



Bundesanstalt
für den Digitalfunk der Behörden und
Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

Leitfaden zur Planung und Realisierung von Objektversorgungen (L-OV)

**für das digitale Sprech- und Datenfunksystem für Behörden
und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) in der
Bundesrepublik Deutschland**

Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS), AG N1

Fehrbelliner Platz 3, 10707 Berlin

Postanschrift: 11014 Berlin

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	6
2	Vorbemerkung	7
3	Einleitung	8
4	Rechtliche Vorgaben und Randbedingungen.....	10
4.1	Bauordnungsrecht	10
4.1.1	Kriterien für die Gewährleistung der Objektversorgung	10
4.1.2	Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT	10
4.1.3	Richtlinie über die Anforderungen an Eisenbahntunnel	10
4.1.4	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab.....	11
4.2	Verteilung der Kosten	11
4.3	Errichtung einer Gebädefunkanlage	11
5	Anforderungen der BOS	12
5.1	Verfügbarkeit (permanent / Bedarfsfall).....	12
5.2	Redundanzvorgaben	12
5.3	Kapazität und Versorgungskategorie im Gebäude	12
5.4	Weitergehende taktische Forderungen	13
6	Anforderungen an die Sicherheit.....	14
6.1	Ausgangslage	14
6.1.1	Materielle Sicherheit.....	14
6.1.2	IT-Sicherheit	14
6.1.3	Geheimschutz	14
6.1.4	Sabotageschutz.....	14
6.2	Einhaltung von Mindestanforderungen.....	14
6.2.1	Mindestanforderungen materielle Sicherheit.....	14
6.2.2	Mindestanforderungen IT-Sicherheit	15
6.2.3	Mindestanforderungen Geheimschutz	15
6.3	Weiterführende Maßnahmen	15
7	Technische Möglichkeiten und Realisierungskonzepte	16
7.1	TMO-Lösungsansätze	16
7.1.1	Eigene Basisstation im Objekt.....	16
7.1.2	Direkte HF-Ankopplung an eine Freifeld-Basisstation.....	17
7.1.3	Repeater - Anbindung per Festnetz (LWL)	18
7.1.4	Repeater - Anbindung über die Luftschnittstelle	20
7.1.5	Passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne.....	21
7.2	Anbindungskonzept einer Vielzahl von Objekten auf engem Raum	22
7.2.1	Repeater - Anbindung über Festnetz (LWL)	22
7.2.2	Repeater - Anbindung über die Luftschnittstelle	23
7.3	DMO-Lösungsansatz.....	24
7.4	Verteilssystem im Objekt.....	26
7.4.1	Optische Verteilnetze	26

7.4.2	Schlitzkabel	27
7.4.3	Antennen	27
7.5	Technische Anforderungen an TMO-Repeater	28
7.6	Anforderungen an sonstige Komponenten	28
8	Strategie zur Objektversorgung	29
8.1	Klassifizierung der einzelnen Objekte	30
8.2	Strategische Vorgehensweise	31
8.2.1	Versorgung eines Objektes ohne aktuell verfügbare Netzabdeckung	31
8.2.2	Versorgung von Objekten ohne eigenständige Objektversorgung	31
8.2.3	Basisversorgung	31
8.2.4	Objektversorgung bei vorhandener Basisstation zur Freifeldversorgung	32
8.2.5	Objektversorgung über Repeater	32
8.2.6	Objektversorgung über eigene Basisstation	32
8.2.7	Taktische Bewertung der technischen Varianten	33
9	Schnittstellen, Verantwortlichkeiten und notwendige Maßnahmen	34
9.1	Prozess zur Realisierung einer Objektversorgung	34
9.2	Bereitstellung von DMO-Repeatern	34
9.3	Beantragung Netzparameter Funknetz	34
9.3.1	Kapazität	34
9.3.2	Frequenzen	34
9.3.3	Standortbescheinigung / Inbetriebnahmeanzeige	35
9.4	Beantragung Netzparameter Festnetz	35
9.4.1	Rückwirkungen auf das Kernnetz	35
9.5	Abnahme einer Objektversorgung	36
10	Planungsrichtlinien	37
10.1	Erweiterung bestehender Anlagen	37
10.2	Antennenisolation (Entkopplung)	37
10.3	Signallaufzeit	38
10.4	Rauschbeitrag des Repeaters	38
10.5	Redundante Signaleinspeisung	39
10.6	Feldstärkevorgaben und Handover	40
10.7	Frequenznutzung und Kriterien für störungsfreien Betrieb	41
10.7.1	Nutzung der reservierten TMO-Frequenzen für Objektversorgung	41
10.7.2	Nutzung der DMO-Frequenzen	41
10.7.3	Nutzung von TMO-Frequenzen in Abstimmung mit BDBOS-Frequenzplanung	42
10.8	Funktionen im Netzmanagement	42
10.9	Standortdatenbank des BOS-Digitalfunknetzes	42
10.10	Tunnel	42
11	Messungen	43
11.1	Funkversorgung am Objekt (ohne zusätzliche Versorgung)	43
11.2	Empfangsspektrums der Anbindeantenne	44
11.3	Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne	47
11.4	Signallaufzeiten	48
11.5	Funkversorgung im Objekt	48

11.6	Außenwirkung	49
12	Literaturverweis	50

Version	Bemerkungen
0.1	Entwurf
0.2	Einarbeitung Kommentare aus AG Objektversorgung
0.3	Einarbeitung weiterer Kommentare
0.4	Umstrukturierungsvorschlag der UAG
0.9	Einarbeitung der Kommentare aus Bund und Ländern und der Workshop-Ergebnisse, Version für Umlaufbeschluss und Versand
1.0	Abgestimmte Version von Bund, Ländern und BDBOS
1.1	Integration Arbeitspapier, Kommentare Axell Wireless und EADS, Anpassung Abschnitt zu Produktbibliothek
1.2	Integration des „Technischen Konzeptes zur Planung und Realisierung von Objektver- sorgungen“ in ein einziges, nicht eingestuftes Dokument Anpassung an neue technische und juristische Erkenntnisse Einarbeitung von Kommentaren aus Bund und Ländern sowie Bahn AG und Detecon International GmbH

1 Abkürzungsverzeichnis

BNetzA	Bundesnetzagentur
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der BOS
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BTS / BS	Base Transceiver Station (Basisstation)
DL	Downlink (Verbindung Basisstation zu Mobilstation)
DMO	Direct mode operation
DXT	Digital Exchange (Vermittlungsstelle)
E1	PCM Bitrate Ebene1 mit 2 Mbit/s
EIRP	Equivalent isotropic radiated power (äquivalente isotrope Strahlungsleistung)
HKFZ	Hochkapazitäts-Funkzelle (4 bis 8 TRX)
HF	Hochfrequenz
HRT	Handfunkgeräte
ISI	Intersymbol-Interferenz
LM	Leistungsmerkmal des Systemliefertrages
LOS	Line of sight (Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger)
LWL	Lichtwellenleiter
MRT	Fahrzeugfunkgeräte
NKFZ	Normalkapazitäts-Funkzelle (2 TRX)
NMC	Network Management Center
OMU	Optische Master Unit
OV	Objektversorgung
PCM	Puls Code Modulation
PHB	Planungshandbuch
RABT	Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln
RX	Receiver (Empfänger)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TB3, TB3c, TBS	TETRA Basisstation der EADS
TMR	Trunked mode repeater (Repeater im TMO-Betrieb)
TMO	Trunked mode operation
TRX	Transceiver (Sende- und Empfangsteil der Basisstation)
TX	Transmitter (Sender)
UL	Uplink (Verbindung Mobilstation zu Basisstation)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VSA	Verschlusssachenanweisung
VStättVO	Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (Stehwellenverhältnis)

2 Vorbemerkung

Die vorliegende Unterlage wurde von der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) in Zusammenarbeit mit der „Arbeitsgruppe Objektversorgung“, bestehend aus Vertretern des Bundes und der Länder, erarbeitet.

Der Leitfaden soll die Planung und Beschaffung digitaler Gebäudefunkanlagen unterstützen und sollte grundsätzlich, insbesondere bei Notwendigkeit der Netzeinbindung, zur Umsetzung dieser Vorhaben herangezogen werden.

Der Leitfaden richtet sich an die am Baugenehmigungsverfahren beteiligten Behörden und an die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), an entsprechende Fachgremien sowie Planungsbüros, Fachfirmen oder Objekteigentümer. Die technischen Informationen und Vorgaben, die zuvor in einem gesonderten „Technischen Konzept zur Planung und Realisierung von Objektversorgungen (TK-OV)“ beschrieben waren, sind nun in den Leitfaden integriert.

Dieser Leitfaden wurde nach den aktuell vorliegenden Kenntnissen und Erfahrungen erstellt und erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das Digitalfunknetz befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Unterlage noch im Aufbau, so dass der Leitfaden aufgrund neuer fachlicher Erkenntnisse fortgeschrieben werden wird. Neue Erkenntnisse und neu gewonnene Erfahrungen aus der Praxis sollen in den Leitfaden einfließen, der somit besonders in der Anfangszeit einem stetigen Aktualisierungsprozess ausgesetzt sein wird.

3 Einleitung

Vor dem Hintergrund, die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben („BOS“) mit einem bundesweit einheitlichen digitalen Sprech- und Datenfunksystem („Digitalfunk BOS“) auszustatten, muss der Digitalfunk BOS nicht nur im Freien (Freifeld) verfügbar sein und eine reibungslose Kommunikation gewährleisten, sondern auch die Koordination von Einsatzkräften innerhalb von Gebäuden ermöglichen. Zur Sicherstellung der Grundversorgung durch Standorte des Freifeldes berücksichtigen die Funkversorgungskategorien 3 und 4 einen pauschalen Dämpfungswert von 9dB. Obwohl der Digitalfunk BOS aufgrund der niedrigeren Frequenz eine geringere Gebäudedämpfung aufweist als beispielsweise GSM-Mobilfunk, wird die Güte dieser Grundversorgung nicht mit der aus dem Mobilfunk gewohnten Versorgung vergleichbar sein. Je nach Gebäudebeschaffenheit (Stahlbeton, metallbedampfte Fenster, usw.) und Entfernung zur Basisstation wird die Versorgung von außen nur einen Teil des Gebäudeinneren abdecken. Eine Erhöhung der Standortdichte mit dem Ziel, alle Gebäude von außen zu versorgen, wäre technisch schwer realisierbar und wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Unabhängig von der flächenmäßigen Zuordnung zur Funkversorgungskategorie werden daher bei einer Vielzahl von Objekten zusätzliche technische Maßnahmen erforderlich sein, um eine ausreichende Versorgung im Inneren zu erreichen. Dies gilt vor allem dann, wenn im gesamten Gebäudeinneren die Versorgung sichergestellt werden muss. Eine derartige Funkversorgung von Bauwerken und Gebäuden besonderer Art und Nutzung wird im Folgenden als Objektversorgung bezeichnet.

Die Funkversorgung in Gebäuden ist eine sicherheitsrelevante Forderung von Feuerwehren, Polizei und Rettungskräften. Kapitel 4 dieses Leitfadens beschreibt deshalb, aufgrund welcher (rechtlichen) Grundlage vom Gebäudeverantwortlichen die Umsetzung von Maßnahmen der Objektversorgung verlangt werden kann und welche (rechtlichen) Vorgaben dabei zu beachten sind.

Die Nutzung des Digitalfunks BOS ist BOS-Kräften vorbehalten. Diese BOS legen, basierend auf einsatztaktischen Gesichtspunkten, die Anforderungen an die Objektversorgung fest, die in Kapitel 5 beschrieben werden. Des Weiteren werden in diesem Kapitel Begriffe wie „Verfügbarkeit“ und „Redundanz“ definiert, um ein gemeinsames Verständnis zu schaffen.

In Abhängigkeit von den verwendeten Technikkomponenten ist einer möglichen negativen Rückwirkung oder Einflussnahme auf das Digitalfunknetz durch die Festlegung von Mindestanforderungen zur personellen und materiellen Sicherheit entgegenzuwirken. Diese Mindestanforderungen werden in Kapitel 6 beschrieben.

So unterschiedlich wie die Objekte sind auch die technischen Möglichkeiten zur Realisierung der Objektversorgung. So kann bei kleinen Gebäuden eine passive Einspeisung des außen vorliegenden Funksignals ausreichen. Große Objekte dagegen benötigen eine komplexe Gebäudefunkanlage, die den Digitalfunk im gesamten Innenbereich verteilt. Im Extremfall kann eine eigene Basisstation zur Versorgung notwendig sein. Kapitel 7 stellt die technischen Möglichkeiten vor und beschreibt die Vor- und Nachteile der Realisierungskonzepte.

In Kapitel 8 werden die technischen Lösungsansätze den verschiedenen Objekttypen zugeordnet, für die eine Objektversorgung in Frage kommt. Zudem wird die strategische Herangehensweise an die Planung einer Objektversorgung und die Auswahl der geeigneten Alternative beschrieben.

Auch für die Nutzung der zum Betrieb notwendigen Frequenzen oder der Berücksichtigung von Kapazitäten in Funk- und Festnetz gilt es, Richtlinien zu beachten. Um dies sicherzustellen, wurde ein Prozess zur Realisierung der Objektversorgung und für die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Bedarfsträger bzw. der für die Objektversorgung Verantwortlichen mit der BDBOS entwickelt. Diese Themen werden in Kapitel 9 behandelt.

Werden Objektversorgungen an das BOS-Digitalfunknetz angebunden, sind Rückwirkungen auf das Funkfeld außerhalb der Objekte und das Kernnetz nicht auszuschließen. Eine negative Beeinträchtigung der Freifeld-Versorgungsgüte muss vermieden werden, so dass bestimmte Randbedingungen bei Konzeption und Aufbau der Objektversorgung einzuhalten sind. Kapitel 10 beschreibt diese Randbedingungen in Form von Planungsrichtlinien.

In Kapitel 11 wird abschließend die Durchführung von vorbereitenden sowie validierenden Messungen anhand von konkreten praktischen Beispielen erläutert.

4 Rechtliche Vorgaben und Randbedingungen

4.1 Bauordnungsrecht

Gesetzliche Regelungen, auf deren Grundlage die Eigentümer oder Nutzer eines Gebäudes oder Bauwerkes zur Installation einer Gebäudefunkanlage verpflichtet werden können, finden sich in den verschiedenen Bauordnungen der Länder. Die Bauordnungen sehen bspw. vor, dass im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens, die sog. **Sonderbauten** (Sportstadien, Einkaufszentren etc.) betreffen, besondere Vorgaben zur Gewährleistung eines ausreichenden **Brandschutzes** gemacht werden können. Zu den Maßnahmen, die dem Eigentümer bzw. Nutzer in diesem Zusammenhang aufgegeben werden können, gehört die Installation und Wartung einer **Gebäudefunkanlage**, die die **Kommunikation der Feuerwehr** innerhalb des Gebäudes sichergestellt.

4.1.1 Kriterien für die Gewährleistung der Objektversorgung

Welche technischen Anforderungen an eine solche Objektversorgung zu stellen sind und welche baulichen Maßnahmen für die Unterbringung der funktechnisch relevanten Einrichtungen ergriffen werden müssen, ergibt sich aus entsprechenden **Richtlinien und Rahmenempfehlungen der Feuerwehren**, die von den zuständigen Bauordnungsämtern bei der Bearbeitung der Baugenehmigungsanträge zu beachten sind. Daneben gibt es für bestimmte Objektklassen spezifische Vorgaben zur Gestaltung der Objektversorgung (i.d.R. in Form von Richtlinien). Beispielhaft werden im Folgenden einige dieser, auf bestimmte bauliche Anlagen bezogene Vorschriften zur Errichtung von Objektversorgungsanlagen erläutert.

- Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT
- Richtlinie über die Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln
- Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab

4.1.2 Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT

Die Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) bestimmen, dass Straßentunnel ab einer geschlossenen Länge von 80 m einer Funkversorgungsanlage bedürfen. Darüber hinaus gelten die Richtlinien für bestehende Tunnel ab 400 m Länge und, unter Prüfung der Verhältnismäßigkeit der zu treffenden Maßnahmen, auch für Tunnel zwischen 80 und 400 m Länge. Als Straßentunnel gelten ebenfalls teilabgedeckte unter- oder oberirdische Verkehrswege, oberirdische Einhausungen von Straßen, Kreuzungsbauwerke mit anderen Verkehrswegen sowie Galeriebauwerke.

Die RABT berücksichtigt bereits, dass mehrere BOS (Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienst) die Objektversorgungen nutzen. Auch gibt sie schon einen Hinweis auf die zukünftige Verwendung des digitalen BOS-Funks.

4.1.3 Richtlinie über die Anforderungen an Eisenbahntunnel

Die Richtlinie über die Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln fordert in Kapitel 2.12 „Einrichtungen des BOS-Funks“:

„Die bei den Rettungsdiensten gebräuchlichen Funksysteme müssen innerhalb eines Tunnels uneingeschränkt verfügbar sein. Dies gilt auch für notwendige Funkstrecken zwischen der Einsatzstelle und der Einsatzleitung.“

Die Rettungsdienste verwenden ein einheitliches Funksystem (BOS-Funk), das im Einsatzfall die Verständigung der Rettungskräfte untereinander, sowie die Verständigung zwischen Rettungskräften und Einsatzleitung gewährleistet. Der Einsatz von Sprechfunk zwischen den oben genannten Stellen ist zur Steuerung des Einsatzes, sowie zur Gewährleistung der persönlichen Sicherheit der einzelnen Rettungskräfte unabdingbar.“

4.1.4 Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab

Für Tunnel von Bahnen des ÖPNV gilt die BOStrab. Im § 23 Nachrichtentechnische Anlagen heißt es in Absatz 4: „Im Tunnel müssen Einrichtungen vorhanden sein, die eine rasche und sichere wechselseitige Verständigung zwischen Polizei, Feuerwehr, Rettungsdiensten, deren Einsatzzentralen und den zentralen Betriebsstellen ermöglichen.“

Soweit es an entsprechenden Vorschriften zur Errichtung von Objektversorgungsanlagen fehlt, obliegt es der jeweils verantwortlichen Gebietskörperschaft zu entscheiden, ob Maßnahmen zur Objektversorgung ergriffen werden sollen. Im Interesse der **Einheitlichkeit des Digitalfunk BOS** sollten die Objekte aber möglichst in der Weise ausgestattet werden, dass die hohen Standards des Digitalfunks BOS erfüllt werden.

