



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Verkehr BAV**  
Abteilung Infrastruktur

Arbeitsgruppe POLYCOM Bahntunnel

---

# Richtlinie

betreffend

## **POLYCOM in Bahntunneln**

Bundesamt für Verkehr (BAV)

7. Juni 2010

Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-05-03/42



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Geltungsbereich .....	6
3	Grundlagen .....	7
4	Technische Anforderungen.....	8
4.1	Ausgangslage.....	8
4.2	Funkversorgungsbereiche mit POLYCOM.....	8
4.3	Systemabgrenzung.....	8
4.4	Elemente eines Tunnelfunksystems.....	9
4.4.1	Kopfstation.....	9
4.4.2	Tunnelstationen .....	10
4.4.3	Abstrahlsystem .....	10
4.4.4	LWL-Topologie .....	12
4.4.5	Überwachungs- und Managementsystem.....	12
4.5	Dimensionierungsvorgaben.....	12
4.5.1	Einleitung.....	12
4.5.2	Anzahl POLYCOM-Kanäle .....	12
4.5.3	Mindestanforderungen an die Funkversorgung .....	13
4.6	Versorgung von Tunnelportalen .....	14
4.7	Anspeisung und Signalzuführung ab POLYCOM-Teilnetz.....	15



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

4.7.1	Kabelgebundene Ankopplung an bestehende Basisstation.....	15
4.7.2	Ankopplung mit Air-Link-Repeater .....	16
4.7.3	Ankopplung an eigene und tunnelspezifische POLYCOM-Basisstation .....	17
4.7.4	Ankopplung bei speziellen Projekten .....	18
4.7.5	Sprachaufzeichnungen.....	18
4.8	Redundanz und Verfügbarkeit.....	19
5	Umsetzungsplanung, Realisierung und Abnahme.....	21
6	Betrieb und Unterhalt .....	22
7	Glossar .....	23
7.1	Ämter, Behörden und Organisationen.....	23
7.2	Technische Begriffe und Abkürzungen .....	23
8	Quellenverzeichnis.....	28
9	Inkrafttreten .....	29
10	Anhänge .....	30
10.1	Anhang [A]: Checkliste .....	31
10.2	Anhang [B]: Bitfehlerrate .....	32
10.3	Anhang [C]: Signalpegelverlauf.....	34
10.4	Anhang [D]: Messsystem .....	36



# 1 Einleitung

Der Sicherheitsfunk der Bahntunnelanlagen wird schweizweit an das Sicherheitsfunknetz POLYCOM angeschlossen.

Der Bund und die Kantone bauen für die Ereignisdienste (Blaulichtorganisationen) und das Grenzwachtkorps (GWK) landesweit das digitale Sicherheitsfunknetz POLYCOM auf. Grundlage für das Projekt Sicherheitsfunknetz POLYCOM ist der Bundesratsbeschluss vom 21. Februar 2001. Ziel ist es, eine einheitliche Mobilkommunikationsplattform zwischen den Führungskräften und Leitstellen von Polizei, Feuerwehr, Sanität bis Ende 2012 zu erstellen. Die zum Einsatz kommenden Mannschaften werden den Bedürfnissen entsprechend sukzessiv mit POLYCOM-Geräten ausgerüstet.

Der aktuelle Ausbaustand des POLYCOM-Sicherheitsfunknetzes in der Fläche ist kantonal und regional noch sehr unterschiedlich. Geplant ist jedoch, bis Ende 2012 schweizweit ein betriebsberechtigtes operatives Sicherheitsfunknetz zur Verfügung zu haben.

Mit Schreiben vom 15. Mai 2009 hat das BAV die Bahnen angewiesen, grössere Tunnelanlagen mit POLYCOM auszurüsten.

Um sicherzustellen, dass netzweit die gleichen technischen Anforderungen berücksichtigt werden, hat eine Arbeitsgruppe unter der Leitung des BAV diese Richtlinie erarbeitet.

Die vorliegende Richtlinie definiert die Minimalanforderungen an die Versorgung der Bahntunnel mit POLYCOM und regelt die Kompatibilität, die Abgrenzung und die Schnittstellen der Sicherheits-Tunnelfunkanlagen mit dem externen Sicherheitsfunknetz POLYCOM.

Die Finanzierung der POLYCOM-Anlagen in Bahntunneln ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

In der Arbeitsgruppe vertreten sind/waren: das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Vertreter der kantonalen Behörde für die Organisationen der Rettung und Sicherheit (BORS), Vertreter der Bahnen, Vertreter des Grenzwachkorps (GWK) und das BAV.

## Rollenverteilung

- **Bundesamt für Verkehr (BAV):** Das BAV ist Vollzugs- und Aufsichtsbehörde gegenüber den Bahnen.
- **Bahnen:** Die Bahnen sind Ersteller und Betreiber der Tunnelfunkanlagen in Bahntunneln. Diese Anlagen strahlen, nebst anderen Signalen, auch die POLYCOM-Signale ab.



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

- **Kantonale Behörden und Organisationen für Rettung und Sicherheit (BORS):** Die BORS nehmen die Koordinationsaufgaben im Zusammenhang mit der Abstimmung und den technischen Schnittstellen zwischen den Tunnelfunk-Anlagen und den Komponenten des POLYCOM-Netzes sowie bei der Ausarbeitung / Revision der Ereignis- und Rettungskonzepte wahr.
- **Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS):** Die Koordination des gesamten Vorhabens POLYCOM nimmt das Projektmanagement POLYCOM beim BABS wahr. Dies beinhaltet insbesondere die Verantwortung für die so genannten "nationalen Komponenten" wie Funkfeld-, Standort- und Frequenzplanung sowie den Änderungsdienst und die Vernetzung der einzelnen Teilnetze zu einem nationalen Verbund.  
Weiter nimmt das BABS die Rolle des technischen POLYCOM-Experten wahr.
- **Grenzwachkorps (GWK):** Das GWK hat drei strategische Aufgaben (in den Bereichen Zoll, Sicherheitspolizei und Fremdenpolizei), die zu erfüllen sind. Die operative Ebene ist nach den geotaktischen Gesichtspunkten definiert. Zur Erfüllung der Aufgaben ist das GWK auf eine zuverlässige flächendeckende (inkl. Bahntunnels) Kommunikationsinfrastruktur angewiesen. Das GWK realisiert die POLYCOM-Infrastruktur entlang dem Grenzgürtel wobei die Partner BORS vollumfänglich eingebunden sind.



## 2 Geltungsbereich

Die Richtlinie POLYCOM in Bahntunneln gilt grundsätzlich für bestehende Tunnel. Sie ist primär für die in der BAV-Richtlinie „Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel“ festgelegten Bahntunnelanlagen (Typen C + D) anzuwenden (siehe Kapitel 8, Quelle [1]). Diese beiden Tunneltypen beziehen sich auf ein- und zweigleisige Bahntunnel, die länger als 1000 m sind und eine Zugdichte von mehr als 100 Zügen pro Tag und Tunnelröhre in beiden Fahrtrichtungen aufweisen (Reise- und Güterzüge, Durchschnittswert über das gesamte Jahr). Sie richtet sich an alle Eisenbahninfrastrukturunternehmen mit bestehenden Tunnelanlagen aber auch an die Bauherren von Bahntunnelneubauten, in denen gemäss den Bestimmungen des BAV eine POLYCOM-Tunnelfunkversorgung zu realisieren ist.

Werden bestehende Bahntunnelanlagen der Klassen A + B gemäss der BAV-Richtlinie „Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel“ durch die Infrastrukturbetreiber mit einer ergänzenden Sicherheitsfunkanlage (POLYCOM) aufgerüstet, ist die vorliegende Richtlinie ebenfalls anzuwenden.

Bei neuen Bahntunneln ist für den Sicherheitsfunk zwingend POLYCOM vorzusehen.  
Die Technischen Anforderungen werden im Rahmen des Plangenehmigungsprozesses geregelt.

Bei bereits in der Ausführung stehenden neuen Bahntunnelanlagen, für welche POLYCOM als Sicherheitsfunk mittels Auflage verfügt wurde, ist die vorliegende Richtlinie sinngemäss anzuwenden.

Die Endgeräteausrüstungen sind nicht Bestandteil dieser Richtlinie.



## 3 Grundlagen

Gestützt auf das Eisenbahngesetz (EBG; SR 742.101) ist das BAV Aufsichtsbehörde der Eisenbahnen. Es sorgt dafür, dass die Bahnanlagen gemäss dem Stand der Technik erstellt, betrieben, unterhalten und erneuert werden.

Gemäss der Verordnung über den Schutz von Störfällen (Störfallverordnung, StFV; SR 814.012) hat der Inhaber eines Verkehrsweges u.a. geeignete Massnahmen zu treffen, welche dazu dienen, Einwirkungen von Störfällen möglichst zu begrenzen. In diesem Zusammenhang müssen die Bahnen zusammen mit den Ereignisdiensten eine Einsatzplanung für Störfälle erarbeiten und auf der Basis dieser Einsatzplanung periodisch Übungen durchführen. Als wichtiges Element dieser Einsatzplanung ist auch die Kommunikation mit den Ereignisdiensten zu regeln. Da diese Kommunikation primär mittels Funk erfolgt, ist dieser zwischen Bahnen und den zivilen Rettungsdiensten abzustimmen. In der Schweiz sollen künftig alle Ereignisdienste das digitale Funksystem POLYCOM verwenden.

