



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**Richtlinie**

Ausgabe 2007 V3.02

# **Funksysteme in Strassentunneln**

**ASTRA 13 006**

**ASTRA OFROU USTRA UVIAS**

# Impressum

## **Autore(n)/Arbeitsgruppe**

Berner Marcel	(ASTRA, Vorsitz)
Allemann Martin	(ASTRA)
Hofer Andreas	(ASTRA)
Jeanneret Alain	(ASTRA)
Schneider Pierre	(Kt. Neuenburg)
Kempter Andreas	(Ing. Büro)
Lüthy Bernhard	(Industrie)

## **Herausgeber**

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Abteilung Strassennetze  
Standards, Forschung, Sicherheit  
3003 Bern

## **Bezugsquelle**

Die Richtlinie kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) herunter geladen werden.

© ASTRA 2007

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

## Vorwort

Der Fortschritt der Technik, die derzeitige Finanzlage und die steigenden Anforderungen an die Strasseninfrastruktur benötigen einheitliche Vorgaben. Die Sicherheit auf dem Strassennetz und das Eingrenzen der Bau- beziehungsweise Betriebs- und Unterhaltskosten sind für die zuständige Behörde und Betreiber ein ständiges Anliegen.

Diese Richtlinie legt auf Grund der heutigen Gesetze, Normen, Kenntnisse und Erfahrungen eine Basis zur Steuerung der Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung für die Beteiligten im Strassennetz. Sie dient der Standardisierung der Konzepte sowie der Optimierung der Kosten-/Nutzen-Verhältnisse von Tunnelfunkanlagen.

### **Bundesamt für Strassen**

Dr. Rudolf Dieterle  
Direktor



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
	<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
1.1	Zweck der Richtlinie .....	7
1.2	Geltungsbereich .....	7
1.3	Adressaten .....	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen .....	7
<b>2</b>	<b>Anforderungen</b> .....	<b>8</b>
2.1	Gesetzliche Grundlagen, relevante Normen und Standards .....	8
2.2	Rahmenbedingungen .....	8
2.3	Dokumentation .....	8
<b>3</b>	<b>Zielsetzung der Tunnelfunksysteme</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Arten der Funksysteme</b> .....	<b>10</b>
4.1	Grundlagen.....	10
4.2	Analoge Funksysteme.....	10
4.3	Digitale Funksysteme .....	11
<b>5</b>	<b>Versorgungsanforderung</b> .....	<b>12</b>
5.1	Betriebsfunknetze .....	12
5.2	POLYCOM-Netze.....	12
5.2.1	Einführung .....	12
5.2.2	Funk- und Versorgungsplanung.....	12
5.3	Rundfunk in Tunnelfunkanlagen .....	12
5.3.1	Allgemeines.....	12
5.3.2	Kanal-Verteilung.....	13
5.4	Einsprechmöglichkeiten über den UKW-Rundfunk.....	13
<b>6</b>	<b>Dimensionierung von Tunnelfunksystemen</b> .....	<b>15</b>
6.1	Grundlagen der Dimensionierung .....	15
6.1.1	Versorgungsmatrix für Betriebsfunknetze (ohne POLYCOM) .....	15
6.1.2	Sicherheitsmatrix.....	16
<b>7</b>	<b>Tunnelfunkanlage</b> .....	<b>19</b>
7.1	Funktionsbereiche.....	19
7.2	Ausführungs-Varianten .....	20
7.2.1	Ankopplung an die Basisstation .....	20
7.2.2	Basisstation für die Tunnelfunkanlage .....	20
7.2.3	Repeaterprinzip (Luftschnittstelle/Ballempfang) .....	21
7.2.4	Ankopplung an eine bestehende Anlage .....	21
7.3	Versorgung des Tunnel-Portalbereichs .....	21
7.4	Elemente der Tunnelfunkanlage .....	22
7.4.1	Mast.....	22
7.4.2	Antennen für die Aussenversorgung.....	22
7.4.3	Antennen für die Tunnelversorgung.....	22
7.4.4	Koaxial- und Strahlungskabel .....	23
7.4.5	Komponenten der Kopfstation (KS) .....	25
7.4.6	Komponenten der Tunnelstation (TS).....	25
7.5	Mobiltelefonie-Anlagen (GSM, DCS und UMTS).....	25

<b>8</b>	<b>Signalübertragung .....</b>	<b>26</b>
8.1	Hochfrequenz-Schnittstellen .....	26
8.2	Lichtwellenleiter-Schnittstellen .....	26
8.3	Niederfrequenz-Schnittstellen .....	26
8.4	Daten-Schnittstellen .....	26
8.5	Potentialfreie Kontakte .....	26
<b>9</b>	<b>Inbetriebsetzung .....</b>	<b>27</b>
9.1	Anforderung .....	27
9.2	Abnahmemessung .....	27
9.2.1	Messanordnung .....	27
9.2.2	Messung von HF-Pegel und Ortswahrscheinlichkeit .....	28
9.3	Praktische Versuche .....	28
<b>10</b>	<b>Bedienung und Betrieb .....</b>	<b>29</b>
10.1	Grundanforderungen .....	29
10.2	Unterhalt .....	29
	<b>Anhänge .....</b>	<b>31</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>37</b>
	<b>Auflistung der Änderungen .....</b>	<b>39</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck der Richtlinie

Die Richtlinie gilt für die Funk-, Mobiltelefonie- und Radioversorgung von Streckenabschnitten mit Strassentunneln. Sie umschreibt die heute gebräuchlichen Tunnelfunkkonzepte und legt damit die Grundsätze und Kriterien für die Systemwahl, das Konzept und den Betrieb der Tunnelfunkanlagen fest. Zum System des Tunnelfunks gehören insbesondere die Sende- und Empfangsanlagen, wie auch die Alarmierungs-, Steuerungs- und Signalisierungs-Systeme:

- der Kopf- und Tunnelstationen.
- der Portalversorgungen.
- der Aussenversorgung, wenn diese an die Tunnelanlage angekoppelt ist (z.B. die Verbindungsstrecke zwischen zwei Tunneln).
- die Antennen- und Strahlungskabel-Anlagen.
- die technischen Betriebsräume.

Die Richtlinie dient der Standardisierung der Konzepte sowie der Optimierung der Kosten-/Nutzen-Verhältnisse von Tunnelfunkanlagen.

## 1.2 Geltungsbereich

Die Richtlinie gilt für die Planung, die Projektierung, die Realisierung und die Nutzung aller Neubauten und Erneuerungen von Funksystemen in und vor Tunnel. Sie ist verbindlich für alle vom Bund mitfinanzierten Strassenabschnitte. Diese Richtlinie gilt auch für Anlagen der drahtlosen Telefonie (GSM, DCS, UMTS), die von den Telefon-Netzanbietern in eigener Regie erstellt werden.

## 1.3 Adressaten

Angesprochen mit dieser Richtlinie sind Bauherren, Planer und Betreiber von Tunnel-funksystemen.

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie „*Funksysteme in Strassentunneln*“ tritt am 01.05.2007 in Kraft, die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 39 zu finden.

## 2 Anforderungen

### 2.1 Gesetzliche Grundlagen, relevante Normen und Standards

Für die Erstellung, den Betrieb und die Nutzung von Funksystemen müssen gesetzliche Bestimmungen eingehalten werden. Es ist Aufgabe des Bauherrn, der Planer, der Lieferanten und den Betreibern, die für ihren Bereich zutreffenden Vorschriften und Normen einzuhalten. Werden durch eine Funkanlage andere Anlageteile gestört und wird die Störung durch Geräte verursacht, die der entsprechenden Norm nicht genügen, so muss die Anlage grundsätzlich durch den Lieferanten an die Normen angepasst werden.

### 2.2 Rahmenbedingungen

Für die jeweiligen Tunnel-Funksysteme gelten folgende Vorgaben:

- Neue Anlagen müssen ohne konzeptionelle Änderungen den Ausbau mit dem Sicherheitsnetz Funk der Schweiz (POLYCOM) zulassen.
- Das Anlagekonzept muss eine Erweiterung oder den Austausch mit neuen Funk- und Rundfunk-Komponenten ermöglichen.
- Technische Installationsvorschriften, allgemeine technische Spezifikationen (ATS).
- Kennzeichnungssystem (AKS), wenn vorhanden.

### 2.3 Dokumentation

Die Gesamt-Dokumentation muss systematisch aufgebaut sein, damit Ausbaumöglichkeiten, gegebenenfalls auch durch Dritte, sowie die Bewirtschaftung, der Unterhalt und der Betrieb optimal gewährleistet sind und die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.

Die technische Dokumentation muss mindestens folgende Unterlagen enthalten:

- Eine Gesamtübersicht/Blockschema mit Angabe der Übergabepunkte für Speisung, Lichtwellenleiter, Strahlungskabel und weitere Schnittstellen (Anschlusspläne der Tunnelfunkanlage).
- Pegelpläne für die Hochfrequenz-Schnittstellen entsprechend den gemessenen Werten anlässlich der Inbetriebnahme.
- Feldstärkeverlauf im Tunnel (mindestens 1 Kanal pro Frequenzband).

In die Betriebs-Dokumentation gehören:

- Konzessionsunterlagen und Bewilligungen.
- Wartungs-Vereinbarungen.
- Nutzungs-Verträge mit Dritten (z.B. Mobilfunk- und Radioprogramm-Anbieter).



### 3 Zielsetzung der Tunnelfunksysteme

Damit für die verantwortliche Behörde, die Rettungs-, Unterhalts- und Hilfsdienste (Polizei, Feuerwehr, Unterhaltsdienst und Sanität), wie auch für den „Service Public“ (UKW-Rundfunk und Mobiltelefonie), durch Tunnel keine von der Funkversorgung abgeschirmte Zonen entstehen, müssen Tunnel in die entsprechenden Funk-Versorgungskonzepte einbezogen werden.

Nur mit einer Betriebsfunk-Versorgung im Tunnel ist die Führung der Blaulicht-Organisationen möglich.

Mit tunnelspezifischen Anlageteilen wie der Einsprechmöglichkeit über die UKW-Rundfunkversorgung oder der autonomen Funkversorgung für die Feuerwehr, wird die Sicherheit der Tunnelbenutzer erhöht.

Da Tunnelfunkanlagen in der Regel keine autonomen Funkzellen darstellen, werden sie an die bestehenden Funk-Netze angekoppelt.

## 4 Arten der Funksysteme

### 4.1 Grundlagen

Für die allgemeine Verständlichkeit von verwendeten Bezeichnungen und Begriffen, nachfolgend einige „Funk-Grundlagen“.

Funksystem ist ein Sammelbegriff für eine Anlage, welche die drahtlose Übertragung von Informationen ermöglicht. Das Medium für die Übertragung der Information sind „Radio-wellen“ (elektromagnetische Wellen), die über Antennen und Strahlungskabel ausgesendet und empfangen werden. Diese elektromagnetischen Wellen sind gewissermassen das Transportmittel der Information. (Die Information selbst ist in der so genannten Modulation enthalten). Die Funktechnik strebt nach mehr Leistung in Form schnellerer Datenübertragung, besserer Übertragungsqualität und nicht zuletzt ökonomischer Nutzung der zur Verfügung stehenden Frequenzbereiche, welche als nicht quantitativ erweiterbares Gut gelten und von den staatlichen Autoritäten verwaltet werden. Bezogen auf die jeweils angewandte Technik der Modulation unterscheidet man heute zwischen analogen und digitalen Systemen. Aus der Sicht der Funkanwender wird zwischen Funkanlagen für geschlossene Benutzergruppen (Betriebsfunk), öffentlichen Mobilfunkdiensten (GSM, DCS und UMTS) für berechnigte Teilnehmer sowie Rundfunkanlagen für beliebige Teilnehmer unterschieden.