4.2 Verteilung der Kosten

Die Nutzung der Gebäudefunkanlagen darf nur durch „Berechtigte“ i.S. von § 4 BOS-Funkrichtlinie erfolgen. Daher sind die Funkanlagen nach derzeitiger Gesetzeslage nach der Fertigstellung der Feuerwehr **zur Nutzung zu überlassen**. Die **Kosten** der Beschaffung, Installation und Unterhaltung der Funkanlagen trägt jedoch der jeweilige **Bauherr** bzw. der **Eigentümer** des Objekts.

4.3 Errichtung einer Gebäudefunkanlage

Wird ein Bauherr nach bestehender Gesetzeslage durch eine entsprechende **Auflage zur Baugenehmigung** zur Installation einer Funkversorgungsanlage verpflichtet, bleibt es dem Bauherrn – soweit aus der Baugenehmigung oder entsprechenden Richtlinien keine weitergehenden Vorgaben ergeben – grundsätzlich überlassen, welche technische Lösung (aktive oder passive Systeme) er wählt, um die geforderte Funkversorgung zu gewährleisten. Mit der Planung der Funkversorgung kann der Bauherr ein Planungsbüro seiner Wahl beauftragen. Die daraus resultierende funktechnische Detailplanung muss i.d.R. von der zuständigen Branddirektion genehmigt werden. Die Funkanlage ist darüber hinaus nach ihrer Fertigstellung auf ihre Wirksamkeit und Betriebssicherheit zu **überprüfen** (Funktionsprüfung).

5 Anforderungen der BOS

Für alle Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) besteht die Notwendigkeit der zeitgerechten Koordination des Einsatzes von Sicherheitskräften und Sachmitteln. Vor diesem Hintergrund ergeben sich taktisch / betriebliche Anforderungen der BOS, die je nach Art und Nutzung sowohl in der Freiflächenversorgung als auch bei der Objektversorgung vollständig oder teilweise umgesetzt sein müssen.

- Kommunikation aller BOS untereinander im Gebäude und zum Außenbereich und umgekehrt
- Einzelruf und Telefonie
- Führen von Kräften im mobilen Einsatz
- Führung über Leitstellen / Priorisierung der Leitstellen
- Kommunikation von zwei oder mehreren Endgeräten ohne ortsfeste Infrastruktur (Direct Mode)
- sichere Übertragung, Abhörsicherheit / Verschlüsselungskonzept
- Notruffunktionalität
- SDS-Funktionalitäten / Alarmierung / Übermittlung von taktischen Statusmeldungen
- Bildung von funktionalen Gruppen (statisch/dynamisch)
- hohe Sprachqualität, Empfindlichkeit, Störsicherheit usw.
- hohe Verfügbarkeit und flächendeckende Funkversorgung

5.1 Verfügbarkeit (permanent / Bedarfsfall)

In Abhängigkeit vom Bedarf der jeweiligen BOS-Kräfte wird bei Objektversorgungen nach permanenter Nutzung und nach Nutzung im Bedarfsfall unterschieden. Bei der Nutzung im Bedarfsfall wird die Funkanlage manuell über ein Bedienfeld oder aber automatisch z.B. durch eine Brandmeldeanlage eingeschaltet. Je nach taktischem Bedarf sollte eine permanent eingeschaltete Gebädefunkanlage in Erwägung gezogen werden. Auch eine regelmäßig über einen länger andauernden Zeitraum betriebene Objektversorgung, z.B. bei Großveranstaltungen in Stadien, gilt in der Planung als permanent – auch wenn sie nur bei Bedarf läuft.

Beim Einsatz von aktiver Systemtechnik wird empfohlen, die Objektversorgung permanent zu betreiben. Dadurch ist eine ständige Überwachung und eine fehlerfreie Funktion gewährleistet. Im Falle von TMO-Repeater sollte zudem die Rückwirkung auf das Netz permanent überprüft werden. In Einzelfällen, z.B. wenn eine dauerhafte HF-Aussendung nicht erwünscht ist, kann das Antennenverteilsystem im Objekt abgekoppelt und gegen einen Abschlusswiderstand gesendet werden.

5.2 Redundanzvorgaben

Damit die Objektversorgung auch im Falle eines schädigenden Ereignisses sichergestellt ist, wird durch die BOS eine redundante Ausführung gefordert. Dabei ist generell zwischen einer redundanten Ausführung des Verteilsystems bzw. der Antennenanlage und einer redundanten Anbindung (Repeater, LWL oder Basisstation) zu unterscheiden.

Die technischen Details eines redundant aufgebauten Antennensystems werden in Abschnitt 10.5 diskutiert. Konkrete Redundanzvorgaben werden in den Mustervorgaben der Länder beschrieben.

5.3 Kapazität und Versorgungskategorie im Gebäude

Die Anforderungen an Kapazität und Versorgungskategorie werden vom jeweiligen Bedarfsträger definiert. Generell erscheint für die meisten Bedarfsträger bei der Errichtung einer objektbezoge-

nen eigenen Gebäudefunkanlage eine Versorgung mit Digitalfunk BOS im Gebäude entsprechend der Versorgungskategorie 2 im TMO mit 2 Frequenzen (NKFZ) als sinnvoll. Für große komplexe Gebäude (z.B. Flughäfen) könnte auch ein höherer Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Die Versorgungskategorie 2 der Objektversorgung entspricht der Kategorie 4 bei Versorgung durch Standorte außerhalb des Gebäudes. Im Falle einer Objektversorgung, bei der das Signal bereits im Gebäudeinneren ausgesendet wird, ist die direkte Anwendung der Kategorien 3 oder 4 nicht möglich, da die in diesen Kategorien angenommene Gebäudedämpfung von 9 dB nicht zum Tragen kommt.

Bei der Nutzung von TMO-Repeater ist der Frequenzbedarf durch die Anbinde-Basisstation vorgegeben, da alle Kanäle im Objekt reproduziert werden müssen.

Detaillierte Planungsvorgaben zur Feldstärke im Objekt sowie im Außenbereich des Objektes werden in Abschnitt 10.6 gegeben.

5.4 Weitergehende taktische Forderungen

Neben den Anforderungen der BDBOS werden durch die örtlich zuständigen BOS-Dienststellen Vorgaben zu Redundanzen, funktionserhaltende Maßnahmen sowie zur Bauausführung definiert.

Die behördlichen Anforderungen sind in Mustersätzen bzw. Merkblättern zur Objektfunkversorgung bei den zuständigen BOS-Dienststellen abrufbar.

Das Dokument „Allgemeine Anforderungen an Feuerwehr-Gebäudefunkanlagen“ [1] ist eine Empfehlung, welche auf der Homepage des Deutschen Feuerwehrverband (DFV) verfügbar ist.

6 Anforderungen an die Sicherheit

Bei der Planung der Objektversorgung sind auch Anforderungen an die materielle Sicherheit, die IT-Sicherheit und den Geheim- und personellen Sabotageschutz zu beachten.

Generell sind die einschlägigen Bestimmungen der geltenden landesspezifischen Rahmenempfehlungen und Richtlinien der Feuerwehren anzuwenden.

6.1 Ausgangslage

6.1.1 Materielle Sicherheit

In einem zwischen Bund und Ländern abgestimmten Analyseprozess sind die Anforderungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Vertraulichkeit und Integrität sowie mögliche Schadenshöhen betrachtet worden. Dieser Prozess mündete in dem Konzept „Maßnahmen zum Schutz von BOS-Basisstationen“, welches durch einen Umlaufbeschluss Geltung erlangte. Die Objektversorgung war weder Bestandteil des Analyseprozesses noch des Umlaufbeschlusses.

6.1.2 IT-Sicherheit

Für Objektversorgungen ohne eigene Basisstation ist der IT-Grundschutz voraussichtlich nicht relevant, da diese nach gegenwärtigem Kenntnisstand über keine zu betrachtende IT verfügen.

Objektversorgungen mit eigener Basisstation wären aus Sicht der IT-Sicherheit zu betrachten wie jede andere Basisstation.

6.1.3 Geheimschutz

In der bisherigen 10-punktigen Einstufungsliste der BDBOS finden sich keine Informationen zur Objektversorgung.

6.1.4 Sabotageschutz

Festlegungen für den Bereich der Objektversorgung sind von der BDBOS bisher nicht getroffen worden.

6.2 Einhaltung von Mindestanforderungen

Zur Wahrung der Funktionsfähigkeit des Digitalfunk BOS im Sinne des § 2 Abs. 1 Satz 1 des BDBOS-Gesetzes ist es erforderlich, dass gewisse **Mindestanforderungen** eingehalten werden, die mögliche negative Rückwirkungen auf das Digitalfunknetz verhindern sollen (dazu 6.2.1 bis 6.2.3). Die Einhaltung dieser Mindestanforderungen ist **Voraussetzung** dafür, dass Komponenten der Objektversorgung an das BOS-Digitalfunknetz angeschlossen werden können.

6.2.1 Mindestanforderungen materielle Sicherheit

Die Schutzziele Vertraulichkeit und Integrität werden hier nicht näher betrachtet, da davon ausgegangen wird, dass die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung auch innerhalb der Objektversorgung aufrecht erhalten bleibt. Wegen der nicht auszuschließenden Rückwirkungsmöglichkeit sind jedoch im Bereich des Zutrittsschutzes materielle Maßnahmen zu ergreifen, um den Schutz des Digitalfunknetzes zu gewährleisten. Hierbei sind nachfolgende Varianten denkbar:

6.2.1.1 Technischer Ausschluss einer Rückwirkung

Laut Auskunft der Systemlieferantin kann nicht verbindlich zugesagt werden, dass Rückwirkungen (z. B. durch Hackerangriffe) sicher ausgeschlossen werden. Dies wäre durch geeignete Maßnahme der materiellen Sicherheit zu verhindern.

6.2.2 Mindestanforderungen IT-Sicherheit

Aus IT-Sicherheitssicht sind Objektversorgungen mit Basisstation zu behandeln wie jede andere BS auch, die Maßnahmen des IT-Grundschutz sind analog zur generischen Grundschutzmodellierung der Basisstationen aus Schicht 2 des Gesamtsicherheitskonzepts umzusetzen.

Objektversorgungen ohne Basisstation verfügen voraussichtlich über keine relevante IT und werden daher bisher aus IT-Sicherheitssicht nicht betrachtet.

6.2.3 Mindestanforderungen Geheimschutz

Aus Sicht des Geheimschutzes bestehen hier keine wesentlichen Unterschiede zu den Basisstationen der Freifeldversorgung. Informationen über einzelne Objektversorgungen werden von den jeweiligen Errichtern erzeugt und sind gemäß den Vorgaben der VSA von diesen selbst ggf. einzustufen. Als Besonderheit ist hier gegeben, dass es auch private Betreiber von Objektversorgungseinrichtungen geben wird. Für diese gilt die VSA nicht.

Hingegen sind in der BDBOS entstehende oder zu erzeugende Gesamtinformationen schutzwürdiger als die auf einzelne Objektversorgungen bezogenen Einzelinformationen. Auf Grund der bestehenden Parallelen könnte hier im Wesentlichen auf das bisherige Vorgehen zurückgegriffen werden und eine Objektversorgung wie eine Basisstation angesehen werden. Da Umfang und Art der Beteiligung privater Dritter noch nicht geklärt ist, sind in diesem Bereich ggf. spätere Präzisierungen erforderlich.

6.3 Weiterführende Maßnahmen

Es bleibt Bund und Ländern unbenommen, neben den vorstehend geschilderten Mindestanforderungen weitere Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen. Da die Anforderungen an die konkreten Objektversorgungen sehr unterschiedlich ausfallen können, sind mannigfaltige Einzellösungen im Hinblick auf eine Erhöhung des Sicherheitsniveaus denkbar. Gleichwohl ist vorstellbar, dass es Maßnahmen gibt, die sich bei allen oder zumindest **bei der überwiegenden Anzahl** der Objektversorgungen als sinnvoll erweisen und technisch wie finanziell einfach realisierbar sind (z.B. eine – wie auch immer ausgestaltete – Notenergieversorgung für aktive Komponenten der Objektversorgung). Daher erscheint es – auch im Interesse der Einheitlichkeit des Digitalfunk BOS – zweckmäßig, sich in enger Abstimmung zwischen BDBOS, Bund und Ländern auf einheitliche Maßnahmen zu verständigen. Bund und Ländern sowie ggf. den Kommunen bliebe es im Rahmen ihrer jeweiligen Rechtssetzungskompetenz überlassen, diese weiterführenden Maßnahmen ganz oder teilweise verbindlich festzuschreiben.

7 Technische Möglichkeiten und Realisierungskonzepte

Dieses Kapitel stellt die Lösungsansätze nach dem derzeitigen Stand der Technik im Überblick vor.

Grundsätzlich ist die Versorgung im Trunked Mode (TMO) und Direct Mode (DMO) zu unterscheiden. TMO bietet die volle Funktionsvielfalt des Digitalfunks BOS, ist aber aufgrund der Anbindung ans Kernnetz technisch aufwendiger zu realisieren. DMO ist hingegen vergleichsweise einfach und kostengünstig aufzubauen, erlaubt allerdings wegen der fehlenden Anbindung an das Digitalfunknetz nur die Kommunikation innerhalb der jeweiligen DMO-Kanalgruppe. Die Aussagen in den Abschnitten 7.1 bis 7.3 gelten unabhängig von der Art der Verteilung im Objekt. Auf die Ansätze zur Signalverteilung im Objekt geht Abschnitt 7.4 ein.

Im Rahmen des Realisierungskonzepts für Objektversorgungen wird davon ausgegangen, dass aktive TMO-Komponenten grundsätzlich permanent betrieben werden. Dadurch ist eine ständige Überprüfung der Funktionalität aller Komponenten möglich und eine fehlerhafte Anlage würde nicht erst im Einsatzfall erkannt werden.

Jedes zusätzlich in das BOS-Digitalfunknetz eingebrachte Netzelement verursacht Rückwirkungen auf das Bestandsnetz (Freifeldversorgung). Daher sind bei der Planung der Objektversorgung Randbedingungen zu beachten, die im Anschluss an die jeweiligen Lösungsansätze dargestellt werden.

Welche der dargestellten technischen Lösungsmöglichkeiten in einem konkreten Anwendungsfall zum Einsatz kommen, ist darüber hinaus abhängig von den taktischen Konzepten der jeweiligen Anlagennutzer. Die technische Konzeption muss deshalb mit dem jeweiligen Nutzer der digitalen Objektfunkanlage abgestimmt werden.

7.1 TMO-Lösungsansätze

Zur Versorgung von Objekten im TMO stehen mehrere technische Lösungsansätze zur Auswahl:

1. Versorgung des Objektes durch eine eigene Basisstation
2. Direkte HF-Ankopplung an eine Basisstation der Freifeldversorgung.
3. Anbindung des Objektes über Lichtwellenleiter an eine Basisstation
4. Anbindung an eine Basisstation der Freifeldversorgung mittels gerichteter Antenne

Im Folgenden wird detailliert auf die oben genannten Lösungsansätze eingegangen. Weitere Anforderungen, die sich aus dem im Einzelfall realisierten Verteilsystem ergeben, sind in den jeweiligen Tabellen nicht aufgeführt.

7.1.1 Eigene Basisstation im Objekt

Eigene Basisstationen werden im Rahmen der Objektversorgung dort eingesetzt, wo aufgrund der Größe und Komplexität ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zu erwarten ist bzw. dort wo mehrere Objekte zu einem Verbund zusammengefasst werden können. Dies können beispielsweise Flughäfen, Messegelände, Industrieanlagen oder ähnliches sein. Diese Basisstation wird gegebenenfalls in die bereits vorhandene oder eine separat zu schaffende Infrastruktur zur Objektversorgung eingekoppelt.

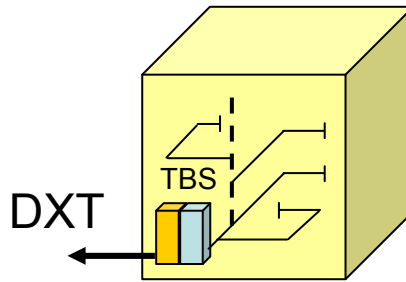


Abbildung 1: Eigene Basisstation im Objekt

Bei der Planung von dedizierten Basisstationen für die Objektversorgung muss Folgendes beachtet werden:

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
Erhöhung der BTS-Anzahl des Gesamtnetzes	Hohe Kosten für das Equipment
Erhöhung der Kapazität an der Vermittlungsstelle (DXT)	Kapazitätsbereitstellung an der DXT und evtl. am DN2, ggf. Schwenk vorhandener Ringe an andere DXT
Zusätzliche Anbindung im Zugangsnetz	Bereitstellung einer E1-Anbindung vom Objekt zur nächsten BTS bzw. zweier E1-Anbindungen zur Ringeinbindung
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erhöhung der Kapazitäten der Trägerverwaltung in der DXT
Anforderungen Funknetz	
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erweiterung des Frequenzplanes und Parametergenerierung
Erhöhte Interferenz	
Anforderungen Netzmanagement	
Weiteres Netzelement zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
Anforderungen an Infrastruktur	
Separater Betriebsraum für BTS mit Übergabepunkten für Festnetzanbindung und Objektverteilstrom	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 1: Anforderungen und Maßnahmen für eigene Basisstationen im Objekt

7.1.2 Direkte HF-Ankopplung an eine Freifeld-Basisstation

Eine HF-Ankopplung an eine bestehende Basisstation der Freifeldversorgung ist eine Lösungsvariante, wenn sich die Basisstation auf dem Objekt bzw. in unmittelbarer Umgebung des Objektes befindet. Das Signal wird leitungsgebunden von der Basisstation in das Antennensystem eingespeist. Hierbei wird das HF-Signal mittels asymmetrischen Leistungsteiler aus dem Antennensystem der Freifeldfunkanlage ausgekoppelt und per Koax-Leitung zum Antennenverteilsystem (passiv oder aktiv) des Objektes geführt und dort eingekoppelt. Es bleibt nahezu die gesamte Ausgangsleistung der BS zur direkten Versorgung der Freifunkzelle verfügbar und nur ein Bruchteil der Leistung wird für die Objektversorgung abgezweigt.

