, die meist für 2G- und 3G-Empfang sorgen. LTE wäre technisch möglich, spielt bislang aber keine große Rolle. Solche Tunnel-funkanlagen bestehen aus einer Antenne außerhalb des Tunnels, die für die Ankopplung an das Freifeld des Mobilfunknetzes sorgt, und aus einem Schlitzkabel, das durch den Tunnel verläuft. Bei langen Tunneln ist es mitunter notwendig, das Signal im Schlitzkabel mehrmals zu verstärken. In kürzeren Tunneln bis etwa zwei Kilometer Länge lässt sich das Mobilfunksignal über eine Funkstrecke in den Tunnel bringen. Es gibt aber auch Bahntunnel ohne Mobilfunkempfang.

#### Doppelt kompliziert

Anders als bei anderen Verkehrsmitteln – zumindest wenn man davon ausgeht, dass Tempo 200 und mehr auf deutschen Autobahnen eher die Ausnahme ist – spielt bei der Mobilfunkanbindung von ICE-Zügen der Doppler-Effekt eine Rolle. Schließlich kann der ICE bis zu 300 Kilometer pro Stunde schnell fahren. Bei einer solchen Geschwindigkeit bedeutet das für das 900-MHz-Band Frequenzverschiebungen von bis zu 250 Hertz, für das 2,1-GHz-Band maximal 580 Hertz. Wären die



Im fahrenden ICE muss für eine rauschfreie Signalübertragung sogar der Doppler-Effekt berücksichtigt werden.

Empfängereinheiten darauf nicht ausgelegt, wäre das Signal durch die Frequenzverschiebung messbar stärker verrauscht, weil – bildlich gesprochen – die gemessene Frequenz nicht mehr mittig im bandbreitenbeschränkten Filter zu liegen käme. Technisch gelöst wird das Problem mittels Algorithmen, welche die Signale der aktiven Filter – letztlich sind das digitale Signalprozessoren – verarbeiten: Der Algorithmus erkennt zum Beispiel beim herannahenden ICE den Drift des Signals innerhalb der Filterbandbreite und korrigiert dies entsprechend, um den Signalpegel hoch zu halten. Vollziehen sich Doppler-Korrektur und Funkzellenwechsel reibungslos, bemerkt der Reisende davon gar nichts – egal, ob er telefoniert, surft oder sich einen Video-Stream anschaut. +)

Michael Vogel

+ ) Ich danke Heimo Echensperger von der Deutschen Telekom AG, Bonn, für hilfreiche Erläuterungen.