

# Gigabit statt Geduldsprobe –

## Mehr Tempo fürs Bahnnetz

Andreas Schröder, Eike Gutt, aconium GmbH

Stockende Videocalls, Ladebalken beim Streamen und Verbindungsabbrüche mitten im Gespräch – wer mit der Bahn reist, kennt die Tücken schwacher Mobilfunknetze. Die steigenden Ansprüche an digitale Konnektivität machen schnelle und stabile Verbindungen unverzichtbar. Aber was braucht es, um die Lücken entlang der Schienen endlich zu schließen? Und welche technischen Herausforderungen müssen für leistungsfähigen Mobilfunk auf der Schiene überwunden werden?



© Adobe Stock | 1185742143 | alinea

Aus Perspektive der Nutzenden zeigt sich, dass eine flächendeckende Versorgung mit Mobilfunk allein nicht mehr genügt. Besonders für Pendler:innen und Fahrgäste auf Bahnreisen sind stabile, leistungsfähige Netze entscheidend. Der Bedarf an Bandbreite und die Erwartungen an eine leistungsstarke Mobilfunkverbindung wachsen schnell. Geschäftsreisende möchten die Reisezeit produktiv nutzen, etwa für Videokonferenzen, während Privatreisende Musik, Filme und Serien streamen oder sich mit Online-Games die Zeit vertreiben. All dies scheitert jedoch oft an lückenhaften Verbindungen.

Zugfahrten gelten als nachhaltig und klimafreundlich – ein guter Grund, die Anzahl der Bahnreisenden weiter zu erhöhen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine leistungsstarke Internetverbindung, die den Anforderungen der Reisenden gerecht wird. Perspektivisch werden Datenübertragungsraten im Gigabitbereich unverzichtbar, die sich insbesondere durch den Einsatz von 5G-Technologie in höheren Frequenzbereichen (zum Beispiel um 3,6 GHz) erzielen lassen. In Deutschland wurde bereits im Rahmen des durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Gigabit Innovation Track (GINT)-Projektes die theoretische Machbarkeit nachgewiesen. Im Oktober 2024 haben die Deutsche Bahn und Mobilfunknetzbetreiber in einer Absichtserklärung weiter vereinbart, unter anderem gemeinsam Synergien beim Aufbau und Einsatz einer leistungsfähigen Mobilfunkinfrastruktur zu identifizieren und diese bei der anstehenden Generalsanierung auf der Innovationsstrecke Hamburg – Berlin anzuwenden. Anfang 2025 wurde bereits damit begonnen, passive Infrastruktur entlang der Strecke zu errichten.

### Zu oft fahren wir noch durch digitale Wüsten

Die Mobilfunkversorgung entlang der Schienenwege erfolgt aktuell über die Flächenversorgung der Mobilfunknetzbetreiber (MNB). Dabei kommen vor allem Frequenzen im Bereich von 700 MHz, 800 MHz und 900 MHz zum Einsatz, teils auch 1800 und 2100 MHz. Die Mobilfunkstandorte sind so gewählt, dass sie möglichst große Flächen und bewohnte Gebiete abdecken. Allerdings liegen weite Teile der Bahnstrecken oft mehrere Kilometer vom nächsten Mobilfunkstandort entfernt, was sich deutlich auf die Mobilfunkqualität an Bord des

Zuges auswirkt. Die unzureichende Mobilfunkversorgung hat dazu geführt, dass den Netzbetreibern im Rahmen der Frequenzversteigerung 2019 Versorgungsaufgaben für Bahnstrecken auferlegt wurden. Fahrgaststarke Strecken müssen seitdem mit 100 Mbit/s pro Antennensektor versorgt werden, Nebenstrecken mit 50 Mbit/s. Um die Versorgung entlang der Bahntrassen weiter zu verbessern, unternehmen die Mobilfunknetzbetreiber zusätzliche Anstrengungen über die Erfüllung dieser Versorgungsaufgaben hinaus. Dabei kooperieren sie eng mit der Deutschen Bahn.

Trotz dieser Auszubemühungen konnte bislang jedoch keine durchgehend leistungsstarke und stabile Versorgung entlang der Bahnstrecken erreicht werden. Die Gründe dafür sind vielfältig; sie liegen nicht ausschließlich im Einflussbereich der Mobilfunknetzbetreiber.