Ein technisches Unterscheidungsmerkmal in Funksystemen ist die so genannte Betriebsart. Der Anwender kann nur zwischen wechselseitigem oder gleichzeitigem Informationsaustausch unterscheiden. Somit sind folgende Betriebsarten möglich:

- „SIMPLEX“-Betrieb (half-duplex): Wechselseitiger Informationsaustausch, ein Teilnehmer spricht (sendet), mehrere Teilnehmer hören (empfangen) über eine einzige Trägerfrequenz.
- „SEMIDUPLEX“-Betrieb: Wechselseitiger Informationsaustausch, ein Teilnehmer spricht (sendet), mehrere Teilnehmer hören (empfangen) mit einer Trägerfrequenz für „senden“ und eine für „empfangen“.
- „DUPLEX“-Betrieb (full-duplex): Gleichzeitiger Informationsaustausch, die Teilnehmer können gleichzeitig sprechen und hören auf einer Trägerfrequenz für „senden“ und eine für „empfangen“.

Betriebsfunkanlagen, welche aus frequenzökonomischen Gründen das Prinzip der Mehrfachnutzung einer oder mehrerer Trägerfrequenzen anwenden, werden als Bündelfunk- oder Trunking-Netze bezeichnet. Je nach Art der Mehrfachnutzung werden sie als TDMA (Time-Division-Multiple-Access), Mehrfachnutzung einer Frequenz in Zeitintervallen, oder FDMA (Frequency-Division-Multiple-Access), Mehrfachnutzung mehrerer Frequenzen, bezeichnet.

### 4.2 Analoge Funksysteme

Die analogen Systeme sind wegen der analogen Modulation der Trägerfrequenz als solche bezeichnet. Könnte man das Übertragungsmedium, also die Trägerfrequenz, sichtbar machen, so würden wir die Bewegung derselbigen im Takt unserer Sprache oder Musik (auch als „Niederfrequenz“, = für das menschliche Ohr hörbare Töne bezeichnet) erkennen können. Dank dem technischen Fortschritt konnte die Übertragungsqualität analoger Systeme stark verbessert werden. Zu den analogen Funksystemen in Tunnelfunkanlagen gehören:

- Analoge Funkdienste wie Betriebsfunk für Polizei, Feuerwehr, Unterhaltsdienst und Sanität.
- UKW-Rundfunk.

### 4.3 Digitale Funksysteme

Digitale Systeme sind wegen der digitalen Modulation der Trägerfrequenz als solche bezeichnet. Diese Modulationsart konnte erst dank der allgemeinen Entwicklung der Digitaltechnik („Computertechnik“) eingeführt werden. Bei digitalen Systemen wird, wie auch bei Computersystemen, die Information in Bits (englisch: binary digit), also in eine Informationseinheit umgewandelt und so weiterverarbeitet.

Zu den digitalen Funksystemen in Tunnelfunkanlagen gehören:

- Digitale Funkdienste wie der Betriebsfunk für die Polizei.
- Bündelfunkdienste wie TETRAPOL oder TETRA.
- Paging-Dienste.
- DAB, ein neuer, digitaler Rundfunkdienst mit „CD-Qualität“ (Digital-Audio-Broadcast).
- Mobiltelefonie-Anlagen (GSM, DCS, UMTS).

## 5 Versorgungsanforderung

### 5.1 Betriebsfunknetze

In den nächsten Jahren werden die autonomen Betriebsfunknetze der Blaulichtorganisationen durch das Sicherheitsnetz Funk der Schweiz, POLYCOM, abgelöst. Um unnötige Investitionen zu vermeiden, dürfen in Neuanlagen in der Regel höchstens vier Betriebsfunk-Kanäle installiert werden (Polizei, Feuerwehr, Unterhaltsdienst und Koordinationskanal). Mehr als vier Kanäle bedürfen einer Zustimmung des ASTRA. Steht ein POLYCOM-Ausbau kurz bevor, muss für die Übergangsphase zwischen der Tunnelstrecken-Eröffnung und der POLYCOM-Inbetriebnahme eine provisorische, kostengünstige Lösung gewählt werden. Ist ein Regierungsratsbeschluss zur Einführung des POLYCOM im entsprechenden Gebiet vorhanden, dürfen zu Lasten Nationalstrassen keine neuen Betriebsfunkanlagen mehr erstellt werden.

### 5.2 POLYCOM-Netze

#### 5.2.1 Einführung

Mit der schrittweisen Einführung des POLYCOM müssen zahlreiche Tunnelfunkanlagen mit POLYCOM-Komponenten ausgebaut und erweitert werden. POLYCOM ist ein Bündelfunknetz und arbeitet nach dem TETRAPOL-Standard (FDMA = Frequency-division-multiple-access). Dabei wird ein Kanalbündel von vier Kanälen oder einem Mehrfachen davon verwendet. Die Tunnelfunkanlagen müssen alle POLYCOM-Funkkanäle der Aussenversorgung übertragen.

#### 5.2.2 Funk- und Versorgungsplanung

Das POLYCOM-Netz 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 (Roaming) 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 dar, 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 Planung von Tunnelfunkanlagen ist in Absprache mit den POLYCOM-Versorgungs-Planern zu koordinieren, um Einstrahlungen der Aussenversorgung in die Tunnel zu berücksichtigen und auch um unerwünschte Zellenwechsel zu verhindern.

### 5.3 Rundfunk in Tunnelfunkanlagen

#### 5.3.1 Allgemeines

„Rundfunk“ gilt hier als Sammelbegriff für den UKW-Rundfunk sowie den DAB-Rundfunkdienst. Die Übertragung anderer Rundfunkdienste wie „Lang-/Mittel- oder Kurzwellenprogramme“ ist in den Strassentunneln nicht vorgesehen. Die Ausstrahlung von Rundfunkprogrammen ermöglicht den Empfang von Verkehrsdurchsagen und erhöht damit die Sicherheit der Tunnelbenutzer. Sämtliche schweizerischen Rundfunkveranstalter sind gesetzlich verpflichtet, behördliche Alarmmeldungen und dringliche polizeiliche Bekanntmachungen zur Wahrung wichtiger Interessen unverzüglich zu verbreiten. Darüber hinaus strahlen der nationale Rundfunkanbieter sowie die kommerziellen regionalen Rundfunkveranstalter regelmässige Bulletins mit Verkehrsmeldungen aus. Gleichzeitig wird angestrebt, im Tunnel die lückenlose Versorgung der im Aussenbereich für den entsprechenden Gebietsabschnitt vorhandenen nationalen und regionalen Radioprogramme

sicherzustellen. Die überlagerten RDS-Signale der im Tunnel ausgestrahlten UKW-Programme müssen den unveränderten Betrieb des im Freiraum eingestellten UKW-Programms gewährleisten. Das Rundfunknetz im Strassentunnel dient zusätzlich als Plattform für die individuelle Einsprechung von Meldungen aus der Einsatz-Zentrale des zugewiesenen Polizeikorps.

Die Versorgung muss so dimensioniert sein:

- dass die Tunnelstationen maximal 12 UKW-Programme übertragen, respektive in den Tunnel aussenden können ;
- dass alle in den Tunnel ausgestrahlten UKW-Signale den gleichen Pegel aufweisen ;
- dass die Anzahl der empfangenen UKW-Programme mit dem modularen Ausbau der Kopf-/Empfangsstation bestimmt wird, indem für die ausgewählten Radiostationen die entsprechend eingestellten Empfangsmodule eingebaut werden ;
- dass die UKW-Programme für die Ausstrahlung in den Tunnel wenn nötig auf eine andere Frequenz umgesetzt werden können ;
- dass mittels einer geeigneten Einsprechanlage Alarmmeldungen und dringliche polizeiliche Bekanntmachungen auf Veranlassung der zuständigen Behörde gleichzeitig auf allen Kanälen ausgestrahlt werden können ;
- dass richtungsgetrennte, wie auch einzelne Tunnelröhren in Tunnelgruppen, unabhängig voneinander besprochen werden können ;
- dass während der Besprechung einer bestimmten Tunnelröhre die verbleibenden, an der gleichen Anlage angeschlossenen Tunnelröhren, mit den Radioprogrammen versorgt sind.

Grundsätzlich muss die Tunnelfunkanlage so aufgebaut sein, dass eine Erweiterung der Anlage mit 2 DAB-T-Blöcken möglich ist.

### 5.3.2 Kanal-Verteilung

Aus technischen und wirtschaftlichen Überlegungen sind Anlagen mit 12 Kanälen optimal. Maximal 5 Rundfunk-Kanäle sind für den nationalen Anbieter und 7 Kanäle für die regionalen Anbieter vorgesehen. Die Programme müssen über eine gemeinsame Antennenanlage bei der Tunnel-Kopfstation empfangbar sein. Rundfunkrechtlich ist der konzessionierte schweizerische Veranstalter für die Verbreitung seiner Programme verantwortlich, wobei er seine Programme entweder selbst oder durch einen Dritten – hier: den Bauherrn – verbreiten lässt. Die Verbreitung in einem Strassentunnel kann nur erfolgen, sofern das betreffende Bauwerk innerhalb oder an der Grenze des vom Bundesrat definierten Versorgungsgebiets für das Programm liegt. Werden ausländische Programme in einem Tunnel ausgestrahlt, ist eine rundfunkrechtliche Konzession für die drahtlose terrestrische Weiterverbreitung von Rundfunkprogrammen zu erwerben.

## 5.4 Einsprechmöglichkeiten über den UKW-Rundfunk

Nachdem erkannt wurde, dass die Information der Tunnelbenützer über das Autoradio als zusätzliches Sicherheitsmoment gewertet werden kann, hat sich die Ausrüstung auch von kürzeren Tunneln resp. ganzer Tunnelgruppen mit der Einsprechmöglichkeit durchgesetzt. Das Einsprechen in die Tunnel benötigt nebst einem klar definierten Durchsagekonzept auch in der Regel eine rund um die Uhr besetzte Zentrale. Sofern der Betrieb abgesprochen ist, ist auch eine Tunnel-Besprechung aus mehreren Zentralen möglich. Bei grösseren Anlagen kann die individuelle Besprechung über das Mikrofon nicht mehr vorausgesetzt werden. Ein geeignetes Sprachspeicher- und Auswahl-System mit den entsprechenden Texten ist vorzusehen. Um die möglichen Funktionen des Autoradios richtig zu nutzen, müssen dem Signal der Einsprechung die Radio-Daten-Signale (RDS) überlagert werden. Nachfolgende Abbildung zeigt das prinzipielle Konzept einer umfangreichen Einsprechanlage. Eine solche Anlage ermöglicht die Besprechung eines beliebigen Tunnels ab einer beliebigen Zentrale. Der oder die zu besprechenden Tunnel, sowie die dem Ereignis angepasste Durchsage, kann am Bildschirm ausgewählt werden. Sämtliche Anlagenteile sind Bestandteil der Tunnelfunkanlage und müssen deshalb über die Standard-USV-Versorgung gespiesen werden. Die Alarmierung muss so ausgelegt sein,

dass der Nachweis der Funktion bis nach dem letzten aktiven Bauelement des Tunnelverstärkers vor der Einspeisung in das Strahlungskabel erbracht ist.

