



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 Be-  
hörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben  
(BOS) in der Bundesrepublik Deutschland**

---

**Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit  
Sicherheitsaufgaben (BDBOS), PG NA**

Fehrbelliner Platz 3, 10707 Berlin  
Postanschrift: 11014 Berlin

**Version V3.01 – 20.06.2014**

## Inhaltverzeichnis

<b>INHALTVERZEICHNIS</b>	<b>2</b>
<b>HISTORIE</b>	<b>5</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>6</b>
<b>VORBEMERKUNG</b>	<b>7</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
<b>2 RECHTLICHE VORGABEN UND RANDBEDINGUNGEN</b>	<b>10</b>
2.1 <b>Bauordnungsrecht</b>	<b>10</b>
2.1.1 Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT	10
2.1.2 Richtlinie über die Anforderungen an Eisenbahntunnel	11
2.1.3 Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab	11
2.2 <b>Nutzung und Verteilung der Kosten</b>	<b>11</b>
2.2.1 Errichtung einer Objektfunkanlage	11
<b>3 ANFORDERUNGEN AN OBJEKTFUNKANLAGEN</b>	<b>13</b>
3.1 <b>Verfügbarkeit (permanent / Bedarfsfall)</b>	<b>14</b>
3.2 <b>Redundanzvorgaben</b>	<b>14</b>
3.3 <b>Kapazität und Versorgungskategorie im Gebäude</b>	<b>14</b>
3.4 <b>Weitergehende taktische Forderungen</b>	<b>14</b>
<b>4 ANFORDERUNGEN AN DIE SICHERHEIT</b>	<b>15</b>
<b>5 TECHNISCHE REALISIERUNGSMÖGLICHKEITEN</b>	<b>16</b>
5.1 <b>TMO-Varianten für einzelne Objekte</b>	<b>16</b>
5.1.1 Eigene Basisstation im Objekt	17
5.1.2 HF-Ankopplung an einer Freifeld-Basisstation	18
5.1.3 Speisung eines aktiven Verteilsystems über Ankopplung einer Freifeld-Basisstation	19
5.1.3.1 Mehrfach-Objekt-Anbindung über Lichtwellenleiter (Metropolenkonzept)	20
5.1.4 Repeater-Anbindung über Luftschnittstelle an eine Freifeld-Basisstation	22
5.1.4.1 Mehrfach-Objekt-Anbindung über die Luftschnittstelle (Schirmzelle)	23
5.1.5 Passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne	25
5.2 <b>Objektversorgung im DMO</b>	<b>25</b>

5.2.1	DMO-Repeater	26
5.2.1.1	DMO- 1A Repeater	26
5.2.1.2	DMO- 1B Repeater	26
5.2.1.3	Frequenzplanung für DMO-Repeateranlagen	27
<b>5.3</b>	<b>Autarke Basisstation in der Objektversorgung</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Verteilsystem im Objekt</b>	<b>28</b>
5.4.1	Optische Verteilnetze	28
5.4.2	Schlitzkabel	28
5.4.3	Antennen	29
<b>5.5</b>	<b>Technische Anforderungen an TMO-Repeater</b>	<b>29</b>
5.5.1	Uplink-Stummschaltung	30
<b>5.6</b>	<b>Anforderungen an sonstige Komponenten</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>STRATEGIE ZUR OBJEKTVERSORGUNG</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>Objektversorgung über eigene Basisstation</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>Objektversorgung über TMO-Repeater</b>	<b>31</b>
<b>6.3</b>	<b>Objektversorgung über DMO-Repeater oder eine autarke Basisstation</b>	<b>32</b>
<b>6.4</b>	<b>Objektversorgung über passive Einspeisung</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>SCHNITTSTELLEN, VERANTWORTLICHKEITEN, NOTWENDIGE MAßNAHMEN</b>	<b>34</b>
<b>7.1</b>	<b>Objektversorgung mittels Repeater / autarke Basisstation</b>	<b>34</b>
7.1.1	Anmeldung und Definition der Anlage	34
7.1.2	Abnahme und Inbetriebnahme	35
<b>7.2</b>	<b>Objektversorgung mittels eigener Basisstation</b>	<b>35</b>
7.2.1	Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss	35
7.2.2	Anbindung der Basisstation an das Zugangsnetz	35
<b>7.3</b>	<b>Einbindung einer Objektfunkanlage in das BOS-Netz</b>	<b>36</b>
7.3.1	Kapazität	36
7.3.2	Frequenzzuweisung und –beantragung	36
<b>7.4</b>	<b>Standortbescheinigung und Inbetriebnahmeanzeige</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>PLANUNGSRICHTLINIEN</b>	<b>38</b>
<b>8.1</b>	<b>Erweiterung bestehender Anlagen</b>	<b>38</b>
<b>8.2</b>	<b>Antennenisolation (Entkopplung)</b>	<b>38</b>
<b>8.3</b>	<b>Signallaufzeit</b>	<b>39</b>
<b>8.4</b>	<b>Rauschbeitrag des Repeaters</b>	<b>40</b>

<b>8.5</b>	<b>Redundante Signaleinspeisung</b>	<b>40</b>
<b>8.6</b>	<b>Feldstärkevorgaben und Zellwechsel</b>	<b>41</b>
<b>8.7</b>	<b>Frequenznutzung und Kriterien für störungsfreien Betrieb</b>	<b>42</b>
<b>8.8</b>	<b>Zusätzlicher Einsatz von Außenantennen</b>	<b>42</b>
8.8.1	TMO-Objektfunkanlagen	42
<b>9</b>	<b>MESSUNGEN</b>	<b>43</b>
<b>9.1</b>	<b>Funkversorgung am Objekt</b>	<b>43</b>
	<i>Abbildung 16: Beispielhafte Best Server Versorgung um ein Objekt</i>	45
9.1.1	Abnahmemessungen für Objektfunkanlagen	45
<b>9.2</b>	<b>Empfangsspektrum der Anbindeantenne („Panorama-Messung“)</b>	<b>46</b>
9.2.1	Messantennen	46
9.2.1.1	Rundstrahlantenne	46
9.2.1.2	Richtantennen	47
9.1.2	Ableitungen aus der Messung	48
<b>9.3</b>	<b>Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne</b>	<b>49</b>
<b>9.4</b>	<b>Funkversorgung im Objekt (Funktionale Abnahme)</b>	<b>50</b>

## Historie

Version	Bemerkungen
0.1	<b>Entwurf</b>
0.2	<b>Einarbeitung Kommentare aus AG Objektversorgung</b>
0.3	<b>Einarbeitung weiterer Kommentare</b>
0.4	<b>Umstrukturierungsvorschlag der UAG</b>
0.9	<b>Einarbeitung der Kommentare aus Bund und Ländern und der Workshop-Ergebnisse, Version für Umlaufbeschluss und Versand</b>
1.0	<b>Abgestimmte Version von Bund, Ländern und BDBOS</b>
1.1	<b>Integration Arbeitspapier, Kommentare Axell Wireless und EADS, Anpassung Abschnitt zu Produktbibliothek</b>
1.2	<b>Integration des „Technischen Konzeptes zur Planung und Realisierung von Objektversorgungen“ 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</b>
1.3	<b>Generelle Anpassung an neue Erkenntnisse, Präzisierungen und editorische Überarbeitung Ergänzung der neuen Abschnitte 6.5, 6.6 und 8.1 Änderungen und Ergänzungen in Abschnitt 4.1, 6.2.2, 8.3, 9.4, 9.10, 9.11, 10.1 und 10.5</b>
2.0	<b>Editorische Überarbeitung Änderungen und Ergänzungen in Abschnitten 5.1 bis 5.7, 6.5.3, 6.7, 8.3.2 und 8.3.3, 10.1, 10.4 Abgestimmte Version von Bund, Ländern und BDBOS</b>
3.0	<b>Vollständige editorische Überarbeitung</b>
3.01	<b>Änderungen nach juristischer Bewertung eingearbeitet</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BNetzA	Bundesnetzagentur
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der BOS
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
DL	Downlink (Verbindung Basisstation zu Mobilstation)
DMO	Direct Mode Operation
DN2	Dynamic Node Equipment – 2MBit/s Cross-Connect –Multiplexer
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	Inter System Interface
LM	Leistungsmerkmal des Systemliefervertrages
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(c) TBS	TETRA Basisstationen der EADS
TMR	Trunked Mode Repeater (Repeater im TMO-Betrieb)
TMO	Trunked Mode Operation
TMOa	autarke Basisstation (ohne Netzanbindung)
TRX	Transceiver (Sende- und Empfangsteil der Basisstation)
TX	Transmitter (Sender)
UL	Uplink (Verbindung Mobilstation zu Basisstation)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VSA	Verschlussachenanweisung
VStättVO	Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (Stehwellenverhältnis)

## **Vorbemerkung**

Dieser Leitfaden richtet sich an die am Baugenehmigungsverfahren beteiligten Behörden und an die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), an entsprechende Fachgremien sowie Planungsbüros, Fachfirmen und Objekteigentümer.

Neben diesem allgemeinen Leitfaden in den Ländern und Kommunen existierende Konzepte, Regelungen und Richtlinien zur Objektversorgung sind bei der Planung, Genehmigung und Errichtung von Objektfunkanlagen zu berücksichtigen.

Das Digitalfunknetz befindet sich nach wie vor im Aufbau, wird aber auch nach Fertigstellung ständiger Veränderungen und Weiterentwicklungen unterliegen. Die daraus gewonnene neue Erkenntnisse und Erfahrungen werden auch zukünftig in den Leitfaden einfließen, der somit einem stetigen Aktualisierungsprozess ausgesetzt ist.

## 1 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 Objekten ermöglichen. Zur Sicherstellung der Grundversorgung durch Standorte des Freifeldes berücksichtigen die Funkversorgungskategorien 3 und 4 einen pauschalen Dämpfungswert von 9 dB. 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. Unabhängig von der flächenmäßigen Zuordnung zur Funkversorgungskategorie sind daher bei einer Vielzahl von Objekten zusätzliche technische Maßnahmen erforderlich, 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 Objekten ist eine sicherheitsrelevante Forderung von Feuerwehren, Polizei und Rettungskräften. Kapitel 2 dieses Leitfadens beschreibt daher, 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 den BOS vorbehalten. Grundsätzlich legen die BOS, basierend auf einsatztaktischen Gesichtspunkten, die Anforderungen an die Objektversorgung fest, die in Kapitel 3 beschrieben werden. Davon unberührt bleiben Regelungen der BDBOS im Hinblick auf ihre Rechte als Frequenzinhaberin und Netzbetreiberin im Rahmen ihrer Verantwortung zur Gewährleistung und Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit eines bundesweiten Digitalfunknetzes für alle BOS.

Des Weiteren werden in Kapitel 3 Begriffe wie „Verfügbarkeit“ und „Redundanz“ definiert, um ein gemeinsames Verständnis zu schaffen.

So unterschiedlich wie die Objekte sind auch die technischen Möglichkeiten zur Realisierung der Objektversorgung. So kann bei kleinen Gebäuden eine passive Versorgung des außen vorliegenden Funksignals ausreichen.

Größere Objekte dagegen benötigen eine zum Teil sehr komplexe Objektfunkanlage, die den Digitalfunk im gesamten Innenbereich verteilt. In Ausnahmefällen kann eine eigene Basisstation zur Versorgung notwendig sein. Kapitel 5 stellt die technischen Möglichkeiten vor und beschreibt die Vor- und Nachteile der Realisierungskonzepte.

In Kapitel 6 werden mögliche technische Lösungsansätze den verschiedenen Objekttypen zugeordnet, für die eine Objektversorgung in Frage kommt. Zudem wird die strate-



gische Herangehensweise an die Planung einer Objektversorgung und die Auswahl der geeigneten Alternative beschrieben.

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 7 behandelt.

Werden Objektversorgungen an das BOS Digitalfunk -Netz angebunden, ergeben sich zwangsläufig Rückwirkungen auf die Freifeldversorgung.. Eine negative Beeinträchtigung der Freifeld-Versorgungsgüte muss vermieden werden, so dass bestimmte Randbedingungen bei Konzeption und Aufbau der Objektversorgung einzuhalten sind. Kapitel 8 beschreibt diese Randbedingungen in Form von Planungsrichtlinien.

In Kapitel 9 wird abschließend die Durchführung von vorbereitenden sowie validierenden Messungen anhand von konkreten praktischen Beispielen erläutert.

## 2 Rechtliche Vorgaben und Randbedingungen

### 2.1 Bauordnungsrecht

Gesetzliche Regelungen, auf deren Grundlage die Eigentümer oder Nutzer eines Gebäudes oder Bauwerkes zur Installation einer Objektfunkanlage 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 Auflagen zur Gewährleistung eines ausreichenden Brandschutzes gemacht werden können. Eine der Auflagen, die dem Eigentümer bzw. Nutzer in diesem Zusammenhang aufgegeben werden können, ist die Gewährleistung einer (digitalen) Funkversorgung für die Feuerwehr im und ggf. um das Gebäude herum. Dies impliziert die Vorgabe zum Einbau einer BOS-Objektfunkanlage für den Fall, dass das Gebäudeinnere nicht gänzlich durch die vorhandene Freifeldversorgung mit ausreichendem Funkpegel erreicht wird.

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 zuständigen BOS, 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 aufgezählt und, soweit bundesweit gültig, erläutert.

Diese umfassen

- Versammlungsstättenverordnungen (VStättVO), Sonderbauverordnungen (SonderbauVO), Brandschutzgesetze (*jeweiliges Landesrecht*)
- die Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln - RABT
- die Richtlinie über die Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln,

sowie

- die Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab.