Weitergehende Informationen zu POLYCOM sind im Kapitel 8, Quellen [2] - [4] und über folgenden Link verfügbar:

<http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/themen/polycom.html>

Die Richtlinie betreffend „Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel“ (siehe Kapitel 8, Quelle [1]) ordnet die einzelnen Tunnels in verschiedene Tunnelklassen (Tunnelklassen A bis D). Für jede dieser Tunnelklassen werden die zwingend umzusetzenden und die abzuklärenden Sicherheitsmassnahmen angegeben.



## 4 Technische Anforderungen

### 4.1 Ausgangslage

Parallel zur schrittweisen Einführung von POLYCOM für die BORS in der ganzen Schweiz sollen auch bestimmte Klassen von Bahntunneln mit POLYCOM ausgerüstet werden (siehe Kapitel 8, Quelle [1], „Richtlinie betreffend Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel“). Damit wird den BORS-Interventionskräften für die Ereignisbewältigung in Tunnelanlagen ein Funksystem zur Verfügung gestellt, welches mit der entsprechenden Funkausrüstung die Kommunikation mit den BORS und Bahnen ermöglicht.

Dies bedingt, dass mindestens alle Bahntunnel der Klassen C und D mit POLYCOM ausgerüstet werden müssen. Dabei gilt aber zu beachten, dass für den Betriebsfunk POLYCOM nicht verwendet werden darf.

### 4.2 Funkversorgungsbereiche mit POLYCOM

Die POLYCOM-Funkversorgung im Perimeter eines Bahntunnels umfasst i. d. R. mindestens folgende Bereiche:

- Sämtliche Fahrrohren
- Sämtliche Fluchtwege und Fluchtstollen, soweit diese gemäss dem Einsatzkonzept von Einsatz- und Rettungskräften begangen werden
- Die Portalbereiche gemäss den Vorgaben der jeweiligen Einsatzplanung

### 4.3 Systemabgrenzung

Bei der Versorgung eines Bahntunnels mit einem Mobilfunkdienst ist zwischen dem Funknetz zu unterscheiden, das diesen Dienst überträgt und dem Tunnelfunksystem, welches (im Sinne einer verlängerten Antenne) den Tunnel mit dem Signal des Netzes versorgt (siehe Abbildung 1).



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Beispiele von Mobilfunkdiensten, welche in Bahntunnels zum Einsatz kommen, sind:

- Zug- und Rangierfunk für den Bahnbetrieb, Bsp. GSM-R
- GSM-Public und UMTS für die Mobilkommunikation der Bahnpassagiere (inkl. GSM-R Roaming)
- POLYCOM für die BORS-Interventionskräfte im Ereignisfall

Für die Planung, Realisierung und den Betrieb der Funknetze sind die jeweiligen Systembetreiber verantwortlich.

Für die Planung, Realisierung und den Betrieb der Tunnelfunksysteme ist der Bahninfrastrukturbetreiber verantwortlich.

Die systemtechnische Schnittstelle zwischen den Funknetzen und dem Tunnelfunksystem ist grundsätzlich die Hochfrequenz-Schnittstelle zwischen der Basisstation des jeweiligen Netzes und dem Eingang des Tunnelfunksystems. Beide Schnittstellen müssen im Einzelfall mit den jeweiligen Netzbetreibern koordiniert und präzisiert werden (siehe auch 4.7).

## 4.4 Elemente eines Tunnelfunksystems

Abbildung 1 zeigt übersichtsmässig die grundlegenden Elemente eines Tunnelfunksystems. Die darin enthaltenen Verbindungen sind als logische Verbindungen zu betrachten. Dieses Kapitel ist beispielhaft zu verstehen. Es sind andere Architekturen mit anderen Begriffen denkbar.

### 4.4.1 Kopfstation

Die Hauptaufgabe der Kopfstation KS liegt in der Umsetzung der Signale von und zu den Basisstationen der Funknetze (HF-Signale) in optische Signale und deren Übertragung über Lichtwellenleiter (LWL) zu den verschiedenen Tunnelstationen TS.

Die Kopfstation überwacht zudem die Tunnelfunkstellen und das Strahlungskabel und liefert den Status des Tunnelfunksystems an das Überwachungs- und Managementsystem (TFK OMC) und die Leitstelle (LS) weiter (siehe Abbildung 1). Nur einseitig gespeiste Strahlungskabel oder auch Antennen sind nicht überwacht.





Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Für längere Tunnels wird das Strahlungskabel über die Tunnellänge in Segmenten von ca. 1000 m aufgeteilt. Diese Segmente werden jeweils beidseitig von zwei verschiedenen Tunnelstationen versorgt. Daher ist die Funkversorgung durch eine Beschädigung bzw. Unterbrechung des Strahlungskabels nur geringfügig beeinträchtigt (bei einem Unterbruch des Strahlungskabels kann es zu einer lokalen Versorgungslücke kommen). Der Funkversorgungsbereich um ein Strahlungskabelsegment beträgt nur einige wenige Meter. Das Strahlungskabel zwischen zwei Tunnelstationen muss für die POLYCOM-Frequenzen „elektrisch“ durchgehend sein.

Falls vom Prinzip der beidseitigen Einspeisung der Kabelsegmente abgewichen wird, ist eine Risikoabschätzung durchzuführen und mit der Plangenehmigungsvorlage dem BAV einzureichen.

Das vorgesehene Strahlungskabel muss mindestens die folgenden Anforderungen erfüllen:

- IEC 332-1 flammwidrig
- IEC 754-1/-2 halogenfrei und nicht korrosiv
- IEC 1034 kleine Rauchentwicklung

Wird das Signal auf ein bestehendes Strahlungskabel geführt, welches die oben genannten Anforderungen nicht erfüllt, ist dies darzulegen und im Rahmen des PGV zu prüfen.

Antennen bieten nicht dieselbe Bandbreite wie ein Strahlungskabel. Das bedeutet, dass für verschiedene Funkdienste in verschiedenen Frequenzbändern jeweils eigene Antennen eingesetzt werden müssen. Dafür ist deren Montage viel einfacher. Zudem können mit Antennen gezielter Versorgungslücken abgedeckt werden.

Bei der Montage des Strahlungskabels und generell von Komponenten im Tunnel sind u.a. folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Sämtliche Komponenten (inkl. Strahlungskabel) müssen sich ausserhalb des Lichtraumprofils des Tunnels befinden.
- Die Position des Strahlungskabels ist so zu wählen, dass eine möglichst gute Qualität der Funkverbindung gewährleistet ist.
- Die Installationen müssen so ausgeführt werden, dass durchfahrende Züge / Güterzüge die Anlagen nicht beschädigen können (Fahrtwind, Luftdruck, Abdeckungsblachen usw.).
- Sämtliche Erdungen müssen entsprechend den einschlägigen Vorschriften im Bahnumfeld ausgeführt werden.



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

#### **4.4.4 LWL-Topologie**

Die Tunnelstationen werden ab der Kopfstation mittels LWL sternförmig allenfalls redundant (siehe Kapitel 4.8) angeschlossen.

#### **4.4.5 Überwachungs- und Managementsystem**

Das Überwachungs- und Managementsystem der Tunnelfunkanlage (TFK OMC) ist verantwortlich für die Konfiguration und die Überwachung des Tunnelfunksystems und besteht aus dem lokalen Leitsystem (siehe Abbildung 1). Die Bedienung des TFK OMC kann sowohl vor Ort bei der Kopfstation als auch abgesetzt über eine Bedienstation z.B. in der Leitstelle erfolgen. Neben Ausfällen an der Tunnelfunkanlage lässt sich auch der Verlust eines Eingangssignals eines Funknetzes erkennen.

Die Statusmeldungen und Alarmer der verschiedenen Funknetze laufen jedoch in den Überwachungssystemen der entsprechenden Netzbetreiber zusammen. Dieses kann den Ausfall einer BTS erkennen.

### **4.5 Dimensionierungsvorgaben**

#### **4.5.1 Einleitung**

In diesem Kapitel werden die minimal notwendigen Dimensionierungsvorgaben festgelegt. Weiterführende Dimensionierungsgrundlagen müssen innerhalb der einzelnen Projekte bei den Bahnen spezifisch entsprechend den gegebenen Verhältnissen und Anforderungen (Einsatzkonzept) berücksichtigt werden.

#### **4.5.2 Anzahl POLYCOM-Kanäle**

Das Tunnelfunksystem muss alle POLYCOM-Funkkanäle der Aussenversorgung auch im Tunnel übertragen. Dies sind mindestens 8 Kanäle resp. maximal 16 Kanäle pro Zelle. Ausnahmen sind in Absprache mit den betroffenen Ereignisdiensten und POLYCOM-Teilnetzbetreibern möglich.

Aus Redundanzgründen oder falls POLYCOM-Signale von zwei Kantonen erforderlich sind, wird der Tunnel mit zwei Zellen ausgerüstet (siehe auch Kapitel 4.8).

Nur so kann gewährleistet werden, dass die Kommunikation der Interventionskräfte im Ereignisfall ausser- und innerhalb des Tunnels ohne Beeinträchtigung funktioniert.