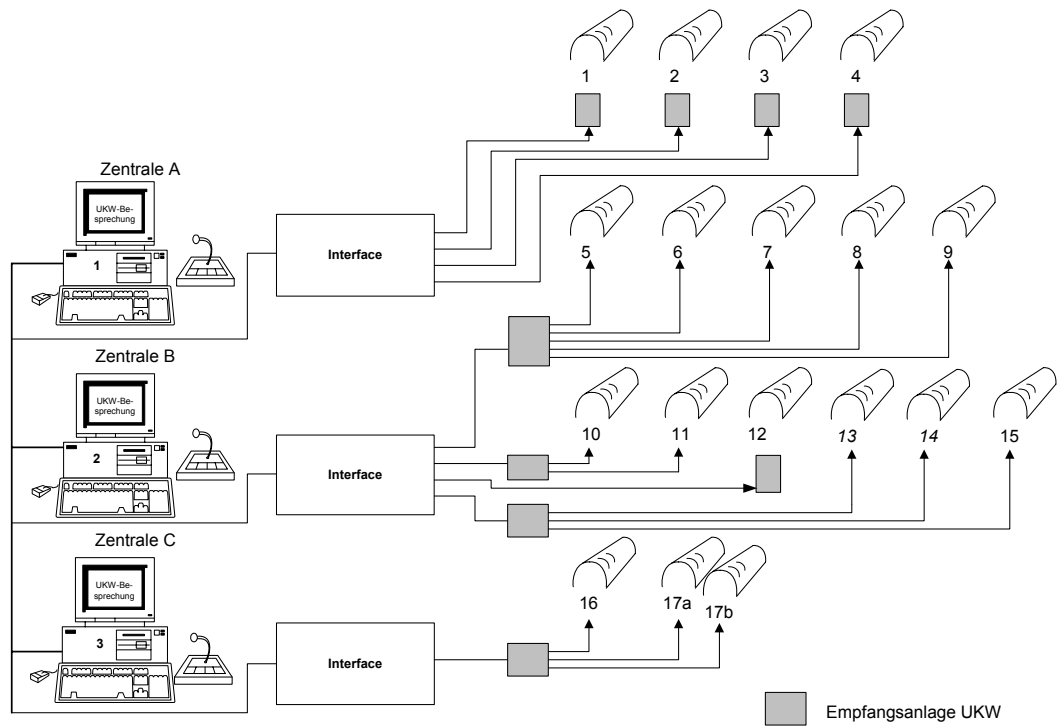


Abb. 5.1 Prinzipdarstellung einer Einsprechanlage.

## 6 Dimensionierung von Tunnelfunksystemen

### 6.1 Grundlagen der Dimensionierung

Die Dimensionierung kann erst festgelegt werden, wenn die Anforderungen an die zu erstellende Anlage definiert sind. Dies bedingt die Definition der Funktionalitäten der Anlage.

- Tunnelkombinationen müssen zu einer funktionell und technisch logischen Funktionseinheit unter der Berücksichtigung der Tunnelautonomie verknüpft werden.
- Sicherheitsstollen, Fluchtwege und Werkleitungskanäle werden grundsätzlich nicht versorgt.
- Redundante Anlageteile sind nicht zulässig.
- Der Funktionserhalt E30 muss gewährleistet sein und mit der Sicherheitsmatrix nachgewiesen werden.
- Einseitig angespiesene Strahlungskabel müssen, wenn es die baulichen Möglichkeiten erlauben, geschützt in einen Lüftungskanal, oder das Bankett verlegt werden.
- Strahlungskabel zwischen zwei Tunnelstationen müssen für die POLYCOM- Frequenzen „elektrisch“ durchgehend sein.

#### 6.1.1 Versorgungsmatrix für Betriebsfunknetze (ohne POLYCOM)

Sie zeigt, welche Benutzer der Anlage, von welchen Orten oder Bereichen aus miteinander kommunizieren können. Bevor die Versorgungsmatrix erstellt werden kann, müssen die Versorgungsabschnitte definiert sein. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine mögliche Aufteilung der Versorgungsabschnitte für die Anwendung der Versorgungsmatrix.

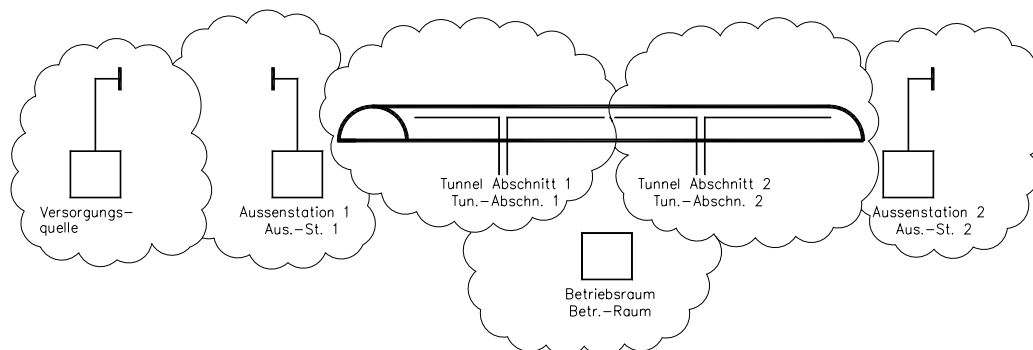


Abb. 6.1 Versorgungsabschnitte.

Abb. 6.2 Versorgungsmatrix

	Aussen-Station 1	Tunnel-Abschnitt 1	Tunnel-Abschnitt 2	Aussen-Station 2	Betriebs-Raum	Vers.-Quelle
Aussen-Station 1	-	ja	ja	ja	nein	nein
Tunnel-Abschnitt 1	ja	-	nein	ja	ja	ja
Tunnel-Abschnitt 2	ja	nein	-	ja	ja	ja
Aussen-Station 2	ja	ja	ja	-	nein	ja
Betriebs-Raum	nein	ja	ja	nein	-	ja
Vers.-Quelle	nein	ja	ja	ja	ja	-

### 6.1.2 Sicherheitsmatrix

Die Sicherheitsmatrix ist ein Überprüfungsinstrument für den Planer und den Bauherrn. Die Definition der Sicherheitsmatrix hat einen grossen Einfluss auf die Dimensionierung und die Kosten einer Anlage. Die Sicherheitsmatrix definiert die Erwartungen des Bauherrn bezüglich Resistenz und Verhalten der Anlage gegen Störungen, Pannen und Ereignisse und die daraus entstehenden Versorgungs-Lücken und Kommunikationsprobleme. Beispiel der Definition von Versorgungsabschnitten und Funktionselementen zur Erstellung einer Sicherheitsmatrix:

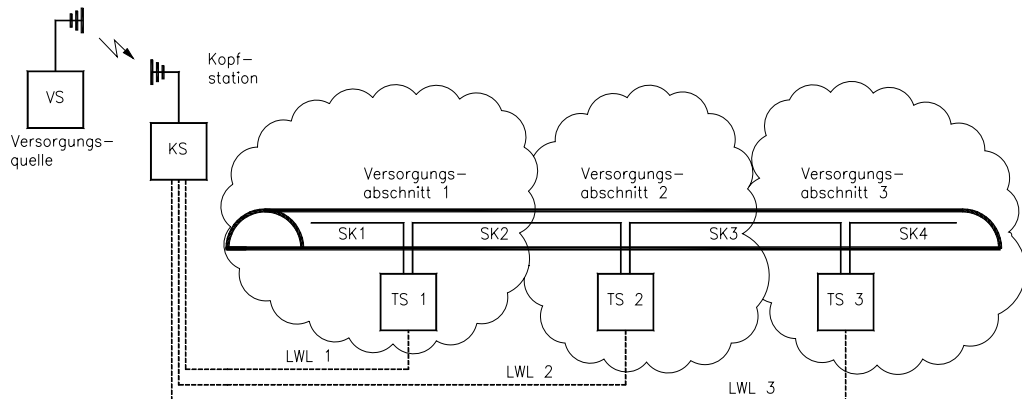


Abb. 6.3 Versorgungsabschnitte und Funktionselemente.



Auflistung möglicher Störfälle in den Funktionselementen:

- Ausfall der Lichtwellenleiter LWL1, LWL2, LWL3, KS oder VS: Siehe Abbildung 6.4
- Ausfall der Tunnelstation TS1, TS2 oder TS3: Siehe Abbildung 6.5
- Unterbruch des Strahlungskabels SK1, SK2, SK3 oder SK4: Siehe Abbildung 6.6

Abb. 6.4 Ausfall LWL, KS oder VS

	Ausfall LWL 1	Ausfall LWL 2	Ausfall LWL 3	Ausfall KS	Ausfall VS
<b>Versorgungsabschnitt 1</b>	SK2 50 % versorgt durch TS2 SK1 ausser Betrieb	kein Einfluss	kein Einfluss	Total-Ausfall	Total-Ausfall
<b>Versorgungsabschnitt 2</b>	kein Einfluss	SK2 & SK3 50 % versorgt durch TS1 und TS3	kein Einfluss	Total-Ausfall	Total-Ausfall
<b>Versorgungsabschnitt 3</b>	kein Einfluss	kein Einfluss	SK3 50 % versorgt durch TS2 SK4 ausser Betrieb	Total-Ausfall	Total-Ausfall

Abb. 6.5 Ausfall TS

	Ausfall TS1	Ausfall TS2	Ausfall TS3
<b>Versorgungsabschnitt 1</b>	SK2 50 % versorgt durch TS2 SK1 ausser Betrieb	kein Einfluss	kein Einfluss
<b>Versorgungsabschnitt 2</b>	kein Einfluss	SK2 & SK3 50 % versorgt durch TS1 und TS3	kein Einfluss
<b>Versorgungsabschnitt 3</b>	kein Einfluss	kein Einfluss	SK3 50 % versorgt durch TS2 SK4 ausser Betrieb

Abb. 6.6 Unterbruch SK

	Unterbruch SK1	Unterbruch SK2	Unterbruch SK3	Unterbruch SK4
<b>Versorgungsabschnitt 1</b>	ab Unterbruch ausser Betrieb	versorgt bis zum Unterbruch durch TS1 resp. TS2	kein Einfluss	kein Einfluss
<b>Versorgungsabschnitt 2</b>	kein Einfluss	versorgt bis zum Unterbruch durch TS1 resp. TS3	versorgt bis zum Unterbruch durch TS2 resp. TS3	kein Einfluss
<b>Versorgungsabschnitt 3</b>	kein Einfluss	kein Einfluss	versorgt bis zum Unterbruch durch TS2 resp. TS3	ab Unterbruch ausser Betrieb

Die technischen Anforderungen resultieren aus den minimalen Sicherheitsanforderungen. Die optimale Betriebssicherheit muss durch die beste Kombination technischer, finanzieller und betriebskonzeptioneller Möglichkeiten erreicht werden.