Im Interesse eines einheitlichen und sicheren Betriebes des Digitalfunks BOS sollten alle Objekte möglichst in der Weise ausgestattet werden, dass die hohen Standards des Digitalfunks BOS erfüllt werden.

Bestehende Anlagen genießen grundsätzlich Bestandsschutz.

#### 2.1.1 Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT

Die Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) gelten für

- Neuanlagen mit einer geschlossenen Länge ab 80 m,
- Bestandsanlagen mit einer geschlossenen Länge ab 400 m,
- Für Bestandsanlagen mit einer geschlossenen Länge ab 80 m, sofern verhältnismäßig.

Gemäß RABT müssen in solchen Tunneln „die benannten Funkdienste in den genannten Bereichen unterbrechungsfrei zur Verfügung stehen“.

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, weswegen auch bei vorhandenen analogen OV-Anlagen Forderungen zur Nachrüstung erhoben werden können.

### **2.1.2 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.“*

Die Richtlinie gilt für Eisenbahntunnel ab 500 m Länge. Bestehende Objekte genießen Bestandschutz.

### **2.1.3 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.“*

## **2.2 Nutzung und Verteilung der Kosten**

Die Nutzung der BOS-Objektfunkanlagen darf nur durch „Berechtigte“ i. S. von § 4 BOS-Funkrichtlinie erfolgen. Dies gilt nicht für die Mitnutzung vorhandener Antennennetzwerke/Verteilssysteme anderer Betreiber. Daher sind die Funkanlagen nach der Fertigstellung den BOS zur Nutzung zu überlassen. Die Kosten der Beschaffung, Installation und Unterhaltung der Funkanlagen trägt jedoch der jeweilige Bauherr bzw. der Eigentümer des Objekts.

### **2.2.1 Errichtung einer Objektfunkanlage**

Wird ein Bauherr nach bestehender Gesetzeslage durch eine entsprechende Auflage zur Baugenehmigung zur Installation einer Funkversorgungsanlage verpflichtet, bleibt es dem Bauherrn – im Rahmen der von der zuständigen Brandschutzbehörde gemachten

Vorgaben – grundsätzlich überlassen, welche technische Lösung 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 von der zuständigen Feuerwehr (bzw. Brandschutzbehörde) und der BDBOS als Frequenzinhaberin zur Vermeidung von störenden Rückwirkungen auf das Netz gebilligt werden.

Über die BDBOS erfolgt gegebenenfalls auch die erforderliche Anmeldung der Anlage bei der Bundesnetzagentur. Nach ihrer Fertigstellung wird die Funkanlage auf ihre Wirksamkeit und Betriebssicherheit durch die fordernde BOS (bzw. Brandschutzbehörde) überprüft (Funktionsprüfung). Vor endgültiger Inbetriebnahme attestiert die BDBOS anhand einzureichender Messprotokolle die sogenannte „Rückwirkungsfreiheit“ auf die Freifeldversorgung. Weitere Details werden in der Prozessbeschreibung in Kapitel 7 beschrieben.

### 3 Anforderungen an Objektfunkanlagen

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 folgende taktisch / betriebliche Anforderungen der BOS, die grundsätzlich auch in einem Gebäude zu erfüllen sind:

In TMO und in DMO realisierbar:

- Kommunikation aller BOS untereinander im Gebäude und zum Außenbereich und umgekehrt,
- Notruffunktionalität, (in DMO/TMOa nur innerhalb der Gruppe/autarken Zelle)
- Bildung von funktionalen statischen Gruppen
- sichere Übertragung, Abhörsicherheit / Verschlüsselungskonzept
- Führen von Kräften im mobilen Einsatz, (im DMO mit Reichweitenbeschränkung)
- flächendeckende Funkversorgung in und um das Gebäude herum
- hohe Sprachqualität, Empfindlichkeit, Störsicherheit sowie ein hohe Verfügbarkeit

In TMO realisierbar:

- Einzelruf und Telefonie;
- Führung über Leitstellen / Priorisierung der Leitstellen
- SDS-Funktionalitäten / Alarmierung / Übermittlung von taktischen Statusmeldungen
- Bildung von funktionalen dynamischen Gruppen

In DMO realisierbar:

- Kommunikation von zwei oder mehreren Endgeräten untereinander ohne Netzinfrastruktur.

Die Rechtsgrundlage zur Forderung nach Errichtung einer Objektfunkanlage ist wie bereits beschrieben mehrheitlich im vorbeugenden Brandschutz zu finden und soll somit den Einsatz der Feuerwehr im Brandfall im Gebäude gewährleisten. Ein mit der Einführung des Digitalfunks verbundenes Ziel, ein einheitliches Netz für alle BOS aufzubauen, sollte aber auch allen BOS-Kräften die Möglichkeit eröffnen, das verfügbare Netz zu nutzen.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass die Funkversorgung des BOS-Netzes auch in Gebäuden die volle Funktionalität von Tetra nur im Netzbetrieb (TMO), nicht aber mit dem Inselbetrieb (DMO) gewährleistet. Die Betriebsart DMO gilt im Übrigen laut ETSI-Spezifikation als Rückfallstufe und wird auch zukünftig nicht weiter entwickelt.

Darüber hinaus werden DMO betriebene Objektfunkanlagen zudem nur im (Feuerwehr-) einsatzfall eingeschaltet (s. Kapitel 3.1). Andere BOS sind somit grundsätzlich von der Nutzung dieser Anlagen ausgeschlossen. Aus den genannten Gründen sollte angestrebt werden, eine netzangebundene Versorgung auch in Gebäuden sicherzustellen und von diesem Grundsatz nur dort abzuweichen, wo eine Netzanbindung nicht bzw. nur unter unverhältnismäßig hohem Aufwand realisiert werden kann oder die Nutzung der Anlage tatsächlich nur durch eine BOS (Feuerwehr) zu erwarten ist.

### **3.1 Verfügbarkeit (permanent / im Bedarfsfall)**

In Abhängigkeit vom Bedarf der jeweiligen BOS-Kräfte wird bei Objektversorgungen nach permanenter Nutzung und nach Nutzung im Bedarfsfall unterschieden.

In TMO betriebene Objektfunkanlagen sind permanent zu betreiben. Dadurch werden eine ständige Überwachung und eine fehlerfreie Funktion gewährleistet. Gleichzeitig wird so die Rückwirkung auf das Netz permanent überprüft.

In DMO/TMOa betriebene Objektfunkanlagen werden grundsätzlich nur im Bedarfsfall betrieben. Dabei wird die Funkanlage im Einsatzfall manuell oder aber automatisch (z.B. durch Auslösen der Brandmeldeanlage, Ferneinschaltung über die Leitstelle) ein- bzw. ausgeschaltet.

### **3.2 Redundanzvorgaben**

Damit die Objektversorgung auch im Falle eines schädigenden Ereignisses sichergestellt ist, wird durch in den Merkblättern der Feuerwehr in der Regel eine redundante Ausführung der Objektfunkanlage 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 Kapitel 8 dargelegt. Konkrete Redundanzvorgaben werden in den Mustervorgaben der Länder beschrieben.

### **3.3 Kapazität und Versorgungskategorie im Gebäude**

Bei der Nutzung von TMO-Repeatern ist der Frequenzbedarf durch die Anbinde-Basisstation vorgegeben, da alle Kanäle im Objekt reproduziert werden müssen. Um nachträgliche Veränderungen bei der Anbinde-Basisstation (z.B. Wechsel der Basisstation, Einbau weiterer Träger etc.) berücksichtigen zu können, ist das Abstrahlnetzwerk auf die größtmögliche Trägerzahl (lt. Tetra-Standard 8 TRX) auszulegen. Erfolgt die Anbindung an eine ausschließlich zur Objektversorgung genutzte Basisstation (z.B. im Rahmen des Metropolenkonzeptes), ist dies nicht erforderlich.

Die Festlegung der Kapazität von OV-Basisstationen erfolgt unter Berücksichtigung der taktischen Anforderungen der Bedarfsträger (BOS) an die Objektfunkanlage.

Detaillierte Planungsvorgaben zur Feldstärke im Objekt sowie im Außenbereich des Objektes werden in Kapitel 8 gegeben.

### **3.4 Weitergehende taktische Forderungen**

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

Die behördlichen Anforderungen sind in Merkblättern zur Objektfunkversorgung bei den zuständigen Dienststellen (Brandschutzbehörden) abrufbar.

## 4 Anforderungen an die Sicherheit

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

Das geschieht je nach Anlagentyp (DMO-Repeater, TMO-Repeater, TMO-Basisstation) in unterschiedlicher Weise.

Grundsätzlich gelten für Objektfunkanlagen die einschlägigen Bestimmungen der landesspezifischen Vorschriften und Richtlinien der fordernden BOS (z.B. Feuerwehr).

Darüber hinaus, ist die Einhaltung der IT-Sicherheit (BSI Grundschutz), materiellen Sicherheit und dem Geheim-/Sabotageschutz zum Schutz des Digitalfunknetzes und dessen Nutzer erforderlich.

Die notwendigen Maßnahmen (materielle Sicherheit, IT-Sicherheit und Geheimschutzes) sind Einzelfall-spezifisch mit den autorisierten Stellen der Länder und der BDBOS abzustimmen und dementsprechend durchzuführen. Das geschieht in enger Anlehnung an das interne Planungshandbuch zur Errichtung von Basisstationen, den Vorschriften aus dem Dokument „Maßnahmen zur materiellen Sicherheit“ und dem Schutzbedarf Digitalfunk BOS. Die festgelegten Sicherheitsstandards werden in dem zwischen Objekteigentümer und der BDBOS als Netzbetreiber abzuschließenden Verwaltungsvertrag für den betreffenden Einzelfall festgeschrieben.

Sollten dem Objekteigentümer oder dem von ihm beauftragten Planer /Errichter der jeweiligen Objektfunkanlagen zur Erfüllung ihrer Aufgabe sicherheitsrelevant eingestufte Dokumente durch die BDBOS oder durch andere Behörden zur Verfügung gestellt werden, sind die entsprechenden Verschlusssachenanweisungen des Bundes und der Länder zur Nutzung und Aufbewahrung zu beachten.

## 5 Technische Realisierungsmöglichkeiten

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

Während die netzangebundene Versorgung (TMO) die volle Funktionalität des BOS-Digitalfunks auch im Gebäude abbildet, erlaubt die DMO-Versorgung im Gebäude wegen der fehlenden Anbindung an das Digitalfunknetz nur die Kommunikation innerhalb der jeweiligen DMO-Rufgruppe (1 Kanal) mit örtlich begrenzter Reichweite. Letzteres gilt auch für die unter Ziffer 5.3 beschriebene Versorgung eines Objektes durch eine nicht im Netz betriebene Basisstation (TMOa). DMO wird von vielen Feuerwehren für den Einsatzstellenfunk genutzt und dient allen BOS als Rückfallebene bei einem etwaigen Netzausfall.

Jedes zusätzlich in das Digitalfunk BOS-Netz eingebrachte Element verursacht Rückwirkungen auf die Freifeldversorgung. Daher sind bei der Planung der Objektversorgung Randbedingungen zu beachten, die im Anschluss an die jeweiligen Lösungsansätze dargestellt werden. Zudem sind die in Kapitel 8 beschriebenen Planungsrichtlinien zu berücksichtigen.

Welche der dargestellten technischen Lösungsmöglichkeiten in einem konkreten Anwendungsfall zum Einsatz kommt, ist darüber hinaus abhängig von den taktischen Konzepten der jeweiligen BOS. Die technische Konzeption muss deshalb mit der zuständigen Autorisierten Stelle und den jeweiligen Nutzern der digitalen Objektfunkanlage abgestimmt werden.

Mobile Lösungsmöglichkeiten zur Objektversorgung, wie die Anwendung des DMO Repeatermodus in einem Handsprechgerät, sowie die Verwendung eines TMO/DMO-Gateway-Repeaters zur Verknüpfung der DMO-Kommunikation aus dem Gebäude mit dem Freifeldnetz sind kurzfristig als taktisches Hilfsmittel einzusetzen, stellen aber keine dauerhafte Objektfunkanlage im Sinne dieses Leitfadens dar und werden dem entsprechend nicht weiter betrachtet.

### 5.1 TMO-Varianten für einzelne Objekte

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

- Versorgung des Objektes durch eine eigene Basisstation,
- HF-Auskopplung an einer Freifeld-Basisstation,
- Speisung eines aktiven Verteilsystems über Auskopplung einer Freifeldbasisstation,
- Repeater-Anbindung über Luftschnittstelle an eine Freifeld-Basisstation mittels gerichteter Antenne
- Passive Einkopplung

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 aufgeführt.



### 5.1.1 Eigene Basisstation im Objekt

Eigene Basisstationen im Objekt werden im Rahmen der Objektversorgung dort eingesetzt, wo aufgrund der Größe und Komplexität des entsprechenden Objektes 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.