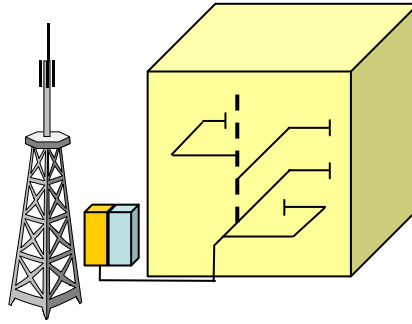


Abbildung 2: Direkte HF-Ankopplung an Freifeld-Basisstation

Diese Variante findet meist nur bei räumlicher Nähe zur Basisstation Anwendung, da die Kabeldämpfung abhängig vom verwendeten Kabeltyp die mögliche Länge der Koax-Leitung beschränkt.

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
Keine zusätzliche Anbindung im Zugangnetz zur DXT notwendig	Keine, BTS ist bereits angebunden
Anforderungen Funknetz	
Einbringen zusätzlicher Verkehrslast in die vorhandene Zelle, Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Leichte Reduzierung der Maximalleistung für die Freifunkzelle	Verringerung der Funkabdeckung in der Fläche in der Praxis nicht relevant
Anforderungen Netzmanagement	
Keine	keine, da die Basisstation bereits im Netzmanagement integriert ist.
Anforderungen an Infrastruktur	
Zusätzliche Koppler für Sende- und Empfangspfad (z.B. 15-, 20- oder 30 dB-Koppler)	
Kabeldämpfung beschränkt Kabellänge	
Bereitstellung von Übergabepunkten in das Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 2: Anforderungen und Maßnahmen für direkte HF-Ankopplung

7.1.3 Repeater - Anbindung per Festnetz (LWL)

Das Objekt wird mittels Verstärkersystem versorgt. Die Verstärker werden über Lichtwellenleiter an eine Basisstation angebunden, von der das Versorgungssignal ausgekoppelt wird. Die Entfernung zur Basisstation ist dabei durch die optische Dämpfung der LWL begrenzt.

Bei dieser Lösungsvariante wird die zuvor beschriebene direkte HF-Ankopplung in das Konzept integriert. Dabei wird das HF-Signal über eine Koax-Leitung zum elektrooptischen Wandler geführt, in ein optisches Signal gewandelt und auf eine Monomodefaser gegeben. Im Objekt wird das optische Signal zurück gewandelt und in das Antennenverteilssystem des zu versorgenden Objektes eingekoppelt.

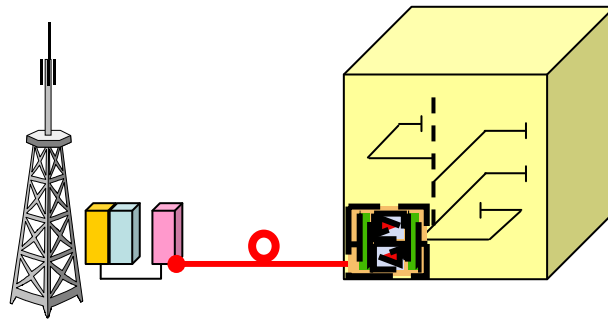


Abbildung 3: Repeater mit Anbindung über LWL

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
Derzeitig Monomodefaser als dark fiber erforderlich, d.h. es dürfen sich keine aktiven Elemente auf der Leitung befinden. Die Faser überträgt das gesamte 400 MHz-Signal	Bereitstellung der Faser von der BTS bis zum Objekt aufwendig
Anforderungen Funknetz	
Einbringen zusätzlicher Verkehrslast in die vorhandene Zelle, Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Leichte Leistungsreduzierung für die Freifunkzelle	Verringerung der Funkabdeckung in der Fläche in der Praxis nicht relevant
Rauschen der Anbinde-BTS erhöht sich durch Anbindung von Repeatern	Desensibilisierung der Anbinde-BTS, daher Begrenzung der Anzahl an Repeater notwendig
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang	
Alle Trägerfrequenzen der BTS werden im Objekt abgebildet	Erweiterung des Frequenzplanes und Parametergenerierung. Es darf keine Störeinträge auf das Flächennetz geben.
Anforderungen Netzmanagement	
Weitere Netzelemente (Repeater, Master Unit) zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw. Master Unit sammelt i.d.R. die Signalisierung der Repeater
Anforderungen an Infrastruktur	
Zusätzliche Koppler für Sende- und Empfangspfad (z.B. 15-, 20- oder 30 dB-Koppler)	
Optische Dämpfung beschränkt Kabellänge	
Elektrooptischer Wandler in BTS-Nähe notwendig	
Betriebsraum für elektrooptischen Wandler mit zusätzlichen Übergabepunkten für Festnetzanbindung als Monomodefaser (dark fiber)	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Betriebsraum für Übergabepunkte Festnetzanbindung als Monomodefaser (dark fiber), Repeater und Einspeisepunkte für das Objektverteilstz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden
---	---

Tabelle 3: Anforderungen und Maßnahmen für Repeater mit Anbindung über LWL

7.1.4 Repeater - Anbindung über die Luftschnittstelle

Das Objekt wird mittels Verstärkersystem (Repeater) versorgt. Bei dieser Lösungsvariante erfolgt die Anbindung an das Netz durch eine gerichtete Anbindeantenne an eine Vorzugsbasisstation der Freifeldversorgung. Hierbei muss mindestens Sichtverbindung oder besser eine freie 1. Fresnelzone zwischen den Antennen bestehen.

Bei Verwendung von kanalselektiven TMO-Repeatern müssen alle Kanäle des Freifelds im Gebäudeinneren reproduziert werden. Bandselektive (breitbandige) TMO-Repeater hingegen übertragen alle empfangbaren Kanäle der Freifeldversorgung in das Objekt. Der Systemtechniklieferanten empfiehlt in einer Stellungnahme [6], grundsätzlich auf Breitband-Anbinderepeater zu verzichten, vor allem aber in Gebieten, in denen konzentriert Objektversorgungen vorgesehen sind. Innerhalb eines Verteilnetzwerkes sind (optische) Breitbandrepeater hingegen uneingeschränkt einsetzbar, da hier die Kanalselektion bereits im Rahmen der Signalauskopplung oder Anbindung geschieht.

Generell ist zu beachten, dass beim Einsatz von Repeatern durch geeignete Pegelung bzw. Einstellung der Verstärkung zu gewährleisten ist, dass Selbsterregung bzw. andere Störungen infolge zu hoher Schleifenverstärkung sicher vermieden werden.

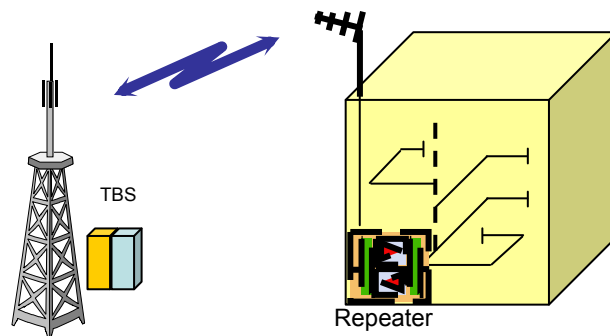


Abbildung 4: Repeater mit Anbindung über die Luftschnittstelle

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
keine	Keine
Anforderungen Funknetz	
Einbringen zusätzlicher Verkehrslast in die vorhandene Zelle, Kapazität wird nicht vergrößert	Kapazität der Anbindezone bleibt zunächst unverändert. Verkehrsüberwachung und ggf. Träger-nachrüstung erforderlich
Rauschen der Anbinde-BTS erhöht sich durch Anbindung von Repeatern	Desensibilisierung der Anbinde-BTS, daher Begrenzung der Anzahl an Repeater notwendig
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang	Beachtung der Planungsrichtlinien notwendig. Signallaufzeiten bei bandselektiven Repeatern in der Regel deutlich geringer als bei kanalselektiven.
Alle Trägerfrequenzen der BTS müssen	Es darf keine Störeinträge auf die Freifeldversorgung geben, insbesondere bei bandselektiven

im Objekt abgebildet werden	Repeatern.
Anforderungen Netzmanagement	
Weiteres Netzelement zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
Anforderungen an Infrastruktur	
Betriebsraum für Repeater und Einspeisepunkte in das Objektverteilsnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 4: Anforderungen und Maßnahmen für Repeater mit Anbindung über die Luftschnittstelle

7.1.5 Passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne

Bei kleinen Objekten und sehr guter Freifeldversorgung ist eine passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne denkbar. Hierbei werden keine aktiven Komponenten eingesetzt. Die Weiterleitung des Signals erfolgt ohne Verstärkung von der Anbindeantenne zur Versorgungsantenne über ein Koax-Kabel. Dabei wird die durch das Koax-Kabel hervorgerufene Dämpfung des Signals durch den Antennengewinn kompensiert.

Dieser Lösungsansatz kann auch zum Tragen kommen, wenn nur ein kleiner Teil eines Objektes (z.B. wenige Räume auf der von der Basisstation abgewandten Seite oder eine Tiefgarage) unversorgt ist.

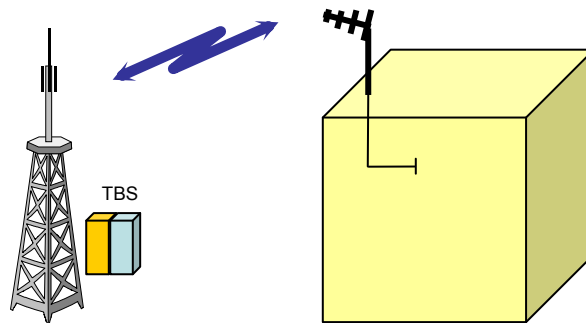


Abbildung 5: Passive Einkopplung mit Außenantenne

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
keine	Keine
Anforderungen Funknetz	
Einbringen zusätzlicher Verkehrslast in die vorhandene Zelle, Kapazität wird nicht vergrößert	Kapazität der Anbindezone bleibt zunächst unverändert. Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Anforderungen an Infrastruktur	
keine	Keine

Tabelle 5: Anforderungen und Maßnahmen für passive Einkopplung mit Außenantenne

7.2 Anbindungskonzept einer Vielzahl von Objekten auf engem Raum

Bei einer örtlichen Konzentration von zu versorgenden Objekten ist die Anbindung an Basisstationen der Freifeldversorgung nicht umsetzbar. Die Vielzahl der Objektversorgungen würde erhebliche Rückwirkungen auf die Netzqualität und -kapazität bedeuten.

Für derartige Ballungsräume werden die nachfolgend beschriebenen Konzepte empfohlen, die dedizierte Basisstationen nur für die Objektversorgung vorsehen.

7.2.1 Repeater - Anbindung über Festnetz (LWL)

Für die Anbindung der Objekte wird ein optisches Verstärkersystem (Master-Unit) mit der Basisstation gekoppelt und das Versorgungssignal über Lichtwellenleiter in die zu versorgenden Objekte transportiert und in das Verteilsystem im Objekt eingespeist.

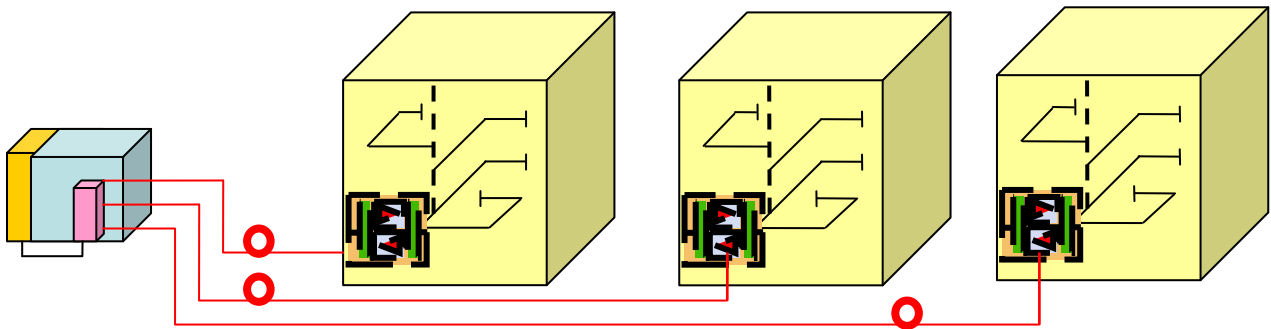


Abbildung 6: Anbindung mehrerer Repeater über LWL

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
Derzeitig Monomodefaser als dark fiber erforderlich, d.h. es dürfen sich keine aktiven Elemente auf der Leitung befinden. Die Faser überträgt das gesamte 400 MHz-Signal	Bereitstellung der Faser von der BTS bis zum Objekt
Die zusätzliche Verkehrslast der Objektversorgung wird zur DXT transportiert.	Anbindung von zusätzlichen Basisstationen zur Versorgung von mehreren Objekten erforderlich.
Anforderungen Funknetz	
In der Regel ist eine Kapazität von 2 Trägern ausreichend	Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Rauschen der Objektversorgungs-BTS erhöht sich durch Repeater-Anbindung (ohne Auswirkung auf Freifeldversorgung)	Desensibilisierung der BTS begrenzt die Anzahl der anzubindenden Objekte
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang (direkter Pfad und Objektversorgung oder Objektversorgungen untereinander)	Siehe Abschnitt 0
Als Trägerfrequenzen können die Kanäle 133 und 139 für die BTS genutzt werden	Eine Störeinwirkung auf das Freifeld ist nicht gegeben. Bei größerem Kapazitätsbedarf können Frequenzen der Freifeldversorgung genutzt werden,

	sofern dies im Frequenzplan berücksichtigt wird
Anforderungen Netzmanagement	
Weitere Netzelemente (Repeater, Master Unit) zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
Anforderungen an Infrastruktur	
Optische Dämpfung beschränkt Kabellänge, Signallaufzeit	Sofern die Wechselwirkung benachbarter Objekte nicht ausgeschlossen werden kann, sind die Laufzeitunterschiede aufgrund von unterschiedlicher Leitungslänge auszugleichen.
Elektrooptischer Wandler in BTS-Nähe notwendig	
Betriebsraum für BTS und elektrooptischer Wandler mit zusätzlichen Übergabepunkten für Festnetzanbindung als Monomodefaser (dark fiber)	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden
Betriebsraum für Übergabepunkte Festnetzanbindung als Monomodefaser (dark fiber), Repeater und Einspeisepunkte für das Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 6: Anforderungen und Maßnahmen für die Anbindung mehrerer Repeater über LWL

7.2.2 Repeater - Anbindung über die Luftschnittstelle

Ist eine geeignete LWL-Infrastruktur nicht vorhanden, können die Objekte über die Luftschnittstelle angebunden werden. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, an geeigneter Stelle dedizierte Basisstationen nur für den Zweck der Objektversorgung zu errichten. Diese Basisstationen dürfen nicht für die Freifeldversorgung genutzt werden, d.h. ein Handover im Freifeld zu derartigen Basisstationen ist zu vermeiden. Daher sind geeignete technische Maßnahmen zu ergreifen (Steuerung über Teilnehmerklasse o.ä.), die sich zurzeit im Rahmen eines Pilotversuchs in der Erprobung befinden.

Die Anbindung an das Netz erfolgt durch eine gerichtete Anbindeantenne an die Objektversorgungs-Basisstation. Hierbei muss mindestens Sichtverbindung oder besser eine freie 1. Fresnelzone zwischen den Antennen bestehen. Aufgrund der technischen Eigenschaften werden kanalselektive Repeater eingesetzt, um die Funkkapazität in das Gebäude zu bringen. Die Kanalanzahl ist von der Dimensionierung der Objektversorgungs-Basisstation abhängig.

Generell ist zu beachten, dass beim Einsatz von Repeatern durch geeignete Pegelung bzw. Einstellung der Verstärkung zu gewährleisten ist, dass Selbsterregung bzw. andere Störungen infolge zu hoher Schleifenverstärkung sicher vermieden werden.