### HF-Pegel und Ortswahrscheinlichkeit

HF-Pegel und Ortswahrscheinlichkeit sind Kenngrößen für die Planung und Beurteilung der Funkversorgung im Tunnel. Die Werte für die HF-Pegel und die Ortswahrscheinlichkeit müssen in der Ausschreibung enthalten sein. Die minimalen Signalwerte für den DOWN-LINK, gemessen auf Basis einer  $\lambda/4$ -Antenne auf dem Fahrzeugdach betragen

bei einer Ortswahrscheinlichkeit von 50%:

- für den UKW-Rundfunk 30 dB $\mu$ V;
- für den Betriebs-Funk 20 dB $\mu$ V im 70 cm Band und 2 m Band.

Für den UP-LINK gilt: Mit einer Sendeleistung von 1 Watt, eingespiesen in eine  $\lambda/4$ -Antenne auf dem Fahrzeugdach, muss die Anlage im UP-LINK unterbruchsfrei funktionieren. Mit diesen Werten ist in der Regel auch ein „Handy-Betrieb“ sogar im Fahrzeuginnern möglich. Die Signalwerte sind durch den Lieferanten der Anlage bei der Abnahme nachzuweisen.

### **Alarmierung**

Der Bauherr/Planer definiert die Anforderungen, die Schnittstellen sowie den Ort der Alarmübergabe. Mindestens muss pro Kopf- und Tunnelstation ein Sammelalarm vorhanden sein.

## 7 Tunnelfunkanlage

### 7.1 Funktionsbereiche

Grundsätzlich bestehen Tunnelfunkanlagen immer aus den in der nachfolgenden Skizze bezeichneten Elementen. Letztlich geht es immer darum, den Tunnel in ein bestehendes Rundfunk- oder Funknetz einzubinden.

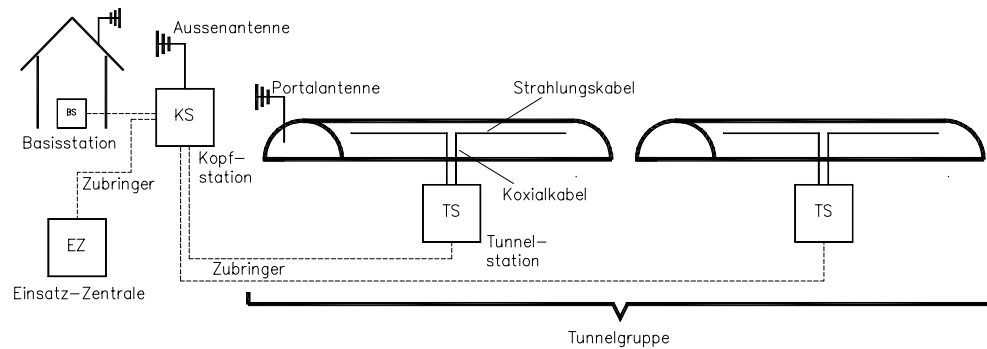


Abb. 7.1 Elemente einer Tunnelfunkanlage.

#### Legende:

##### Einsatz-Zentrale EZ

In der Einsatz-Zentrale EZ ist die Schnittstelle der Benutzer zur Tunnelfunkanlage. Hier besteht nebst der Bedienung des Betriebsfunks auch die Möglichkeit des Einsprechens auf die UKW-Radioversorgung des Tunnels. In der Einsatz-Zentrale werden die Alarme der Tunnelfunkanlage gesammelt.

##### Basisstation BS

Die Basisstation BS (Sender/Empfänger) überlagert (moduliert) Sprach- oder Dateninformation auf eine als „Radio-Welle“ aussendbare Hochfrequenz und demoduliert die empfangenen Hochfrequenzsignale. Vielfach bereits im Rahmen des bestehenden Funknetzes vorhanden. Kann aber auch ausschliesslich für die Versorgung einer Tunnelanlage dienen.

##### Aussenantenne

Die Aussenantenne bildet das Bindeglied zwischen einer Aussenversorgung und der Tunnelanlage (Luftschnittstelle).

##### Kopfstation KS

In der Kopfstation KS werden die Signale auf die Tunnelstationen verteilt resp. zusammengeführt. Über die KS wird die Verbindung zu der vorhandenen Funkzelle der Aussenversorgung hergestellt.

##### Zubringer

Der Zubringer stellt die drahtgebundene Verbindung zwischen Zentrale, Basis-, Kopf- und Tunnelstation dar. Über Koaxial- oder Lichtwellenleiterkabel können die Signale auf dem Hochfrequenzniveau (Sende-, Empfangs-, oder Zwischenfrequenzen) übertragen werden. Niederfrequenz- und Datensignale können über Kupfer- oder NF-Lichtwellenleiter übertragen werden. Für eine bessere Leitungsnutzung lassen sich Signale „zusammengefasst“ via Multiplexer oder Datennetze austauschen.

### Tunnelstation TS

Die Tunnelstation TS selektioniert und verstärkt die Hochfrequenzsignale für die Aussendung und den Empfang im Tunnel.

### Koaxialkabel

Die Koaxialkabel stellen die Verbindung zwischen Tunnelstation und Strahlungskabel her.

### Strahlungskabel

Die Strahlungskabel wirken als Antenne für Aussendungen und Empfang von Funk- und Radiosignalen über die gesamte Tunnellänge.

### Portalantenne

Die Portalantenne dient der Betriebsfunkversorgung des Tunneleingangsbereichs oder als Handshake-Antenne für den Zellenwechsel bei Mobilfunk- oder POLYCOM- Anlagen.

### Tunnelgruppe

Liegen zwei oder mehrere Tunnel in verhältnismässig kurzen Streckenabschnitten zueinander, wird die Bezeichnung Tunnelgruppe verwendet.

## 7.2 Ausführungs-Varianten

Die Prinzipdarstellungen sind sinngemäss für alle Funk- und Rundfunkdienste gültig.

### 7.2.1 Ankopplung an die Basisstation

Über einen Zubringer, Lichtwellenleiter oder bei kurzer Distanz Koaxialkabel, wird die Tunnelstation TS an die (ev. bestehende) Basisstation BS angekoppelt. Die für die Ansteuerung der Tunnelfunkanlage notwendige kleine Leistung der Hochfrequenzsignale resp. die Einspeisung des UP-LINK-Signales, kann ohne Beeinflussung der bestehenden Basisstation bezüglich der Sende- und Empfangscharakteristik über die Aussenantenne realisiert werden.

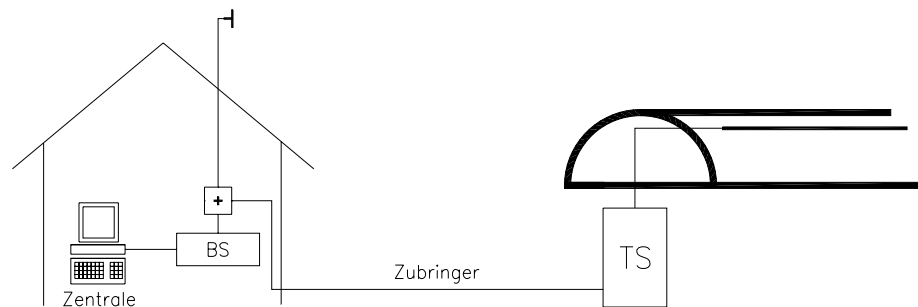


Abb. 7.2 Ankopplung an Basisstation

### 7.2.2 Basisstation für die Tunnelfunkanlage

Die Modulation resp. die Demodulation der Funksignale erfolgt in der für die Tunnelfunkanlage vorgesehenen Basisstation. Die Signalübermittlung zwischen der Zentrale und der Tunnelfunkanlage erfolgt über Niederfrequenz- oder Datenleitungen.

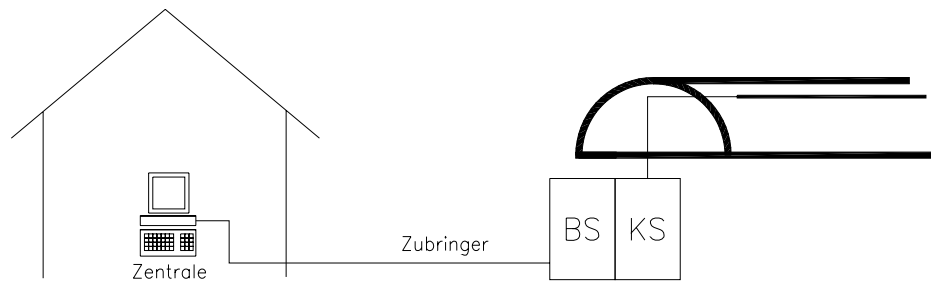


Abb. 7.3 Basisstation für die Tunnelfunkanlage.

### 7.2.3 Repeaterprinzip (Luftschnittstelle/Ballempfang)

Liegt die Aussenstation der Tunnelfunkanlage im Versorgungsbereich der Funk- und Rundfunkdienste (BS), so werden die Signale aus dem Freiraum empfangen und zu den Tunnelstationen weitergeleitet (DOWN-LINK), resp. im Tunnel empfangen (UP-LINK), von der Kopfstation KS ausgesendet, um von der Basisstation empfangen zu werden.

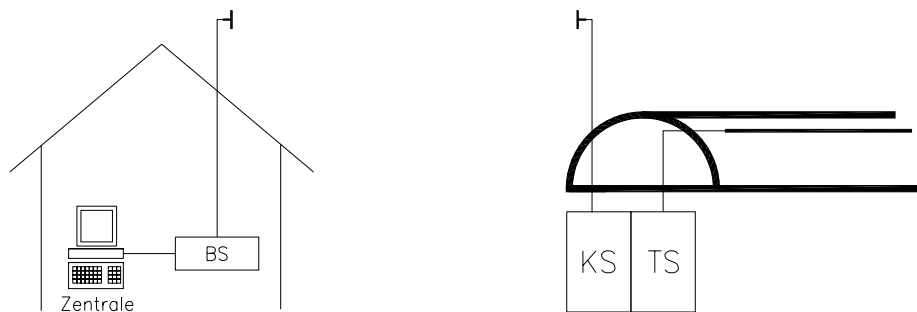


Abb. 7.4 Repeaterprinzip.

### 7.2.4 Ankopplung an eine bestehende Anlage

Die Signale können an einer bereits bestehenden Anlage abgenommen und für die Neuanlage weiterverwendet werden.

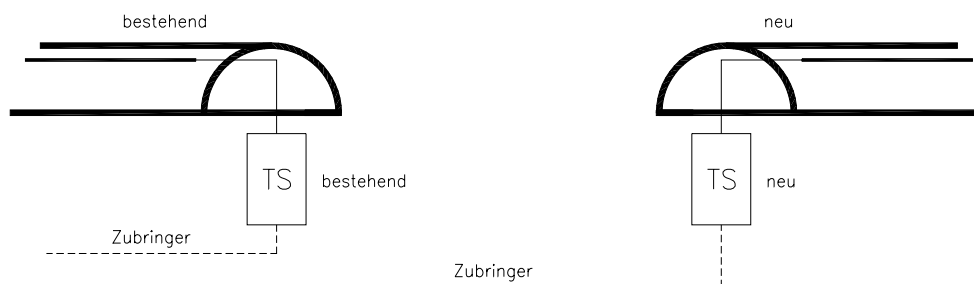


Abb. 7.5 Ankopplung an eine bestehende Anlage.