## 4.5.3 Mindestanforderungen an die Funkversorgung

### 4.5.3.1 Allgemein

Für die gesamte Übertragungsstrecke gelten die folgenden allgemeinen Mindestanforderungen für den Up- und Downlink:

- Die Laufzeiten zwischen der Auskopplung an der POLYCOM-Basisstation bis zur Abstrahlung des Signals beim Strahlungskabel müssen kleiner als 15  $\mu$ s sein.
- Die Empfangsschwelle für ein POLYCOM-Endgerät beträgt -111 dBm. Die maximale Sendeleistung des Endgerätes ist 2 W (33 dBm).
- Die Linkbudgets für den Up- und Downlink sind grundsätzlich symmetrisch (bzw. Uplink ist besser resp. gleich wie Downlink) zu dimensionieren mit dem Zweck, die Kommunikation mit dem POLYCOM-Endgerät am Gurt sicherzustellen. Eine Kommunikation in den Zug (In-Train-Versorgung) ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.
- Das Signal-Rauschverhältnis (signal to noise ratio, S/N) ist im Up- und Downlink einzuhalten und beträgt mindestens 20 dB bei einer Messbandbreite von 10 kHz.
- Das Abstrahlsystem ist so zu realisieren, dass sich keine störenden Intermodulationen (IM) gemäss Vorgaben vom BAKOM und ETSI ergeben (siehe Kapitel 8, Quellen [5] - [10]). Ausstrahlungen in den Tunnelraum können auch mit „breitbandigen“ Verstärkersystemen erfolgen. Die dadurch in der Regel entstehenden Intermodulationsprodukte dürfen im Tunnelraum den Wert von -36 dBm, plus den Wert der Koppeldämpfung des Strahlungskabels nicht überschreiten. Die Intermodulationsprodukte dürfen nicht in den Freiraum gelangen.
- Zur Ermittlung der oben spezifizierten Werte muss der Tunnel grundsätzlich in beiden Richtungen ausgemessen werden.
- Zellenwechsel in Tunnels (Handover) sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

### 4.5.3.2 Downlink

Es gelten die folgenden Mindestanforderungen:

- Der Funkversorgungspegel muss im normalen Betriebszustand des Tunnelfunksystems mindestens -87 dBm mit einer Ortswahrscheinlichkeit von 95 % betragen (Rx-Pegel nominal, siehe Anhänge 10.3 und 10.4).
- Das Strahlungskabelsegment wird (gemäss T-Struktur) beidseitig von je einer Tunnelstation (TS) gespeist. Beim Ausfall einer TS (Störfall) muss der Funkversorgungspegel an der resultierenden kritischsten Stelle des Strahlungskabelsegments (normalerweise die Stelle, wo sich ausgefallene TS befindet) immer noch mit -99 dBm und einer Ortswahrscheinlichkeit von 95 % garantiert sein (Rx-Pegel nicht redundant, siehe Anhang 10.3).



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

- Der Statistikabstand beträgt 20 m (siehe Anhang 10.4).
- Die Bitfehlerrate im normalen Betriebszustand des Tunnelfunksystems muss kleiner als 2 % sein, gemessen an der jeweils kritischsten Stelle im Tunnel (siehe Anhänge 10.2 und 10.3).

#### **4.5.3.3 Uplink**

Der Uplink ist so zu dimensionieren, dass die Anforderungen gemäss den Kapiteln 4.5.3.1 und 4.5.3.2 berücksichtigt werden.

Zur Ermittlung der Funkversorgungsqualität wird der Messwagen mit einem Sender mit definiertem Sendersignal und Sendepiegel ausgerüstet. Die Stärke des Sendersignals ist so zu wählen, dass das berechnete Linkbudget berücksichtigt wird (siehe Anhang 10.4). Beim Abfahren des Tunnels kann an der Kopfstation entsprechend Kapitel 4.5.3.1 die Qualität des ankommenden Signals gemessen werden.

## **4.6 Versorgung von Tunnelportalen**

Die für das POLYCOM-Teilnetz zuständigen BORS der entsprechenden Tunnel sind für die Freiraumfunkversorgung bis zu den Portalen der Bahntunnel in der erforderlichen Feldstärke und Qualität gemäss den Planungsvorgaben des BABS verantwortlich.

Das POLYCOM-Teilnetz basiert auf dem zellularen Versorgungsprinzip mit hoher Versorgungsfeldstärke im gesamten Versorgungsgebiet. Wechselt ein mobiler Teilnehmer von einer Zelle in die nächste, so findet ein Umschaltvorgang für den Zellenwechsel (Handover) des Teilnehmers statt, weil das mobile Gerät an die Basisstation der nächsten Zelle angemeldet wird. Dieser Vorgang hat einen kurzen Verbindungsunterbruch zur Folge. Stellt der Tunnel die Verbindung zur nächsten Funkzelle her, so sollte der systembedingte Unterbruch beim Zellenwechsel, wenn immer möglich nicht im Tunnel, sondern im Freiraum stattfinden.

Gegebenenfalls ist eine Portalversorgung mit Antennen vorzusehen. Letztlich muss das Konzept so ausgelegt sein, dass sich die Zellengrenzen überschneiden, d.h. der mobile Teilnehmer verfügt in der Übergangszone über eine abnehmende Feldstärke der zu verlassenden Zelle und über eine zunehmende Feldstärke der „neuen“ Zelle. Nötigenfalls, bei einem Zellenwechsel im Tunnel, müssen Signale von zwei Zellen in den Tunnel geführt werden.

Die Abstrahlung des Tunnelfunksystems in den Freiraum muss den gültigen BAKOM- und ETSI-Vorschriften entsprechen. Die Erstellung einer Antennenanlage unterliegt der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV).



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Die Antennen sind gegen Blitzeinschlag / Überspannungen abzusichern.

Die Planung von Tunnelfunkanlagen insbesondere auch die Anspeisung und Signalzuführung (siehe Kapitel 4.7) ist mit der Netzplanung POLYCOM zu koordinieren. Dabei geht es auch darum, die Einstrahlungen der Aussenversorgung in die Tunnel zu berücksichtigen, um unerwünschte Zellenwechsel zu verhindern.

## 4.7 Anspeisung und Signalzuführung ab POLYCOM-Teilnetz

Die Signalzuführung ab POLYCOM-Teilnetz zur Anbindung an die Kopfstation kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- Kabelgebundene Ankopplung an bestehende Basisstation (mit LWL oder Koaxialkabel)
- Ankopplung mit Air-Link-Repeater
- Ankopplung an eigene und tunnelspezifische POLYCOM-Basisstation

Um diese Anbindung in der erforderlichen Qualität zu konzipieren, müssen Anbindungskonzepte vom BABS erstellt werden, die mit den Bahnen abzusprechen sind. Das BABS hat dazu alle relevanten Bahntunnel in der Schweiz bezüglich Anspeisung und Signalzuführung untersucht und dokumentiert (siehe Beispiel in Kapitel 8, Quelle [8]). Diese Anspeisungs- und Signalzuführungskonzepte für die TFK-Integration in die POLYCOM-Teilnetze sind im BAV-EXTRANET abgelegt. Sie können über folgenden Zugriff eingesehen bzw. heruntergeladen werden:

[www.bav.admin.ch](http://www.bav.admin.ch) - Dienstleistungen - Extranet- POLYCOM in Bahntunneln

Den Bahnen und den kantonalen BORS-Vertreter, sowie den Mitgliedern der Arbeitsgruppe POLYCOM in Bahntunneln sind mit dieser Adresse und einem entsprechenden Login die Anbindungskonzepte zugänglich.

### 4.7.1 Kabelgebundene Ankopplung an bestehende Basisstation

*Fall: In der Nähe der Tunnelfunk-Kopfstation ist schon eine für die Versorgung des Tunnels geeignete POLYCOM-Basisstation vorhanden.*

In diesem Fall kann über eine Zubringerleitung (Lichtwellenleiter oder bei kurzer Distanz Koaxialkabel) die Tunnelstation an die bestehende Basisstation angekoppelt werden.



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Technisch und betrieblich bildet hier der Ausgang der POLYCOM-Basisstation die Schnittstelle (A). Die LWL- bzw. Koaxialzubringerkabel sowie die elektrisch-optischen Wandler sind im Verantwortungsbereich der Bahn.

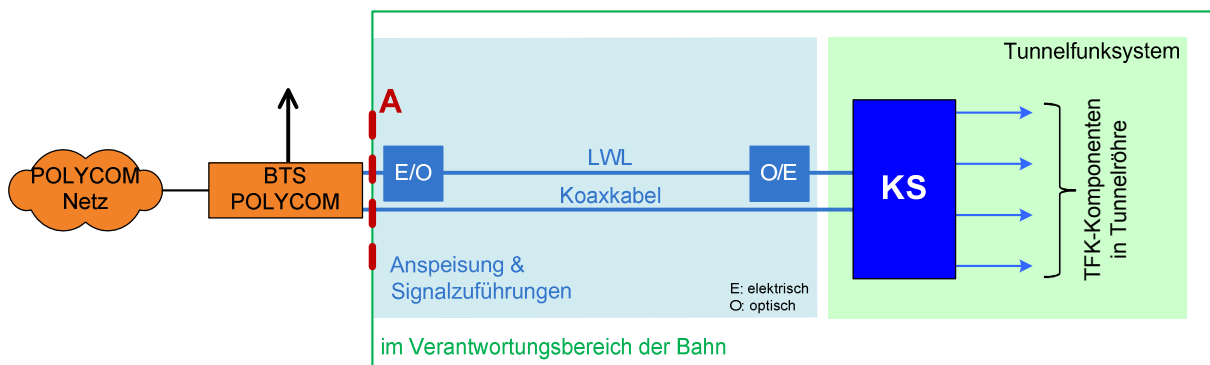


Abbildung 2: Kabelgebundene Ankopplung an bestehende Basisstation eines POLYCOM-Teilnetzes

#### 4.7.2 Ankopplung mit Air-Link-Repeater

*Fall: Es gibt keine POLYCOM-Basisstation in der Nähe der Kopfstation, jedoch ist das POLYCOM-Freiraumsignal stark und qualitativ gut.*

Die Signale aus dem Freiraum werden mittels einer dafür vorgesehenen Antenne empfangen, in einem Repeater verstärkt und via Kopfstationen zu den Tunnelstationen weitergeleitet (Downlink). Im Uplink werden die Signale der Mobilfunkgeräte im Tunnel über das Strahlungskabel empfangen und via Tunnelstationen, Kopfstation und Air-Link-Repeater ausgesendet, um von der POLYCOM-Basisstation empfangen zu werden.