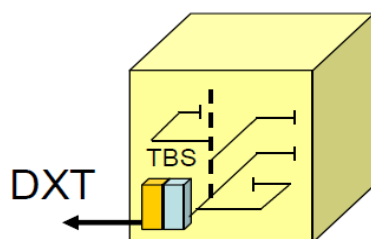


Abbildung 1: Eigene Basisstation im Objekt

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

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Nutzung von Kapazität an der Vermittlungsstelle (DXT)	Kapazitätsbereitstellung an der DXT und evtl. am DN2
Zusätzliche Anbindung im Zugangsnetz	Bereitstellung einer E1-Anbindung vom Objekt zur nächsten TBS bzw. zweier E1-Anbindungen zur Ringeinbindung. lfd. Leitungskosten
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erhöhung der Kapazitäten der Trägerverwaltung in der DXT
<b>Funknetz</b>	
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erweiterung des Frequenzplanes und Parametergenerierung
<b>Netzmanagement</b>	
Weiteres Netzelement mit Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
<b>Infrastruktur</b>	
Besonders geschützte Räumlichkeit für TBS mit Übergabepunkten für Festnetzanbindung und Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden
Beschaffung TB3	Technikkosten

Tabelle 1: Besonderheiten und Folgen für eigene Basisstationen im Objekt

### 5.1.2 HF-Ankopplung an einer 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 Richtkoppler aus dem Antennensystem der Freifeldfunkanlage ausgekoppelt und per Koaxial-Leitung zum Antennensystem des Objektes geführt und dort eingekoppelt. Es bleibt nahezu die gesamte Ausgangsleistung der BS zur direkten Versorgung der Freifeldfunkzelle verfügbar und nur ein Bruchteil der Leistung wird für die Objektversorgung abgezweigt.

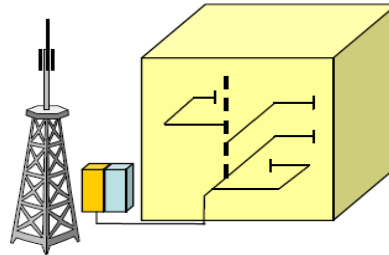


Abbildung 2: Direkte HF-Ankopplung an Freifeld-Basisstation

Abbildung 2: Direkte HF-Ankopplung an Freifeld-Basisstation

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

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Keine	
<b>Funknetz</b>	
Zusätzliche Verkehrslast in vorhandene Zelle möglich. Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsabschätzung u. -überwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Geringfügige DL-Leistungsreduzierung für die Freifunkzelle (je nach Koppelgrad)	Verringerung der Funkabdeckung ist im planerischen Vorfeld zu bewerten und einzubeziehen.
<b>Infrastruktur</b>	
Zusätzliche Richtkoppler für Sende- und Empfangspfad	
Kabeldämpfung beschränkt Kabellänge	Begrenzung für Entfernung zum Objekt
Bereitstellung von Übergabepunkten in das Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 2: Besonderheiten und Folgen für direkte HF-Ankopplung

### 5.1.3 Speisung eines aktiven Verteilsystems über Ankopplung einer Freifeld-Basisstation

Das Objekt wird mittels aktivem Verteilsystems versorgt. Die Verstärker des Verteilsystems werden über Lichtwellenleiter (LWL) an eine Basisstation angebunden, von der das Versorgungssignal ausgekoppelt wird.

Bei dieser Lösungsvariante wird die zuvor beschriebene direkte HF-Ankopplung initial genutzt.

Bei optischen Systemen wird das ausgekoppelte HF-Signal über eine Koaxial-Leitung zum elektrooptischen Wandler (OMU) geführt, in ein optisches Signal gewandelt und über LWL übertragen. Im Objekt wird das optische Signal zurück gewandelt, verstärkt und über das Antennensystem des zu versorgenden Objektes ausgesendet bzw. empfangen. Die optische Zwischenwandlung dient der verlustärmeren Übertragung.

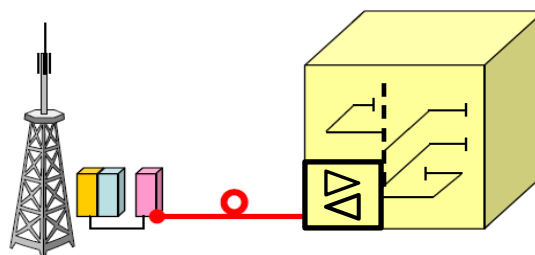


Abbildung 3: Repeater mit Anbindung über LWL

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Keine	
<b>Funknetz</b>	
Zusätzliche Verkehrslast in vorhandene Zelle möglich. Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsprognose u. - Überwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
DL-Leistungsreduzierung für die Freifunkzelle (je nach Auskoppelgrad)	Verringerung der Funkabdeckung ist im planerischen Vorfeld zu bewerten und einzubeziehen.
Empfänger-Rauschen der TBS wird durch Anbindung vom aktiven System erhöht	Desensibilisierung der Anbinde-TBS ist zu begrenzen ( $\leq 1\text{dB}$ ). Über Auslegung des aktiven Systems sicherstellen Alternative: Separater RX (freier RXD-Eingang)
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang	Systemgrenzen für Laufzeitdifferenzen beachten ( $< 14 \mu\text{s}$ , Laufzeitverzug in Faser)
Zellgrenzen übergreifende Anbindung der OV (möglich).	Einbeziehung in Frequenzplan und Parametergenerierung. Störenden Wirkungen auf das Freifeldnetz vermeiden

<b>Netzmanagement</b>	
Eine Sammelalarmmeldung über dedizierten BS-Alarmkontakt möglich	Umgang mit der Fehlermeldung ist festzulegen
<b>Infrastruktur</b>	
Zusätzliche Richtkoppler für Sende- und Empfangspfad	Installation erfordert formale Vorgehensweise über AS und BDBOS. Zusätzliche Kosten
Derzeitig LWL erforderlich, d. h. es dürfen sich keine aktiven Elemente auf der Leitung befinden	Faserstrecke von der TBS bis zum Objekt ist bereitzustellen
Optische Dämpfung beschränkt Kabellänge	Beachtung in Planung.
Betriebsraum für elektrooptischen Wandler (OMU) in TBS-Nähe notwendig mit zusätzlichen Übergabepunkten für Festnetzanbindung (LWL)	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

Tabelle 3: Besonderheiten und Folgen für Repeater mit Anbindung über LWL

### 5.1.3.1 Mehrfach-Objekt-Anbindung über Lichtwellenleiter (Metropolenkonzzept)

Bei einer örtlichen Konzentration von zu versorgenden Objekten in Ballungsräumen ist eine Anbindung mehrerer Objekte über ein optisches Verstärkersystem (Master-Unit) an eine exklusiv für die Gebäudefunkversorgung vorgehaltenen Basisstation sinnvoll. Dabei wird das Versorgungssignal über Lichtwellenleiter in die zu versorgenden Objekte transportiert und in das Verteilsystem des jeweiligen Objekts eingespeist. Diese leitungsgebundene Anbindung garantiert die geringstmögliche Beeinflussung der Freifeldversorgung durch störende Rückwirkungen.

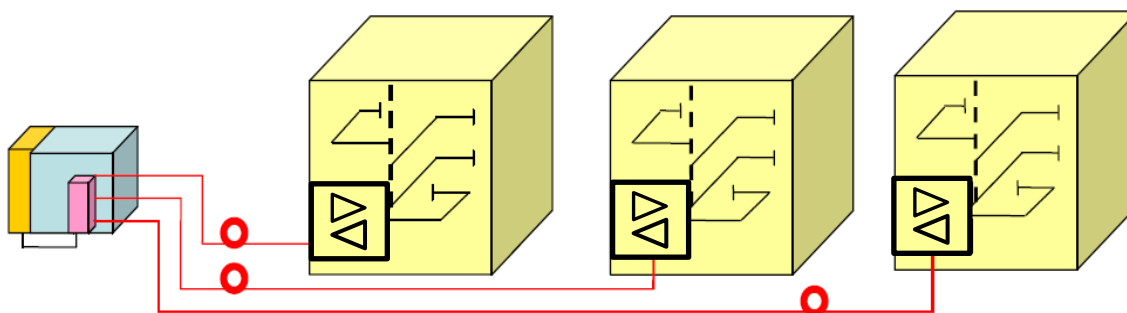


Abbildung 4: Anbindung mehrerer Repeater über LWL

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Nutzung von Kapazität an der Vermittlungsstelle (DXT)	Kapazitätsbereitstellung an der DXT und evtl. am DN2, ggf. Schwenk vorhandener Ringe an andere DXT
Zusätzliche Anbindung im Zugangnetz	
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erhöhung der Kapazitäten der Trägerverwaltung in der DXT
<b>Funknetz</b>	
Einbringen neuer Trägerfrequenzen (TRXe)	Erweiterung des Frequenzplanes und Parametergenerierung
Kapazität von 2 Trägern in Erstausrüstung.	Verkehrsprognose u. - Überwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Empfänger-Rauschen der TBS wird durch Anbindung vom aktiven System erhöht	Desensibilisierung der Anbinde-TBS ist zu begrenzen . Über Auslegung des aktiven Systems sicherstellen. Alternative: Separater RX (freier RXD-Eingang)
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang (direkter Pfad und Objektversorgung oder Objektversorgungen untereinander)	Systemgrenzen für Laufzeitdifferenzen beachten
Zellgrenzen übergreifende Anbindung der OV (möglich).	Einbeziehung in Frequenzplan und Parametergenerierung. Es darf zu keinen störenden Wirkungen auf das Freifeldnetz kommen.
<b>Netzmanagement</b>	
Weiteres Netzelement mit Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
OV-Sammelalarmmeldung über BS-Alarm möglich.	Umgang mit der Fehlermeldung ist festzulegen.
<b>Infrastruktur</b>	
Besonders geschützte Räumlichkeit für TBS mit Übergabepunkten für Festnetzanbindung und elektrooptischen Wandlern mit zusätzlichen Übergabepunkten für Festnetzanbindung als LWL	Die festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden
Beschaffung TB3	Technikkosten.

Tabelle 4: Besonderheiten und Folgen für die Anbindung mehrerer Repeater über LWL

### 5.1.4 Repeater-Anbindung über Luftschnittstelle an eine Freifeld-Basisstation

Bei dieser Lösungsvariante erfolgt die Repeater-Anbindung an das Netz durch eine gerichtete Anbindeantenne an eine Basisstation der Freifeldversorgung. Hierbei muss mindestens Sichtverbindung oder besser eine freie 1. Fresnel- Zone zwischen den Antennen bestehen.

Bandselektive Repeater übertragen alle empfangbaren Kanäle der Freifeldversorgung in das Objekt. Eine Selektion der Anbinde-TBS ist nur über die Antennenausrichtung und daraus folgende Unterschiede in den Empfangspegeln möglich. Insbesondere in Gebieten, in denen konzentriert Objektversorgungen vorgesehen sind, sollte daher auf die Verwendung von Breitband-Repeatern verzichtet werden.

Kanalselektive Repeater übertragen alle Trägerfrequenzen der über die gerichtete Antenne vorselektierten Freifeldbasisstation in das Objekt. Diese müssen dort über das Abstrahlnetzwerk reproduziert werden können (s. Kapitel 3.3).

Bei der Auswahl der Anbindestation muss berücksichtigt werden, dass der durch die Antenne empfangene HF-Pegel über eine hierfür ausreichende Leistung verfügt.

Die sich aus dem Einsatz der Repeatertechnik ergebende Verlängerung der Signallaufzeit im Gebäude kann die Anbindung an eine Basisstation erforderlich machen, die nicht gleichzeitig Best-Server im Gebäudeumfeld ist. (s. Kapitel 8.3)

In Abhängigkeit von der Verstärkung des Repeaters und den Funkausbreitungsbedingungen führt die Verwendung von Repeatern zu einem erhöhten Rauschanteil an der Anbinde-Basisstation. Die dadurch resultierende Desensibilisierung wird in Abschnitt 8 beschrieben. Der Rauscheintrag kanalselektiver Repeater lässt sich durch den Einsatz des unter Nummer 5.6 näher beschriebenen Uplink-Muting erheblich senken.

Innerhalb eines Verteilnetzwerkes sind (optische) Breitbandrepeater 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 („Aufschwingen“) bzw. andere Störungen infolge zu hoher Schleifenverstärkung sicher vermieden werden.

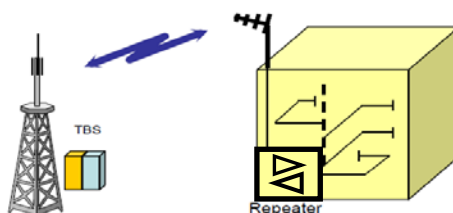


Abbildung 5: Repeater mit Anbindung über die Luftschnittstelle

Besonderheiten der Variante	Folgeerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
keine	Keine

<b>Funknetz</b>	
Zusätzliche Verkehrslast in vorhandene Zelle möglich. Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsprognose u. - Überwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Empfänger-Rauschen der TBS wird durch Anbindung von Luftschnittstellen-Repeater erhöht.	Desensibilisierung der Anbinde-TBS ist zu begrenzen ( $\leq 1\text{dB}$ ). Über Einflussnahme auf Auslegung des Repeaters sicherstellen. Zusätzliche Maßnahme bei kanalselektiven Repeatern durch UL-Stummschaltung.
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang	Systemgrenzen für Laufzeitdifferenzen beachten. Signallaufzeiten bei bandselektiven Repeatern in der Regel deutlich geringer als bei kanalselektiven.
Zellgrenzen übergreifende Anbindung der OV (möglich).	Einbeziehung in Frequenzplan und Parametrierung. Es darf zu keinen störenden Wirkungen auf das Freifeldnetz kommen.
<b>Infrastruktur</b>	
Betriebsraum für Repeater und Einspeisepunkte in das Objektverteilnetz	Die vom Land festgelegten Anforderungen an die Sicherheit müssen umgesetzt werden

*Tabelle 5: Besonderheiten und Folgen für Repeater mit Anbindung über die Luftschnittstelle*

#### 5.1.4.1 Mehrfach-Objekt-Anbindung über die Luftschnittstelle (Schirmzelle)

Wenn die Infrastruktur eine leitungsgeführte Anbindung über LWL (s. Kapitel 5.1.3.1) nicht erlaubt, kann eine Mehrfachanbindung von Objektfunkanlagen in Ballungsräumen, auch über die Luftschnittstelle erfolgen. Dazu wird an geeigneter Stelle eine dedizierte Basisstationen nur für den Zweck der Objektversorgung errichtet, um an diese mehrere Objektfunkanlagen mittels gerichteter Antenne anzubinden. Diese Basisstationen dürfen nicht für die Freifeldversorgung genutzt werden, d. h. ein Zellwechsel im Freifeld zu derartigen Basisstationen muss ausgeschlossen werden. Dies ist durch geeignete technische Maßnahmen zu erreichen.