## 7.3 Versorgung des Tunnel-Portalbereichs

Mit der Tunnelfunkanlage kann auch die Versorgung des Portalbereichs sichergestellt werden, indem z.B. eine für den Portalbereich montierte Antenne an die Tunnelanlage angeschlossen wird. Je nach eingesetztem Konzept muss die Portalversorgung im Hinblick auf das Handover und Handshake speziell geplant werden. Die Aussendungen der Tunnelfunkanlage in den Freiraum müssen den gültigen ETSI- und BAKOM-Vorschriften entsprechen.

Die Anlage wird mit einer Portalantenne ergänzt:

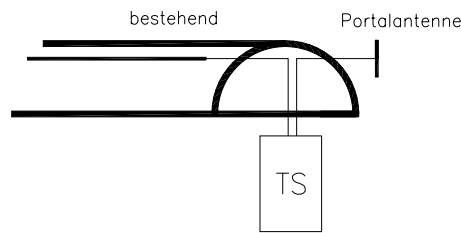


Abb. 7.6 Versorgung Portalbereich.

## 7.4 Elemente der Tunnelfunkanlage

### 7.4.1 Mast

Als Träger der für die Freiraumversorgung notwendigen Antennen wird in den meisten Fällen ein Mast verwendet. Dieser muss, mit allen Antennen bestückt, der an diesem Punkt vorgeschriebenen Windlast widerstehen. Sind Richtfunkantennen als Zubringer installiert, so ist die Steife des Mastes so zu wählen, dass die Auslenkung innerhalb den vom Richtfunksystem vorgegebenen Toleranzen liegt. Die gemeinsame Nutzung mit anderen Diensten (Mobilfunktelefonie) ist anzustreben und zu koordinieren. Gegebenenfalls ist der Mast durch eine passende Form- und Farbgebung optimal in die Umgebung zu integrieren. Die Einholung der Baubewilligung und die Koordinierung der Antennendisposition ist Sache der Bauherrschaft.

### 7.4.2 Antennen für die Aussenversorgung

Die Anzahl und Art der Antennen für die Luftschnittstelle ist abhängig vom Versorgungskonzept der Tunnelfunkanlage. Es ist deshalb nicht möglich, eine einheitliche Anordnung zu definieren. Wer eine Antennenanlage erstellt, muss die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) einhalten.

**Auszug aus der Verordnung (NISV):** „Nichtionisierende Strahlung umfasst alle Strahlungsformen, die - im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung - nicht genügend Energie aufweisen, um die Bausteine der Materie und von Lebewesen (Atome, Moleküle) zu verändern. Zur nichtionisierenden Strahlung gehören elektrische und magnetische Felder, Wärmestrahlung, Licht und Ultraviolett-Strahlung“.

### 7.4.3 Antennen für die Tunnelversorgung

Die Versorgung eines Tunnels mit Antennen ist grundsätzlich möglich. Aufgrund des unterschiedlichen Ausbreitungsverhaltens in Abhängigkeit der Frequenz, ist die Versorgung mit UKW-, 2 m-Funk und 70 cm-Funk, also der Frequenzbereich von ca. 80 MHz bis 500 MHz nicht wirtschaftlich, da im Verhältnis zur Strahlungskabelversorgung, mit Antennen nur kurze Versorgungsabschnitte realisiert werden können. Im Weiteren beeinflusst der Verkehr (Füllfaktor) die Ausbreitung der ab den Antennen abgestrahlten Signale stark. Nachteilig ist auch die Baugrösse von Antennen für diese Frequenzbereiche, was eine Installation erschwert. Es gilt die Grundregel: Je tiefer die Frequenz, desto grösser die Antenne. Besser sieht es für die Dienste in den höheren Frequenzbereichen, also für GSM, DCS und UMTS, von ca. 850 MHz bis 2100 MHz, aus. Hier sind nicht nur die Ausbreitungsbedingungen im Tunnel wesentlich besser, sondern auch die Antennen bedeutend kleiner, was wiederum die Installation erleichtert.

Von einigen Spezialfällen abgesehen, hat sich der nachfolgende Grundsatz durchgesetzt: Frequenzen bis ca. 500 MHz für Strahlungskabel, bzw. Frequenzen ab 850 MHz für Antennen. Um den Tunnel-Unterhalt nicht zu behindern, sollen Antennen möglichst an die Tunneldecke montiert werden.

## 7.4.4 Koaxial- und Strahlungskabel

### Definitionen

Für die Übertragung von hochfrequenten Rundfunk- und Funksignalen werden so genannte Koaxialkabel verwendet. Koaxialkabel bestehen aus einem Innenleiter und einem, den Innenleiter abschirmenden Aussenleiter. Der Aussenleiter ist meistens mit der Schrank- oder Gehäusemasse verbunden. Die Durchmesser-Verhältnisse zwischen Aussen- und Innenleiter sind genau definiert, damit das Leitungssystem funktioniert. Aus diesem Verhältnis geht auch die so genannte Impedanz des Kabels hervor. Standard für Koaxialkabel und Strahlungskabel in Tunnelfunkanlagen ist die Impedanz von 50 Ohm. Das Koaxialkabel dient als Zubringer- oder Verbindungskabel zwischen Antenne und Anlage, resp. Anlage und Strahlungskabel. Das Strahlungskabel ist eine spezielle Bauform eines Koaxialkabels. Der Aussenleiter wird durch geeignete Öffnungen wie Schlitze oder Löcher gewissermassen „undicht“ gemacht. Ein Teil der durch das Strahlungskabel übertragenen Energie kann durch die Öffnungen entweichen. Das Strahlungskabel wirkt damit über seine gesamte Länge wie eine Antenne.

### Physikalische Eigenschaften

Je höher die Frequenz eines zu übertragenden Signals, desto grösser wird die Längsdämpfung im Koaxialkabel und damit desto kürzer die mögliche Übertragungsstrecke des entsprechenden Hochfrequenzsignals.

Je grösser der Durchmesser eines Koaxialkabels, desto kleiner wird die Längsdämpfung für ein hochfrequentes Signal und damit desto länger die mögliche Übertragungsstrecke des entsprechenden Hochfrequenzsignals.

### Versorgungslängen

Durchschnittlich können mit einem im Fahrraum montierten Strahlungskabel folgende Tunnellängen versorgt werden:

*Abb. 7.7 Versorgungslängen der verschiedenen Strahlungskabel*

Kabel-Durchmesser	Frequenzbereich		Versorgungslänge
½ Zoll Aussen-Durchmesser	80-110 MHz	(UKW-Rundfunk)	~ 1'000 m
	150-170 MHz	(2 m – Funk)	~ 800 m
	380-450 MHz	(70 cm-Funk)	~ 450 m
	850-950 MHz	(GSM-Telefonie)	~ 200 m
	1800 MHz	(DCS-Telefonie)	<100 m
	2100 MHz	(UMTS-Telefonie)	<100 m
7/8 Zoll Aussen-Durchmesser	80-110 MHz	(UKW-Rundfunk)	~ 2'000 m
	150-170 MHz	(2 m – Funk)	~ 1'800 m
	380-450 MHz	(70 cm-Funk)	~ 800 m
	850-950 MHz	(GSM-Telefonie)	~ 300 m
	1800 MHz	(DCS-Telefonie)	~ 200 m
	2100 MHz	(UMTS-Telefonie)	<200 m
1½ Zoll Aussen-Durchmesser	80-110 MHz	(UKW-Rundfunk)	~ 3'200 m
	150-170 MHz	(2 m – Funk)	~ 2'200 m
	380-450 MHz	(70 cm-Funk)	~ 1'300 m
	850-950 MHz	(GSM-Telefonie)	~ 700 m
	1800 MHz	(DCS-Telefonie)	~ 500 m
	2100 MHz	(UMTS-Telefonie)	~ 300 m

Bemerkungen:

- die obenstehende Tabelle gibt Richtwerte an ;
- die Topologie des Sicherheitskonzeptes hat auf die Kabelversorgungslänge einen wesentlichen Einfluss ;
- Produkte verschiedener Lieferanten mit gleichem Durchmesser ergeben ähnliche Ergebnisse ;
- Speziell für hohe Frequenzen (900 - 2100 MHz) optimierte Strahlungskabel erlauben grössere Versorgungslängen in diesem Bereich, als die in der obigen Liste eingetragenen. Demgegenüber reduzieren sich allerdings die Versorgungslängen für die tiefen Frequenzen erheblich.

### Montage-Arten

Die Tunnelkonstruktion bestimmt weitgehend den Montageort des Strahlungskabels. Die Montage des Strahlungskabels darf die baulichen Gegebenheiten nicht beeinträchtigen und die mögliche Beeinflussung durch andere Kabel ist bei der Verlegung zu berücksichtigen. Speziell als Aufhängung für Strahlungskabel konzipierte und bewährte Clips können mit Dübel montiert werden. Das starre Strahlungskabel kann ohne Werkzeug in die Clips eingehängt werden, was eine schnelle Kabelverlegung ermöglicht. Ist ein durchgehender Kabelkanal verlegt, kann das Strahlungskabel in diesen eingelegt werden. Geeignet sind Kabelkanäle aus Fiberglas. Bedingt brauchbar sind metallische Gitterroste. Nicht brauchbar sind geschlossene metallische Kanäle. Um das Strahlungskabel gegen eventuelle Hitze-Einwirkung oder vor mechanischen Beschädigungen zu schützen, ist eine Verlegung in den Frischluftkanal oder in das Bankett möglich, was allerdings die Versorgungslänge erheblich reduziert. Die Verschlechterung der Abstrahlungscharakteristik muss in der Regel mit einer Versuchsmessung eruiert werden. Zur Schaffung guter funkt technischer Voraussetzungen ist eine frühzeitige Koordination mit dem Bauherrn notwendig. Es sind Massnahmen zu ergreifen, dass bei Hitze oder mechanischer Einwirkung das Strahlungskabel nicht über eine grössere Strecke herunterfallen kann.

### Installation im Portalbereich

Zur Verhinderung von Interferenzen (Gleichkanalstörungen) zwischen der Aussen- und der Tunnelversorgung, muss das Strahlungskabel ca. 50 m vor dem Tunnelportal enden. Die Störeinflüsse können je nach System oder Frequenzbereich unterschiedlich sein. Das beste Ergebnis muss ev. durch Versuche ermittelt werden.