Für eine solche Lösung gelten folgende Anforderungen:

- Der minimale Signalpegel an der Antenne vom Air-Link-Repeater muss -60 dBm pro Träger betragen.
- Es sollte möglichst Sichtverbindung zwischen der entfernten POLYCOM-Basisstation und der Air-Link-Repeater-Antenne vorhanden sein.
- Inband Fremdsignale sollten mindestens 10 – 20 dB schwächer sein als die Nutzsignale.
- Die Repeater müssen den gültigen BAKOM- und ETSI-Vorschriften entsprechen (siehe Kapitel 8, Quellen [5] - [10]).





Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

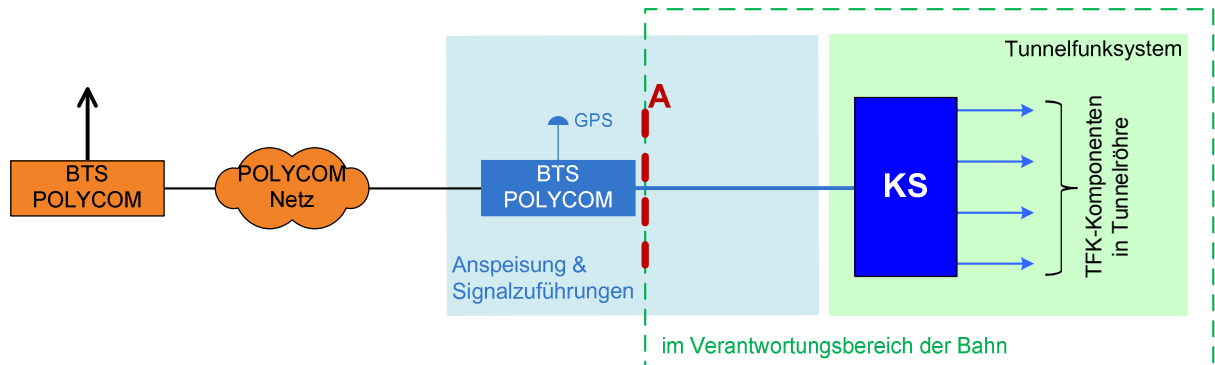


Abbildung 4: Ankopplung an eigene POLYCOM-Basisstation

#### 4.7.4 Ankopplung bei speziellen Projekten

In komplexen Fällen erfordert die Anbindung zusätzlichen Koordinationsbedarf zwischen Bahntunnelbetreiber und Netzbetreiber, z.B.:

- bei Tunnellänge grösser als 10 km
- bei Tunnelgruppen
- bei Kehrtunnel
- Nothalte- resp. Multifunktionsstellen in Tunnels

Bei diesen Projekten sind speziell folgende Aspekte zusätzlich zu berücksichtigen und zu prüfen:

- POLYCOM-Basisstationen innerhalb des Tunnels
- Synchronisation von mehreren POLYCOM-Basisstationen mittels GPS-Signalen (Gleichwellennetzprinzip)
- Koordinationsbedarf mit dem BABS

#### 4.7.5 Sprachaufzeichnungen

Die Aufzeichnung von Funkgesprächen liegt nicht im Verantwortungsbereich des BAV resp. ist nicht Teil des Tunnelfunksystems. Für die Sprachaufzeichnung sind im Bereich von Bahntunneln die gleichen Auflagen einzuhalten, wie diese auch im Aussenbereich für das jeweilige POLYCOM-Teilnetz gelten.



## 4.8 Redundanz und Verfügbarkeit

Die Redundanz und damit die Verfügbarkeit des Tunnelfunksystems sind mit dem Einsatzkonzept der Bahn für den Ereignisfall abzustimmen. Daher ist die Redundanz für jeden Tunnel im Einzelfall zu beurteilen. Eine entsprechende Risikoabschätzung ist durchzuführen.

Grundsätzlich ist die Versorgung mit POLYCOM für alle Bahntunnel vom Typ D gemäss der BAV-Richtlinie „Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel“ (siehe Kapitel 8, Quelle [1]) redundant zu realisieren. Dies bedeutet, dass die POLYCOM-Einspeisung in den Tunnel von beiden Tunnelseiten her und unabhängig voneinander realisiert werden muss (siehe Abbildung 5). Je nach geographischer Lage des Tunnels und POLYCOM-Teilnetzplanung besteht die Möglichkeit, den Tunnel von zwei unterschiedlichen POLYCOM-Zellen oder gar POLYCOM-Teilnetzen aus zu versorgen. Damit ergeben sich im Tunnel zwei unabhängig versorgte POLYCOM-Funkzellen.

Eine Verlegung von zwei Strahlungskabeln aus Redundanzgründen wird nicht verlangt. Allerdings muss die Stromversorgung der Kopf- und Tunnelstationen das Einsatzkonzept bei Ereignissen erfüllen (siehe nachfolgendes Beispiel).

Falls bei den Tunneltypen D von diesem Grundsatz abgewichen werden soll, muss eine Risiko- und/oder eine Verhältnismässigkeitsabschätzung durch die Bahn erfolgen und diese durch das BAV geprüft werden.

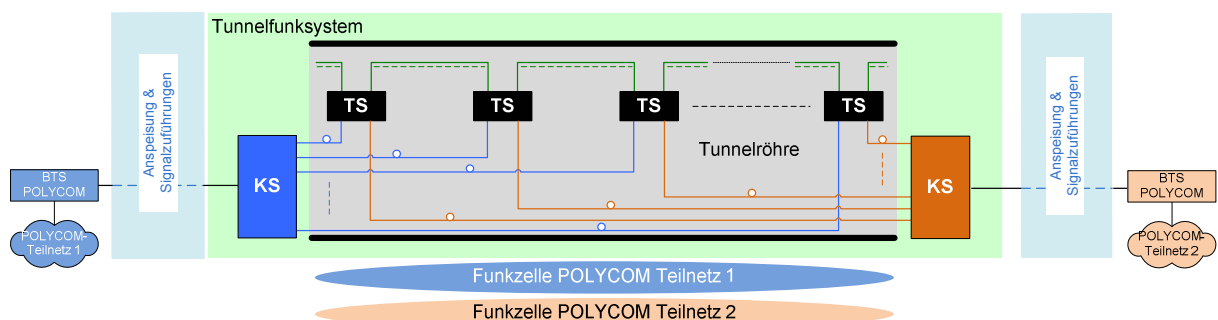


Abbildung 5: Redundante Funkversorgung eines Bahntunnels mit POLYCOM

Im Ereignisfall besteht zusätzlich die Möglichkeit, dass die Einsatzkräfte zusätzliche mobile Kommunikationseinrichtungen zum Ereignisplatz bringen, z.B. mobiles Funkrelais (Independent Digital Repeater, IDR), temporäre Kommunikationskabel und -komponenten usw. Solche Lösungen drängen sich auch bei kurzen Tunneln auf, die nicht mit Tunnelfunk ausgerüstet werden.



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

**Beispiel:** Wenn das Einsatzkonzept der Bahn verlangt, dass die Kommunikation im Tunnel z.B. während 45 Minuten nach Eintreten des Ereignisses aufrecht erhalten werden muss, sind die notwendigen Elemente der Tunnelfunkausrüstung entsprechend zu planen und zu dimensionieren. Demzufolge ist die Redundanzfrage projektspezifisch an das Einsatzkonzept der Bahn gekoppelt, welches mit der BORS abgestimmt werden muss. Eine entsprechend Risikoabschätzung ist notwendig.



## 5 Umsetzungsplanung, Realisierung und Abnahme

Für den Einbau von POLYCOM müssen die Bahnen eine Umsetzungsplanung erarbeiten. Diese ist mit der Funknetzplanung POLYCOM (Bund, Kantone) und den kantonalen Einsatzkonzepten abzustimmen. Im Anhang [A] zu dieser Richtlinie ist eine Checkliste zur Erarbeitung der Umsetzungsplanung (Gesamtkonzept) und des Einbaukonzepts für die Tunnelfunkanlage sowie zur Erstellung des Berichts an das BAV enthalten.

Die Errichtung von POLYCOM-Anlagen innerhalb und ausserhalb von Tunnelstrecken erfordert ein eisenbahnrechtliches Plangenehmigungsverfahren, welches vom BAV durchgeführt wird. Für Standorte ausserhalb von Tunneln mit Veränderungen der NIS-Situation ist in der Regel ein ordentliches Verfahren mit öffentlicher Planaufgabe durchzuführen. Anlagen in Tunneln können grundsätzlich im vereinfachten Verfahren durchgeführt werden. Neben den gemäss Artikel 3 der Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen (VPVE; SR 742.142.1) erforderlichen Unterlagen hat das Plandossier insbesondere ein NIS-Standortdatenblatt zu umfassen sowie Ausführungen über die Aktualisierung der Einsatzplanung.