Unter den beschriebenen Randbedingungen bleibt derzeit nur die Möglichkeit, eine Trennung über die Sendeleistung zu realisieren. Dabei muss das Signal der Basisstation für die Objektversorgung im Freifeld deutlich geringer empfangen werden, als die Signale der umgebenden Freifeld-Basisstationen. Dies ist notwendig, um im Freifeld einen Zellwechsel in die Zelle für die Objektversorgung zu erschweren. Praktisch ist dies beispielsweise durch Kollokation der Objektfunk-Basisstation mit einer Freifeld-Basisstation in Kombination mit einer geringeren Sendeleistung möglich.

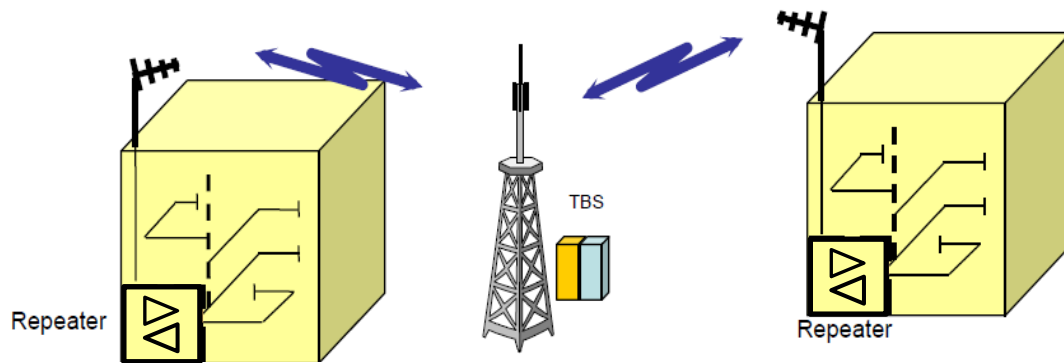


Abbildung 6: Anbindung mehrerer Repeater über die Luftschnittstelle

Auswirkung auf das Digitalfunk BOS-Netz	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Die zusätzliche Verkehrslast der Objektversorgung wird zur DXT transportiert.	Anbindung von zusätzlichen Basisstationen zur Versorgung von mehreren Objekten erforderlich.
<b>Funknetz</b>	
In der Regel ist eine Kapazität von 2 Trägern ausreichend	Verkehrsüberwachung und ggf. Träger-nachrüstung erforderlich
Rauschen der Objektversorgungs-TBS erhöht sich durch Repeater-Anbindung (ohne Auswirkung auf Freifeldversorgung)	Die Anzahl der anzubindenden Repeater wird beschränkt durch die Reichweite der TBS und die Summe der erzeugten Rauscheinträge an der BS
Signallaufzeiten, Mehrwegeempfang (direkter Pfad und Objektversorgung oder Objektversorgungen untereinander)	Siehe Abschnitt 9
<b>Netzmanagement</b>	
Weitere Netzelemente zur Einbindung in das Netzmanagement	Weitere Netzmanagementanbindung notwendig, Erhöhung des Serviceaufwandes usw.
<b>Infrastruktur</b>	
Betriebsraum für TBS	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 6: Besonderheiten und Folgen für die Anbindung mehrerer Repeater über die Luftschnittstelle



### 5.1.5 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 Koaxial-Kabel. Dabei wird die durch das Koaxial-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.

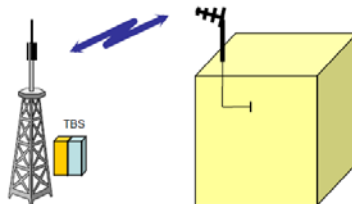


Abbildung 7: Passive Einkopplung mit Außenantenne

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
keine	
<b>Funknetz</b>	
Zusätzliche Verkehrslast in vorhandene Zelle möglich.(wenn auch unwahrscheinlich) Kapazität wird nicht vergrößert	Verkehrsprognose u. - Überwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
<b>Infrastruktur</b>	
Keine	

Tabelle 7: Besonderheiten und Folgen für passive Einkopplung mit Außenantenne

### 5.2 Objektversorgung mit DMO

In DMO betriebene Objektfunkanlagen erweitern in der Regel die DMO-Versorgung im Gebäudeinneren über ein passives Verteilsystem (Schlitzkabel oder Antennen), das gegebenenfalls durch ringförmige Verlegung der Kabel auch entsprechenden Redundanzvorgaben genügt. Durch den Einsatz von Außenantennen kann auch die DMO-Kommunikation zwischen den Einsatzkräften im und vor dem Objekt realisiert werden.

Der DMO-Repeater sendet ein Präsenzsignal, das das jeweilige Endgerät veranlasst, die Kommunikation über den Repeater abzuwickeln und nicht direkt mit einem anderen Funkgerät. Es muss demnach sichergestellt sein, dass der Repeater alle zu versorgenden Bereiche mit genügend Pegel erreichen kann. Wie auch bei den bisherigen analogen Objektfunkanlagen gefordert, kann bei einer ortsfesten DMO-Repeater-Funkstelle eine wirksame Störungsüberwachung, eine unterbrechungsfreie Stromversorgung und

eine bedarfsgesteuerte Einschaltung, z. B. durch eine Brandmeldeanlage, realisiert werden. (näheres hierzu s. Merkblatt der zuständigen Feuerwehr)

Bei den DMO-Repeatern handelt es sich um handelsübliche Funkgeräte, die im Repeatermodus betrieben werden. Da diese Geräte durch den Objekteigentümer erworben werden und damit in sein Eigentum übergehen, dürfen sie nicht über die den BOS-Geräten vorbehaltene TEA2-Verschlüsselung (Siehe Lizenzbedingungen der TETRA-Association) verfügen.

Um eine Kommunikation der BOS-Geräte, die grundsätzlich mit einer zusätzlichen Verschlüsselung betrieben werden, auch in den Gebäuden zu gewährleisten, werden die DMO-Objektfunkfrequenzen durch entsprechende Konfiguration der Endgeräte von dieser höheren Verschlüsselungsklasse ausgenommen. Die Ende zu Ende Verschlüsselung bleibt davon unberührt und ist weiter aktiv.

### 5.2.1 DMO-Repeater

#### 5.2.1.1 DMO- 1A Repeater

Repeater der Betriebsart 1A nutzen dieselbe Frequenz zum Senden und Empfangen. Jeweils ein Zeitschlitz wird für das Empfangen und das Senden genutzt. Ein Parallelbetrieb von mehreren Repeatern zur Schaltung mehrerer DMO-Kanäle an einer Antennenanlage ist darstellbar. Die räumliche Ausdehnung eines DMO 1a-Repeaters ist beschränkt, da bei Nutzung einer einzigen Frequenz für Up- und Downlink die Verteilung über ein aktives Verteilsystem nicht möglich ist.

Grundsätzlich lässt sich auch jedes Handfunkgerät im Repeatermodus betreiben und kann so als tragbarer Repeater (ohne Anbindung an ein passives Verteilsystem) mit entsprechend begrenzter Reichweite genutzt werden. Diese Nutzung unterliegt in erster Linie taktischen Vorgaben im Einsatz und soll an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden.

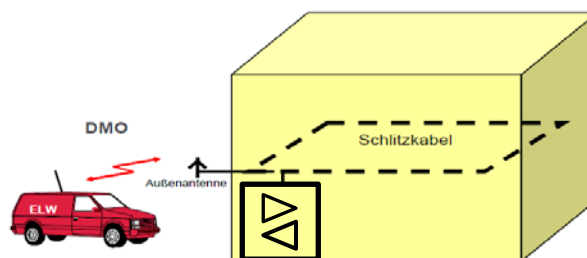


Abbildung 8: Einsatz eines DMO-Repeaters

#### 5.2.1.2 DMO- 1B Repeater

Repeater der Betriebsart 1B nutzen zum Senden und Empfangen ein Duplex-Frequenzpaar. Das Senden und Empfangen erfolgt über verschiedene Frequenzen mit definiertem Abstand (derzeit 10 MHz).

Eine Signalüberlagerung eines Empfängers durch das Sendesignal eines anderen Gerätes ist somit nicht zu befürchten. Dadurch kann eine aktive Verteilung mittels HF-Verstärkern und optischen Verteilnetzwerken erfolgen.

Aufgrund der geringen Sendeleistung eines DMO-Repeater kann es notwendig sein, eine Verstärkung des Funksignals durch Aufspaltung des Sende- und Empfangsweg vorzunehmen.

Das Belegen eines Frequenzpaares für die Kommunikation einer Rufgruppe macht es aus Gründen der Frequenzökonomie erforderlich, den Verbau von DMO-1B-Repeatern zur Objektfunkversorgung auf den Ausnahmefall zu beschränken.

### 5.2.1.3 Frequenzplanung für DMO-Repeateranlagen

Gemäß ETSI-Spezifikation muss ein DMO-Repeater seine Aussendungen unterdrücken, wenn er auf der gleichen Frequenz bereits Präsenzsignale eines anderen DMO-Repeater erkennt – sogenannte „Verriegelung“.

DMO-1A-Repeater werden zukünftig (Migrationszeitraum 01.11.2013 -01.09.2014) im Frequenzbereich 406,1 - 410 MHz betrieben. Dazu wurden 6 explizite Objektfunkkanäle a 3 Kanalpaare mit 1,6 MHz Duplexabstand festgelegt.

Zur Bedienung des Bedarfs an DMO-1B-Repeatern mit 10 MHz Duplexabstand verbleibt ein Frequenzpaar im Frequenzbereich 380-395 MHz. Ein weiteres Frequenzpaar kann auf Anforderung durch die BDBOS zugewiesen werden. Darüber hinaus stehen für DMO-Objektfunkanlagen in diesem Frequenzbereich keine Frequenzen zur Verfügung.

## 5.3 Autarke Basisstation in der Objektversorgung

Ist eine Netzanbindung der Objektfunkanlage nicht möglich oder nicht gewünscht, kann die Objektversorgungsanlage alternativ auch über eine nicht in das Netz eingebundene Basisstation betrieben werden.

Die autarke Basisstation ist somit ausschließlich dazu bestimmt, für die Einsatzkräfte die lokale Kommunikation im Objekt und Objektumfeld in der Betriebsart TMO, jedoch ohne Verbindung zum Freifeldnetz sicherzustellen. Ermöglicht wird dies durch die lokale Installation einer TETRA-Basisstation als Gebäudefunkanlage, die räumlich begrenzt alle Funktionalitäten und Dienste einer TMO-Zelle zur Verfügung stellt. Dabei sendet diese autarke Basisstation einen eigenen Netzkenner (MNC) aus, der sich von dem des Freifeldnetzes unterscheidet und durch den Anwender am Endgerät ausgewählt werden muss. Das Endgerät bucht sich in diesem Fall aus dem Freifeldnetz aus, und in das autarke TMO-Netz der Gebäudefunkanlage ein. Die autarke Basisstation stellt den Endgeräten bei einem verwendeten Frequenzpaar gleichzeitig drei logische Gesprächskanäle (Zeitschlitz) zur Verfügung und ermöglicht so die Kommunikation von drei Rufgruppen gleichzeitig. Darüber hinaus wird der vierte Zeitschlitz (Organisationskanal) zur Signalisierung von Gesprächsrahmendaten und Aussendung von Kurznachrichten (SDS, auch Notruf) genutzt.

Um ausschließlich BOS-Geräten den Zugang zu der Objektfunkanlage zu ermöglichen, lässt diese nur Geräte mit BOS-Sicherheitskarte und entsprechender Verschlüsselung zu. Die Teilnehmer werden automatisch in der Basisstation angelegt und die Basisstation lässt jede eingestellte Gruppe zur Nutzung zu. Eine Datenpflege in der Basisstation ist somit nicht erforderlich. Wie bei den DMO-Repeatern wird auch bei diesen Anlagen die Kommunikation der BOS-Geräte, die grundsätzlich mit einer zusätzlichen Verschlüs-

selung betrieben werden, durch entsprechende Konfiguration der Endgeräte von dieser höheren Verschlüsselungsklasse ausgenommen (s. Ziff. 5.2).

Diese Variante der netz- und netzlastunabhängigen Objektversorgung ist für alle Gebäudegrößen geeignet, da das HF-Signal der autarken Basisstation passiv über Antennen / Schlitzbandkabel und auch aktiv mit Verstärkern / Optischen Verteilsystemen im Objekt verteilt werden kann.

Für die autarke Basisstation steht im Frequenzbereich 380-395 MHz das gleiche Frequenzpaar zur Verfügung wie für den DMO-1B-Repeater. Auch hier kann ein weiteres Kanalpaar auf Anforderung durch die BDBOS zugewiesen werden. Diese haben einen festen Bezug zu einem Netzkenner (MNC).

### 5.4 Verteilsystem im Objekt

Man unterscheidet zwischen passiven und aktiven Verteilsystemen.