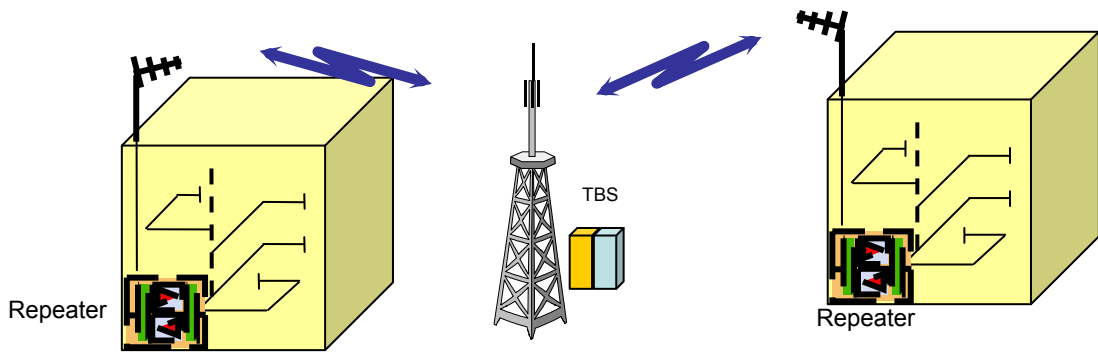


Abbildung 7: Anbindung mehrerer Repeater über die Luftschnittstelle

Auswirkung auf das BOS-Digitalfunknetz	Aktivitäten
Anforderungen Festnetz	
Die zusätzliche Verkehrslast der Objektversorgung wird zur DXT transportiert.	Anbindung von zusätzlichen Basisstationen zur Versorgung von mehreren Objekten erforderlich.
Anforderungen Funknetz	
In der Regel ist eine Kapazität von 2 Trägern ausreichend	Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Rauschen der Objektversorgungs-BTS erhöht sich durch Repeater-Anbindung (ohne Auswirkung auf Freifeldversorgung)	Desensibilisierung der BTS begrenzt Anzahl der anzubindenden Objekte
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang (direkter Pfad und Objektversorgung oder Objektversorgungen untereinander)	Siehe Abschnitt 0
Als Trägerfrequenzen können die Kanäle 133 und 139 für die BTS genutzt werden	Eine Störeinwirkung auf das Freifeld ist nicht gegeben. Bei größerem Kapazitätsbedarf können Frequenzen der Freifeldversorgung genutzt werden, sofern dies im Frequenzplan berücksichtigt wird
Anforderungen Netzmanagement	
Weitere Netzelemente zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
Anforderungen an Infrastruktur	
Betriebsraum für BTS	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden
Betriebsraum für Repeater und Einspeisepunkte in das Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 7: Anforderungen und Maßnahmen für die Anbindung mehrerer Repeater über die Luftschnittstelle

7.3 DMO-Lösungsansatz

TETRA-Endgeräte können als TMO-DMO-Gateway oder DMO-Repeater betrieben werden. Dies gilt für Handfunkgeräte HRT und Fahrzeugfunkgeräte MRT gleichermaßen. Dabei ist allerdings

zu beachten, dass jeweils nur eine Betriebsart ausgewählt werden kann. Der gleichzeitige Einsatz der beiden Betriebsarten schließt einander aus. Die Aktivierung und die Auswahl der Betriebsart können je nach Hersteller und Endgerätetyp dynamisch durch SDS konfiguriert werden.

Eine Überwachung durch das Netzmanagement ist nicht möglich.

Im Folgenden wird von einem Typ 1a DMO-Repeater ausgegangen. Dieser nutzt dieselbe Frequenz zum Senden und Empfangen und gewährleistet, dass die Funktionen „Einsprechen“ und „Hören“ der jeweiligen Nutzergruppe erhalten bleiben.

DMO-Repeater vom Typ 1b arbeiten mit einer Frequenzumsetzung und binden somit zwei DMO-Frequenzen, welche den Bedarfsträgern nur sehr begrenzt zur Verfügung stehen.

Die zu verwendenden DMO-Frequenzen müssen jeweils im DMO-Repeater und in den Endgeräten definiert werden. Es muss eine Koordinierung der vorgesehenen DMO-Frequenzen zwischen den Bedarfsträgern stattfinden, um zu verhindern, dass sich bei Großschadenslagen die ggf. gleichzeitig eingesetzten Repeater bzw. Gateways der unterschiedlichen am Einsatz beteiligten Bedarfsträger stören.

Ein im DMO-Repeater-Modus betriebenes Endgerät kann nur über ein passives Verteilsystem die DMO-Versorgung im Gebäudeinneren erweitern. Für jeden DMO-Kanal wird ein eigenständiger DMO-Repeater benötigt. Die Speisung eines aktiven Verteilsystems ist technisch derzeit nicht umsetzbar. Die DMO-Kommunikation zwischen Einsatzkräften im Objekt und vor dem Objekt (Außenantenne) kann somit realisiert werden. Das Schlitzkabel kann auch als Ring ausgeführt sein, um etwaige Redundanzvorgaben zu erfüllen. Alternativ kann die Versorgung auch mit Antennen realisiert werden.

Je nach Hersteller und Endgerätetyp kann das Präsenzsignal des DMO-Repeaters ständig überwacht werden. Damit wäre der Nutzer des Handfunksprechers ständig informiert, ob und wie gut er den Repeater erreicht. Endgeräte verbinden sich bevorzugt mit dem DMO-Repeater, sobald ein entsprechendes Präsenzsignal empfangen wird. Es kann allerdings technisch nicht sichergestellt werden, dass die Kommunikation immer und ausschließlich über den DMO-Repeater läuft. Bei schlechter Funkverbindung zum Repeater kann es zu einer direkten Kommunikation zu umliegenden Endgeräten kommen.

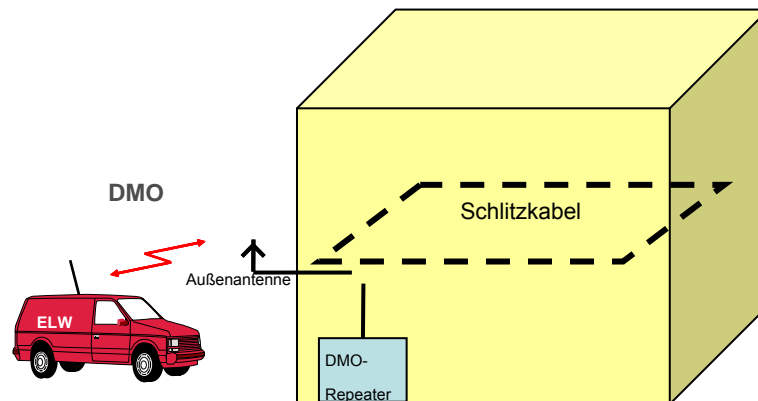


Abbildung 8: Einsatz eines DMO-Repeaters

Ein als TMO-DMO-Gateway betriebenes Endgerät (mobil im Einsatzfahrzeug) kann temporär eine DMO-Gruppe im Gebäude an das TMO-Netz anbinden. Eine Einbindung in die DMO-Gebäudeversorgung ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich.

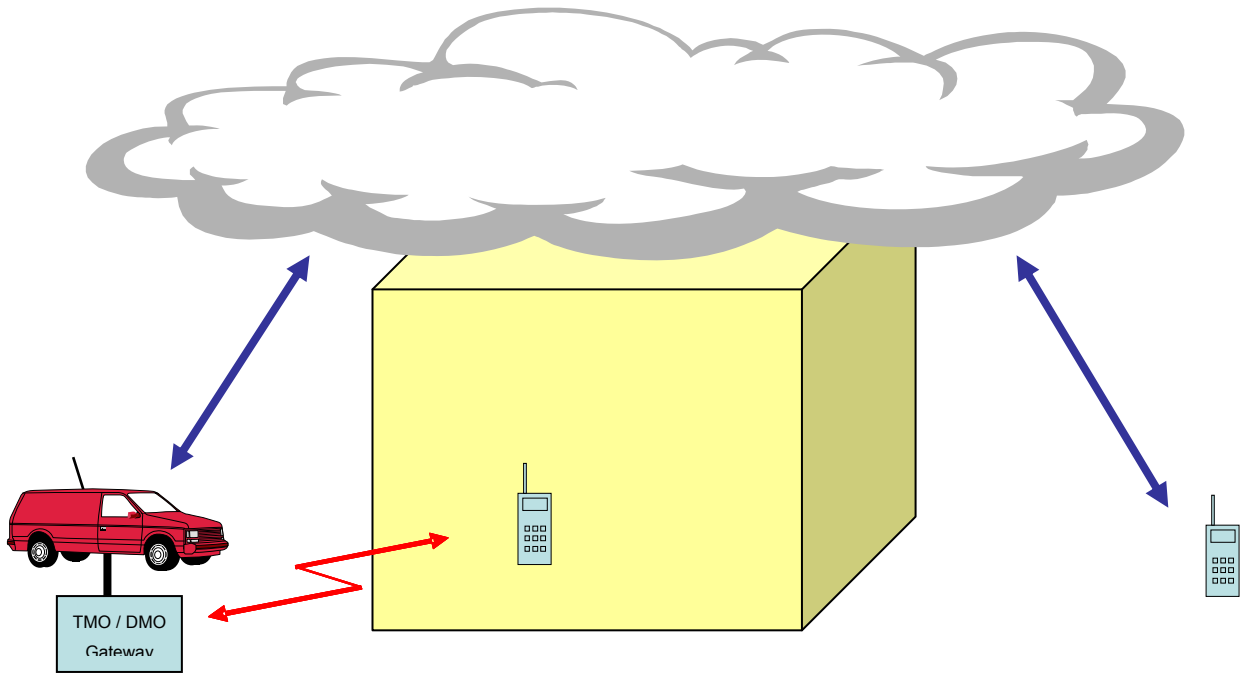


Abbildung 9: Betrieb eines TMO-DMO-Gateways zur temporären Anbindung einer DMO-Gruppe

7.4 Verteilsystem im Objekt

Man unterscheidet zwischen passiven und aktiven Verteilsystemen. Unter passiven Verteilsystemen versteht man ein Verteilnetz, welches ausschließlich aus Koax-Kabeln bzw. Schlitzkabeln, Koppellementen und Antennen besteht. Eine Verstärkung des Signals erfolgt nicht.

Im Gegensatz hierzu werden bei aktiven Verteilsystemen Repeater eingesetzt. Je nach Bedarf kommt ein reines Koax-Netz oder eine Kombination aus optischen und koaxialen Netzen zur Anwendung.

Die länderspezifisch geltenden Anforderungen an die Komponenten des Verteilsystems (z.B. IEC-Normen für Kabel) sind zu beachten.

7.4.1 Optische Verteilnetze

Optische Verteilnetze werden dort eingesetzt, wo über große Entfernungen die Signale dämpfungsarm übertragen werden sollen. Weiterhin lassen sich bei Glasfasern mit entsprechender Reserve einfach Signallaufzeiten anpassen.

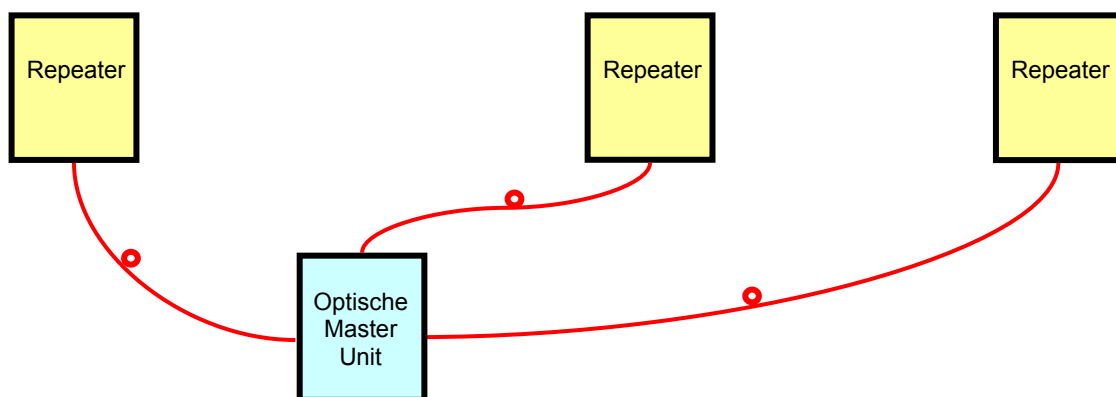


Abbildung 10: Betrieb eines TMO-DMO-Gateways zur temporären Anbindung einer DMO-Gruppe

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Lichtwellenleiter als dämpfungsarmes Übertragungsmedium zur Überbrückung größerer Entfernungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Investitionskosten für Systemtechnik zur Wandlung elektrischer in optische Signale und umgekehrt.

7.4.2 Schlitzkabel

Schlitzkabel sind Koaxialkabel, die durch gezielt angebrachte HF-Undichtigkeiten (Öffnungen) im Schirm einen geringen Teil der geführten HF-Leistung abgeben. Sie ermöglichen dadurch eine relativ homogene Funkversorgung längs des Kabels.



Abbildung 11: Aufbau eines Schlitzkabels

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Redundanzkonzepte sind einfacher zu realisieren • homogene Funkfeldverteilung • ununterbrochene HF-Abdeckung, damit einfache Versorgung von Problembereichen (lange Gänge, Aufzugschächte) • Reduzierung von Abschattungen durch Hindernisse im Versorgungsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Investitionskosten für Material und Installation

7.4.3 Antennen

Antennen sind besonders geeignet für die Versorgung von Bereichen, in denen Schlitzkabel nur eingeschränkt verbaut werden können.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • niedrige Investitionskosten für Antennen und Installation 	<ul style="list-style-type: none"> • keine homogenen Ausbreitungseigenschaften • erheblicher Anstieg der Verluste in Abhängigkeit von den Entfernungen zwischen Antennen und Endgeräten • Abschattungseffekt durch Fahrzeuge oder Einrichtungen innerhalb des Versorgungsbereiches • keine Redundanz bei Beschädigungen, zusätzliche Aufwendungen nötig

7.5 Technische Anforderungen an TMO-Repeater

Für TMO-Repeater, die in Objektversorgungen eingesetzt werden sollen, gelten dieselben Anforderungen an die netztechnischen und physikalischen Eigenschaften wie für TMO-Repeater, die im Rahmen der Zellerweiterung eingesetzt werden. Die wesentlichen netztechnischen Eigenschaften werden im Folgenden ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgelistet:

- Einsetzbar über das gesamte TMO-Frequenzspektrum der BOS
- TMO-Repeater mit Funkschnittstellenanbindung: Die Verstärkung soll im Bereich 30-85 dB in 2 dB-Schritten einstellbar sein
- TMO-Repeater mit leitungsgebundener Anbindung: Die Ausgangsleistung soll in Abhängigkeit von der Anzahl der HF-Träger in 2 dB Schritten einstellbar sein
- Asymmetrische Einstellung der Verstärkung in UL und DL (Funkschnittstellenanbindung) bzw. Ausgangs- und Einkoppelleistung (leitungsgebundene Anbindung) für ausgeglichene Linkbilanz
- VSWR-Alarmer (Stehwellenverhältnis) entsprechend der Grenzwerte und nachträglich einstellbar
- Einstellung der Verstärkung bzw. Ausgangs- und Einkoppelleistung sowie Frequenzkonfigurationen und Überwachung der VSWR-Alarmer vor Ort und zentral über das Netzmanagement

7.6 Anforderungen an sonstige Komponenten

Die Stromversorgung der funktechnischen Einrichtungen ist unterbrechungsfrei auszulegen. Die Pufferung ist über eine Batterieanlage mit Ladegerät sicherzustellen. Die Überbrückungszeit ist in landesspezifischen Anforderungen geregelt.

Die Anforderungen an die Betriebsbedingungen der Komponenten, z.B. Temperatur, sind ggf. durch den Einsatz von Klimageräten sicherzustellen.

8 Strategie zur Objektversorgung

Die Auflage, eine Objektversorgung zu installieren, wird durch gesetzliche Vorschriften geregelt. Die Planung und Realisierung der Objektversorgung wird durch den Bauherrn bzw. Objektbetreiber durchgeführt. Die Koordinierung der Anbindung an das BOS-Digitalfunknetz obliegt den Ländern in Abstimmung mit Bund und BDBOS.

Zum Zeitpunkt der Planung und Realisierung bzw. der Feststellung der Notwendigkeit einer Objektversorgung sind folgende Herangehensweisen möglich:

- Objektfunkversorgung als Bestandteil der Freifeld-Netzplanung
Die Freifeldversorgung wird so geplant, dass zu versorgende Objekte durch die Freifeldbasisstationen versorgt werden.
- Objektfunkversorgung nach der Optimierung des Netzabschnittes
Nach der Optimierung des Netzabschnittes wird die Funkversorgung der zu versorgenden Objekte überprüft.
- Objektfunkversorgung als eigenständiges Projekt im Netzabschnitt
Die zu versorgenden Objekte sind baulich so beschaffen, dass eine Freifelddurchdringung nicht die erforderliche Feldstärke aufweist.

Die Versorgung von Tunneln, die dem öffentlichen Verkehr bzw. der Nutzung durch die Öffentlichkeit dienen, ist eine notwendige Voraussetzung für ein funktionierendes BOS-Digitalfunknetz und ist frühzeitig in die Planung einzubeziehen.

Bei der Planung der Objektversorgung sollten die zuvor beschriebenen Anforderungen und Randbedingungen berücksichtigt werden, um den Bedarf festzulegen:

- Für welche Bedarfsträger soll die Anlage konzipiert werden?
- Welche rechtliche Grundlage besteht, um diese Anlage zu fordern?
- Welches ist die effizienteste Variante zur Sicherstellung der Kommunikation der Einsatzkräfte (Grundsatz der Verhältnismäßigkeit)?
- Welche Leistungsmerkmale des BOS-Digitalfunknetzes sind gefordert? Ist eine Netzanbindung notwendig?
- Soll die Anlage permanent in Betrieb sein oder nur im Bedarfsfall eingeschaltet werden?
- Welche technischen Lösungsansätze sollen umgesetzt werden?
- Sind Redundanzvorgaben zu beachten?
- Wie groß ist die Ausdehnung des Objektes und welche Kapazität muss bereitgestellt werden?

8.1 Klassifizierung der einzelnen Objekte

Die Komplexität und die unterschiedlichen baulichen Gegebenheiten der Objekte macht eine Unterteilung in Objektklassen notwendig. Für die Zuordnung der technischen Realisierungsmöglichkeiten aus Kapitel 7 zu einzelnen Objektklassen wurde eine Matrix aufgestellt, die bei der Wahl einer technischen Lösung unterstützen soll. Finanzielle Aspekte wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Die Auswahl der konkreten Lösungsalternative kann nur individuell für jedes Objekt erfolgen. Die folgende Zusammenfassung kann Anhaltspunkte geben, ersetzt aber nicht die fallbezogene Planung durch Fachkräfte.