Das Einsatzkonzept ist auf Grund der Nachrüstung mit POLYCOM zu überarbeiten und zu aktualisieren. Die Zustimmung der zuständigen kantonalen Stellen zu neuen oder aktualisierten Einsatzplanungen muss dem BAV nach Projektabschluss vorgelegt werden.

Die prinzipielle Umsetzung eines solchen Projekts läuft in der Regel in folgenden Schritten ab:

- |   |      |
|---|------|
| 1. Erstellung des Gesamtkonzepts inkl. Aussagen zur Einsatzplanung<br>(siehe Checkliste Anhang [A], Kap. 10.1)  | Bahn |
| 2. Ausarbeit und Einreichung des PGV  | Bahn |
| 3. Genehmigung des PGV durch das BAV  | BAV  |
| 4. Umsetzung und Realisierung   | Bahn |
| 5. Überarbeitung des Einsatzkonzepts mit den kantonalen Stellen   | Bahn |
| 6. Abschlussbericht an das BAV: Abnahmemessungen, bereinigtes Einsatzkonzept, Zustimmung der kantonalen Stellen | Bahn |
| 7. Zustimmung durch BAV gemäss Anordnung im PGV   | BAV  |

Die Bahn muss gegenüber dem BAV den Nachweis erbringen, dass diese vorliegende Richtlinie mit den enthaltenen Vorgaben und Rahmenbedingungen umgesetzt und entsprechende Abnahmemessungen durchgeführt wurden.

In den Anhängen 10.2 und 10.4 sind als Beispiel Möglichkeiten beschrieben, wie die Abnahmemessungen ausgeführt werden könnten.



## 6 Betrieb und Unterhalt

Vor der Inbetriebnahme muss das Betriebskonzept dem BAV vorgelegt werden. Das Betriebskonzept ist mit [4] im Kapitel 8 abzustimmen. Darin müssen nebst den bahnbetrieblichen Themen auch folgende Aspekte beschrieben und geregelt sein:

- Zuständigkeiten für den Betrieb und Unterhalt.
- Zutritt zu den Komponenten in den Betriebsräumen und im Tunnel.
- Das Strahlungskabel und die Komponenten im Bahntunnel müssen gewartet werden. Dazu müssen auch die im Rahmen der Realisierung und Dokumentation des Tunnelfunksystems erfassten Referenzwerte des Systems überprüft und bei Abweichungen nachjustiert werden. Dies bedingt eine Regelung zwischen dem POLYCOM-Betreiber, der Bahn und dem Lieferant für das Tunnelfunksystem.

Nach einem Stromausfall oder nach einem Ausfall der Datenzuleitung muss die Anlage wieder automatisch in den betriebsfähigen Zustand übergehen.



## 7 Glossar

### 7.1 Ämter, Behörden und Organisationen

Begriff	Bedeutung
BABS	Bundesamt für Bevölkerungsschutz
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BAV	Bundesamt für Verkehr
BORS	Behörden und Organisationen für Rettung und Sicherheit
ETSI	European Telecommunications Standards Institute: Herausgeber international gültiger Normen und Vorschriften für die Kommunikationstechnik
GWK	Grenzwachkorps
IEC	Die Internationale Elektrotechnische Kommission, kurz: IEC (von engl. International Electrotechnical Commission ist ein internationales Normierungsgremium mit Sitz in Genf für Normen im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

### 7.2 Technische Begriffe und Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
Bitfehlerrate, BER	Bit Error Rate, Bitfehlerrate: Ein Mass für die Qualität der Übertragung auf digitalen Übertragungstrecken der Nachrichtentechnik und der Netzwerktechnik.
BS	Basisstation (engl. Base Station)
BTS	Basisstation für POLYCOM, GSM und UMTS (engl. Base Transceiver Station)
dB, dBm	Der Leistungspegel $L_P$ (Angabe in dB) wird folgendermassen definiert: $L_P = 10 \log(P/P_0)$ Er ist das logarithmische Mass des Verhältnisses einer betrachteten Leistung $P$ im Vergleich zur einer Bezugsleistung $P_0$ (Bezugsgrösse, Referenz). Ist die Bezugsgrösse $P_0 = 1 \text{ mW}$ , dann wird der Leistungspegel in dBm angegeben.
Dopplereffekte	Dopplereffekt bezeichnet die Veränderung der wahrgenommenen oder ge-



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Begriff	Bedeutung
	messenen Frequenz von Wellen, während sich die Quelle und der Beobachter einander nähern oder voneinander entfernen, sich also relativ zueinander bewegen.
Downlink	Bezeichnung für die Kommunikationsverbindung von der Basisstation zum mobilen Teilnehmer.
ERP	Effective Radiated Power: Abgestrahlte Leistung einer Antenne, berechnet aus der eingespeisten Leistung in die Antenne und dem Antennengewinn.
GPS	Global Positioning System: Satellitengestütztes System zur weltweiten Positionsbestimmung
GSM	Global System for Mobile Communication: Oberbegriff für alle Funkdienste, welche auf dem GSM-Standard beruhen
GSM-P, GSM-Public	Global System for Mobile Communication – Public: Der Begriff GSM-P umfasst alle GSM-Dienstleistungen, welche von den öffentlichen GSM-Betreibern angeboten werden.
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Rail: GSM-R bildet die zukünftige Kommunikationsplattform für die gesamte bahnbetriebliche Kommunikation. Systembetreiber des GSM-R Mobilfunknetzes ist die SBB. Der Zugang zu GSM-R Dienstleistungen steht allen offen, welche über ein GSM-R Endgerät verfügen. In erster Linie sind dies Bahnangestellte. Fahrgäste können nicht über dieses Mobilfunksystem telefonieren.
GSM-R Roaming	Ein Teil des SBB-Streckennetzes wird keine eigene GSM-R Funkversorgung erhalten. Damit die Kommunikation zu den Zügen und zum Zugspersonal trotzdem funktioniert, hat die SBB mit dem Public Provider Swisscom Mobile (GSM-P) einen Roamingvertrag abgeschlossen. Somit können GSM-R Teilnehmer auch in Gebieten der Schweiz ohne GSM-R Versorgung telefonieren.
Handover	Bezeichnet den Vorgang in einem mobilen Telekommunikationsnetz (zum Beispiel GSM oder UMTS), bei dem das mobile Endgerät (Mobilstation) während eines Gesprächs oder einer Datenverbindung von einer Funkzelle in eine andere wechselt.
HF	Hochfrequenz (engl. High Frequency, HF) bezeichnet für Funkverfahren das Frequenzband von 3 bis 30 MHz. In der Elektrotechnik und der Nachrichtentechnik bezeichnet der Begriff Hochfrequenz allgemein hohe Frequenzen elektrischer und elektromagnetischer Signale.
Hz, kHz, MHz	Abkürzungen für Hertz, Kilo-Hertz, Mega-Hertz: Masseinheiten für die Frequenz.
IDR	POLYCOM ermöglicht auch dann eine Kommunikation, wenn keine fixe Systeminfrastruktur zur Verfügung steht. Im „Direct Mode“ lässt sich kommunizieren, sofern sich die Endgeräte in der Funkreichweite befinden. Ist das Schadensgebiet weiträumig oder topographisch so schwierig, dass die Einsatzkräfte untereinander im „Direct Mode“ nicht oder nur beschränkt kommunizieren können, kann mit einem „Independent Digital Repeater“