Unter passiven Verteilsystemen versteht man ein Verteilnetz, welches ausschließlich aus Koaxial-Kabeln bzw. Schlitzkabeln, Koppелеlementen und Antennen besteht. Eine aktive Verstärkung des Signals erfolgt nicht.

Im Gegensatz hierzu werden bei aktiven Verteilsystemen zusätzlich Repeater/Verstärker eingesetzt. Je nach Bedarf kommt ein reines Koaxial-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.

#### 5.4.1 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.

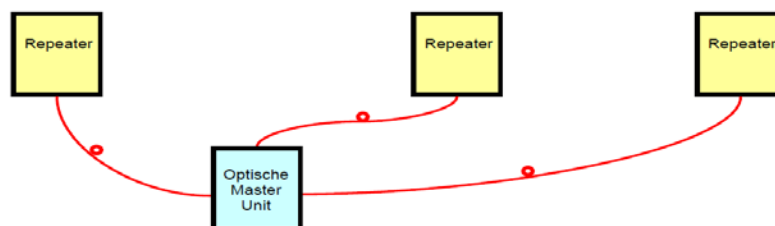


Abbildung 9: Komponenten eines optischen Verteilsystems

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

#### 5.4.2 Schlitzkabel

Schlitzkabel sind Koaxial-Kabel, die durch gezielt angebrachte HF-Undichtigkeiten (Öffnungen) im Schirm einen geringen Teil der geführten HF-Leistung abgeben. Sie ermög-

lichen dadurch eine relativ homogene Funkversorgung entlang der im Objekt installierten Kabel.



Abbildung 11: Aufbau eines Schlitzkabels

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

#### 5.4.3 Antennen

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

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

#### 5.5 Technische Anforderungen an TMO-Repeater

Die wesentlichen netztechnischen Eigenschaften an einen TMO-Repeater sind folgende:

- Übereinstimmend mit ETSI TS 101 789-1
- 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-Alarme (Stehwellenverhältnis) entsprechend der Grenzwerte und nachträglich einstellbar
- Einstellung der Verstärkung bzw. Ausgangs- und Einkoppelleistung sowie Frequenzkonfigurationen und Überwachung der VSWR-Alarme vor Ort und zentral über das Netzmanagement
- Für kanalselektive Repeater: UL-Stummschaltung, die im folgenden näher beschrieben wird

### 5.5.1 Uplink-Stummschaltung

Über das Leistungsmerkmal UL-Stummschaltung kann das Ausgangssignal eines über die Luftschnittstelle angeordneten kanalselektiven Repeaters automatisch aktiviert und deaktiviert werden.

Sendet kein Endgerät im Versorgungsbereich des Repeaters, wird der Uplink quasi stummgeschaltet, d.h. das Signal in der digitalen Signalverarbeitungskette stark gedämpft. Bei Detektion eines TETRA-UL-Signals (Kanalzugriff eines Endgeräts) im Bereich der Objektversorgung erfolgt die Ein/Austastung dieser Zusatzdämpfung auf Zeitschlitzbasis. Es ist dazu kein externes Signal notwendig, sondern der Repeater selbst „überwacht“ den Bedarf der Aktivierung. Der Downlink, d. h. die Aussendung des TETRA-Signals über die Objektfunkversorgung in das Objekt hinein ist ständig aktiv und der Repeater ist zu jeder Zeit überwachbar.

Dieser Ansatz stellt sich für den Nutzer wie eine permanent aktivierte Anlage dar. Die Aktivierung des Uplinks geschieht so schnell, dass auch ein Übergang vom Freifeld in die Objektversorgung ohne Gesprächsabbruch oder Qualitätseinbußen möglich ist.

Die Verwendung dieser Technik erlaubt die Einhaltung von Forderungen nach Begrenzung der Rauschanhebung (Desensibilisierung) der Anbinde- und umliegenden Freifeld-Basisstationen auch bei der Anbindung einer Vielzahl von Repeateranlagen.

Die UL-Stummschaltung hat allerdings keinen Einfluss auf Störungen, die durch die TETRA-Emission aus dem Objekt heraus verursacht werden. Es wird weder die Interferenz reduziert noch das besonders kritische Schwingen des Repeaters bei mangelhafter Isolation von Sende- und Empfangsantenne vermieden.

### 5.6 Anforderungen an sonstige Komponenten

Die Stromversorgung der funktechnischen Einrichtungen ist unterbrechungsfrei auszuliegen. 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

## 6 Strategie zur Objektversorgung

Wie in Kapitel 2 beschrieben, ist die Auflage, die funktechnische Kommunikation der BOS in dem zu errichtenden bzw. nachzurüstenden Objekt sicherzustellen durch gesetzliche Vorschriften geregelt.

Für Vorgaben bezüglich Art, Anbindung und Integration in das BOS-Digitalfunknetz ist der Bedarfsträger (in der Regel die örtliche Brandschutzbehörde) in Zusammenarbeit mit der BDBOS als Netzbetreiber, vertreten durch die Autorisierten Stellen der Länder, zuständig.

Die planerische und bauliche Umsetzung dieser Auflage obliegt dem Objekteigentümer bzw. dem von ihm beauftragten Planer/Errichter nach den jeweiligen Vorgaben der zuständigen BOS.

Wird festgestellt, dass zur Gewährleistung der digitalen Funkkommunikation der BOS im Gebäude die Errichtung einer Objektfunkanlage erforderlich ist, so hat die Planung in Absprache mit den oben genannten Stellen zu erfolgen.

Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Rechtliche Grundlage der erteilten Auflage und Ausführungsbestimmungen der betroffenen BOS (z.B. Merkblätter der Feuerwehr als zuständige Brandschutzbehörde)
  - Redundanzvorgaben
  - Verfügbarkeit etc.
- Größe des Gebäudes und bauliche Umsetzungsmöglichkeiten
- Tatsächliche Nutzer der Anlage
  - erforderliche Kapazität der Anlage
  - Erforderlichkeit der Netzanbindung etc.
- Anbindungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der umliegenden Freifeldversorgung
  - bestehende Versorgungsgüte im Umfeld
  - Möglichkeiten zur Netzanbindung
  - Berücksichtigung weiterer Objektfunkanlagen im Umfeld (insbesondere in Ballungsräumen)

### 6.1 Objektversorgung über eigene Basisstation

Die Installation einer eigenen Basisstation im Objekt bietet sich immer dann an, wenn hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt werden. Bei ausgedehnten Gebäudekomplexen mit weit verzweigtem Verteilsystem und hohen Kapazitätsanforderungen (Flughafen, U-Bahnen usw.) ist eine solche Lösung sinnvoll. Basisstationen verursachen allerdings eine zusätzliche Belastung der Kernnetzkapazitäten. Entsprechende Anbindungsmöglichkeiten an den Vermittlungsstellen und im Zugangsnetz müssen vorhanden sein.

### 6.2 Objektversorgung über TMO-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.

Zur Anbindung einer Objektfunkanlage über die Luftschnittstelle muss die ausgewählte Anbindestation das Objekt mit einem ausreichenden Pegel erreichen. Dies wird in der Regel vorrangig in Ballungsräumen, in denen sich die Mehrzahl der mit einer Funkanlage auszustattenden Gebäude befinden dürfte, gegeben sein.

Grundsätzlich eignen sich für diese Anbindemöglichkeit sowohl bandselektive als auch kanalselektive Repeater, wobei der bandselektive Repeater an der Anbindestation einen höheren Rauscheintrag verursacht und die Desensibilisierung schon bei Anbindung weniger Objektfunkanlagen über den zulässigen Grenzwert von 1db erhöhen wird.

Um die Verringerung der Sensitivität durch den einzelnen Repeater an der Anbindestation zu minimieren und damit die Qualität der Freifeldversorgung auch bei einer höheren Anzahl angebundener Objektfunkanlagen nicht zu gefährden, sollten in Ballungsräumen kanalselektive Repeater mit Uplink-Muting (s. Kapitel 5.6) genutzt werden.

In jedem Fall bedarf es aber für die Anbindung einer genauen funkplanerischen Betrachtung durch die Autorisierten Stellen in Zusammenarbeit mit der BDBOS, die in einem Gesamtkonzept die Anbindung aller mittel- bis langfristig zu errichtenden Objektfunkanlagen im betroffenen Netzabschnitt berücksichtigt.

Vorrangig sollte jedoch versucht werden, Objektfunkanlagen in Ballungsräumen an dafür vorgehaltene Basisstationen leitungsgebunden über ein verfügbares Glasfasernetz anzubinden.

Diese Anbindung von optischen Repeatern bietet weniger Stör-Potential für das umgebende Freifeld und lässt eine Vielzahl von Anbindungen zu. Voraussetzung für die Umsetzung dieses sogenannten Metropolenkonzeptes ist ein regional bereits verfügbares Glasfasernetzwerk, da die Errichtung einer entsprechenden Infrastruktur diese Anbindungsvariante nicht mehr wirtschaftlich erscheinen lässt.

### **6.3 Objektversorgung mit DMO-Repeater oder autarker Basisstation**

Eine Objektfunkversorgung mittels DMO-Repeatern und Schlitzkabel ist dann sinnvoll, wenn auf die TMO-Leistungsmerkmale verzichtet werden kann bzw. soll oder eine Netzanbindung über Repeater oder die Versorgung durch eine eigene Basisstation in Hinblick auf die potentielle Nutzung der Anlage unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde. Dabei ist zu beachten, dass die Versorgung durch die Leitungslängen (DMO 1A) und die nur eingeschränkt zur Verfügung stehenden Frequenzen (DMO 1B) begrenzt ist.

Alternativ ist der Einsatz einer autarken Basisstation (s. Kapitel 5.3.3) zu erwägen, die grundsätzlich die gleiche Funktionalität gewährleistet und darüber hinaus in ihrem begrenzten Versorgungsbereich über weitere lokale Dienste verfügt (SDS, Datenübermittlung etc).

Es bleibt zu bedenken, dass BOS-Kräfte, die grundsätzlich im TMO (mit Leitstellenanbindung) arbeiten, die Anlage, die nur im Einsatzfall durch den Bedarfsträger (Feuerwehr) betrieben wird, nur im Ausnahmefall nutzen können.



DMO -Repeateranlagen bzw. TMOa-Objektversorgungen finden in Kombination mit einem TMO-Repeater auch dort Verwendung, wo den Einsatzkräften neben der Netzanbindung die Möglichkeit einer netzlastunabhängigen Kommunikation zur Verfügung gestellt werden soll. Diese soll gewährleisten, dass bei einer hohen Auslastung der Anbindezone ein direktes (sofortiges) Ansprechen der Einsatzkräfte im Gebäude jederzeit möglich bleibt.

Auf die zur Verfügung stehenden eingeschränkten Frequenzen (s. 5.2.1.3 und 5.3 letzter Absatz) wird besonders hingewiesen.

### **6.4 Objektversorgung über passive Einspeisung**

Sind in einem Objekt nur kleine Versorgungslücken zu, kann eine passive Einkopplung des Digitalfunk BOS (TMO) in Erwägung gezogen werden. Aufgrund der fehlenden aktiven Komponenten ist die Signalverteilung im Gebäude jedoch stark begrenzt.

## 7 Schnittstellen, Verantwortlichkeiten, notwendige Maßnahmen

### 7.1 Objektversorgung mittels TMO-Repeater

Dieser Abschnitt beschreibt grob den Prozess zur Realisierung einer Objektversorgung mittels TMO-Repeatern. Die Anbindung einer Objektfunkanlage an das BOS Digitalfunknetz erfordert darüber hinaus den Abschluss eines Vertrages zwischen der BDBOS und dem jeweiligen Bauherrn/ Gebäudeeigentümer. Dieser betrifft insbesondere Festlegungen hinsichtlich der Verantwortlichkeiten für Installation, Wartung und Betrieb sowie ggf. Abschaltung der Objektfunkanlage.

#### 7.1.1 Anmeldung und Definition der Anlage

Erhält ein Objekteigentümer im Rahmen der Baugenehmigung die Auflage, in dem zu errichtenden Gebäude die digitale Funkkommunikation der BOS sicherzustellen (siehe Kapitel 3.1), sollte er ein Planungs- bzw. Errichtungsunternehmen mit der Planung bzw. Errichtung der Objektfunkanlage beauftragen. Diese wird Kontakt zu der regional zuständigen BOS-Behörde und der Autorisierten Stellen des jeweiligen Landes aufnehmen, um sich über die zusätzlichen landesspezifischen Regelungen der Bedarfsträger (Merkblatt der Feuerwehr etc.) und des Landes zu informieren.

In das auf der Homepage der BDBOS als Download mit Ausfüllhinweisen zur Verfügung stehende „Anzeigeformular Objektversorgung“ trägt der Planer/Errichter die Basisdaten des Objektes ein. Neben Lage, Beschreibung etc. des Objektes und der geplanten Anlage hat der Errichter im Sinne des Eigentümers gegenüber der zuständigen BOS darzulegen, dass die Bauauflage (Gewährleistung der Funkkommunikation der BOS im Gebäude) nur durch den Einbau einer Objektfunkanlage zu erfüllen ist, weil die vorhandene Freifeldversorgung dies nicht gewährleistet.

Die Angaben des Planers/Errichters werden durch die zuständige BOS (z. B. Vorbeugender Brandschutz) bestätigt und der zuständigen Autorisierten Stelle übermittelt. Die Autorisierte Stelle prüft das vorgeschlagene technische Konzept und wird für den Fall, dass eine Anbindung der geplanten Anlage in das BOS-Netz zu Störungen bzw. zu Rückwirkungen auf die Freifeldversorgung führen könnte, Alternativen vorschlagen.