### Digitalisierung als Schlüssel für nachhaltige Mobilität

Eine klimafreundliche Verkehrswende erfordert mehr als nur emissionsfreie Antriebe – sie braucht eine intelligente Infrastruktur, die nachhaltige Mobilität attraktiv und zuverlässig macht. Bahnreisen gelten als eine der umweltfreundlichsten Fortbewegungsarten, doch um sie als echte Alternative zum Auto oder Flugzeug zu etablieren, müssen Komfort und Konnektivität stimmen. Eine lückenlose, leistungsfähige Mobilfunkversorgung entlang der Schienenwege ermöglicht es Fahrgästen, produktiv zu arbeiten oder ihre Freizeit digital zu gestalten – ein entscheidender Faktor für die Attraktivität des Schienenverkehrs.

Besonders im Kontext der Mobilitätswende spielt die digitale Anbindung eine Schlüsselrolle: Wer langfristig den Umstieg vom Auto auf die Bahn fördern will, muss die Infrastruktur so gestalten, dass sie den Ansprüchen einer digital vernetzten Gesellschaft gerecht wird. Intelligente Verkehrssysteme, Echtzeitinformationen und verlässliche Kommunikationsnetze sind essenziell für ein modernes, nachhaltiges Mobilitätskonzept.

Dabei geht es nicht nur um schnelles Internet für Reisende, sondern auch um optimierte Betriebsabläufe im Schienenverkehr selbst. Echtzeitüberwachung von Zugbewegungen, KI-gestützte Wartungsprognosen und automatisierte Steuerungssysteme könnten Verspätungen reduzieren und die Kapazitäten effizienter



**Andreas Schröder**

Andreas Schröder ist Leiter Mobilfunk bei der aconium GmbH. Mit seinem Team unterstützt er Kommunen, Landkreise und Ministerien beim Ausbau von Mobilfunknetzen und in allen Fragen rund um den Mobilfunk. Schröder ist seit 25 Jahren in der Telekommunikationsbranche tätig. Nach seinem Studium der Volkswirtschaft und einer Station als Regulierungsökonom bei Arcor war er in der Hauptstadtrepräsentanz von Vodafone und ab 2015 von United Internet/1&1 tätig, wo er die politische Interessenvertretung für digitale Infrastrukturen übernahm.

#### Kontakt

a.schroeder@aconium.eu  
www.aconium.eu





#### Eike Gutt

Eike Gutt ist stellvertretender Leiter Mobilfunk bei der aconium GmbH. Nach seinem Studium der Chemie und Soziologie war er zunächst mehrere Jahre freiberuflich als technischer Berater im Telekommunikationssektor tätig. Seit acht Jahren leitet er bei aconium Fachprojekte und verantwortet Studien im Bereich Mobilfunk.

#### Kontakt

e.gutt@aconium.eu

www.aconium.eu

nutzen. Zudem sind stabile digitale Verbindungen essenziell für autonomes Fahren im Bahnsektor, das bereits in verschiedenen Pilotprojekten erprobt wird. Ein flächendeckendes Gigabit-Netz entlang der Bahntrassen ist daher nicht nur eine technische, sondern eine ökologische und betriebliche Notwendigkeit.

#### Signal auf Abwegen – Warum Highspeed-Internet im Zug so schwierig ist

Die Bauweise der ICEs mit metallbeschichteten Scheiben stellt eine erhebliche Herausforderung für die Mobilfunkversorgung dar, da diese das Signal stark dämpfen und so die Verbindung innerhalb des Zuges schwächen. Ein weiteres Hindernis war die eingeschränkte Nutzung des 900 MHz-Frequenzbandes: Dieses wird auch für den Bahnfunk GSM-R genutzt, was wegen der Frequenznähe Störungen im Bahnfunk verursachen konnte. Inzwischen wurde dieses Problem dank des Austauschs ungehärteter GSM-R-Endgeräte gegen gehärtete Modelle behoben.

Zudem wird Mobilfunk als Shared Medium benutzt, was bedeutet, dass sich alle Reisenden eine bereitgestellte Bandbreite teilen. Bei 500 Nutzenden und 100 Mbit/s stünden rechnerisch jedem Nutzenden nur noch 0,2 Mbit/s zur Verfügung – vorausgesetzt, die vollen 100 Mbit/s kommen im Zugabteil an.