Objektklassen	Eigene Basisstation	Anbindung über die Luftschnittstelle mittels gerichteter Außenantenne und kanalselektivem Repeater	Anbindung über die Luftschnittstelle mittels gerichteter Außenantenne und bandselektivem Repeater	leitungsgebundene Anbindung mittels Glasfaser und bandselektivem Repeater	Passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne	DMO-Repeater
Flughafen	+++	+	-	+	-	-
Bahnhof (Hauptbahnhof)	+++	+	-	+	-	-
Bahnhof (regional)	++	++	+	+++	+	+
Straßentunnel (> 400 m)	++	+++	+	++	-	-
Straßentunnel (< 400 m)	+	+++	+	++	+	+
Bahntunnel (> 500 m)	+	++	+	++	-	-
Bahntunnel (< 500 m)	-	+++	+	+	+	+
Tunnelnetzwerke (ÖPNV)	+++	+	-	+	-	-
Industrieanlagen	+++	++	+	++	-	+
Sport- und Versammlungsstätten	+++	++	+	++	-	+
Verkaufsstätten	++	++	++	+++	-	+
Hochhäuser	++	++	++	+++	-	+
Büro- / Geschäftshäuser	+	++	+	+++	-	+
Parkhäuser / Tiefgaragen	+	++	++	+++	+	+

Tabelle 8: Zuordnung der Objektklassen zu technischen Realisierungsmöglichkeiten

Erläuterung:

- +++ empfehlenswert
- ++ technisch sinnvoll
- + technisch möglich
- technisch ungeeignet

8.2 Strategische Vorgehensweise

Die folgenden Kapitel sind als Empfehlung für die Realisierung einer Objektversorgung zu verstehen. Wegen der Komplexität der Thematik können nur grobe Anhaltspunkte gegeben werden und nicht in jedem Ansatz auf alle Aspekte wie z. B. Redundanz eingegangen werden.

8.2.1 Versorgung eines Objektes ohne aktuell verfügbare Netzabdeckung

Ist durch die Bedarfsträger festgelegt worden, dass ein Objekt eine Gebäudefunkanlage erhalten soll bzw. auf Digitalfunk umgestellt werden soll, ist zu prüfen, ob bereits eine Freifunkversorgung um das Objekt herum gewährleistet ist. Ist dies nicht der Fall, muss dies bei der Planung der Objektversorgung berücksichtigt werden. Die Infrastruktur und das erforderliche Verteilnetzwerk sind in jedem Fall entsprechend den Anforderungen des Planungshandbuchs zu realisieren, das als eingestuftes Dokument dem berechtigten Personenkreis zur Verfügung steht.

Ist zunächst keine Außenversorgung gewährleistet, kann man sich bis zur Fertigstellung des umliegenden Netzabschnittes durch den Betrieb einer eigenen Basisstation ohne Netzanbindung behelfen oder es gelingt eine Anbindung an das BOS-Digitalfunknetz zu realisieren.

Generell besteht beim Betrieb ohne Netzanbindung keine Leitstellenanbindung. Zudem muss beachtet werden, dass die Endgeräte-Verwaltung sehr aufwändig ist, da alle potentiellen Endgeräte der BS bekannt gemacht werden müssen. Als Frequenzen können z. B. die für Objektversorgungen definierten Kanäle 133 und 139 (entspricht NKFZ mit 2 TRX) genutzt werden.

Generell ist jede Frequenznutzung genehmigungspflichtig und über die Autorisierte Stelle mit der BDBOS abzustimmen.

Soll die temporäre Basisstation später durch eine andere Form der Anbindung ersetzt werden, beispielsweise mittels kanalselektivem Repeater, so ist dies frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen. Wenn die entsprechende Infrastruktur für die Anbindeantenne, den Repeater und entsprechende Kabelwege und Einspeisepunkte in das Verteilnetzwerk bereits vorgesehen ist, kann relativ einfach und schnell auf die andere Technik gewechselt werden.

Wenn andere technische Lösungen wie beispielsweise das Intersystem Interface (ISI) vorliegen, werden diese bewertet und in das Dokument aufgenommen. Ebenso wird die Möglichkeit der Anbindung einer eigenen Basisstation im Objekt über ISDN untersucht.

8.2.2 Versorgung von Objekten ohne eigenständige Objektversorgung

Bei kleinen Objekten, die nur im Einsatzfall versorgt sein müssen, ist die Errichtung einer Objektversorgung möglicherweise wirtschaftlich nicht sinnvoll oder und baurechtlich nicht begründbar. Um in solchen Fällen die Versorgung im Gebäudeinneren ohne zusätzliche Installationen zu verbessern, kann die Nutzung eines DMO-TMO-Gateways im Einsatzfahrzeug sinnvoll sein. Dies stellt keine Objektversorgung im eigentlichen Sinne dar.

8.2.3 Basisversorgung

Die Basisversorgung soll bei geringem finanziellem und technischem Aufwand kleine Versorgungslücken schließen oder in Bestandsobjekten eine rudimentäre Versorgung mit Digitalfunk ermöglichen. Diese Kriterien erfüllt die passive Einkopplung des BOS-Digitalfunknetzes (TMO). Aufgrund der fehlenden aktiven Komponenten ist die Signalverteilung im Gebäude jedoch stark begrenzt.

Sofern auf die TMO-Leistungsmerkmale verzichtet werden kann, stellt eine DMO-Versorgung über festinstallierte DMO-Repeater und Schlitzkabel eine einfache und kostengünstige Variante der Objektversorgung dar. Die erzielbare Versorgung ist jedoch durch die Leitungslängen begrenzt.

8.2.4 Objektversorgung bei vorhandener Basisstation zur Freifeldversorgung

In Einzelfällen wird ein zu versorgendes Objekt bereits als Standort für eine Basisstation des BOS-Digitalfunknetzes vorgesehen sein. Ebenso könnten bei der Planung eines Netzabschnittes gezielt Anker- oder Vorzugsstandorte unter Berücksichtigung von Objektversorgungen definiert werden. Bei solch räumlicher Nähe ist die direkte Auskopplung eines geringen Leistungsanteils an der Basisstation zur Speisung der Gebädefunkanlage möglich. Diese Auskopplung ist als zusätzlicher Leistungsverlust des betreffenden Standortes bei der Funkfeinplanung des Netzabschnittes zu berücksichtigen, um Versorgungslücken zu vermeiden.

Eine redundante Signalverteilung im Gebäude ist ohne weiteres möglich, allerdings ist die Anbindung selbst nicht redundant.

8.2.5 Objektversorgung über Repeater

Bei größeren Objekten, die zudem einer permanenten Versorgung bedürfen, bietet sich zunächst die Anbindung mittels Repeater über Lichtwellenleiter oder die Luftschnittstelle an. Oftmals ist diese Variante kostengünstiger zu realisieren als eine eigene Basisstation im Objekt. Die Anbindung über die Luftschnittstelle bedarf einer genauen Planung, um Störungen im Freifeld zu vermeiden. Die leitungsgebundene Anbindung von optischen Repeatern bietet weniger Störpotential für das umgebende Freifeld, allerdings sind hohe Anforderungen an die Leitung zu berücksichtigen [4]. Die regional verfügbaren Glasfasernetze der Bedarfsträger sollten zur Anbindung von Objektversorgungen in Betracht gezogen werden.

Die Anbindung einer Vielzahl von Objekten über die Luftschnittstelle führt zu einer Verringerung der Sensitivität der Anbinde-Basisstation und kann damit die Qualität der Freifeldversorgung gefährden. In Einzelfällen müssten zusätzliche Basisstationen zur Aufrechterhaltung der Versorgungsziele im Freifeld errichtet werden. Dies kann im ländlichen Gebiet eintreten, wo die Funkzellen relativ groß sind und die Zellränder geringe Pegel aufweisen. In Innenstadtbereichen dagegen sind die Zellen kleiner. Allerdings sind hier zum einen viele Objektversorgungen wahrscheinlich und zum anderen werden höhere Anforderungen an die Netzqualität und den Feldstärkepegel gestellt (GAN+X). Daher ist eine frühzeitige Bekanntgabe und Abstimmung mit der BDBOS notwendig. Wird die Freifeldversorgung in erheblichem Maße beeinträchtigt, kann die Genehmigung der Anbindung über die Luftschnittstelle verwehrt werden.

8.2.6 Objektversorgung über eigene Basisstation

Die Installation einer dedizierten Basisstation nur für die Objektversorgung bietet sich immer dann an, wenn hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt werden oder die zuvor beschriebenen Lösungen nicht realisiert werden können. Bei ausgedehnten Gebäudekomplexen mit weit verzweigtem Verteilsystem und hohen Kapazitätsanforderungen (Flughafen etc.) ist eine solche Lösung sinnvoll. Aus technischer Sicht ist diese Art der Objektversorgung vorteilhaft, weil die Rückwirkung auf Basisstationen der Freifeldversorgung gering ist. Basisstationen verursachen allerdings eine zusätzliche Belastung der Kernnetzkapazitäten. Hierbei sind langfristig die Kapazitätsreserven der Vermittlungsstellen zu planen, um die Anbindung von Objektversorgungen gewährleisten zu können.

8.2.7 Taktische Bewertung der technischen Varianten

Zur Unterstützung der taktischen Bewertung sind in der folgenden Matrix die technischen Varianten den taktischen Anforderungen gegenübergestellt. Die aufgenommenen Parameter sind nicht vollständig und daher nicht abschließend.

Technische Varianten Taktische Anforderung	Eigene BS	Kanal-selektiver Repeater	Band-selektiver Repeater	Passive Einkopplung	DMO-Repeater
Erreichbarkeit der Leitstellen	ja	ja	ja	ja	nein
Erreichbarkeit der örtlichen Einsatzleiter	ja	ja	ja	ja	ja
Absetzen und Aufnahme eines Notrufes	ja	ja	ja	ja	nein (ja, im örtlich versorgten Bereich)
Signalisierung der Funktionalität der Objektfunkanlage vor Ort für den Einsatzleiter	nein (HRT des Einsatzleiters ist in der Freifeldversorgung eingebucht)	nein (HRT des Einsatzleiters ist in der Freifeldversorgung eingebucht)	nein (HRT des Einsatzleiters ist in der Freifeldversorgung eingebucht)	nein (HRT des Einsatzleiters ist in der Freifeldversorgung eingebucht)	nein (unscheinbare Signalisierung ob DMO-Repeater aktiv sind)
SDS-Funktionalität	ja	ja	ja	ja	ja
Hohe/ gesicherte Sprachqualität	ja	ja	ja	ja	ja (Kommunikation der HRTs aber nicht zwingend über den Repeater)
Telefonie	ja	ja	ja	ja	nein

9 Schnittstellen, Verantwortlichkeiten und notwendige Maßnahmen

9.1 Prozess zur Realisierung einer Objektversorgung

Der Prozess zur Beantragung und Realisierung einer Objektversorgung wird derzeit verfeinert und anhand von Pilotprojekten in der Praxis getestet. Die Bereitstellung erfolgt nach Freigabe mit einer neuen Version des Leitfadens.

9.2 Bereitstellung von DMO-Repeatern

Die DMO-Repeater-Funktionalität wurde nur als ein Zusatzleistungsmerkmal von speziellen Mobilsprechfunkgeräten verlangt. Analog wurde die TMO-DMO-Gateway-Funktionalität als Zusatzleistungsmerkmal eines speziellen Mobilsprechfunkgerätes gefordert. DMO-Repeater stellen somit im eigentlichen Sinne keine eigenständigen Endgeräte dar. Ihre Funktionalität kann aber in einem Endgerät integriert sein.

In Bezug auf die Beschaffung von Endgeräten ergeben sich folgende Beschränkungen:

Geräte, die die sog. TEA2-Verschlüsselung unterstützen, unterliegen den dafür festgelegten Lizenzbedingungen der TETRA-Association. Darin wird bestimmt, dass Geräte mit TEA2-Verschlüsselung nur an BOS herausgegeben werden dürfen und im Übrigen strikt geheimzuhalten sind. Daran gebunden sind sowohl die BDBOS als auch die Hersteller, denen von der TETRA-Association die TEA2-Lizenz zur Herstellung dieser Geräte erteilt wurde.

9.3 Beantragung Netzparameter Funknetz

Die folgenden Aussagen gelten vorbehaltlich einer Änderung im Rahmen der in Kapitel 9.1 beschriebenen Prozessdefinition zur Realisierung einer Objektversorgung.

9.3.1 Kapazität

Bei der Nutzung von Repeatern ist darauf zu achten, dass der kombinierte Kapazitätsbedarf von Objektversorgung und Freifeldversorgung bereitgestellt und geplant werden muss. In der Regel wird eine Kapazitätsaufrüstung der jeweiligen Anbinde-Basisstation(en) erst nach Inbetriebnahme der Objektversorgung vorgenommen, wenn im Netzbetrieb eine Überschreitung der Aufrüstschwellen festgestellt wird. Sollte schon vor Inbetriebnahme ein erhöhter Kapazitätsbedarf der Objektversorgung durch die Bedarfsträger festgestellt werden, muss dies durch das Land (autorisierte Stelle) der BDBOS frühzeitig bekannt gemacht werden. Die BDBOS wird dann prüfen, ob die Kapazitätsreserven im Funknetz ausreichen oder ob eine Aufrüstung erforderlich ist.

9.3.2 Frequenzen

Die Koordination der BOS-Frequenzen liegt bei der BDBOS, so dass eine Zuweisung von Frequenzen nur durch die BDBOS erfolgen kann. Dies gilt für alle aktiven Netzelemente, d.h. auch für TMO-Repeater.

Auch bei der Verwendung von bandselektiven Repeatern zur Anbindung an das BOS-Digitalfunknetz sind diese gemäß dem derzeit in Abstimmung befindlichen Prozess der BDBOS anzuzeigen, da die BDBOS gegenüber der BNetzA ihre Verantwortung bei der Nutzung der TETRA-Frequenzen wahrnehmen muss und auch hierfür eine Frequenzbeantragung vornehmen muss.

In der Regel müssen alle aktiven Netzelemente in das Netzmanagement integriert sein, damit diese Netzelemente über das Network Management Center konfigurierbar sind. Bei Änderungen des Frequenzplans wäre der Betrieb des kanalselektiven Repeaters ansonsten nicht möglich. Ein Verzicht auf die Anbindung, d.h. die manuelle Konfiguration durch den Betreiber der Objektversorgung, ist nur im Einzelfall und in Abstimmung mit der BDBOS erlaubt. Dies wäre z.B. bei bandselektiven Repeatern denkbar, da keine Frequenznachführung notwendig ist.

Die Frequenzzuweisung für DMO-Repeater obliegt der Koordinierung der BOS-Kräfte, denen die jeweiligen Frequenzen zugeteilt wurden. Die Zuweisung ist der BDBOS für jede Objektversor-

gung anzuzeigen und bei Änderungen besteht Mitteilungspflicht. Nur so ist gewährleistet, dass in der BDBOS jederzeit ein umfassendes und vollständiges Bild von der Nutzung des Frequenzspektrums vorliegt.

9.3.3 Standortbescheinigung / Inbetriebnahmeanzeige

Eine Standortbescheinigung kann auch bei Objektversorgungen je nach technischer Realisierung erforderlich sein. Dies gilt sowohl im Falle einer eigenen BS als auch bei Repeater-Lösungen. Üblicherweise erfolgt die Funkversorgung eines Objektes durch mehrere Antennen oder Schlitzkabel, deren Leistung addiert werden muss, wenn sich die Sicherheitsabstände der Antennen überlappen.

Wird die Summenleistung von 10 Watt EIRP überschritten, ist ein Antrag auf Standortbescheinigung nach dem bekannten Prozess zu stellen.

Bleibt die Summenleistung unter dem Grenzwert 10 Watt EIRP ist keine Mitteilung an die BNetzA erforderlich (Sonderstellung BOS Funk).

Für die Beantragung einer Standortbescheinigung und die Anzeige der Inbetriebnahme einer Objektversorgung gelten die gleichen Randbedingungen wie für Freifeldbasisstationen. Diese sind im Planungshandbuch beschrieben, das als eingestuftes Dokument dem berechtigten Personenkreis zur Verfügung steht.

9.4 Beantragung Netzparameter Festnetz

An dieser Stelle wird nach Abstimmung des Festnetzplanungskonzeptes und des Prozesses zur Realisierung einer Objektversorgung die Beantragung der Netzparameter beschrieben.

9.4.1 Rückwirkungen auf das Kernnetz

Wird eine Gebäudefunkanlage an das BOS-Digitalfunknetz angebunden, ergeben sich daraus weitere Anforderungen an das Gesamtnetz. Mit jeder zusätzlichen Basisstation ist ein erweiterter Kapazitätsbedarf im Kernnetz verbunden. Auch bei Verwendung von Repeatern können Rückwirkungen auf das Festnetz nicht ausgeschlossen werden. Repeaterlösungen haben zwar keine direkten Auswirkungen auf das Kernnetz. Allerdings verursacht jede Repeaterlösung eine Desensibilisierung der Anbindebasisstation.

Da die Objektversorgung insbesondere in Ballungsräumen von Bedeutung ist (dort finden sich zahlreiche Gebäude bzw. Bauwerke mit großem Publikumsverkehr), besteht vor allem dort ein hoher Anbindebedarf. Bei Realisierung der Anbindung an die vorhandenen Freifeldbasisstationen muss daher darauf geachtet werden, dass die geforderte Freifeldversorgung nicht gefährdet wird. Zu diesem Zweck kann es erforderlich sein, zusätzliche Basisstationen einzuplanen. Auch dies hat Auswirkungen auf die Kapazitäten des Kernnetzes.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Anforderungen an das Kernnetz im Laufe des Rolloutprozesses bereits erweitert haben. Das Kernnetz ist entsprechend GAN+X inkl. 30% Reserve ausgelegt. Durch die Funkfeinplanung hat sich aber ein Bedarf an zusätzlichen Basisstationen je Netzabschnitt und damit verbunden eine weitere Belastung des Kernnetzes ergeben. Es ist damit zu rechnen, dass das Kernnetz durch die Anbindung von Basisstationen zur Objektversorgung zusätzlich belastet werden wird.