Mit der Rücksendung des Anzeigeformulars erhält der Errichter von der Autorisierten Stelle alle für die Realisierung der Objektversorgung erforderlichen Angaben:

- Anbindungsart
- Ausrichtung der Anbindeantenne

bzw.

- Standort der Anbinde-Basisstation bei Versorgung über LWL

und

- Frequenzen bei Einsatz einer kanalselektiven Repeater- Anbindung

### **7.1.2 Abnahme und Inbetriebnahme**

Nach Abschluss der Planung wird der Planer/Errichter alle weiteren erforderlichen Angaben zur Anlage (Planungsunterlagen, Messprotokolle etc. näheres s. Anzeigeformular) über die Autorisierte Stelle an die BDBOS übergeben.

Nach Prüfung der eingereichten Unterlagen auf Vollständigkeit und Plausibilität stellt die BDBOS als Frequenzantragsberechtigte bei der BNetzA einen Frequenznutzungsantrag für die zu errichtende Anlage. Die BNetzA gestattet die Frequenznutzung durch die zu errichtende Anlage in Form eines Festsetzungsbescheides. Erst nach Erlass des Bescheides darf die Anlage durch den Errichter zu Testzwecken eingeschaltet werden.

Nach Fertigstellung meldet der Errichter die Bereitschaft zur Inbetriebnahme gegenüber der zuständigen BOS und der Autorisierten Stelle an und reicht die entsprechend geforderten zusätzlichen Unterlagen und Messprotokolle zur Prüfung ein, anhand derer die Autorisierte Stelle/ die BDBOS bestätigt, dass eine rückwirkungsfreie Integration der Objektversorgung ins Digitalfunk BOS-Netz nach derzeitigem Kenntnisstand möglich ist.

Nach der Inbetriebnahme findet die Abnahme der Anlage statt – sowohl funktional durch die Feuerwehr als Bedarfsträger als auch in Bezug auf die „Rückwirkungsfreiheit“ auf das Freifeld. Je nach Bundesland stützt sich die Autorisierte Stelle dabei entweder auf vom Errichter vorzulegende Messprotokolle oder auf eigene Messungen.

Der Vorgang wird mit der Bestätigung der Inbetriebnahme durch die BDBOS an den Objekteigentümer und der Anzeige der Inbetriebnahme bei der BNetzA abgeschlossen.

## **7.2 Objektversorgung mittel DMO-Repeater/ autarke Basisstation**

Soll ein Gebäude mittels DMO-Repeater bzw. durch eine autarke Basisstation versorgt werden, gilt das in Kapitel 7.1 vorgestellte Verfahren entsprechend. Systembedingt entfällt die Darlegung der Erforderlichkeit der Anlage.

## **7.3 Objektversorgung mittels eigener Basisstation**

Soll ein Gebäude mit einer netzangebundenen Basisstation, die sich nicht im Eigentum der BDBOS befindet, versorgt werden, bedarf es in jedem Einzelfall bilateraler Absprachen zwischen dem vom Objekteigentümer beauftragten Planer/Errichter und der BDBOS, die in einem „Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss“ zwischen Eigentümer und der BDBOS festgeschrieben werden.

### **7.3.1 Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss**

Die Anbindung einer Objektfunkanlage mit eigener Basisstation an das BOS Digitalfunknetz erfordert den Abschluss eines Vertrages zwischen der BDBOS und dem jeweiligen Bauherrn/ Eigentümer, in dem insbesondere die Rahmenbedingungen der Anbindung konkret geregelt werden. Dies betrifft Festlegungen in Bezug auf die Anforderungen an den Netzanschluss und die Sicherheit sowie die Befugnisse der BDBOS für den Fall, dass die Objektfunkanlage das BOS Digitalfunknetz stört. Des Weiteren werden Regelungen über die Haftung sowie Kostentragung getroffen.

### **7.3.2 Anbindung der Basisstation an das Zugangsnetz**

Eine im Netz betriebene Basisstation wird über das Zugangsnetz mit der Vermittlungsstelle (Kernnetz) verbunden. Zur Gewährleistung einer redundanten Anbindung erfolgt

diese grundsätzlich in Ringstruktur und nur in Ausnahmefällen in Form einer Stichleitung, die dann über keine Redundanz verfügt. Bei Ausfall dieser Leitung würde die Objektfunkanlage zwar weiter betrieben werden können, hat aber keine Netzanbindung mehr.

Die Planung des Zugangsnetzes (Topologieplanung) liegt in der Zuständigkeit des jeweiligen Landes. Dieses gibt die Anbindungsform und den zu wählenden Carrier vor. Die BDBOS ist in diese Vorgaben nur insofern eingebunden, als es die Kapazitäten des Kernnetzes betrifft. Der Objekteigentümer hat die Leitungskosten zu tragen und entsprechende Anbinderegeln bilateral mit der zuständigen Autorisierten Stelle zu klären und gegebenenfalls vertraglich mit ihr oder dem Carrier direkt zu vereinbaren.

Folgende Anbindungsvarianten für eine Basisstation zur Objektversorgung sind grundsätzlich möglich:

- Einbindung der Basisstation in einen Freifeldstationsring
- Anbindung als Stich an eine in eine Ringstruktur eingebundene Freifeldstation (Keine Redundanz für die Stichleitung)
- Einbindung in einen Ring mit anderen Objektfunkanlagen (OV-Basisstationen)
- Anbindung mittels einer Stichleitung an eine Vermittlungsstelle (Keine Redundanz)
- Anbindung mehrerer Objektfunkanlagen (Basisstationen) als Stich über einen Multiplexer (Keine Redundanz).

### **7.4 Einbindung einer Objektfunkanlage in das BOS-Netz**

Die folgenden Aspekte sind in dem Prozess zur Realisierung einer Objektversorgung generell zu berücksichtigen

#### **7.4.1 Kapazität**

Bei der Nutzung von Repeatern ist darauf zu achten, dass der zusätzliche Kapazitätsbedarf einer Objektversorgungsanlage in der Basisstation berücksichtigt werden muss. In der Regel wird ein Anpassungsbedarf an der jeweiligen Anbinde-Basisstation(en) erst nach Inbetriebnahme der Objektversorgung festgestellt werden. Sollte schon vor Inbetriebnahme ein erhöhter Kapazitätsbedarf der Objektversorgung durch die Bedarfsträger zu erkennen sein, wird die BDBOS prüfen, ob die Kapazitätsreserven im Funknetz ausreichen oder ob eine Aufrüstung im Freifeld von vornherein erforderlich ist.

#### **7.4.2 Frequenzzuweisung und –beantragung**

Die Koordination der BOS-Frequenzen liegt bei der BDBOS, so dass eine Zuweisung von Frequenzen für die aktiven Netzelemente nur durch die BDBOS erfolgen kann. Dies gilt insofern auch für Repeater, da sie auf die Frequenzen der jeweiligen Anbindestation einzustellen sind.

Kommt es im Netz zu Frequenzänderungen, müssen diese im Bedarfsfall an kanalselektiven Repeatern (entsprechend ihrer Anbindestation) nachgeführt werden. Die BDBOS wird über die Autorisierte Stelle des Landes dem Eigentümer den Termin der Frequenzänderung zeitgerecht mitteilen. Er hat dann dafür Sorge zu tragen, dass die erforderliche Umstellung am Repeater unverzüglich an dem festgesetzten Termin erfolgt.

Hierfür wird die Ausstattung der Repeateranlage mit einer Möglichkeit der Fernadministration empfohlen (z.B. im Rahmen eines Wartungsvertrages).

Auch bandselektive Repeater sind bei Anbindung an das BOS-Netz mit Hilfe des unter Abschnitt 8.1 beschriebenen Formulars der BDBOS anzuzeigen, damit die BDBOS gegenüber der BNetzA ihre Verantwortung bei der Nutzung der TETRA-Frequenzen wahrnehmen kann.

Die Frequenzzuweisung für DMO-Repeater obliegt der Koordinierung der BOS-Kräfte, denen die jeweiligen Frequenzen zugeteilt wurden. Die Zuweisung ist der BDBOS für jede Objektversorgung anzuzeigen und bei Änderungen der Frequenzen durch die BOS besteht Mitteilungspflicht. Nur so ist gewährleistet, dass der BDBOS jederzeit ein umfassendes und vollständiges Bild von der Nutzung des Frequenzspektrums vorliegt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass für jedes aktive Netzelement eine Frequenzbeantragung durch die BDBOS bei der BNetzA erfolgt.

### **7.5 Standortbescheinigung und Inbetriebnahmeanzeige**

Eine Standortbescheinigung kann auch bei Objektversorgungen je nach technischer Realisierung erforderlich sein.

Wird die Summenleistung von 10 Watt EIRP überschritten, ist ein Antrag auf Standortbescheinigung erforderlich. Hierfür ist der Eigentümer des Objektes verantwortlich.

## 8 Planungsrichtlinien

### 8.1 Erweiterung bestehender Anlagen

Bei der Migration von bestehenden Objektfunkanlagen in das Digitalfunk BOS-Netz 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 Digitalfunk BOS-Netzes
- 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

### 8.2 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.

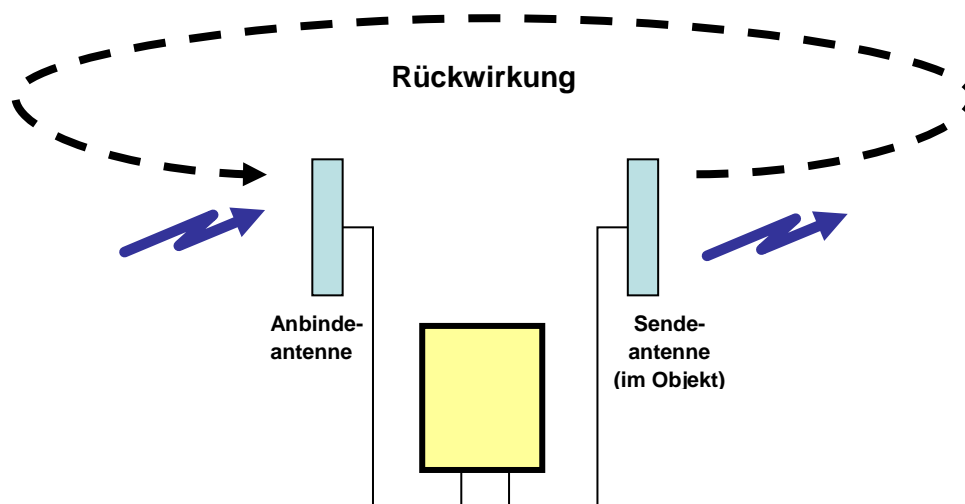


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Rückwirkung von Sende- auf Anbindeantenne

Die Einhaltung der Antennenisolation kann in der Planungsphase nur aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Aufgrund der Vielzahl von Antennen und Schlitzkabeln, die in ausgedehnten Gebäudekomplexen zur Anwendung kommen, ist eine Rückkopplung auf die Anbindeantenne nur in seltenen Fällen ausgeschlossen.

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 geringstmöglichen Verstärkung des Repeaters

Die Antennenisolation muss nach der Installation wie in Abschnitt 9.3 beschrieben messtechnisch überprüft und im Abnahmeprotokoll bestätigt werden.

### 8.3 Signallaufzeit

Der TETRA-Standard schreibt eine maximale Laufzeit von 392  $\mu\text{s}$  für die Signalübertragung zwischen Basisstation und Endgerät vor.

Beim Empfang zweier Signale derselben Basisstation, z. B. einmal direkt von der TBS 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  $\mu\text{s}$  zulässig. Praxiserfahrungen zeigen, dass ein Wert von 14  $\mu\text{s}$  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. Dabei ist zu beachten dass die Einsatzkräfte vor dem Objekt und die Kräfte in dem Objekt Kapazitäten bei beiden Basisstationen binden und diese im Netz durch Eintragen von Nachbarschaftsbeziehungen miteinander verbunden sein müssen.

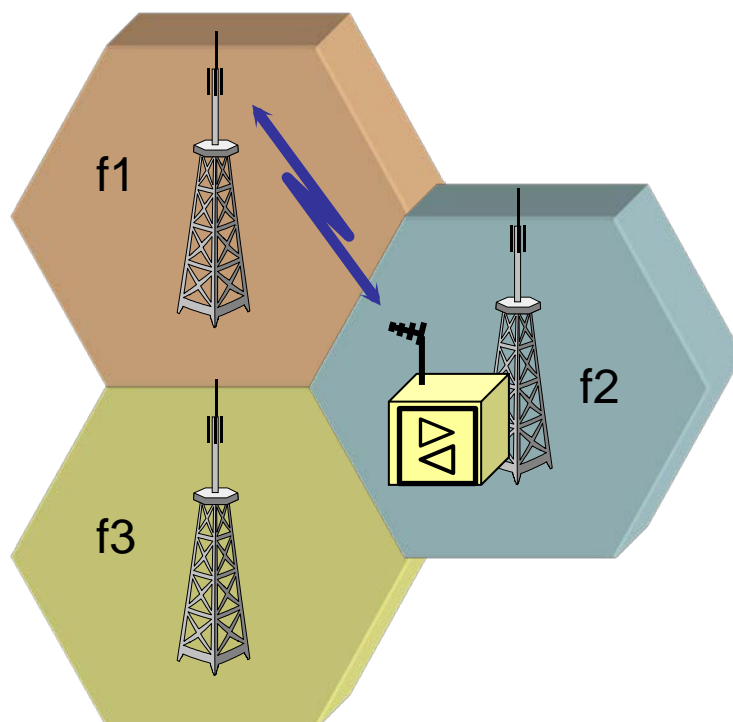


Abbildung 12: Anbindung des Repeaters an eine benachbarte Funkzelle

Bei der Planung sind die durch TMO-Repeater verursachten zusätzlichen Verzögerungen der Signale zu beachten. Um den Praxiswert von maximal 14  $\mu$ s 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  $\mu$ s entspricht.