Mögliche Montagearten, immer unter Berücksichtigung des definierten Fahrraumes:

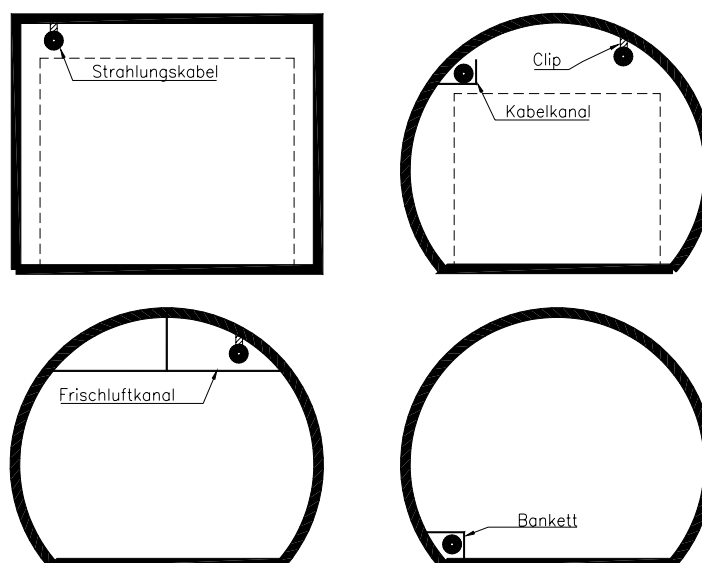


Abb. 7.8 Montagearten des Strahlungskabel.



### 7.4.5 Komponenten der Kopfstation (KS)

Die Kopfstation ist der Anlageteil einer Tunnelfunkanlage, welcher die Verbindung zur Aussenversorgung oder zu einer Funkzentrale herstellt. Trotzdem, dass der eigentliche Aufbau dieses Anlageteils durch das Lieferanten-Konzept bestimmt wird, müssen durch den Bauherrn einige Vorgaben definiert werden. Es sind dies:

- Schutzgrad, Farbe, Grösse, usw. der Schränke.
- Konzept der Netzversorgung (ein-/mehrphasig, Absicherung, USV).
- Längen (Patch-Panel im Schrank) und Steckertyp für Lichtwellenverbindungen.
- Speisungs- und Koaxialkabelzuführung (Hohlboden, Gitterrost).
- Erdungs-Konzept.

Ist in der Kopfstation eine Aussendung von Funksignalen in den Freiraum vorgesehen, (Repeater-Lösung), so muss diese Aussendung gemäss den gültigen ETSI-Vorschriften 300 113 oder 300 086 mit einer kanalselektiven Anlage realisiert werden.

### 7.4.6 Komponenten der Tunnelstation (TS)

Die Tunnelstation ist der Anlageteil einer Tunnelfunkanlage, welcher einen Strahlungskabelabschnitt versorgt. Der Aufbau dieses Anlageteils wird wiederum weitgehend durch das Lieferanten-Konzept bestimmt. Trotzdem müssen durch den Bauherrn einige Vorgaben definiert werden. Es sind dies:

- Schutzgrad, Farbe, Grösse, usw. der Schränke.
- Konzept der Netzversorgung (ein-/mehrphasig, Absicherung, USV).
- Längen (Patch-Panel im Schrank) und Steckertyp für Lichtwellenverbindungen.
- Speisungs- und Koaxialkabelzuführung (Hohlboden, Gitterrost).
- Erdungs-Konzept.

Aussendungen 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.

## 7.5 Mobiltelefonie-Anlagen (GSM, DCS und UMTS)

Diese Anlagen sind nicht Eigentum der Kantone. Deshalb müssen für den Bau (Infrastruktur-Anteile), den Betrieb (Energie-Verbrauch) und den Unterhalt (Zutrittsregelungen), Verträge mit dem „Tunnelbesitzer“ abgeschlossen werden. Gemeinsam genutzte Anlagenteile müssen gemäss den Anforderungen aus dieser Richtlinie realisiert und genutzt werden. In Neubauten sind diese Anlagenteile wenn möglich in genügend grosse Räume unterzubringen, welche von den eigentlichen Betriebsräumen für EM-Anlagen getrennt sind. Damit bleiben der Zutritt, die Netzabsicherung, die Störungsbehebung und die Sicherheitsaspekte autonome Bereiche der Mobiltelefonie-Anbieter.

## 8 Signalübertragung

### 8.1 Hochfrequenz-Schnittstellen

Sind solche Schnittstellen zu definieren weil z.B. Anlageteile schon vorhanden, oder wenn verschiedene Lieferanten daran beteiligt sind, werden Angaben über den Steckertyp sowie den Pegel notwendig.

Meistverwendete Stecker-Buchsen-Typen sind:

- SMA Stecker und SMA Buchse ;
- N-Stecker/N-Buchse ;
- 7/16 Stecker und 7/16 Buchse.

Nebst dem Typ ist auch die Bauform zu definieren. Üblich sind f (female) für Buchsen und m (male) für Stecker.

Der Pegel wird mit der in 50 Ohm Hochfrequenzanlagen üblichen Leistungsangabe dBm beziffert, (0 dBm entspricht 1 mWatt an 50 Ohm).

### 8.2 Lichtwellenleiter-Schnittstellen

Für die Übertragung von Funksignalen auf den Endfrequenzen können nur Single-/Monomode-Fasern verwendet werden. Der zu dieser Faser meistverwendete Stecker ist zur Zeit der E 2000/APC. Gegenüber früheren Steckerausführungen verfügt der bewährte E 2000/APC über einen automatischen Staubschutz. Lichtwellenleiter werden vielfach vom Bauherrn als vorhandene Infrastruktur für den Tunnelfunkanbieter zur Verfügung gestellt. In diesem Fall ist es zweckmässig, die Distanz zwischen Lichtwellenleiter-Kopf (Patch-Panel) und dem „Funkschrank“ zu definieren.

### 8.3 Niederfrequenz-Schnittstellen

Niederfrequenzleitungen dienen der Übertragung der (für das menschliche Ohr hörbaren) „Ton-Frequenzen“. Niederfrequenzleitungen haben entsprechend den „Telefonleitungen“ eine Impedanz von 600 Ohm. Auf diesen Wert bezogen basiert hier die Definition der Leistung in dBm (0 dBm entspricht 1 mW an 600 Ohm). Ein Steckertyp wird bei Niederfrequenzschnittstellen in der Regel nicht definiert. Die Übergabe erfolgt meistens über einen Strips.

### 8.4 Daten-Schnittstellen

Wird für die Signalübertragung eine LAN-Schnittstelle benötigt, so muss diese definiert sein, z.B. Ethernet 100 Mb/s mit RJ 45 Stecker.

### 8.5 Potentialfreie Kontakte

Werden für die Alarmübertragung oder Schaltfunktionen potentialfreie Kontakte benötigt, so ist deren Funktion, Zustand und Stromversorgung entsprechend den Vorgaben des Bauherrn zu definieren.

## 9 Inbetriebsetzung

### 9.1 Anforderung

Der Lieferant muss in Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, einem Endbenutzer und dem Planer die Anlage in Betrieb nehmen. Die Erfüllung der festgelegten Vorgaben müssen anhand Messungen nachgewiesen werden.

### 9.2 Abnahmemessung

#### 9.2.1 Messanordnung

Die geforderten Versorgungswerte sind mit nachfolgender Messanordnung und mit praktischen Versuchen nachzuweisen:

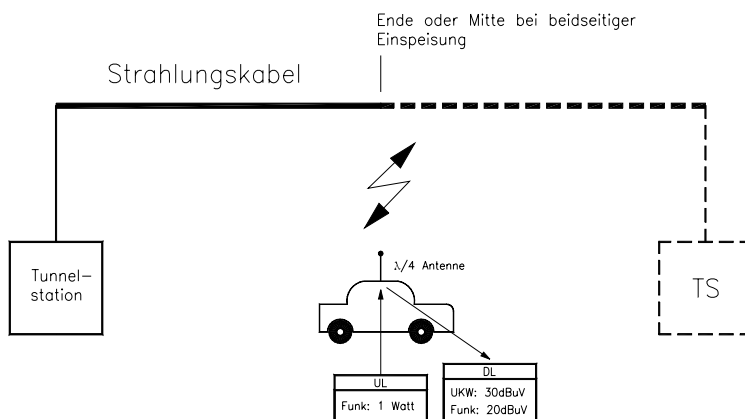


Abb. 9.1 Prinzip Abnahmemessung.

Erklärung zur Messanordnung:

Das Betriebsfunksystem beinhaltet Frequenzen im 70 cm und im 2 m Band. Befindet sich die Antenne eines Funk- oder Radiogerätes in einem elektrischen Feld mit einer bestimmten Feldstärke, so steht am Antennenanschluss ein von der Feldstärke direkt abhängiges Empfangssignal zur Verfügung. Es ist praktisch einfacher, ein Empfangssignal an einem definierten Antennentyp zu verifizieren als eine bestimmte Feldstärke nachzuweisen. Empfehlenswert ist die Anordnung mit einer  $\lambda/4$ -Antenne auf dem Fahrzeugdach.

### 9.2.2 Messung von HF-Pegel und Ortswahrscheinlichkeit

Beispiel einer HF-Pegelmessung (DOWN-LINK) mit Angabe der Ortswahrscheinlichkeit: Mit der Ortswahrscheinlichkeit soll ausgesagt werden, an wie vielen Messpunkten prozentual über eine bestimmte Strecke das geforderte Signal „vorhanden“ ist. Praktisch wird dieser Wert als gemittelte Linie für den entsprechenden Prozentsatz in die Messkurve eingetragen.

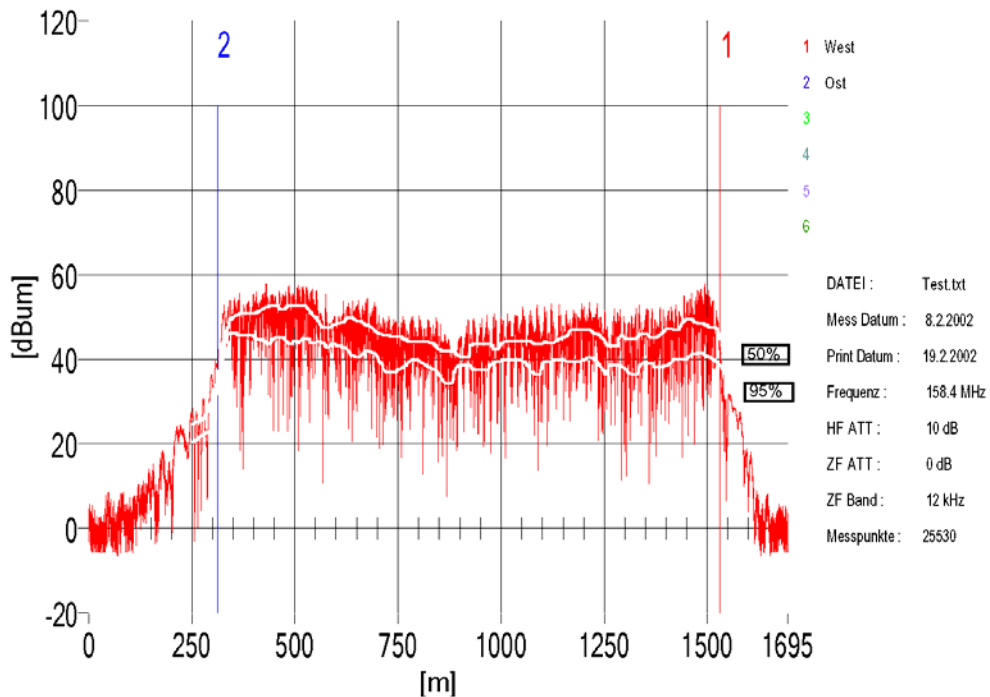


Abb. 9.2 Messkurve Down-Link-Pegel mit Ortswahrscheinlichkeit.