Um für die gestiegenen Anforderungen entsprechende Kapazitäten bereitstellen zu können, sollen die bekannten Kapazitäten der Vermittlungsstellen (DXT),

- 64 ET-Ports je DXT verfügbar
- Max. 128 Basisstationen anbindbar
- Kapazität zur Verwaltung von 256 TRX

durch die folgenden, bereits von der BDBOS initiierten, aber noch in der Umsetzung befindlichen Möglichkeiten erweitert werden:

- Erhöhung der TRX-Kapazität durch Software-Patch (25% mehr TRX-Kapazität)
- Bereitstellung zusätzlicher Hardware und Software an vorhandenen DXT-Standorten (zusätzliche Vermittlungstechnik)

9.5 Abnahme einer Objektversorgung

Der Prozess zur Abnahme einer Objektversorgung wird derzeit verfeinert und anhand von Pilotprojekten in der Praxis getestet. Die Bereitstellung erfolgt nach Freigabe.

10 Planungsrichtlinien

10.1 Erweiterung bestehender Anlagen

Bei der Migration von bestehenden Gebäudefunkanlagen in das BOS-Digitalfunknetz ist es möglich, die bereits vorhandene Infrastruktur mit Anpassungen weiter zu nutzen oder mit zu nutzen.

Ein pragmatischer Ansatz zur Prüfung könnte folgendermaßen aussehen:

- Prüfung der vorhandenen Infrastruktur auf Verwendbarkeit im Frequenzbereich des BOS-Digitalfunknetzes
- Bei Eignung der Infrastruktur: Anschließen der aktiven Komponenten (TMO- oder DMO-Repeater, Basisstation) über das vorhandene Koppelnetzwerk
- Messung und Dokumentation der nun verfügbaren Funkfeldversorgung im Gebäude
- Bewertung der Anlage

Für eine abschließende Bewertung müssen durch den Erbringer der Planungsleistung alle verwendeten Komponenten auf Nutzbarkeit im Frequenzbereich des BOS-Digitalfunknetzes geprüft werden. Liegen nicht mehr für alle Komponenten die entsprechenden Unterlagen vor, so sind die Komponenten gemäß Kapitel 11 messtechnisch zu überprüfen und zu dokumentieren.

Vielfach müssen Gebäudefunkanlagen während der Migrationszeit parallel im analogen und im digitalen Funk betrieben werden. Dementsprechend muss auch die Infrastruktur diese Anforderungen erfüllen. Das Koppelnetzwerk ist in solchen Fällen so zu dimensionieren, dass sowohl Analog- als auch Digitalfunk eingekoppelt werden kann. Nach der Migrationsphase sollte der Rückbau der analogen Technik ohne großen Aufwand und Ausfallzeit möglich sein.

10.2 Antennenisolation (Entkopplung)

Um eine störungsfreie Funktion der TMO-Repeater-Systeme zu gewährleisten, ist eine Entkopplung der Anbinde- und Versorgungsantennen von großer Wichtigkeit. Die Antennenisolation richtet sich nach den Vorgaben des Repeater-Herstellers und muss nach derzeitigem Kenntnisstand rund 15 dB größer sein als die eingestellte Verstärkung am Repeater. Bei diesem Wert und einer Repeater-Verstärkung von 80 dB muss somit die Isolation zwischen beiden Antennen mindestens 95 dB betragen. Dabei ist der gesamte Pfad von Verstärkerausgang zu Verstärkereingang zu betrachten.

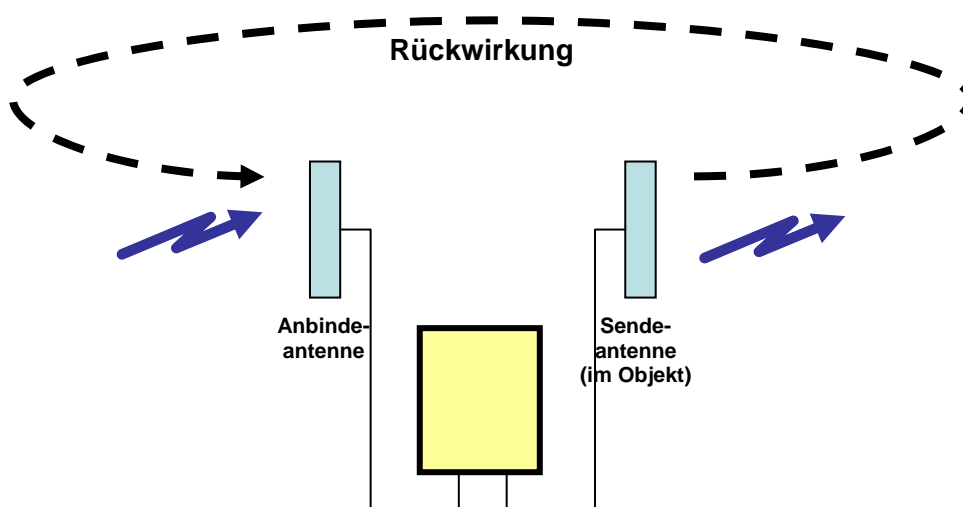


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Rückwirkung von Sende- auf Anbindeantenne

Die Einhaltung der Antennenisolation kann in der Planungsphase nur aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Aufgrund der Vielzahl von Antennen und Schlitzkabeln, die in aus-

gedehnten Gebäudekomplexen zur Anwendung kommen, ist eine Rückkopplung auf die Anbindeantenne nur in seltenen Fällen ausgeschlossen. Die Isolation muss nach der Installation wie in Abschnitt 11.3 beschrieben messtechnisch überprüft und im Abnahmeprotokoll bestätigt werden, ggf. sind (bauliche) Anpassungen notwendig.

Eine ausreichende Antennenisolation kann durch verschiedene Maßnahmen erzielt werden:

- Hochgewinn-Antennen (Richtantennen) mit gutem Vor-/Rückverhältnis als Einkoppelantennen
- Sorgfältige Positionswahl der Antennen zur Vermeidung von Reflexionen
- Verwendung der geringst möglichen Verstärkung des Repeaters

Die Antennenisolation muss nach der Installation wie in Abschnitt 11.3 beschrieben messtechnisch überprüft und im Abnahmeprotokoll bestätigt werden.

10.3 Signallaufzeit

Der TETRA-Standard schreibt eine maximale Laufzeit von 392 μs für die Signalübertragung zwischen Basisstation und Endgerät vor.

Beim Empfang zweier Signale derselben Basisstation, z. B. einmal direkt von der BTS und zusätzlich über die Gebäudeversorgung, kann es zu Laufzeitdifferenzen kommen. Gleiches gilt für redundant verteilte Signale innerhalb des Objektes. Laut TETRA-Standard ist eine relative Signalverzögerung von 7 μs zulässig, höhere Werte können bei gleichem Signalpegel zu Störungen führen. Praxiserfahrungen zeigen, dass in einigen Fällen der doppelte Wert, also 14 μs , noch akzeptiert werden kann.

Die Problematik der Laufzeitdifferenz kann dadurch umgangen werden, dass die Objektversorgung nicht an der umliegenden Zelle der Freifeldversorgung angebunden wird, sondern an einer benachbarten, siehe Abschnitt 10.6.

Bei der Planung sind die durch TMO-Repeater verursachten zusätzlichen Verzögerungen der Signale zu beachten. Um den Praxiswert von maximal 14 μs Laufzeitverzögerung gewährleisten zu können, ist bei optischer Anbindung ein Laufzeitausgleich durch das Einbringen von zusätzlichen Leitungslängen üblich. Es ist zu beachten, dass die Glasfaserlängen zwischen Mastereinheit und den Repeatern möglichst gleich lang zu planen sind, ggfs. durch den Einsatz von Glasfaserspulen. Als Richtwert kann eine maximale Differenz von 2800 m angenommen werden, was einer Laufzeit von 14 μs entspricht.

Die Signallaufzeit muss nach der Installation wie in Abschnitt 11.4 beschrieben messtechnisch überprüft und im Abnahmeprotokoll bestätigt werden.

10.4 Rauschbeitrag des Repeaters

Jede Komponente des Verteilsystems einer Objektversorgung bringt ein gewisses Eigenrauschen in die Übertragungsstrecke. Dies gilt besonders für Repeater, die aufgrund der teilweise hohen Verstärkung die Gesamtrauschzahl des Systems erheblich beeinflussen können. Der Rauschbeitrag des Repeaters führt zu einer Desensibilisierung der Basisstation, so dass weit entfernte Endgeräte im Freifeld diese nicht mehr erreichen können, auch wenn ein ausreichend großer Signalpegel der Basisstation vorliegt. Bei der Planung einer Objektversorgung mit vielen aktiven Elementen im Verteilsystem muss daher die Gesamtrauschzahl beachtet und mit der zuständigen Funknetzplanung der Freifeldversorgung in Einklang gebracht werden. Dies gilt insbesondere, wenn die Anbindung mehrerer Objektversorgungen mittels Repeater an die gleiche BS zu erwarten ist.

Sofern der Repeater korrekt eingepegelt ist, kann die Desensibilisierung in Grenzen gehalten werden. Diese Reduktion des Verstärkungsfaktors bedeutet andererseits, dass der Repeater z. B. eine geringere Schlitzkabelänge versorgen kann und somit die ausreichende Ausleuchtung des Objektes nicht gewährleistet werden kann. EADS als Systemlieferant gibt zu diesem Themenkomplex detaillierte Informationen [2].

10.5 Redundante Signaleinspeisung

Schlitzkabel sind gut geeignet für eine redundante Signaleinspeisung. Hierbei ist zu unterscheiden, ob identische Signale von beiden Seiten in einen vollredundanten Ring eingespeist werden sollen oder ob zwei unterschiedliche Signale am gleichen Einspeisepunkt auf das Kabel gegeben werden.

Wird von beiden Seiten eines Ringes das gleiche Nutzsignal eingespeist, weisen diese beiden Signale entlang des Kabels unterschiedliche Laufzeiten auf. Die Intersymbolinterferenz (ISI) kann insbesondere in weiträumigen Objekten (Tunnelanlagen oder Flughäfen) je nach Laufzeit- und Pegelunterschied der beiden aufeinandertreffenden Signale ansteigen und dazu führen, dass sich die Funkgeräte trotz guter Funkversorgung ausbuchen. Bei sorgfältiger Planung lässt sich dieser Effekt auf ein akzeptables Maß reduzieren. Vorteil bei dieser Methode ist die Gewährleistung der Funkversorgung auch bei einer Beschädigung/Trennung der Schleife. Hier sollte immer die Einzelfallprüfung entscheiden, ob eine solche Versorgung möglich/sinnvoll ist. EADS als Systemlieferant gibt zu diesem Themenkomplex detaillierte Informationen [3].

Im zweiten Fall muss das zweite einzuspeisende Signal um z.B. 6 dB (abhängig von den Handover-Parametern) niedriger eingepgelt werden als das primäre Signal. Dadurch wird die Versorgung im Regelfall über das primäre Signal sichergestellt und nur bei Wegfall dieses Signals das redundante zweite Signal die Versorgung übernehmen. Mehrfach-Handover (sog. Ping-Pong-Handover) im Regelbetrieb werden vermieden. Möglicherweise ist durch die um 6 dB geringere Sendeleistung bei Eintreten des Redundanzfalles eine vollständige Versorgung nicht mehr gewährleistet. Unter Umständen kann es auch sinnvoll sein, beide Signale in ähnlicher Stärke einzuspeisen, unter bewusster Inkaufnahme der Möglichkeit des Ping-Pong-Effekts, wenn die Anzahl der Nutzer und die Bewegungsgeschwindigkeit im Objekt gering ist, dafür aber eine im Unterbrechungsfall gesicherte und vollständige Redundanz erreicht wird. Dies ist eine Einzelfallentscheidung je Objekt unter Beachtung der Handover-Parameter der beteiligten Funkzellen. Eine Redundanz ist bei dieser Art der Einspeisung nur für die Signalquelle gegeben. Wenn jedoch an beliebiger Stelle im Objekt eine Unterbrechung des Leckkabels entsteht, z. B. im Brandfall, ist der dahinterliegende Abschnitt ohne jede Versorgung.

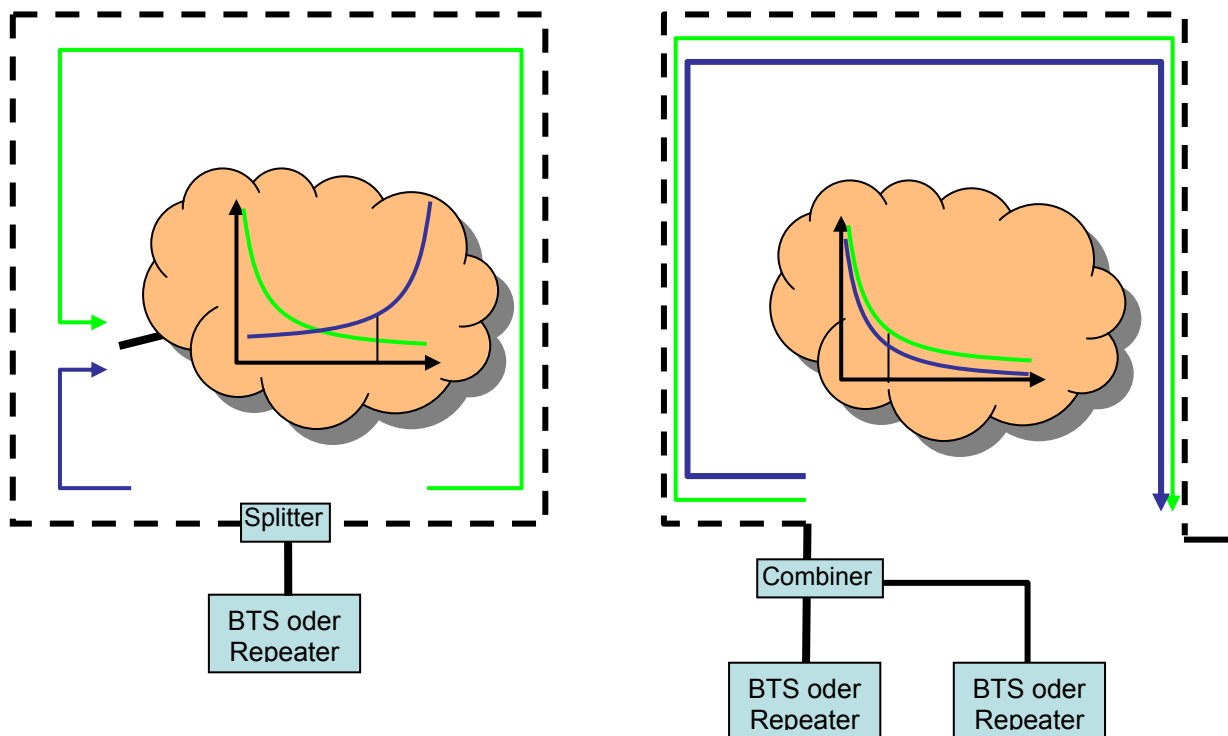


Abbildung 13: Möglichkeiten zur redundanten Signaleinspeisung

Alternativ kann man die Schlitzkabelenden des Ringes mit Signalen aus zwei verschiedenen Basisstationen beschicken. Aus den oben beschriebenen ISI-Zonen bei zweiseitiger Einspeisung werden doppelt abgedeckte Funkbereiche in denen die Funkgeräte auf die bessere Basisstation einbuchen können. Die Redundanzforderung würde somit erfüllt werden.

10.6 Feldstärkevorgaben und Handover

Die Anforderungen an die Versorgungsgüte werden durch den jeweiligen Bedarfsträger definiert. In der Regel sollte die Feldstärke im Gebäudeinneren analog zur Versorgungskategorie 2 einen Wert von 41 dB μ V/m (entspricht -88 dBm Empfangsleistung gemessen an einer ideal isotropen Antenne ohne Kabelverluste) nicht unterschreiten. Dieser Pegel garantiert sowohl den Betrieb von Handfunkgeräten in Kopfhöhe und auch in Gürteltrageweise. Die Kategorien 3 und 4 gelten nur für die Freifeldversorgung, d.h. die Versorgung des Gebäudeinneren von außen. Somit sind die Kategorien 3 und 4 für eigenständige Objektversorgungen nicht relevant.

Innerhalb des Objektes ist auf eine homogene Versorgung zu achten und der Versorgungspegel sollte um mindestens 19 dB zur Vermeidung von Interferenzen bzw. 6 dB zur Vermeidung von Handover über dem Pegel des von außen zu empfangenen BOS-Digitalfunknetzes liegen. Damit wird ein Wechsel in die Freifeldversorgung und übermäßige Interferenz mit dieser vermieden.

Aufgrund der TETRA-Eigenschaften ist die sorgfältige Planung einer Objektversorgung mit eigenen Basisstationen oder Repeateranbindung an benachbarte Basisstationen sehr wichtig. Die Parametrisierung etwa der Fast/Slow Cell Reselection (Handover) bietet nur wenig Möglichkeiten eines nachträglichen Feintunings. Die Handover-Prozedur in TETRA kann zwischen 0,5 und 4 s dauern, so dass etwa beim Verlassen des Gebäudes Gesprächsabbrüche auftreten können. Daher kann die Errichtung eines definierten Handover-Bereichs außerhalb des Gebäudes durch zusätzliche Antennen notwendig sein.

Sofern die Anbindung mittels Repeater über die Luftschnittstelle geplant wird, kann diese an der Zelle erfolgen, in der sich das Objekt befindet oder an einer benachbarten Zelle. Dadurch wird die Beeinflussung durch Mehrwegeempfang minimiert und stattdessen eine klare Handover-Beziehung definiert. Sollte dies nicht umsetzbar sein, ist besondere Sorgfalt bei der Planung der Objektversorgung und speziell bei der Wahl der Positionen für Anbinde- und Versorgungsantennen angebracht. Generell muss am vorgesehenen Antennenstandort messtechnisch der verfügbare Empfangspegel der sichtbaren Basisstationen ermittelt werden, um anhand der Signalstärke der Kanäle die Anbindebasisstation zu definieren. Die Vorgehensweise ist in Abschnitt 11.2 beschrieben.