Obwohl mehr Standorte, bauliche Anpassungen an den Zügen und der Austausch der ungehärteten Endgeräte die Versorgung bereits verbessern konnten, reicht dies für Gigabitgeschwindigkeiten noch nicht aus.

#### Anforderungen für die Versorgung von Bahntrassen mit Gigabit-Datenraten

ICEs fahren in Deutschland aktuell auf den Hochgeschwindigkeitstrassen mit maximal 300km/h. Insbesondere die Kombination

hoher Geschwindigkeiten und sehr hoher Datenraten ist technisch äußerst herausfordernd. Datenraten im Gigabit-Bereich machen den Einsatz von Frequenzen notwendig, die über ausreichend hohe Kanalbandbreite verfügen. Diese liegen typischerweise höher als das bisher gängige Spektrum.

In Deutschland haben die Netzbetreiber momentan im Band n78 (rund 3,6 GHz) genug Kanalbandbreite, um Gigabit-Datenraten ohne Carrier Aggregation (CA) zu ermöglichen. Hohe Frequenzbereiche haben jedoch Nachteile, vor allem bei der Versorgung von Nutzenden in schnell fahrenden Zügen. Der Dopplereffekt verursacht eine Frequenzverschiebung, die stärker ausfällt, je höher der Frequenzbereich ist – das gilt es bei der Netzkonfiguration zu berücksichtigen. Hohe Frequenzen haben zudem eine begrenzte Sendereichweite, sodass die Standorte sehr dicht beieinander stehen müssen, um eine kontinuierliche Versorgung sicherzustellen.

#### Versorgung von außen oder innen? Zwei Wege zum besseren Netz

Für die Übertragung von Mobilfunksignalen in Zügen gibt es verschiedene Ansätze. Eine Möglichkeit besteht darin, dass Mobilfunkstandorte eine externe Zugantenne anpeilen und die Daten über Antennen im Inneren des Zuges zu den Endgeräten (UE) gesendet werden. Das hat besonders bei höheren Frequenzen den Vorteil, dass der Pfadverlust deutlich geringer wird. So lässt sich die dämpfende Eigenschaft des Zuges umgehen, der elektromagnetische Wellen wie ein Faradayscher Käfig abschirmt. Für die Signalverteilung im Zug können WLAN und/oder Mobilfunkfrequenzen genutzt werden. Die Umsetzung dieser Lösung erfordert jedoch erhebliche Umbauten, darunter die Installation von Dachantennen, entsprechende Verkabelung sowie aktive Technik im Zuginneren.

Dieser bauliche Aufwand entfällt, sofern die Versorgung der Reisenden direkt von außen in den Zug erfolgt. Die Herausforderung besteht jedoch in den metallbeschichteten Scheiben: Diese dämpfen das Mobilfunksignal stark. Abhilfe schafft hier das „Lasern“ der Scheiben. Dabei wird die flächige Metallbeschichtung so segmentiert, dass die Wärmeschutzfunktion weitgehend erhalten bleibt, während aber die Signalstärke im Zuginneren erheblich steigt. Der Vorteil dieser Lösung liegt in ihrer Wartungsfreiheit, was sie im Vergleich

---

**Die Digitalisierung der Bahn ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern eine ökologische Notwendigkeit für eine nachhaltige Mobilitätswende.**

zur Antennenlösung im Zuginneren besonders attraktiv macht. Eine weitere Herausforderung für die Versorgung von Hochgeschwindigkeitsstrecken ist die hohe Geschwindigkeit der Züge. Dadurch „durchfährt“ der Zug Mobilfunkstandorte in kurzen Intervallen. Um permanente, schnelle „Handover“ zwischen den Mobilfunkstandorten zu verhindern, kann ein Verfahren eingesetzt werden, das als „Single Frequency Network“ (SFN) bezeichnet wird. Hierbei ordnet man mehrere „Remote Radio Heads“ (RRH) einer Basisstation zu. Dadurch kann über einen langen Streckenabschnitt die gleiche Cell-ID genutzt werden. Im Gebiet der gleichen Cell-ID ist damit kein Handover mehr notwendig. Die geringen Distanzen zwischen den Standorten sind auch notwendig, um auf jedem Streckenabschnitt eine „Line of Sight“ (LoS, Sichtverbindung) von den Endgeräten zur Antenne herzustellen. Insbesondere Barrieren wie Bewuchs oder Gebäude wirken sich bei hohen Frequenzen stärker aus und erfordern eine nahezu freie Sichtverbindung.