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Begriff	Bedeutung
	(IDR) eine temporäre Funkabdeckung realisiert werden. Mit der Installation des IDR auf einem erhöhten Standort kann ein weiträumiges Schadensgebiet temporär mit einem Infrastrukturkanal versorgt werden. Die Nutzer können im „IDR Mode“ ihre Funkreichweite erweitern.
Intermodulation, IM	Intermodulation (IM) bezeichnet in der Nachrichtentechnik die Erzeugung unerwünschter spektraler Anteile durch nichtlineare Übertragungsfunktionen von Schaltungsteilen, wenn mindestens zwei unterschiedliche Frequenzen verarbeitet werden müssen.
K-Faktor, Antennenfaktor	Zur Bestimmung von Feldstärken elektromagnetischer Wellen mit Hilfe von Antennen sowie zur Erzeugung definierter Felder ist die Kenntnis der Antennendaten von entscheidender Bedeutung. Die wichtigsten Kenngrößen von Antennen sind der Antennengewinn und das Wandlungsmass (Antennenfaktor oder K-Faktor). Der Antennengewinn kann als Formkenngrösse eines Antennentyps aufgefasst werden. Meist bezieht man sich dabei auf einen sogenannten „fiktiven Isotrop- oder Kugelstrahler“, der als Berechnungshilfe verwendet wird, obwohl dieser praktisch nicht realisierbar ist. Aus dem Antennengewinn kann das zugehörige Wandlungsmass berechnet werden. Der Gewinn wird hauptsächlich benötigt, wenn definierte Feldstärken erzeugt werden müssen, z.B. bei Störfestigkeitsprüfungen. Wenn im Empfangsfall die Feldstärke bestimmt werden soll, wird das Wandlungsmass verwendet.
Koaxialkabel, Koaxkabel	Zweipolige Kabel mit konzentrischem Aufbau. Sie bestehen aus einem Innenleiter (Seele), der in konstantem Abstand von einem hohlzylindrischen Aussenleiter umgeben ist. Der Zwischenraum besteht aus einem Isolator oder Dielektrikum. Das Dielektrikum kann anteilig oder vollständig aus Luft bestehen. Meist ist der Aussenleiter durch einen isolierenden, korrosionsfesten und wasserdichten Mantel nach aussen hin geschützt.
Koppeldämpfung	Diese Grösse bestimmt die Auskopplung der Energie aus dem Strahlungskabel in die äussere Umgebung zu einer Empfangsantenne. Die Koppeldämpfung wird durch die Anordnung der Öffnungen im Strahlungskabel und durch Interferenzen und Reflexionen in der Umgebung des Kabels beeinflusst.
KS	Kopfstation eines Tunnelfunksystems. Sie dient als Ausgangspunkt der Tunnelversorgung. Alle abgehenden und ankommenden Signale der Tunnelstationen laufen in der Kopfstation zusammen.
$\lambda$	Wellenlänge der elektromagnetischen Welle (Funkwelle).
Linkbudget, Kanalgewinn	Der Kanalgewinn oder Linkbudget ist in der Nachrichtentechnik ein Mass für die Qualität eines Übertragungskanals. Er wird in dB angegeben und in einem einfachen Modell durch die Addition der Sendeleistung, der Empfängerempfindlichkeit, des Antennengewinns der Freiraumdämpfung und weiterer Übertragungsverluste berechnet.
LRZ	Lösch- und Rettungszug
LS	Leitstelle
LWL	Lichtwellenleiter: Mit entsprechenden Sende- und Empfangsmodulen kön-



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Begriff	Bedeutung
	nen Hoch- und Niederfrequenzsignale praktisch verlustfrei über lange Lichtwellenleiterstrecken übertragen werden. Es wird unterscheiden zwischen Single- oder Monomode-Lichtwellenleiter für lange Strecken mit hohen Bandbreiten / Frequenzen oder Multimode-Lichtwellenleiter für lokale Verbindungen / Netzwerke.
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung.
OMC	Operation and Maintenance Center (Betriebs- und Wartungszentrale für Telekommunikationsnetze): Das OMC hat die Aufgabe den Betrieb des Netzes sicherzustellen.
Ortswahrscheinlichkeit	Mit der Ortswahrscheinlichkeit soll ausgesagt werden, an wie vielen Messpunkten prozentual über eine bestimmte Strecke das geforderte Signal „vorhanden“ ist. Beispiel: Der minimale Empfangspegel muss -87 dBm mit einer Ortswahrscheinlichkeit von 95 % betragen heisst, dass auf mindestens 95 % der betrachteten Strecke der Empfangssignalpegel besser resp. grösser als -87 dBm sein muss.
PGV	Plangenehmigungsverfahren
PMR	Abkürzung für Professional Mobile Radio oder Private Mobile Radio.
POLYCOM	Funknetz der schweizerischen Interventionskräfte der BORS im Ereignisfall und ist ausschliesslich für deren Kommunikationszwecke vorbehalten. Die Systemtechnik beruht auf der TETRAPOL-Norm.
Remote Zugriff	Fernzugriff (engl. Remote Access)
Rx	Abkürzung für Empfang oder Empfänger
Signal-Rauschverhältnis S/N	Das Signal-Rauschverhältnis (Störabstand, Rauschabstand, Signal-Rauschabstand, abgekürzt SNR oder S/N vom Englischen signal-to-noise ratio) ist ein Mass für die technische Qualität eines aus einer Quelle stammenden Nutzsignals, das von einem Rauschsignal überlagert ist. Es ist definiert als das Verhältnis der mittleren Leistung des Nutzsignals der Signalquelle zur mittleren Rauschleistung des Störsignals.
SOK	Schienenoberkante
Strahlungskabel	Auch Schlitzkabel oder Leckkabel genannt, sind elektrische Leiter, die als langgestreckte Antennen verwendet werden. Es sind Koaxialkabel mit kleinen Schlitzten oder Öffnungen im Aussenleiter (Schirm), durch die das HF-Signal über die ganze Länge des Kabels abgestrahlt oder aufgenommen werden kann. Durch Strahlungskabel können insbesondere lange Innenbereiche (z.B. Tunnel) gleichmässig und kostengünstig mit Funkdiensten versorgt werden. Die Bezeichnungen Strahlungs- und Leckkabel beruhen auf der Vorstellung, dass ein Teil der Hochfrequenzleistung radial aus dem Kabel heraus strahlt bzw. leckt.
TFK	Tunnelfunk
TS	Tunnelstation: Dient der Aufbereitung der ausgesendeten Signale in den Tunnel und der Verarbeitung der empfangenen Signale aus dem Tunnel.
Tunnelfunksystem	Ein Tunnelfunksystem besteht aus einer oder mehreren Kopfstationen und



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
	den an sie angeschlossenen Tunnelstationen inkl. dem lokalen TFK-Leitsystem (TFK OMC).
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Services: UMTS ist ein mobile Kommunikationsnetz, welches von den öffentlichen UMTS-Betreibern angeboten wird. Die heutigen UMTS-Systeme arbeiten in den Frequenzbereichen 1900 MHz (Uplink) und 2100 MHz (Downlink). Im Moment gibt es Bestrebungen, damit UMTS-Systeme auch für den 900MHz-Bereich ermöglicht werden.
Uplink	Bezeichnung für die Kommunikationsverbindung vom mobilen Teilnehmer zur Basisstation.



## 8 Quellenverzeichnis

- [1] Richtlinie betreffend Sicherheitsanforderungen für bestehende Eisenbahntunnel, Bundesamt für Verkehr (BAV), 10. August 2009
- [2] Technische Grundlagen POLYCOM, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Version 2.6.2., 17.05.2006
- [3] Grundlagen Funkfeldversorgungs-, Standort- und Frequenzplanung, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Version 2.6.4., 17.05.2006
- [4] Verfügbarkeit, Instandhaltung und Reparatur der POLYCOM Systeminfrastruktur, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Version 2.4.1, 14.05.2007
- [5] NT-3002: Technischer Leitfaden bezüglich des Inverkehrbringens, des Erstellens, der Inbetriebnahme und des Betriebens von PMR Umsetzer, die in Tunneln, Galerien, Häusern und unterirdischen Garagen eingesetzt werden, BAKOM, Ausgabe 1.0, 01.03.2004
- [6] Final draft ETSI EN 300 113-1 V1.4.1 (2001-12): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land mobile service; Radio equipment intended for the transmission of data (and/or speech) using constant or non-constant envelope modulation and having an antenna connector; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement
- [7] ETSI EN 300 113-2 V1.3.1 (2003-07): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land mobile service; Radio equipment intended for the transmission of data (and/or speech) using constant or non-constant envelope modulation and having an antenna connector; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive
- [8] ETSI EN 300 086-1 V1.3.1 (2008-09): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment with an internal or external RF connector intended primarily for analogue speech; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement
- [9] ETSI EN 300 086-2 V1.1.1 (2001-03): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment with an internal or external RF connector intended primarily for analogue speech; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive
- [10] ETSI TS 101 789-1 V1.1.2 (2007-04): Terrestrial Trunked Radio (TETRA); TMO Repeaters Part 1: Requirements, test methods and limits
- [11] ETAVIS, SBB: Bahntunnelkonzept, TFK-Integration POLYCOM, Teilstrecke Knoten Basel, Version 1.0, 26.11.2009 (Beispiel)



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

## 9 Inkrafttreten

Diese Richtlinie tritt am 7. Juni 2010 in Kraft.

BUNDESAMT FÜR VERKEHR

Dr. P. Füglistaler  
Direktor



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

## **10 Anhänge**



## 10.1 Anhang [A]: Checkliste

### **Checkliste für die Umsetzungsplanung (Gesamtkonzept) und das Einbaukonzept der POLYCOM-Tunnelfunkanlagen:**

- Ausgangslage
- Auftrag
- Leistung, Kosten und Termine
- Finanzierung
- Technische Anforderungen
- Teilkonzepte
- Ausrüstung, Schulung
- Funktionstest
- Schnittstellen
- Betrieb und Unterhalt
- Abstimmung mit Partnerorganisationen
- Einsatz- und Rettungskonzept (inkl. LRZ)
- Risikobetrachtungen
- Dokumentation (Funkversorgung und System)
- Rückmeldung Projektdatenlieferungen



## 10.2 Anhang [B]: Bitfehlerrate

### Erläuterungen zur Bestimmung der Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER)

Der Inhalt der Informations-Bits auf den Kontrollkanal (Control Channel, CCH) ist im operativen Netz nicht bekannt. Deshalb muss eine spezielle BER-Messung durchgeführt werden, die diesem Umstand gerecht wird. Abbildung 6 zeigt das Prinzipschema, wie eine solche BER-Messung beispielsweise durchgeführt werden kann. Die mittels dieses Verfahrens ermittelte BER wird manchmal auch als Viterbi Error Flag Rate (VEFR) bezeichnet.