Nachteil der Anbindung an einen benachbarten Standort ist, dass die Einsatzkräfte vor dem Objekt und die Kräfte in dem Objekt Kapazitäten bei beiden Basisstationen binden.

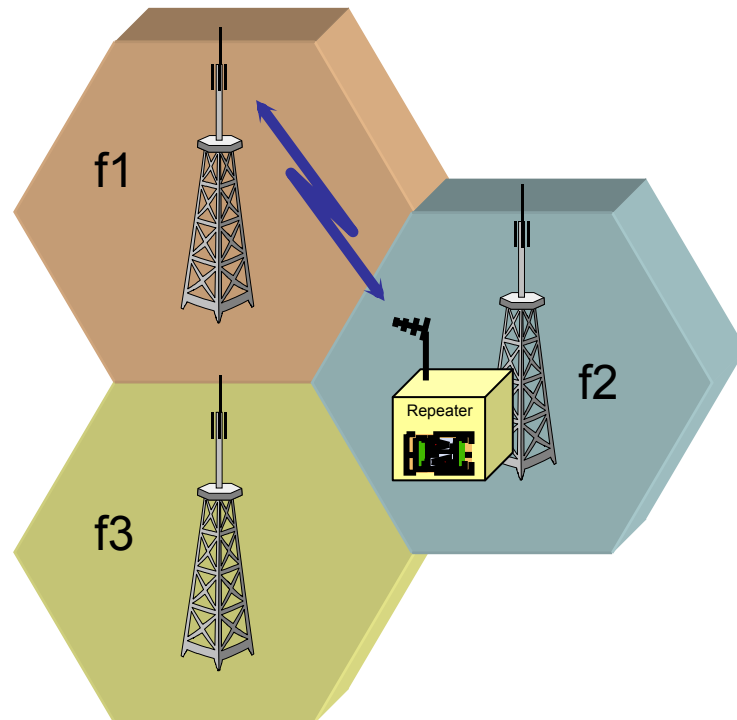


Abbildung 14: Anbindung des Repeaters an eine benachbarte FunkzelleAnforderung an LWL-Kabel

Die Anforderungen an LWL-Kabel werden im Dokument der EADS „Anforderung LWL-Kabel“ [4] beschrieben.

10.7 Frequenznutzung und Kriterien für störungsfreien Betrieb

Zur Vermeidung einer Beeinträchtigung der Freifeldversorgung werden die nachfolgenden Kriterien an die Objektversorgung gestellt. Diese sind vom Errichter der Objektversorgung sicherzustellen und können bei Bedarf durch die BDBOS überprüft werden.

Die Frequenzhoheit liegt bei der BDBOS, so dass eine Zuweisung von Frequenzen nur durch die BDBOS erfolgen kann.

Abhängig von der konkreten Realisierung (Frequenznutzung TMO, DMO usw.) kommen verschiedene Fallunterscheidungen in Betracht.

10.7.1 Nutzung der reservierten TMO-Frequenzen für Objektversorgung

Für Objektversorgung sind die Kanäle 133 und 139 reserviert. Bei Nutzung dieser Kanäle ist eine Beeinträchtigung der Freifeldversorgung in der Regel ausgeschlossen, daher existieren keine Auflagen bzgl. des Funkfelds außerhalb des Objektes. Zu beachten ist allerdings, dass die Interferenz aus mehreren benachbarten Objekten durchaus zu Störungen führen kann und daher eine Koordinierung dieser OV-Frequenzen wichtig ist.

Bei einem höheren Kapazitätsbedarf im Objekt müssen zusätzlich Frequenzen aus der Freifeldversorgung entnommen werden, siehe Abschnitt 10.7.3.

Generell ist jede Frequenznutzung genehmigungspflichtig und über die Autorisierte Stelle mit der BDBOS abzustimmen.

10.7.2 Nutzung der DMO-Frequenzen

Eine Beeinträchtigung der Freifeldversorgung ist beim Einsatz von DMO-Frequenzen in der Regel ausgeschlossen. Daher existieren keine Auflagen bzgl. des Funkfeldes außerhalb des Objektes. Bundesweit sind 29 Frequenzkanäle und somit 58 Frequenzen für den DMO verfügbar. Die Ver-

teilung und Zuordnung der DMO-Kanäle für die Objektversorgung aus einem Bedarfsträgerbereich liegt in der Verantwortung der Länder.

Für benachbarte Objekte sollten unterschiedliche Frequenzen benutzt werden, wenn eine getrennte Versorgung bei gleichzeitigen Einsätzen sichergestellt werden muss.

10.7.3 Nutzung von TMO-Frequenzen in Abstimmung mit BDBOS-Frequenzplanung

Es ist möglich, einzelnen Objekten bestimmte TMO-Frequenzen aus dem Spektrum der Freifeldversorgung zuzuordnen. Sofern diese in der Frequenzplanung der BDBOS berücksichtigt werden, kann eine Beeinflussung minimiert bzw. ausgeschlossen werden. Die in diesem Fall dem Objekt zugewiesenen Kanäle müssen über das NMC konfigurierbar sein und werden bei Frequenzplanwechseln (sofern notwendig) durch die BDBOS neu zugewiesen.

Einschränkungen sind immer dann gegeben, wenn das TMO-Spektrum gerade den Bedarf der Freifeldversorgung deckt und keine Frequenzen für die Objektversorgung reservierbar sind.

10.8 Funktionen im Netzmanagement

Die Einstellung der Verstärkung bzw. Ausgangs- und Einkoppelleistung je Übertragungsrichtung sowie die Überwachung von Alarmen sollen nicht nur vor Ort, sondern auch zentral über ein Netzmanagement möglich sein. Je nach Anforderung der Bedarfsträger kann dies auch eine ständig besetzte Stelle sein. Die Steuerung der frequenzabhängigen Komponenten, insbesondere der kanalselektiven Repeater und Basisstationen mit Frequenzen der Freifeldversorgung, muss unabhängig vom Hersteller in das NMC des BOS-Digitalfunknetzes eingebunden werden.

Damit Komponenten von Drittherstellern genutzt und angebunden werden können, sind die netzseitigen Schnittstellen bzw. Übergabepunkte für die Anschaltung offen zu legen. Dazu wird derzeit eine Beschreibung des Systemlieferanten erarbeitet [5].

10.9 Standortdatenbank des BOS-Digitalfunknetzes

In der Standortdatenbank des BOS-Digitalfunknetzes werden alle Objektversorgungen erfasst, um den Überblick über die errichteten Objekte zu erhalten und um der Verantwortung gegenüber der BNetzA und der Versorgungsqualität des BOS-Digitalfunknetzes gerecht zu werden.

Hierzu werden die über die Autorisierten Stellen bei der BDBOS anzumeldenden Objektversorgungen durch die Funknetzplanung der BDBOS angelegt.

Es wird in der Datenbank für Objektversorgungen unterschieden nach:

- Basisstationen (Netzelementtyp 140)
- Repeater, kanalselektiv (Netzelementtyp 610)
- Repeater, bandselektiv (Netzelementtyp 620)

10.10 Tunnel

Messtechnische Erfahrungen haben gezeigt, dass aufgrund der guten Freifeldversorgung vielfach auf den Einsatz von Außenantennen zur Versorgung von Tunnelportalen als auch Rettungsplätzen verzichtet werden kann. Dies ist im Einzelfall zu prüfen. Es wird vielmehr empfohlen, die Tunnelportale, die anfänglich unterhalb der Erdoberfläche liegen, mit weiter aus dem Tunnel herauszuführenden Schlitzkabeln zu versorgen. und auf separate gerichtete Antennen zu verzichten.

11 Messungen

Zweckgerichtete Messungen sind unabdingbar, um eine umfängliche Planung und optimale Realisierung einer Objektversorgung gewährleisten zu können. Dabei interessiert neben der eigentlichen durch die konkrete Versorgungsmaßnahme erzielte Versorgung im Objekt vor allem auch die messtechnische Bestimmung der optimalen Konfiguration, notwendigen Parameter sowie die Einhaltung technischer und rechtlicher Rahmenbedingungen. Die eigentlichen messtechnischen Maßnahmen lassen sich unterscheiden in

1. vorbereitende Messungen (ohne zusätzliche Versorgung):
 - Ermittlung der Funkversorgung am Objekt und
 - Bestimmung der Empfangssituation der Anbindeantenne;
2. validierende Messungen (mit zusätzlicher Versorgung):
 - Messung der Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne,
 - Messung der Signallaufzeiten,
 - Ermittlung der Funkversorgung im Objekt sowie
 - Ermittlung der Außenwirkung der realisierten Objektversorgung (Interferenz).

Soweit im Folgenden nicht näher beschrieben, gelten für sämtliche Messungen die Vorgaben und Empfehlungen des Messkonzeptes für das BOS-Digitalfunknetz [7].

11.1 Funkversorgung am Objekt (ohne zusätzliche Versorgung)

Die Messung der Funkversorgung am bzw. um das zu versorgende Objekt ist unabhängig von der späteren Realisierung der Objektversorgung immer erforderlich. Für die Messung kommen die im Messkonzept für das BOS-Digitalfunknetz [7] aufgeführten Messgeräte zur Anwendung (Empfangsantenne, ggf. Antennenkabel, Messempfänger). Die präzise Ermittlung ist dabei nur mit Spektrumanalysatoren oder besser Netzscannern möglich. Letztere ermöglichen zusätzlich zur Leistungsmessung eine Analyse der Signalanteile hinsichtlich Nutz- und Störanteilen.

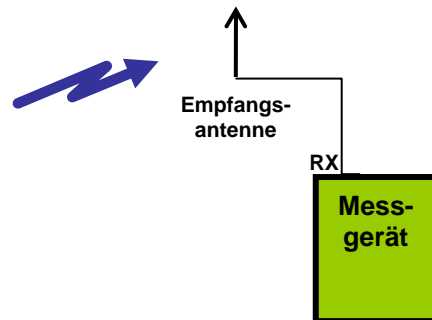


Abbildung 15: Messaufbau zur Messung der Funkversorgung

Ziel dieser Messung ist die Ermittlung der Versorgungssituation am bzw. um das Objekt. Messgrößen sind die Feldstärke bzw. Empfangsleistung und die Bestimmung der versorgende(n) Basisstation(en). Räumlich interessieren vor allem die potentiellen Übergangspunkte zum bestehenden Netz, d.h. an Gebäuden vor allem sämtliche Zugänge, Einfahrten und Notausgänge, an Tunneln die (üblicherweise zwei) Portale, etc. Die Erkenntnisse über die außerhalb des Objektes versorgenden Funkzellen ist zwingend erforderlich, um nach Installation der Versorgungsanlage die notwendigen Handoverbeziehungen im Netz einspielen zu können.

Zusätzlich sollte aber ein Gesamteindruck der Versorgungssituation rund um das Objekt ermittelt werden. Einsatzfälle können es erfordern, das entsprechende Objekt auch abseits geplanter Zugänge begehbar zu machen, so dass die komplette Umgebung hinsichtlich möglicher Handoverbeziehungen relevant werden kann.

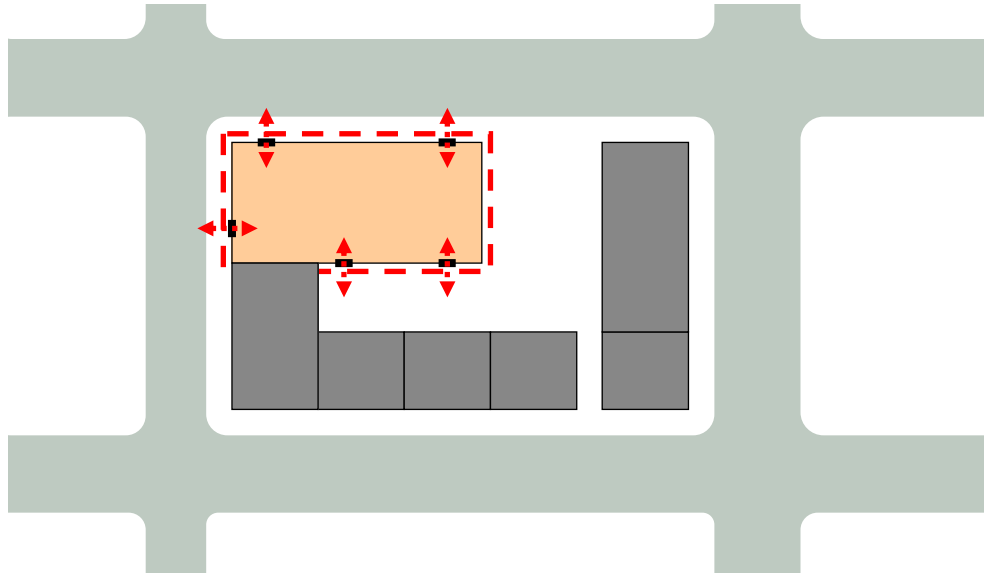


Abbildung 16: Schematische Darstellung zur Messung der Funkversorgung am Objekt

Ergebnis der Messungen sind die ermittelten Empfangsleistungen und die jeweils versorgende Zelle über der gemessenen Fläche. Abbildung 17 illustriert die Darstellung der versorgenden Zelle (Best Server) um ein untersuchtes Objekt in Flächenelementen mit einer Kantenlänge von 4 m. Basierend auf diesen Ergebnissen kann die spätere Funkanlage in das BOS-Digitalfunknetz integriert und die vollständigen Nachbarschaftsbeziehungen ermittelt werden. Darüber hinaus können evtl. auftretenden Störsignale im Vergleich zu dieser Referenz quantisiert werden (vgl. Abschnitt 11.6).

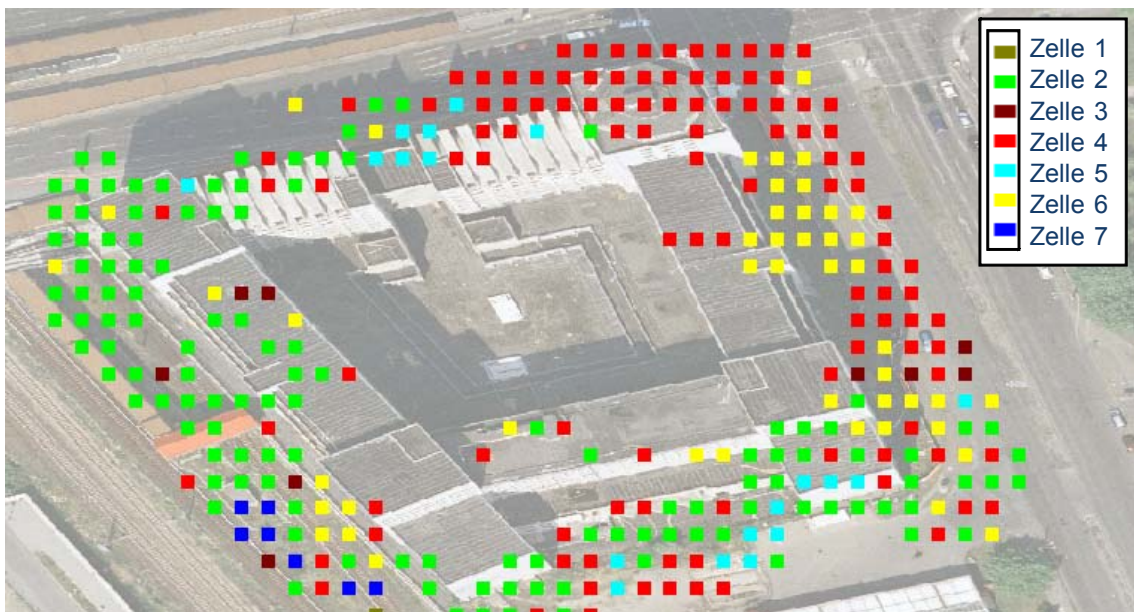


Abbildung 17: Beispielhafte Best Server Versorgung um ein Objekt

11.2 Empfangsspektrums der Anbindeantenne

Für die Realisierung nach Abschnitt 7.1.4 bzw. 7.1.5 werden Anbindeantennen benötigt. Zur Messung des Empfangsspektrums dieser Antenne kommt folgende Messanordnung zum Einsatz.

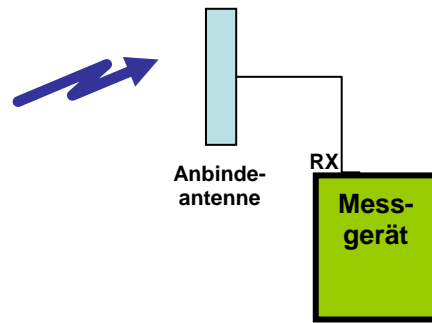


Abbildung 18: Messaufbau zur Messung des Empfangsspektrums der Anbindeantenne

Als Anbindeantennen kommen prinzipiell zwei Typen zum Einsatz: Rundstrahler oder gerichtete Antennen. Das Empfangsspektrum einer Rundstrahlantenne hängt lediglich von der Einbauposition ab, während bei einer gerichteten Antennen zusätzlich die Ausrichtung der Antenne das Empfangsspektrum beeinflusst.

Für Rundstrahlantennen genügt daher die messtechnische Ermittlung des Empfangsspektrums an den potentiellen Einbaupositionen. Dabei können ggf. Hindernisse im direkten Umfeld der Anbindeantenne gezielt zur Beeinflussung der Antennencharakteristik und des resultierenden Empfangsspektrums genutzt werden. Die Messung muss über einen ausreichenden Zeitraum (min. 1 Minute) mit unverändertem Antennenaufbau durchgeführt werden. Die Analyse des Empfangsspektrums erfolgt auf den Mittelwerten der gemessenen Sendeleistungen pro Frequenzkanal.