Tunnelfunk-Versorgungen müssen symmetrisch sein, d.h. die „Reichweite“ der Basisstation (DOWN-LINK) zum mobilen oder portablen Gerät im Tunnel sollte gleich sein wie die „Reichweite“ (UP-LINK) des mobilen oder portablen Gerätes zur Basisstation. Deshalb gilt die „Feldstärke-Überlegung“ auch für den UP-LINK. Eine Sendeleistung von 30 dBm (1 Watt) als abgestrahlte Leistung eines portablen Funkgerätes entspricht der praxisnahen Situation. Mit Hilfe der DOWN-LINK-Messung kann somit auch die UP-LINK-Bilanz errechnet werden.

### 9.3 Praktische Versuche

Funktionskontrollen durch die Anwender im Tunnel und in den Portalbereichen.

## 10 Bedienung und Betrieb

### 10.1 Grundanforderungen

Die Tunnelfunkanlage muss ohne Bedienung automatisch die gewünschten Funktionen ausführen. Ausnahmen sind die UKW-Besprechung sowie die Möglichkeit, mittels Piloton gewisse Steuerfunktionen wie z.B. für den Tunnel-internen Funkbetrieb, auszuüben. Für den Störfall muss ein Alarm- und Störbehebungskonzept vorhanden sein. Generell gilt:

- Nach einem Stromausfall oder nach einem Ausfall der Datenzuleitung muss die Anlage wieder automatisch in den betriebsfähigen Zustand übergehen.
- Frequenzwechsel müssen mit vertretbarem Aufwand machbar sein.

### 10.2 Unterhalt

Mit der heutigen Ausfallwahrscheinlichkeit von Tunnelfunk-Komponenten ist es durchaus möglich, dass eine Anlage jahrelang ohne Panne funktionieren kann. Trotz allem besteht eine Wahrscheinlichkeit, dass elektronische Komponenten ausfallen. Handelt es sich um einen Totalausfall, wird dieser in der Regel über das Alarmsystem angezeigt oder von den Benutzern schnell bemerkt, die dann auch umgehend eine Reparatur einleiten können. Erzeugt aber ein Defekt nur eine langsame Veränderung von Systemwerten, so entsteht eine sicherheitstechnisch sensiblere Situation, indem der Fehler ev. vom Alarmierungssystem nicht erkannt wird und eine Erkennung durch die Benutzer zufälligerweise nicht erfolgt. Tunnelfunkanlagen müssen deshalb periodisch, z.B. 1x jährlich, auf die Referenz-Werte überprüft werden. Dazwischen sollten aber von den Benutzern regelmässige Funktionstests der verschiedenen Dienste über die gesamte Tunnel- oder Versorgungslänge durchgeführt werden.



# Anhänge

<b>I</b>	<b>Betriebs- und Finanzierungsmodelle für Tunnelfunkanlagen.....</b>	<b>33</b>
I.1	Allgemeines.....	33
I.2	Betriebsfunk .....	33
I.2.1	Technik.....	33
I.2.2	Besitzverhältnisse .....	33
I.2.3	Betrieb .....	33
I.2.4	Verantwortlichkeit und Zuständigkeit .....	33
I.2.5	Investitionskosten für Neu- und Ausbauten .....	34
I.2.6	Betriebskosten .....	34
I.3	Rundfunk .....	34
I.3.1	Technik.....	34
I.3.2	Besitzverhältnisse .....	34
I.3.3	Betrieb .....	34
I.3.4	Verantwortlichkeit und Zuständigkeit .....	35
I.3.5	Investitionskosten für Neubauten.....	36
I.3.6	Investitionskosten für Erweiterungen .....	36
I.3.7	Anmerkungen über bestehende Rundfunk-Anlageteile .....	36





# I Betriebs- und Finanzierungsmodelle für Tunnelfunkanlagen

## I.1 Allgemeines

Die Tunnelfunkanlage besteht aus den beiden hauptsächlichen Teilsystemen:

- Betriebsfunk.
- UKW-Rundfunk.

Der Betriebsfunk ist für spezifische, geschlossene Nutzergruppen wie Polizei, Feuerwehr, Unterhalt etc. gedacht.

Die UKW-Rundfunkkanäle sind öffentlich und dienen den durchfahrenden Automobilisten zum Empfang von Sendungen. In Notfällen kommuniziert die Polizei über dieses Medium zu den Automobilisten.

Beide Teilsysteme nutzen gemeinsam:

- Vorhandene Infrastruktur (Räume etc.).
- Energieversorgung.
- Antennenmast.
- Strahlungskabel.
- Überwachung durch ein Leitsystem.

Die einzelnen Funksystemgruppen benötigen in der Regel eigene Empfangs- und Sendantennen. Mittels Combiner (Antennennetzwerke) können unterschiedliche Funkdienste im gleichen Band die gleiche Antenne benutzen.

## I.2 Betriebsfunk

### I.2.1 Technik

Konventionelle Betriebsfunksysteme nutzen das 2 m-Band. Neuere, digitale Betriebsfunksysteme in Bündelfunktechnik nutzen das 70 cm-Band. Die Aufbereitung und Verteilung der HF-Signale erfolgt bei den konventionellen Betriebsfunksystemen kanalselektiv. Moderne digitale Bündelfunksysteme nutzen hingegen in den Tunnelstationen hochlineare Breitbandbandverstärker.

### I.2.2 Besitzverhältnisse

Die Betriebsfunkanlagen gehen nach der Abnahme vollständig in den Besitz des entsprechenden Bauherrn bzw. Kantons über.

### I.2.3 Betrieb

Verantwortlich für den Betrieb der Tunnelfunkanlage ist die entsprechende designierte Stelle im Kanton. In der Regel wird die Tunnelfunkanlage durch das entsprechende Tiefbauamt betreut. Die Tunnelfunkanlagen sind wartungsarm und daher nicht redundant aufgebaut. Sie sind mindestens einmal im Jahr durch eine Fachperson systematisch zu überprüfen. Für das Beheben von Ausfällen ist ein entsprechendes Interventionskonzept bzw. Wartungsvertrag vorzusehen.

### I.2.4 Verantwortlichkeit und Zuständigkeit

Verantwortlich für die Planung, Installation und den Betrieb der Tunnelfunkanlage ist die entsprechende designierte Stelle im Kanton. Diese Zuständigkeit erstreckt sich über sämtliche Komponenten in der Kopf- und Tunnelstation die für den Betrieb der Betriebsfunkkanäle benötigt werden sowie das Strahlungskabel. Im Falle einer Intervention bietet diese Stelle den Lieferanten für die Reparatur auf. Der Verantwortliche regelt den Zutritt des Lieferanten zu den Tunnelfunkanlagen. Er orientiert die betroffenen Stellen über den

Ausfall bzw. allfällige Konsequenzen. Die Überwachung der Reparaturarbeiten und die anschliessende Information der betroffenen Stellen über die Instandstellung ist Sache des Verantwortlichen. Der Lieferant ist verpflichtet, die anderen Nutzer über allfällige Störungen ihres Betriebes und dessen Dauer zu informieren. Nach Beendigung der Reparatur- oder Wartungsarbeiten informiert der Lieferant den Abschluss dieser Arbeiten.

## **I.2.5 Investitionskosten für Neu- und Ausbauten**

Die Investitionskosten der Betriebsfunkanlage gehen voll zu Lasten Nationalstrassenrechnung des entsprechenden Kantons.

Die Finanzierung des Funksicherheitsnetzes der Schweiz, POLYCOM, wurde in einem eigenen Schreiben an alle Kantonsingenieure festgelegt.

## **I.2.6 Betriebskosten**

Die Kosten für die oben erwähnten Verträge werden gemäss der heutigen Regelung abgewickelt. Allfällige Reparaturen sind nach Aufwand zu verrechnen.

## **I.3 Rundfunk**

### **I.3.1 Technik**

Die Aufbereitung in der Kopfstation erfolgt kanalselektiv. In der Verteilung resp. in den Tunnelstationen werden hochlineare Breitbandverstärker eingesetzt. Im Maximum können 12 UKW-Kanäle installiert werden (5 nationale, 7 lokale Radioprogramme).

### **I.3.2 Besitzverhältnisse**

Der Antennenmast befindet sich immer unter der Hoheit des Kantons.

Die Antenne, frequenzspezifische Module, RDS-Coder etc. bis zum Anschluss an das Koppelnetzwerk, werden vom Programmanbieter zu 100 % finanziert.

Der Kanton kann die Koordination der Antennen auf dem Mast an ein spezialisiertes Ingenieurbüro delegieren.

### **I.3.3 Betrieb**

Verantwortlich für den Betrieb der UKW-Anlage bis und mit dem Anschluss an das Koppelnetzwerk ist der Programmanbieter. Er ist für den ordnungsgemässen Betrieb der Senderkette bis zum Signalübergabepunkt verantwortlich. Der Programmanbieter kann den Betrieb ebenfalls an Dritte delegieren. Die Abläufe für die Störungsbehebung sind zu organisieren und vertraglich festzuhalten. Der Programmanbieter schliesst mit dem Lieferanten der Tunnelfunkanlage einen Vertrag ab und bietet diesen im Störfall auf.

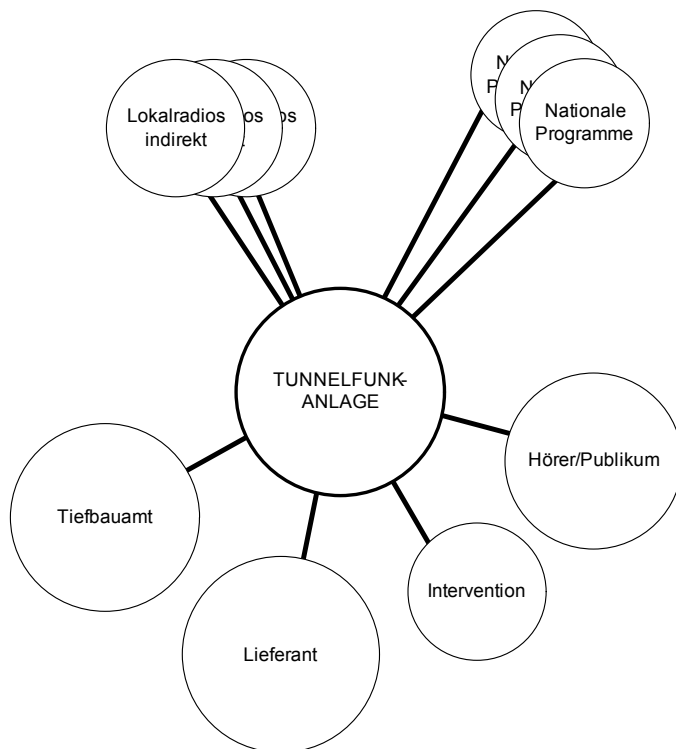


Abb. I.1 Beteiligte Organisationen und deren Beziehungen.

### I.3.4 Verantwortlichkeit und Zuständigkeit

Der Programmanbieter ist für den Betrieb des frequenzspezifischen UKW-Moduls, welches in der Kopfstation installiert wird, verantwortlich. Die Koordination erfolgt durch den Kanton. Die Breitbandverstärker und das Strahlungskabel fallen nicht in die Zuständigkeit des Programmanbieters.