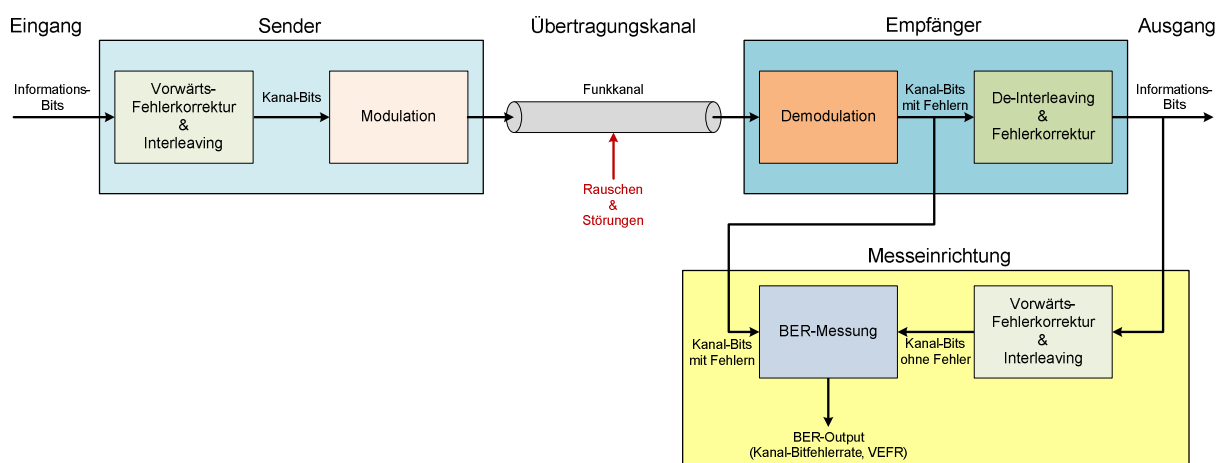


Abbildung 6: Prinzipschema zur Bestimmung der Bitfehlerrate (BER)

Die Informations-Bits werden im Sender mit einer Vorwärts-Fehlerkorrektur und Interleaving versehen (Kanal-Bits) und anschliessend auf das HF-Trägersignal aufmoduliert. Nach dem Durchlaufen des Funkkanals wird das empfangene HF-Signal des aktuellen Kontrollkanals demoduliert. Diese erzeugten Kanal-Bits sind auf Grund von Rauschen und Störungen beim Durchlaufen des Funkkanals teilweise fehlerbehaftet. Mittels De-Interleaving und der anschliessenden Fehlerkorrektur werden fehlerlose Informations-Bits erzeugt. Wendet man auf diesen fehlerlosen Informations-Bitstrom am Ausgang des Empfängers den gleichen Algorithmus wie im Sender zur Vorwärts-Fehlerkorrektur und Interleaving an, werden künstliche fehlerfreie Kanal-Bits generiert. Mittels der BER-Messung können diese fehlerfreien Kanal-Bits mit den am Ausgang des Demodulators erhaltenen realen fehlerbehafteten Kanal-Bits verglichen und schliesslich die Bitfehlerrate (VEFR) ermittelt werden.

Genau genommen entspricht die VEFR der Kanal-Bitfehlerrate und nicht der Informations-Bitrate. Bei dieser Messmethode wird davon ausgegangen, dass die empfangenen Informations-Bits nach der



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Fehlerkorrektur wieder fehlerfrei sind. Ist die Fehlerrate der Kanal-Bits jedoch so gross, dass trotz der Fehlerkorrektur falsche Informations-Bits entstehen, wird die VEFR nicht mehr genau der Kanal-Bitfehlerrate entsprechen. Dies ist jedoch unproblematisch, weil in einem solchen Fall die VEFR so gross wird, dass die Übertragungsqualität sich als unbrauchbar erweist.



## 10.3 Anhang [C]: Signalpegelverlauf

### Erläuterungen zum Signalpegelverlauf zwischen den Tunnelstationen (Downlink)

#### Normaler Betriebszustand

Abbildung 7 stellt den theoretisch idealen Signalpegelverlauf im Tunnel dar, wie er von den Tunnelstationen (TS) und den Strahlungskabelsegmenten erzeugt wird. Der Signalpegel ist nahe der TS am grössten und nimmt mit der Entfernung zur TS ab. Da das Strahlungskabelsegment beidseitig von je einer TS gespeist wird (redundante Einspeisung gemäss T-Struktur), erfolgt eine Überlagerung der entsprechenden beiden Pegelverläufe. In der Mitte des Strahlungskabelsegments ist die Summe der Überlagerung der Signalpegel somit am kleinsten (kritische Stelle im normalen Betriebszustand des Tunnelfunksystems). Damit die Qualität der Funkversorgung über das ganze Strahlungskabelsegment bei der redundanten Einspeisung gewährleistet ist, darf der nominale Rx-Pegel über das ganze Kabelsegment nicht unterschritten werden.

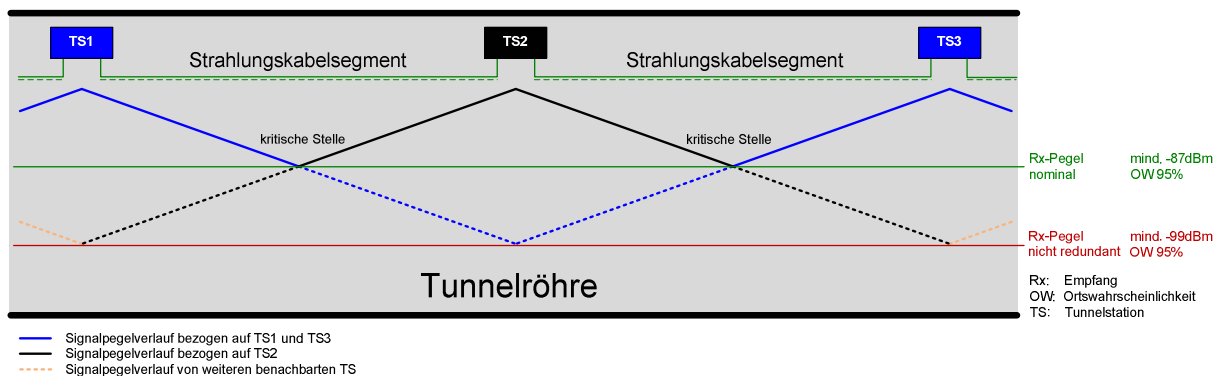


Abbildung 7: Prinzipieller Verlauf der Signalpegelverteilung in einem Tunnel zwischen den Tunnelstationen im Downlink bei redundanter Signaleinspeisung an beiden Enden der Strahlungskabelsegmente (normaler Betriebszustand)

#### Störfall

Beim Ausfall von z.B. TS2 (Störfall) fallen die jeweils beidseitigen Einspeisungen in die beiden Strahlungskabelsegmente aus (keine redundante Einspeisung). Dadurch ergibt sich in den beiden betroffenen Kabelsegmenten keine Signalpegelüberlagerung, wodurch der Signalpegelverlauf sich entsprechend der Abbildung 8 ändert. Damit durch diesen Störfall die Kommunikation im betroffenen



Referenz/Aktenzeichen: 325.4/2010-09-02/267

Tunnelabschnitt dennoch einer minimalen Funkversorgungsqualität genügt, muss sichergestellt werden, dass das Signal an der nun kritischen Stelle bei TS2 nicht unter den definierten Rx-Pegel bei nicht redundanter Versorgung fällt (rote Linie in Abbildung 8). In diesem Fall ist die Funkversorgungsqualität schlechter als im normalen Betriebszustand, allerdings genügt die Qualität immer noch, damit eine Kommunikation möglich ist. Die Einschränkung besteht darin, dass die Sprachqualität etwas leidet, aber noch verständlich ist. Salopp gesprochen heisst dies, dass man „etwas deutlicher reden“ muss.

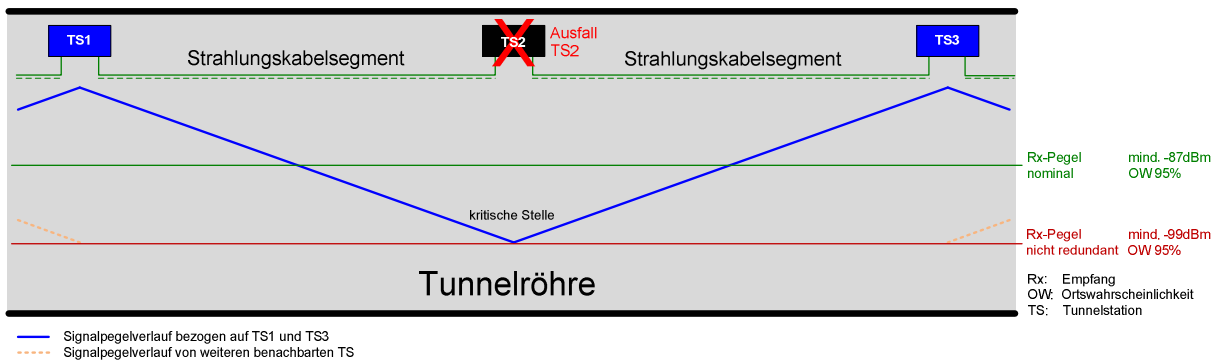


Abbildung 8: Prinzipieller Verlauf der Signalpegelverteilung in einem Tunnel zwischen den Tunnelstationen im Downlink bei nicht redundanter Signaleinspeisung an den Enden der Strahlungskabelsegmente (Störungsfall)



## 10.4 Anhang [D]: Messsystem

### Mögliches Beispiel für ein Messsystem und Messverfahren

#### Messsystem

Ziele für das Messsystem und das –verfahren:

- Die Verwendung von handelsüblichen Messgeräten und Komponenten.
- Die Messungen sollen automatisch im fahrenden Betrieb erfolgen.
- Die Messwerte werden während der Fahrt kontinuierlich aufgezeichnet und gespeichert.