Im Ergebnis ist daher zur Erreichung des Zieles von Gigabit-Geschwindigkeiten in Zügen eine linienförmige Infrastruktur entlang der Gleise notwendig. Nur durch engmaschige Standortabstände lässt sich eine durchgängige Versorgung erreichen.

### **Mehr Netz für weniger Geld – Wie smarter Ausbau Mobilfunk auf die Schiene bringt**

Der Bau der erforderlichen Infrastruktur für ein Gigabitnetz ist kostenintensiv. Um den Ausbau dennoch effizient zu gestalten, sind wirtschaftlich und technisch geeignete Konzepte unverzichtbar. Ein zentraler Ansatzpunkt ist eine verstärkte Kooperation zwischen den Stakeholdern beim Bau und Betrieb dieser Infrastruktur.

Ein Schlüssel zur Kostenreduktion liegt in der gemeinsamen Nutzung von Mobilfunkmasten. Angesichts begrenzter Kapazitäten entlang der Bahntrassen ist es unwahrscheinlich, dass alle vier MNO jeweils eine eigene 5G-Infrastruktur entlang der Gleise aufbauen. Schon bei einer gemeinsamen Standortnutzung mit jeweils separater Technik müssten die Masten sehr hoch und besonders stabil ausgelegt werden.

Eine deutlich effizientere Lösung ist das aktive Sharing, bei dem alle Netzkomponenten nur einmal installiert und gemeinsam genutzt werden. Ein weiterer Schritt ist das sogenannte Frequenzpooling, wodurch das

gesamte Frequenzspektrum (zum Beispiel 300 MHz im n78-Band) allen Teilnehmern gemeinsam bereitsteht. Dies ermöglicht eine maximale Auslastung des Frequenzspektrums und steigert die erzielbare Datenübertragungsrate auf etwa zwei bis drei Gbit/s.

Zusätzlich sollte die vorhandene Bahninfrastruktur stärker für den Mobilfunkausbau genutzt werden, um weitere Kosten zu reduzieren. Neben ökonomischen Vorteilen spielen dabei auch Nachhaltigkeitsaspekte eine wichtige Rolle: So ist der Energieverbrauch bei gemeinsam genutzter aktiver Technik deutlich niedriger als bei mehreren parallelen Systemen. Die Stromkosten können dadurch erheblich sinken.

### **Ausblick**

Die Versorgung entlang der Bahntrassen mit leistungsfähigem Mobilfunk ist ambitioniert, aber eine leistbare Aufgabe. International gibt es Beispiele für eine lineare Infrastruktur entlang von Bahnstrecken. Mit der anstehenden umfangreichen Sanierung von Hochgeschwindigkeitstrassen in Deutschland und der Modernisierung des Bahnfunks besteht eine einmalige Chance, im Zuge dieser Arbeiten den öffentlichen Mobilfunk zu verbessern. So kann sichergestellt werden, dass nachhaltige, leistungsstarke und zukunftsfähige Mobilität nicht nur ökologisch, sondern auch digital überzeugend ist. ■

### **Kurz und Bündig**

5G-Mobilfunk entlang der Bahntrassen soll Gigabit-Datenraten ermöglichen. Ab 2025 beginnt der Ausbau passiver Infrastruktur auf der Strecke Hamburg–Berlin. Aktuell versorgen Mobilfunknetzbetreibende Bahnkorridore mit 700–2100 MHz, doch hohe Geschwindigkeiten und metallbeschichtete Zugfenster erschweren stabile Verbindungen. Frequenzen um 3,6 GHz bieten Gigabit-Potenzial, erfordern aber engmaschigere Funkstandorte. „Single Frequency Network“-Technologie kann Handover-Probleme reduzieren. Ein gemeinsamer Ausbau durch Netzbetreibende und Bahn könnte Kosten senken und Nachhaltigkeit verbessern.