Im Falle eines Ausfalls kann der Programmanbieter im Rahmen des Wartungsvertrages den Lieferanten aufbieten. Dieser untersucht, welche Dienste betroffen sind und informiert alle. Falls es sich um einen Ausfall eines Breitbandverstärkers handelt, werden alle Programmanbieter und die Bauherrschaft informiert. Der Abschluss der Reparatur- oder Wartungsarbeiten wird vom Lieferanten sowohl an den Programmanbieter wie auch an die verantwortliche Stelle im Tiefbauamt gemeldet.

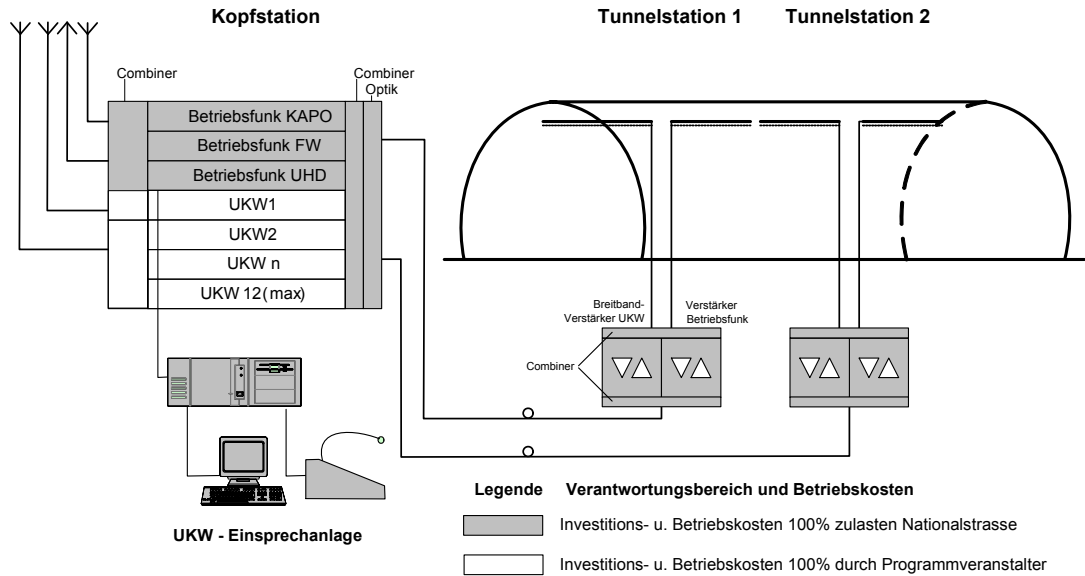


Abb. I.2 Aufteilung der Verantwortlichkeit und der Investitions- & Betriebskosten.

### I.3.5 Investitionskosten für Neubauten

UKW-Teil ab Combiner Kopfstation gehen voll zu Lasten Nationalstrassenrechnung des entsprechenden Kantons.

### I.3.6 Investitionskosten für Erweiterungen

Anlagen, welche älter als 5 Jahre alt sind, können auf die neue Breitbandverstärkertechnik umgerüstet werden und gehen voll zu Lasten Nationalstrassenrechnung des entsprechenden Kantons.

Dem Bundesamt für Strassen ist ein Detailprojekt einzureichen. Entscheidungskriterien für eine Genehmigung sind finanzielle Situation des Bundes auf:

- Verkehrsdichte.
- Höerdichte.

Die allgemeinen Betriebskosten gehen zu Lasten des Objektes. Die Kosten der Wartungsverträge mit den Lieferanten für die frequenzspezifischen Moduls fallen den einzelnen Programmanbieter an.

### I.3.7 Anmerkungen über bestehende Rundfunk-Anlageteile

Für kürzlich gebaut Anlagen und dessen abgeschlossenen Verträge zwischen den Programmanbietern (resp. deren Stellvertreter), den Lieferanten für Tunnelfunkanlagen sowie für Objekte für die momentan keinen weiteren Ausbauten geplant sind, bleiben die vertraglichen Verhältnisse unverändert.

Bei einer Ablösung der UKW-Anlageteile durch neue breitbandige Verstärker müssen die Verträge aufgelöst, das Material rückgebaut und zurückgegeben werden. Hier sind jeweils entsprechende Verhandlungen notwendig. Weder die Kantone noch das Bundesamt für Strassen finanzieren Forderungen der Programmanbieter infolge vorzeitiger Ablösung von Tunnelfunkanlagen.

# Glossar

Begriff	Bedeutung
Ballempfang	(Ball-Recording), Empfang eines Radioprogramms aus der Freiraumversorgung hauptsächlich im UKW-Bereich (Off Air-Empfang).
Bit	<i>Binary Digit</i> , Begriff aus der "Computertechnik", kleinste Informationseinheit, Zustand 1 oder 0, ja oder nein.
BS	Basisstation einer Betriebsfunkanlage oder eines Mobilfunkteilnehmers.
Bündelfunk	<i>Trunking</i> , Funksystem mit integriertem Organisationssystem für die Anwender. Das System verwaltet und vergibt freie Frequenzen oder Zeitschlitzte an die Benutzer. Verschiedene Benutzer-Organisationen können das gleiche System unabhängig voneinander benutzen.
DAB	<i>Digital Audio Broadcast</i> , Digitaler Rundfunk in „CD-Qualität“. Einführung flächendeckend vorgesehen. Arbeitet in den Frequenzbereichen VHF (ca. 170-230 MHz) und 1.5 GHz.
DCS	<i>Digital Cellular System</i> , wird auch als GSM 1800 bezeichnet. Mobiltelefonie-System. Arbeitet im Frequenzbereich 1800 MHz.
DOWN LINK	Bezeichnung für die Kommunikationsverbindung von der Zentrale/Basisstation zum mobilen Teilnehmer.
ERP	<i>Effective Radiated Power</i> , abgestrahlte Leistung einer Antenne, berechnet aus der eingespeisten Leistung und dem Antennen-Gewinn.
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> . Herausgeber international gültiger Normen und Vorschriften für die Kommunikationstechnik.
EZ	Einsatz-Zentrale. Der Standort der Zentrale ist definiert und ist durch Personal der Polizei besetzt, oder in einer anderen Organisation integriert.
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> , beschreibt die Art der Frequenz-Nutzung eines Funksystems. In diesem Fall Nutzung verschiedener Frequenzen. Siehe auch unter Bündelfunk.
GSM	<i>Global System Mobile</i> , erstes digitales Mobiltelefonie-System im 900 MHz Frequenzbereich.
HF	Hochfrequenz, Frequenzbereich >10MHz.
KS	Kopfstation einer Tunnelfunkanlage. Sie dient als Ausgangspunkt der Tunnelversorgung. Alle abgehenden und ankommenden Signale der Tunnelstationen werden in der Kopfstation verwaltet.
LWL	Abkürzung für Lichtwellenleiter. Mit entsprechenden Sende- und Empfangsmodulen können Hoch- und Niederfrequenzsignale praktisch verlustfrei über lange Lichtwellenleiterstrecken übertragen werden. Wir unterscheiden zwischen Single- oder Monomode-Lichtwellenleiter für lange Strecken mit hohen Bandbreiten/Frequenzen oder Multimode Lichtwellenleiter für lokale Verbindungen/Netzwerke.
MHz	Mega-Hertz, die Mass-Einheit für die Frequenz ist das „Hertz“. 1 Hertz entspricht einer Schwingung pro Sekunde. Mega = Million, somit entspricht 1 MHz 1 Mio. Schwingungen pro Sekunde
Mobilfunk	Sammelbegriff für die Dienste der Anbieter der drahtlosen Telefonie mittels GSM, DCS und UMTS.
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung. Herausgeber: BUWAL.
NF	Niederfrequenz, gilt als Sammelbegriff der für das menschliche Ohr hörbaren Töne. Als minimale Anforderung für die Übertragung von Sprache (Telefonnetz) gilt ein Frequenzbereich von 300 – 3300 Hz.
POLYCOM	Bezeichnung des Sicherheitsnetz Funk der Schweiz. Arbeitet nach der TETRAPOL-Norm und werden kantonsweise als Teilnetze installiert.
RDS	<i>Radio Data System</i> . Den Sprach- und Musik-Aussendungen der UKW-Rundfunkprogramme überlagerte Informationen und Steuerbefehle. Mit geeigneten Geräten sind folgende Funktionen möglich: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Informationen über Programme oder Inhalte auf dem Display.</li> <li>· Umschaltung des Empfängers auf den bestmöglichen Empfang eines bestimmten Programms.</li> <li>· Umschaltung von Kasette- oder CD-Betrieb auf Radioempfang bei einer Verkehrsdurchsage.</li> <li>· Erhöhung der Lautstärke bei einer Verkehrsdurchsage.</li> <li>· Umschaltung vom eingestellten Programm auf ein Programm mit Verkehrsdurchsage.</li> </ul>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> , beschreibt die Art der Frequenznutzung eines Funksystems. In diesem Fall Mehrfachnutzung einer Frequenz mittels Zeitschlitzten. Siehe auch unter Bündelfunk.
TETRA	<i>Trans European Trunked Radio</i> . Bezeichnung für ein Bündelfunksystem. Arbeitet nach dem

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
	TDMA-Prinzip.
TETRAPOL	Bezeichnung für ein Bündelfunksystem der Firmen Matra-Nortel und Siemens. Arbeitet nach dem FDMA-Prinzip.
TS	Tunnelstation. Dient der Aufbereitung der ausgesendeten Signale in den Tunnel und der Verarbeitung der empfangenen Signale aus dem Tunnel.
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> . Bezeichnung für den Frequenzbereich von 380-470 MHz. Wird auch als 70 cm-Band bezeichnet (in Anlehnung an die ungefähre Wellenlänge von ca. 70 cm).
UKW	Ultra-Kurz-Wellen. Hat sich zum Begriff für den Rundfunkempfang von 87.5 bis 108 MHz eingebürgert.
UMTS	<i>Universal Mobile Communications System</i> . Ist ein leistungsfähiges Mobilfunksystem. Arbeitet im Frequenzbereich von 2100 MHz.
USV	<i>UPS (Uninterruptible Power Supply)</i> Unterbrechungsfreie Stromversorgung auch bei Netzausfall. In der Regel über Batterien, Umformer oder Diesel-Generator.
UP LINK	Bezeichnung für die Kommunikationsverbindung vom mobilen Teilnehmer zur Zentrale/Basisstation.
VHF	<i>Very High Frequency</i> . Bezeichnung für den Frequenzbereich von 140-180 MHz. Wird auch als 2m-Bereich, in Anlehnung an die Wellenlänge, bezeichnet.

## Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2003	1.00	01.10.2003	Entwurf Arbeitsdokument.
2005	2.00	22.08.2005	Entwurf Betriebs- und Finanzierungsmodell (Kap. 12).
2007	3.00	01.05.2007	Inkrafttreten BAKOM Bedürfnisse (§5.3); genehmigte Version.
2007	3.01	31.07.2007	Formelle Anpassungen, ASTRA 1306 → ASTRA 13 006.
2007	3.02	03.09.2008	Titel der Abb. 6.2: Versorgungsmatrix.