Ein beispielhafter prinzipieller Messaufbau des Gesamtsystems ist in Abbildung 9 dargestellt.

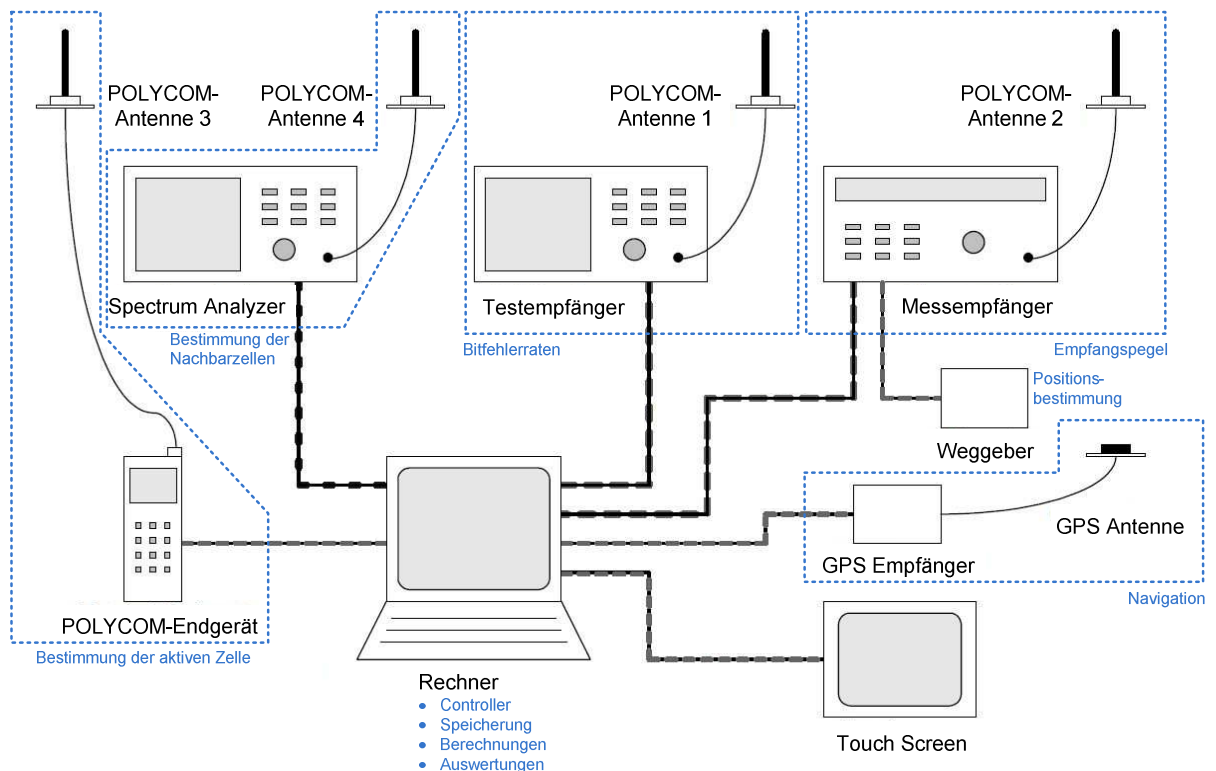


Abbildung 9: Möglicher Aufbau des Messsystems



## Downlink-Messungen

Mit diesem Messaufbau können folgende Parameter und Grössen bestimmt werden:

- **Bestimmung der aktiven Zelle (falls es mehrere Funkzellen gibt)**  
Für die Bestimmung der jeweils aktiven Zelle wird bei der automatischen Messung ein konventionelles POLYCOM-Endgerät verwendet. Das Endgerät liefert über die serielle Schnittstelle (RS-232) die Zellenidentifikation (Zell-ID) der Zelle, auf welcher das Endgerät eingebucht ist, an den Rechner. Anhand einer abgespeicherten Basisstationsliste im Rechner werden der zugehörige vierstellige Buchstabencode und die entsprechende POLYCOM-Kanalnummer, respektive die Frequenz des Kontrollkanals der aktiven Zelle bestimmt. Um eine Messung automatisch auszuführen, muss demnach eine ausreichende Versorgung in einem operativen POLYCOM-Teilnetz bestehen. Wird die Frequenz manuell eingegeben, können auch Signal-Generatoren als Testquellen verwendet werden.
- **Feldstärken der Nachbarzellen (falls es mehrere Funkzellen gibt)**  
Zur Bestimmung der Feldstärken von Nachbarzellen wird ein Spectrum Analyzer eingesetzt. Das POLYCOM-Frequenzspektrum wird laufend gescannt und in die Basisstationsliste eingetragen. Es werden die Kontrollkanäle der Nachbarzellen gemessen, die der aktiven Zelle zugeteilt sind. Die am Besten empfangbaren Kanäle entsprechen den stärksten in der Basisstationsliste abgelegten Nachbarzellen.
- **Empfangspegelmessung**  
Für die Ermittlung des Empfangspegels wird ein Messempfänger verwendet. Die Frequenz, d.h. der Kontrollkanal, wird von der aktiven Zelle des POLYCOM-Endgerätes und der Basisstationsliste bestimmt. Für die Pegelmessungen der Nachbarzellen werden die jeweils zwei stärksten Nachbarkanäle aus der Scanner-Messung benutzt. Die parallele Erfassung der Pegel der der aktiven und der stärksten Nachbarzellen inkl. der zugehörigen Positionen erfolgen im fahrenden Betrieb.
- **Bitfehlerraten-Messung (Bit Error Rate, BER, siehe auch Anhang 10.2)**  
Auf dem Kontrollkanal der aktiven Zelle erfolgt die Bitfehlerraten-Messung. Für diese Messung wird ein Testempfänger eingesetzt. Dieses Gerät wird dabei zur Digitalisierung des Hochfrequenz-Signals verwendet. Die Messwert-Berechnung (Demodulation, Filterung, Bit-Detektion, Fehlerraten-Messung) erfolgt software-mässig im Rechner. Die Bitfehlerratenmessung basiert auf der jeweils aktiven Zelle des POLYCOM-Endgerätes.
- **Statistikabstand**  
Beim Abfahren der Strecke im Tunnel werden alle Messwerte der letzten 20 m gemittelt. Der Statistikabstand ist somit 20 m. Der Abstand zwischen den einzelnen Messwerten ist jedoch so zu wählen, dass auch Fadinglöcher erkannt werden (z.B. in Abständen von  $\lambda/4$ ). Bei den POLYCOM-Frequenzen von ca. 400 MHz ergibt dies eine theoretische Wellenlänge von  $\lambda = 75$  cm. Das bedeutet, dass ca. alle 20 cm ein Messwert beim Abfahren des Tunnels erfasst



werden sollte. Somit ergibt sich pro Statistikabstand ein gemittelter Wert, der von 100 Einzelmesswerten bestimmt wurde.

- **Positionsbestimmung im Tunnel**  
Für diese Messung muss ein Weggeber vorhanden sein, welcher gemäss der Anforderung an den Statistikabstand mindestens alle 20 cm einen Impuls für die Triggierung des Messempfängers erzeugt.
- **Position der Empfangsantennen im Tunnel**  
Als Empfangs- resp. Messantennen werden für den Frequenzbereich 390 – 395 MHz optimierte  $\lambda/4$ -Antennen eingesetzt (zugelassene Lokantennen). Diese Antennen sollten sich bei normalspurigen Strecken 4.10 m über Schienenoberkante (SOK) zentral auf dem Fahrzeugdach des Messwagens befinden. Der K-Faktor der verwendeten Antennen und die Korrekturfaktoren der HF-Zuleitungen zum Messempfänger müssen in der Mess-Software im Rechner eingegeben und von dieser entsprechend verarbeitet werden.
- **Navigation (für die Positionsbestimmung bei Freiraummessungen ausserhalb von Tunneln)**  
Für die Navigation wird ein konventioneller GPS-Empfänger mit integriertem Kreiselkompass über eine serielle Schnittstelle gesteuert.

### **Uplink-Messungen**

- Als Sendeantenne für Uplink-Messungen wird eine für den Frequenzbereich 390 – 395 MHz optimierte  $\lambda/4$ -Antenne auf einem handelsüblichen POLYCOM-Endgerät eingesetzt.
- Die Sendeantenne sollte sich 4.10 m über SOK zentral auf dem Fahrzeugdach des Messwagens befinden und eine Leistung von 2 W ERP abstrahlen.
- Der Sendeposition im Tunnel für den normalen Betriebszustand des Tunnelfunksystems befindet sich an der kritischsten Stelle gemäss Abbildung 7. Es muss mindestens die Messung an der kritischsten Stelle durchgeführt werden.
- Auf der Kopfstation des Tunnelfunksystems kann nur der Uplink-Pegel, respektive das Signal-Rauschverhältnis (S/N), gemessen werden.
- Rückwärtsrechnungen (z.B. Verminderung der Sendeleistung aufgrund unterschiedlicher Tragarten des Endgeräts) können nachträglich durchgeführt werden.