Der Nachweis über die Einhaltung der Laufzeitgrenze von 14  $\mu$ s wird indirekt über die Messung der Bitfehlerrate nachgewiesen.

### 8.4 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 Endgeräte im Grenzbereich der Funkversorgung des Freifeldes diese nicht mehr erreichen können, auch wenn ein ausreichender Signalpegel der Basisstation vorliegt. Bei der Planung einer Objektversorgung mit vielen aktiven Elementen im Verteilsystem muss daher die Gesamtrauschzahl und Gesamtverstärkung 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. In der Netzplanung ist zu berücksichtigen, dass die zusätzliche Desensibilisierung in der Gesamtbetrachtung aller an eine **BS** angebotenen Repeater 1 dB nicht überschreiten darf. EADS (jetzt Airbus Defence and Space) als Systemlieferant gibt zu diesem Thema weitere Informationen [2].

Bei der Anbindung von TMO-Repeatern über die Luftschnittstelle sollte aus den genannten Gründen folgende Grundsätze in der Planung beachtet werden:

1. Die Repeaterverstärkung ist auf ein für die Objektfunkversorgung erforderliches Minimum zu beschränken.
2. Die Nutzung kanalselektiver Repeater mit Uplink-Muting (s. Kapitel 5.5.1) ermöglicht eine weitere Reduktion der Desensibilisierung an der Basisstation. Das erlaubt eine höhere Anzahl an Repeateranbindungen pro Basisstation.

### 8.5 Redundante Signaleinspeisung

Hier werden identische Signale in beide Richtungen in einen Ring eingespeist.

Die beiden Signale weisen 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. EADS (jetzt Airbus Defence and Space) als Systemlieferant gibt zu diesem Themenkomplex detaillierte Informationen [3].



Grundsätzlich ist es auch möglich, zwei unterschiedliche Signale am gleichen Einspeisepunkt auf das Kabel zu geben (Quellen-Redundanz). Dabei ist zu beachten, dass bei der Einspeisung beider Signale mit der gleichen Sendeleistung zwei Basisstationen (mit gleicher Trägeranzahl) belastet werden und die Einbuchung der Endgeräte in eine der beiden Basisstationen beim Betreten des Gebäudes quasi zufällig erfolgt. Bei der Einspeisung des zweiten Signals mit einer 6 dB niedrigeren Sendeleistung wird dieses Signal von den Endgeräten nur im Redundanzfall genutzt, gewährleistet dann aber unter Umständen nicht mehr die vollständige Versorgung des Gebäudes.

Die Planung einer Quellen - Redundanz muss gewährleisten, dass der Ausfall eines Signals nicht zu einer Unterbrechung (Abriss) der Funkversorgung führt. Alternativ kann auch auf eine manuelle Umschaltung von einer Signalquelle auf die andere zurückgegriffen werden, um jeder Zeit einen definierten Versorgungszustand im Objekt zu erreichen.

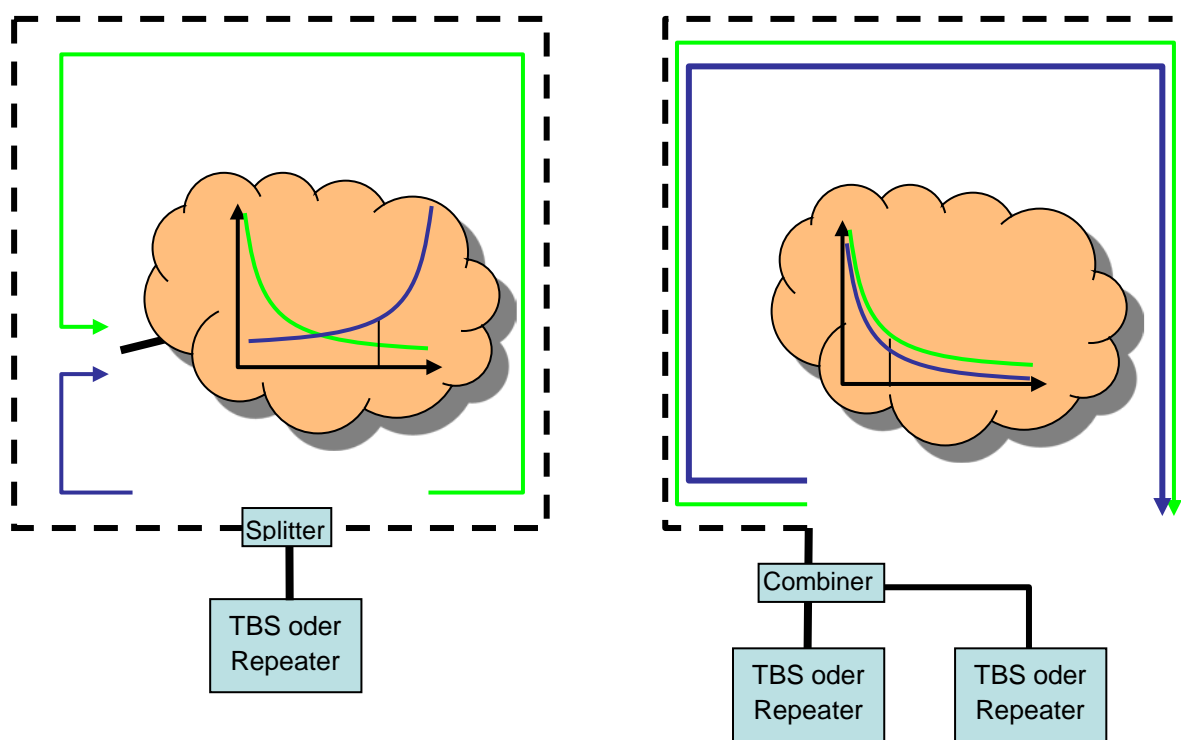


Abbildung 13: Möglichkeiten zur redundanten Signaleinspeisung

## 8.6 Feldstärkevorgaben und Zellwechsel

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 $\mu$ 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 eine homogene Versorgung anzustreben und der notwendige Signal-Rauschabstand (C/I für Gleichkanalstörungen) von mindestens 19 dB (Soll-

wert, ggf. noch akzeptabel 15...16dB) einzuhalten. Weiterhin sollte der Signalpegel der Objektversorgung zur Vermeidung von Zellwechseln um 6 dB über dem Pegel des von außen zu empfangenen Digitalfunk BOS-Netzes 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 Zellwechselfparameter (Fast/Slow Cell Re-selection Thresholds) bietet nur wenig Möglichkeiten eines nachträglichen Feintunings. Die Zellwechsel-Prozedur in TETRA kann zwischen 0,5 und 4 s dauern, so dass etwa beim Verlassen des Gebäudes Gesprächsabbrüche auftreten können. Daher kann in bestimmten Fällen (z. B. Tunnelrampen) die Errichtung eines definierten Zellwechsel-Bereichs des Objektes notwendig sein.

### **8.7 Frequenznutzung und Kriterien für störungsfreien Betrieb**

Zur Vermeidung einer Beeinträchtigung der Freifeldversorgung werden die nachfolgenden Anforderungen an die Objektversorgung gestellt. Diese sind vom Errichter der Objektversorgung sicherzustellen.

Als Frequenzzuteilungsinhaber bestimmt die BDBOS über Zuweisung und Nutzung der Frequenzen im BOS-Digitalfunknetz auch für Objektversorgungsanlagen

Für Objektversorgungsanlagen mit eigener Basisstation werden im Rahmen der gesamten Frequenzplanung des betroffenen Netzabschnittes die erforderlichen Frequenzen zur Verfügung gestellt.

Die Frequenzen für Objektversorgungsanlagen mit TMO-Repeatern folgen der Kanalzuweisung der Anbindestationen. (s. Kapitel 7.3.)

Für DMO-Repeater sind feste Frequenzen definiert. Sie werden dem Errichter im Zuge des Anzeigeverfahrens für die jeweilige Objektfunkanlage zugewiesen.

### **8.8 Zusätzlicher Einsatz von Außenantennen**

#### **8.8.1 TMO-Objektfunkanlagen**

Grundsätzlich darf das Abstrahlsystem der Objektfunkanlage keine Funkversorgung - sogenannte „Best-Server-Fläche“ (RSSIObjekt << RSSIFreifeld) - außerhalb des Objekts hervorrufen. Die sendenden Komponenten des Abstrahlsystems sind dazu innerhalb der Gebäude bzw. Bauwerkshülle zu installieren.

Davon abweichend darf zur Gewährleistung eines sicheren funktionierenden Zellwechsels von Endgeräten der Einsatzkräfte bei Betreten bzw. Verlassen des Objekts im unmittelbaren Umfeld planmäßiger Objektzugänge (z.B. Türbereich, Kfz-Zufahrten, Tunnelleinlässe, Notausgänge) soweit wie nötig eine Überlappung zwischen Objektfunkversorgungsbereich und Freifeldversorgungsbereich geschaffen werden. Dabei kann der Zellwechselbereich sowohl im als auch außerhalb des Objektes liegen DMO-Objektfunkanlagen

Die DMO-Kommunikation zwischen Einsatzkräften im Objekt und vor dem Objekt muss im Einsatzfall gewährleistet sein. Dazu ist der Einsatz von Außenantennen statthaft. Die konkrete Planung ist mit der anfordernden BOS abzustimmen.

## 9 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 erzielten Versorgung im Objekt vor allem auch die messtechnische Bestimmung der optimalen Konfiguration, notwendigen Parameter sowie die Einhaltung der vorgegebenen technischen Rahmenbedingungen. Die eigentlichen messtechnischen Maßnahmen lassen sich unterscheiden in:

1. vorbereitende Messungen (ohne zusätzliche Versorgung):
  - Ermittlung der Funkversorgung am und im 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).

Die einzelnen Messungen sind im Folgenden näher beschrieben.

### 9.1 Funkversorgung am Objekt

Die Messung der Funkversorgung am bzw. um das zu versorgende Objekt ist unabhängig von der späteren Realisierung der Objektversorgung (TMO) immer erforderlich. Für die Messung kommt der in Abbildung 14 skizzierte Messaufbau zum Einsatz. Hierbei wird das Empfangssignal der Empfangsantenne ggf. über ein Antennenkabel zu einem geeigneten Messempfänger geführt. Die präzise Pegel-Ermittlung ist dabei nur mit Spektrumanalysatoren oder besser Netzscannern möglich. Letztere ermöglichen zusätzlich zur Leistungsmessung eine Analyse der Signalanteile hinsichtlich Nutz- und Störanteilen.

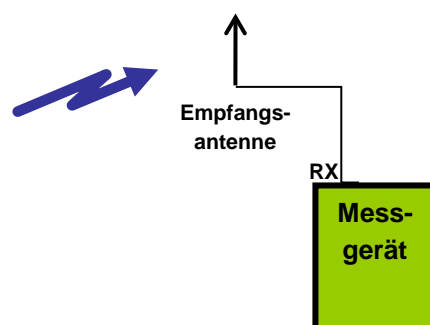


Abbildung 14: Messaufbau zur Messung der Funkversorgung

Um die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten, muss die Empfangsantenne in ca. 1,5 m Höhe so montiert sein, dass sie weitgehend frei von Abschattungsobjekten im direkten Umfeld ist. Dies kann beispielsweise durch ein Rucksacksystem erreicht werden, bei dem die Antenne über Schulterhöhe nach oben raus geführt ist. Bei „Trolley“-Systemen ist ebenfalls auf die vertikale Montage der Empfangsantenne in der geforderten Höhe zu achten. Bei Straßentunneln kann auch ein im Fahrzeug installiertes Messsystem verwendet werden, welches die Empfangsbedingungen in Einsatzfahrzeu-

gen repräsentiert. Bei einem Fahrzeug ist darauf zu achten, dass die Messgeschwindigkeit des Empfängers bei einer maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit die geforderte räumliche Auflösung liefern kann.

Antennengewinn und mögliche Verluste durch Kabelstrecken und Adapterstücke sind bei den Messergebnissen zu berücksichtigen und die gemessenen Werte entsprechend zu korrigieren. Die Toleranz und Empfindlichkeit des Messempfängers ist wie der tatsächliche Messaufbau und die verwendeten Komponenten zu protokollieren.

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 Nachbarschaftsbeziehungen 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 Nachbarschaftsbeziehungen relevant werden kann.