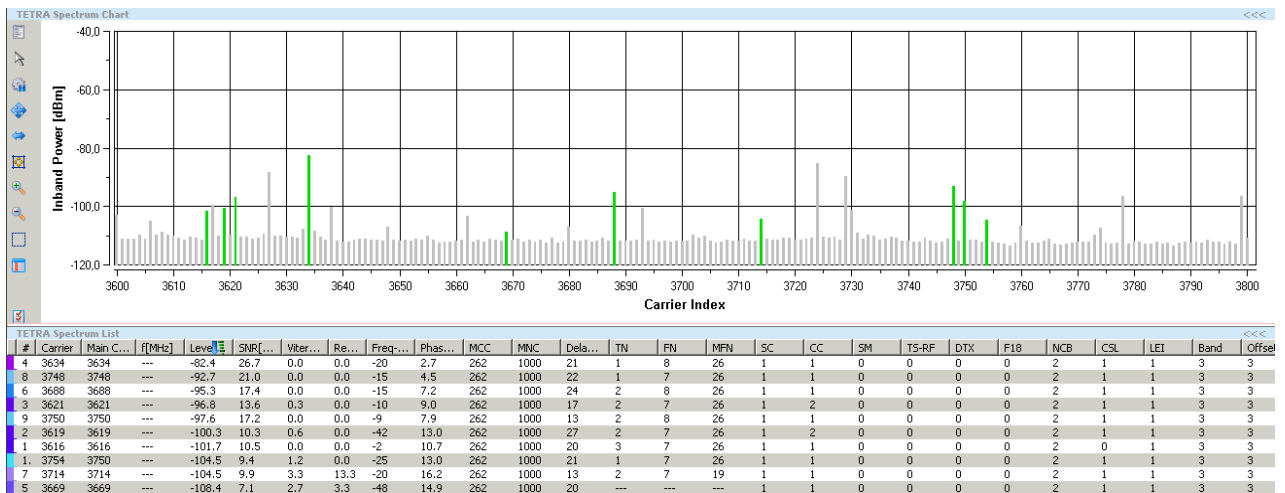


Abbildung 19: Beispiel eines gemessenen Empfangsspektrums

Es wird empfohlen, sich im Vorfeld Freiheiten in der Auswahl der Antennenposition zu lassen, z. B. durch genügenden Spielraum für die Länge des Antennenkabels). Dadurch lässt sich später auch die optimale Antennenposition für die gewählte Anbindung realisieren.

Bei gerichteten Antennen muss an den potentiellen Einbaupositionen jeweils eine „Rundumsicht“ ermittelt werden, indem z. B. die Antennen in festen Schritten von 15-30° probeweise neu ausgerichtet wird. Aus den jeweiligen einzelnen Empfangsspektren lässt sich so ein Gesamtbild zusammensetzen. Auch bei dieser Messung müssen die einzelnen Empfangsspektren bei stabiler Konfiguration über einen ausreichenden Zeitraum (min. 1 Minute) gemessen werden und die Empfangsleistungen aus den Mittelwerten pro Frequenzkanal und Ausrichtungswinkel (Azimut) berechnet werden.

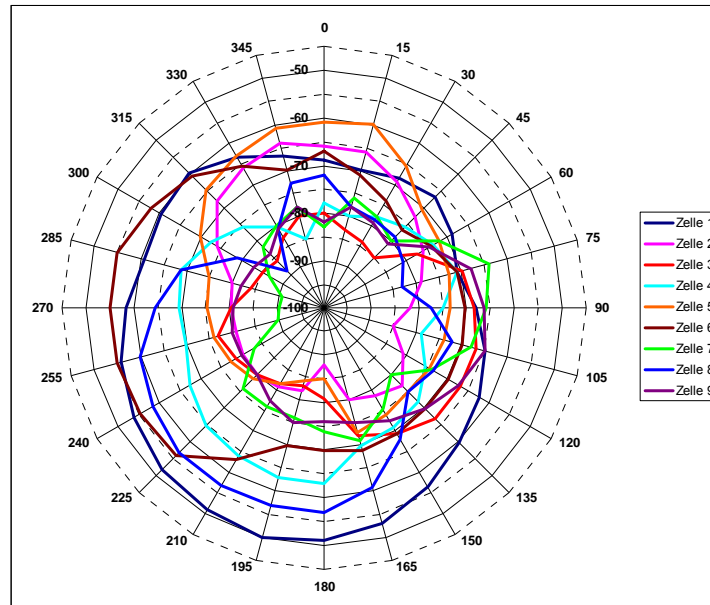


Abbildung 20: Gemessene Empfangsleistungen in polarer Darstellung

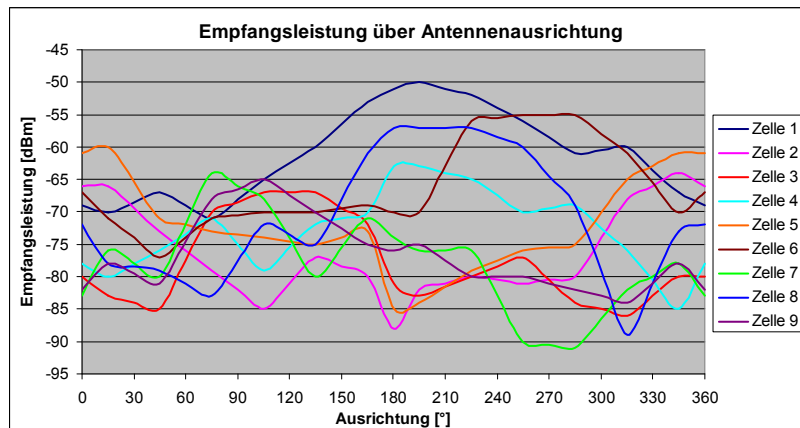


Abbildung 21: Empfangsleistungen über der Ausrichtung einer gerichteten Anbindeantenne

Bei bereits installierter Antennenzuleitung empfiehlt sich zur Messung direkt der Abgriff am Ausgang des Antennenkabels zur Anbindeantenne, da damit direkt die tatsächliche Eingangsleistung am Repeater bekannt ist. Wenn die Antennenkabel noch nicht verlegt sind, bleibt nur eine „provisorische“ Messung über ein Messkabel, dessen Eigenschaften (Dämpfung) später in Bezug zu den Eigenschaften des installierten Kabels betrachtet werden müssen.

Aus den gemessenen Empfangsspektren lassen sich dann die möglichen Anbindezellen ermitteln. Prinzipiell ist die Zelle mit dem stärksten Empfangspegel zu bevorzugen, da die notwendige Verstärkung vergleichbar gering gewählt werden kann. Dies reduziert nebenbei mögliche Störeinflüsse in der Uplink-Richtung. Beim Einsatz gerichteter Antennen ist dabei ebenfalls die Richtung zu bevorzugen, aus der das stärkste Empfangssignal ermittelt werden konnte. Für den Fall, dass hiervon abweichend eine andere Zelle als geeigneter identifiziert worden ist, muss die Ausrichtung auf diese Zelle optimiert werden.

Bei der Analyse der Messergebnisse kommt es neben den Maximalwerten der Empfangsleistung (ggf. abhängig von der Antennenausrichtung) auch auf den Unterschied zur nächstbesten Zelle an. Aus der Differenz leitet sich ein Maß für die Dominanz der Anbindezone ab. Je größer der Unterschied, desto eindeutiger ist die Funkversorgung im Objekt auf die Anbindezone ausgelegt und desto geringer fallen Störungen an anderen Basisstationen in Uplink-Richtung aus.

Im Hinblick auf eine redundante Anbindung über die Luftschnittstelle kann es sinnvoll sein, eine Einstellung zu wählen, bei der auch die zweitbeste Zelle im Fall eines Ausfalls der Anbindezelle noch mit ausreichender Versorgung im Objekt sichtbar ist. Beim Einsatz kanalselektiver Repeater muss bei einem Ausfall der eigentlichen Anbindezelle dabei auch auf die Frequenzkanäle der redundanten (d.h. zweitbesten) Anbindezelle umgestellt werden. Dies kann bei Verfügbarkeit der Fernadministrierbarkeit vom Network Management Center (NMC) oder direkt vor Ort realisiert werden. Beim Einsatz bandselektiver Repeater müssen keine Parameter geändert werden.

11.3 Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne

Die Messung der Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne ist für die Realisierung nach Abschnitt 7.1.4 bzw. 7.1.5 notwendig. Zur Messung kommt folgende Messanordnung zum Einsatz.

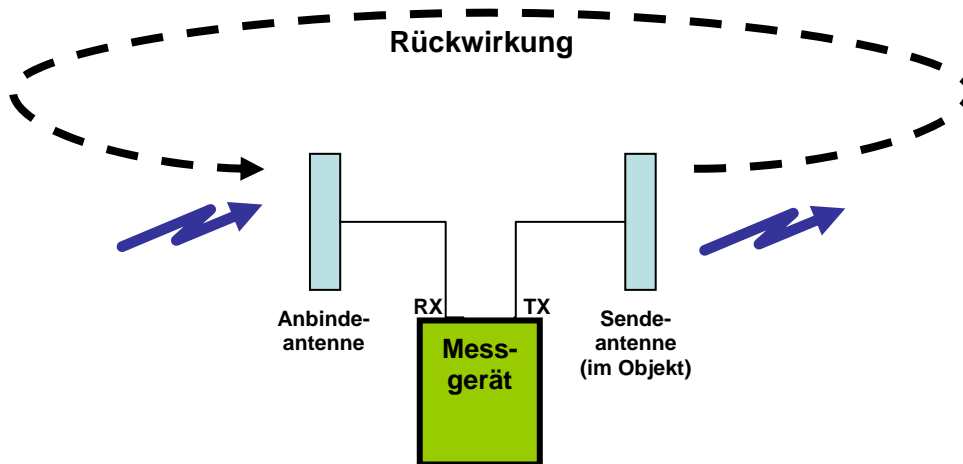


Abbildung 22: Messaufbau zur Messung der Antennenentkopplung

Die Messung basiert auf einer Transmissionsmessung, die üblicherweise Bestandteil von Spektrumanalysatoren oder ähnlichen Messgeräten ist. Für die Messung der Entkopplung speist ein Signalgenerator über seinen Ausgang (TX) das Sendesystem, welches entweder als Schlitzkabel oder dedizierte Antennenlösung ausgeführt ist. Zeitgleich wird das Signal der Anbindeantenne an den Eingang (RX) des Messgerätes zum Vergleich gelegt. Dieser kann nun die Differenz des Testsignals bestimmen und gibt als Dämpfungswert der Antennenanordnung direkt die Antennenisolation.

Abbildung 23 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer Testmessung, bei der zwei TETRA-Antennen in einem Abstand von etwa 10 m und durch eine Wand getrennt angeordnet waren. Man erkennt eine minimale Entkopplung von ca. 39 dB im für TETRA relevanten Frequenzbereich zwischen 380 und 410 MHz. Unter Berücksichtigung der Sicherheitsreserve von 15 dB (vgl. Abschnitt 10.2) dürfte ein Repeater bei dieser Antennenanordnung also mit einer maximalen Verstärkung von 24 dB betrieben werden.

Sind mehrere Sendesysteme (Schlitzkabel bzw. Sendeantennen) im Objekt installiert, muss die Messung für jedes einzelne Sendeelement durchgeführt werden. Aus den Einzelergebnissen kann dann durch Summation im Leistungsbereich die Gesamtwirkung abgeschätzt werden.

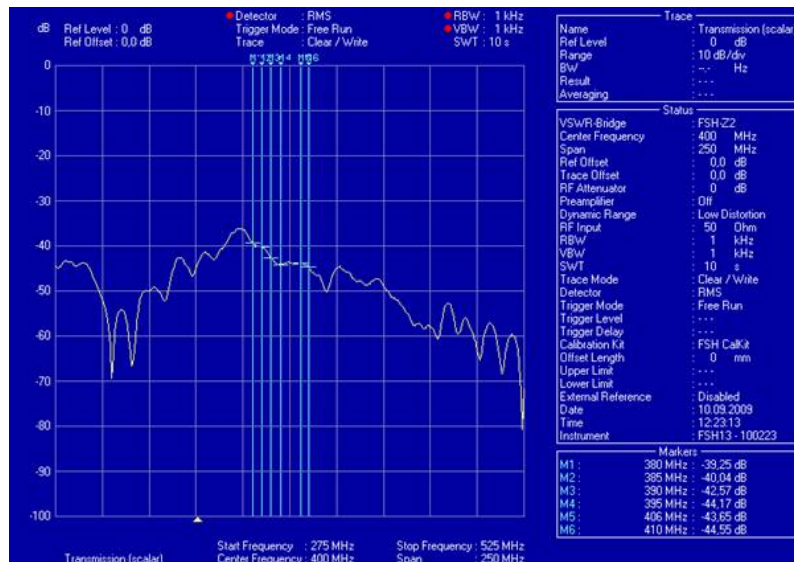


Abbildung 23: Beispiel für die Messung der Antennen-Entkopplung

11.4 Signallaufzeiten

Die Messung der Signallaufzeiten ist erforderlich, wenn Funksignale mehrerer aktiver Sendeeinrichtungen auf denselben Frequenzkanälen ausgesendet werden, deren Signallaufzeiten größere Unterschiede aufweisen. Dies ist bei der Realisierung mit Repeatern gemäß der Abschnitte 7.1.3 und 7.1.4 und bei Verwendung mehrerer Einspeisepunkte der Fall. Zur Messung der Signallaufzeiten kommt folgende Messanordnung zum Einsatz. Beim Einsatz separater Basisstationen wird üblicherweise die Signaltrennung im Frequenzbereich realisiert.

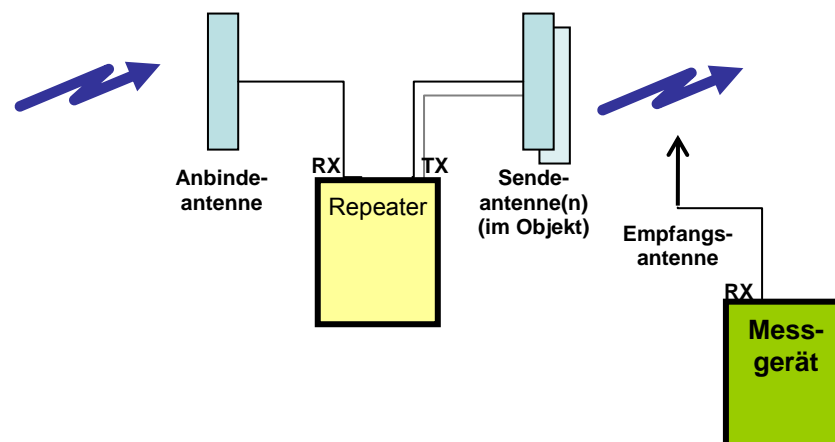


Abbildung 24: Messaufbau zur Messung der Signallaufzeiten

Als Messgerät kann nur ein Präzisionsempfänger eingesetzt werden, der die Fähigkeit besitzt, Signalkomponenten mit Laufzeitunterschieden im Bereich weniger μs aufzulösen. Als Ergebnis erhält man die sog. Kanalimpulsantwort, bei der Zeitpunkt und Leistung der aufgelösten Signalkomponenten dargestellt werden.

11.5 Funkversorgung im Objekt

Zur Messung der Funkversorgung im Objekt wird die Empfangsfeldstärke bei betriebener Versorgungsanlage mit der gleichen Messanordnung erfasst, wie für die Messungen ohne zusätzliche Versorgung (vgl. Abschnitt 11.1). Hierbei erfordert der Einsatz meist ein tragbares System für die Messungen wie beispielsweise in Gebäuden.

Die Messungen dienen dabei der Ermittlung der Funkversorgung innerhalb des Objektes zur Validierung der realisierten Objektversorgung. Durch intensive Messungen innerhalb des Objektes

lässt sich die notwendige Verstärkung für einen Repeater optimieren, so dass das gewünschte Versorgungsziel bei minimaler Verstärkung erreicht wird. So werden störende Einflüsse auf das umgebende Netz minimiert.

11.6 Außenwirkung

Die Ermittlung der Außenwirkung bei betriebener Versorgungsanlage wird mit der gleichen Messanordnung erfasst, wie für die Messungen ohne zusätzliche Versorgung (vgl. Abschnitt 11.1).

Die Messungen dienen dabei zur Bestimmung der außerhalb des Objektes erzeugten Störungen durch den Betrieb aktiver Anlagen (Repeater). Die tatsächlich auftretenden Störungen oder Interferenzen lassen sich mit Hilfe vergleichender Messungen ohne und mit Betrieb der Anlage ermitteln (vgl. Abschnitt 11.1).

12 Literaturverweis

- [1] Allgemeine Anforderungen an Feuerwehr-Gebäudefunkanlagen, Deutscher Feuerwehrverband DFV
www.feuerwehrverband.org/fachthemen/fa3/empfehlung_gebaeudefunkanlagen.pdf
- [2] Desensibilisierung der TBS durch TMO – Repeater, EADS
- [3] Intersymbolinterferenz in Strahlerkabeln mit Ringeinspeisung, EADS
- [4] Anforderung LWL-Kabel vom 27.02.09, EADS
- [5] Schnittstellen und Übergabepunkte, EADS (wird zurzeit erstellt)
- [6] Stellungnahme zu bandselektiven Repeatern vom 03.07.2009, EADS
- [7] Messkonzept für das BOS-Digitalfunknetz, Teil 2: Funkversorgungsmessungen, BDBOS (aktuelle Version 1.4 vom 18.06.2009)
- [8] Richtlinie – Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln (Stand:01.07.2008), DB AG
http://www.eba.bund.de/nn_342610/DE/Infothek/Infrastruktur/Tunnelbau/tunnelbau_node.html?__nnn=true