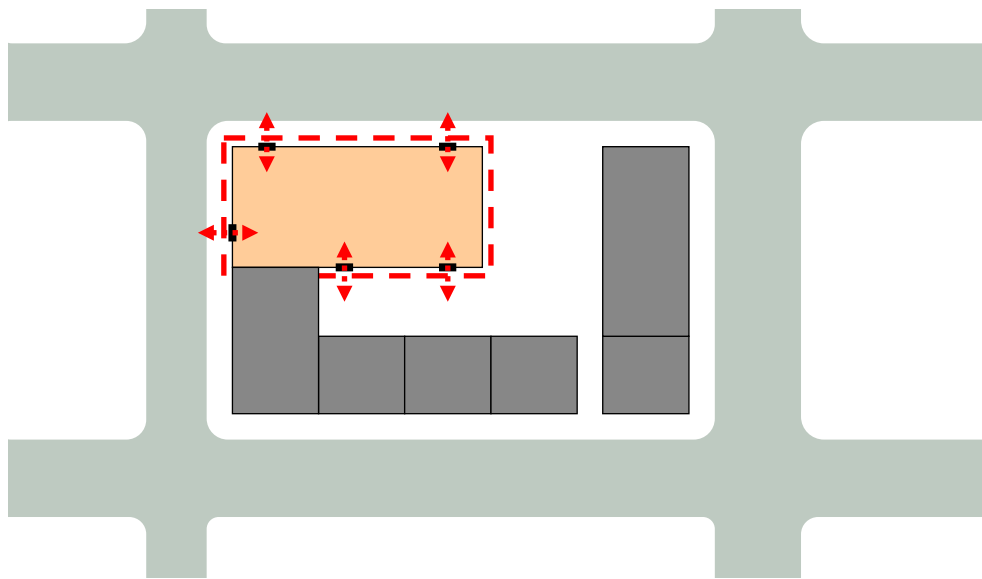


Abbildung 15: Schematische Darstellung zur Messung der Funkversorgung am Objekt

Ergebnis der Messungen sind die ermittelten Empfangsleistungen und die jeweils versorgende Zelle über der gemessenen Fläche. Abbildung 15 illustriert die Darstellung der versorgenden Zelle (Best Server) um ein untersuchtes Objekt in Flächenelementen mit einer Kantenlänge von 8 m. Basierend auf diesen Ergebnissen kann die spätere Funkanlage in das Digitalfunk BOS-Netz integriert und die vollständigen Nachbarschaftsbeziehungen ermittelt werden. Darüber hinaus können evtl. auftretenden Störsignale im Vergleich zu dieser Referenz quantisiert werden.

Die Ermittlung der Außenwirkung bei in Betrieb befindlicher Objektfunkanlage wird mit der gleichen Messanordnung wie für die Messungen ohne zusätzliche Versorgung erfasst. Die Messungen dienen dabei zur Bestimmung der möglicherweise 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 (siehe auch nachfolgenden Abschnitt).



Abbildung 16: Beispielhafte Best Server Versorgung um ein Objekt

### 9.1.1 Abnahmemessungen für Objektfunkanlagen

Die geforderten Abnahmemessungen aus dem Anzeigeprozess sehen die obligatorische Verwendung von Mess-HRT mit gängigen Messprogrammen (Tracesoftware) und Aufnahme-funktion (Data recording) vor. Den abzudeckenden Messbereich stellen sämtliche Gebäude Zu- und Übergänge sowie das begehbare relevante potenziell von der OV beeinflusste Gebäudeumfeld dar.

Die Messungen haben dabei jeweils bei deaktivierter und aktivierter Objektfunkanlage zu erfolgen.

Als Ergebnis wird die kontinuierliche Pegeldarstellung von Serving und Neighbour-Cells im Zeitbereich (Screenshot mit Zeitachse und Werten oder Export) erwartet. Die BER/MER ist als Fehlerindikator bei allen Messungen auszugeben.

Die Diagramme sind durch Marker, manuelle Zeitstempel o.ä. zum Gebäudeplan/Kartenausschnitt zu referenzieren.

## 9.2 Empfangsspektrum der Anbindeantenne („Panorama-Messung“)

Zur Messung des Empfangsspektrums von Luftschnittstellen-Repeater kommt folgende Messanordnung zum Einsatz

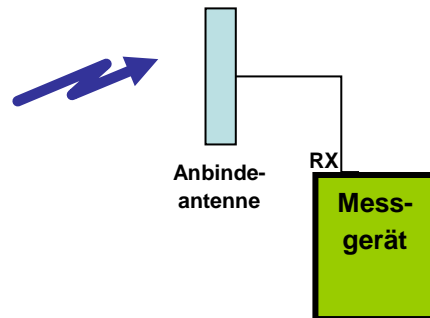


Abbildung 17: Messaufbau zur Messung des Empfangsspektrums der Anbindeantenne

Dabei dient die Panorama-Messung als Vorleistung und damit Entscheidungshilfe zur Festlegung der Anbindezone für die Funknetzplanung im Rahmen des Anzeigeformular-Prozesses.

Das benutzte Messgerät muss in der Lage sein, die MCCH-Info zu dekodieren (LAC) und das Tetra-Signal pegelrichtig zu erfassen (Mess-HRT, Netzwerk-Scanner, Tetra-Analyser u.ä.).

Für die eigentliche Messdurchführung sind folgende Varianten akzeptabel:

- Mess-HRT im Netzmodus (Servingcell und Ncells) zur Gewinnung der TOP-List
- Abarbeitung einer vorgegebenen MCCH-List von der zuständigen Landesstelle
- Freilaufende Scanmessung mit Netzwerk-Scanner über das gesamte DL-Band und TOP-List-Ergebnis

### 9.2.1 Messantennen

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

#### 9.2.1.1 Rundstrahlantenne

Rundstrahlantennen dienen der messtechnischen Ermittlung einer Übersicht des vorhandenen Empfangsspektrums an den potentiellen Einbaupositionen. Die Analyse des Empfangsspektrums erfolgt auf diesen Mittelwerten der gemessenen Sendeleistungen pro Frequenzkanal und kann als Vormessung einer gerichteten Messung z.B. zur Gewinnung der Top-Liste (Liste der stärksten Zellen) dienen.



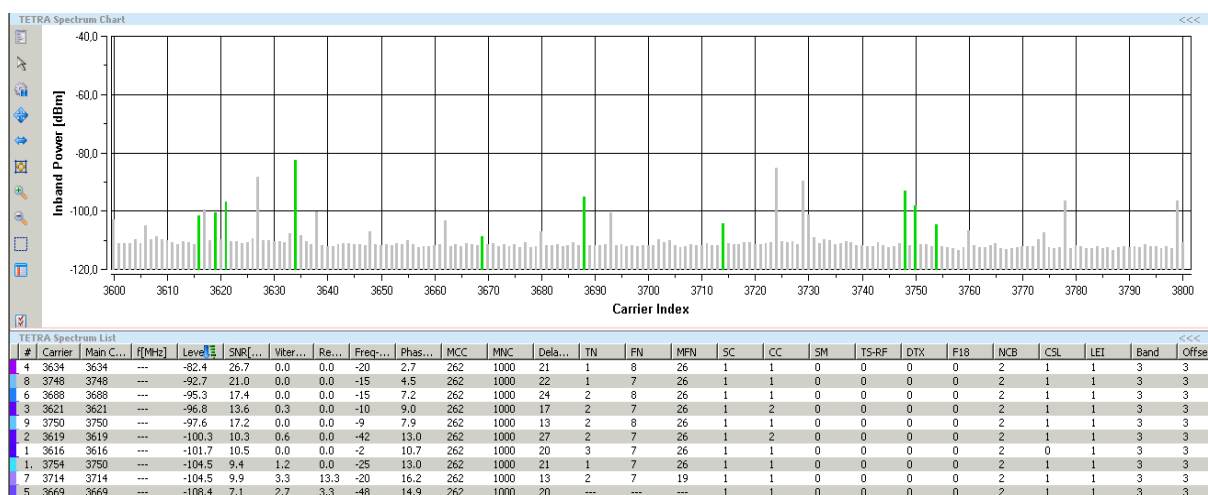


Abbildung 18: Beispiel eines gemessenen Empfangsspektrums

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.

### 9.2.1.2 Richtantennen

Mit Hilfe von gerichteten Antennen kann an den potenziellen Einbaupositionen jeweils eine „Rundumsicht“ ermittelt werden, indem die Antennen in festen Winkelschritten gedreht wird. Dies erlaubt die Identifikation der Empfangsrichtung der Signale.

Die maximale Winkelschrittweite beträgt 30°. Der Messstandort muss aber nicht automatisch mit dem endgültig besten Standort für die Anbindeantenne gleichgesetzt werden, da eine Ausnutzung von baulichen Gegebenheiten (Aufbauten) zur Funkfeld-Gestaltung - wie bei Rundstrahlantennen - durchaus angebracht sein kann.

Die Richtwirkung der verwendeten Antenne zur Messung sollte  $\geq 10$  dBi betragen und ein Vor/Rückverhältnis  $\geq 20$  dB aufweisen, um ein genügend differenziertes 360° - Spektrum zu erhalten. Auf jeden Fall müssen diese Eigenschaften gleich oder besser als der zu verbauende Antennentyp sein.

Aus den jeweiligen einzelnen Empfangsspektren lässt sich so ein Gesamtbild zusammenstellen. Zur Glättung von Fadingeffekten sollten die Messwerte über einen längeren Messzeitraum (ca. 1min) gemittelt und pro Frequenzkanal und Ausrichtungswinkel (Azimut) berechnet werden.

Weiterhin wird mit der Durchführung der Winkelschritte die Erstellung von Einzelfotos für ein Panoramabild angeregt.

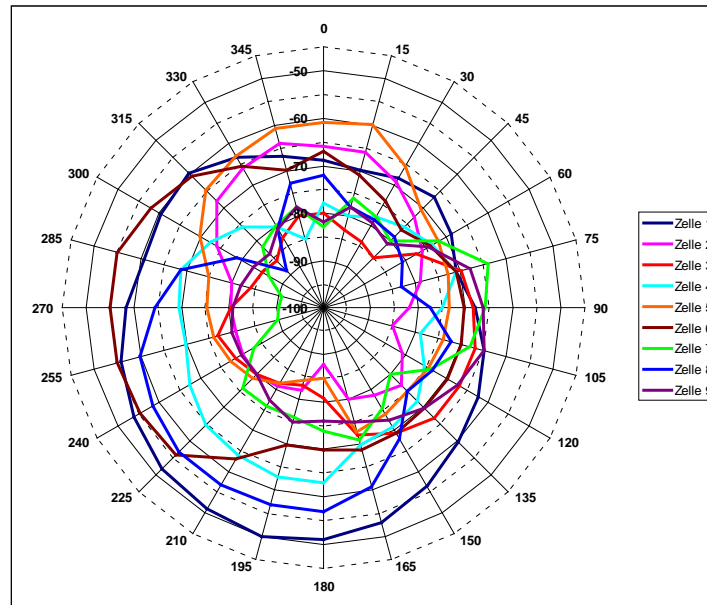


Abbildung 19: Gemessene Empfangsleistungen in polarer Darstellung

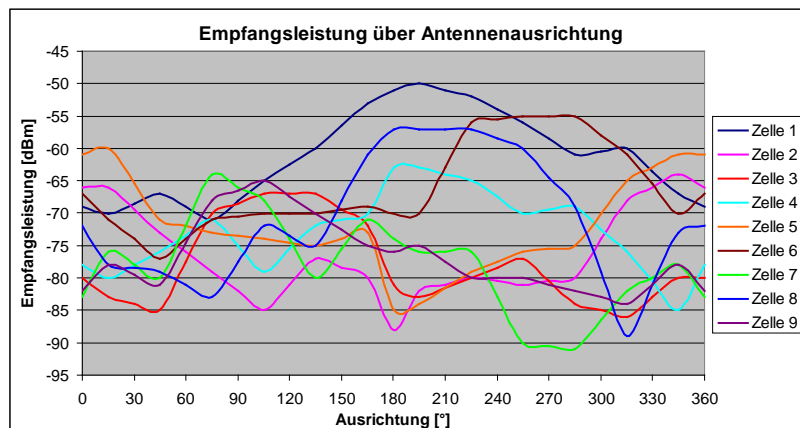


Abbildung 20: Empfangsleistungen über der Ausrichtung einer gerichteten Anbindeantenne Kartesisch

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 behelfsweise Messung über ein Messkabel, die über die bekannten Dämpfungen des Messsystems zu korrigieren ist. .

### 9.1.2 Ableitungen aus der Messung

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.

## 9.3 Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne

Die Messung der Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne ist für die Realisierung der Anbindung einer TMO-Repateranlage über die Luftschnittstelle notwendig. Zur Messung kommt folgende Messanordnung zum Einsatz.

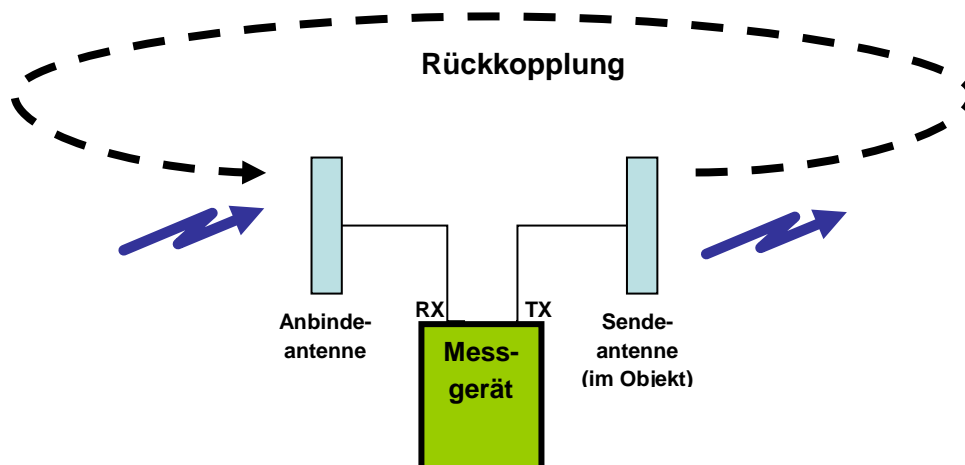


Abbildung 21: Messaufbau zur Messung der Antennenentkopplung

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 Pfadverlust über die Antennenanordnung direkt die Antennenisolation.

Abbildung 21 zeigt beispielhaft 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. Kapitel 8.2) 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.

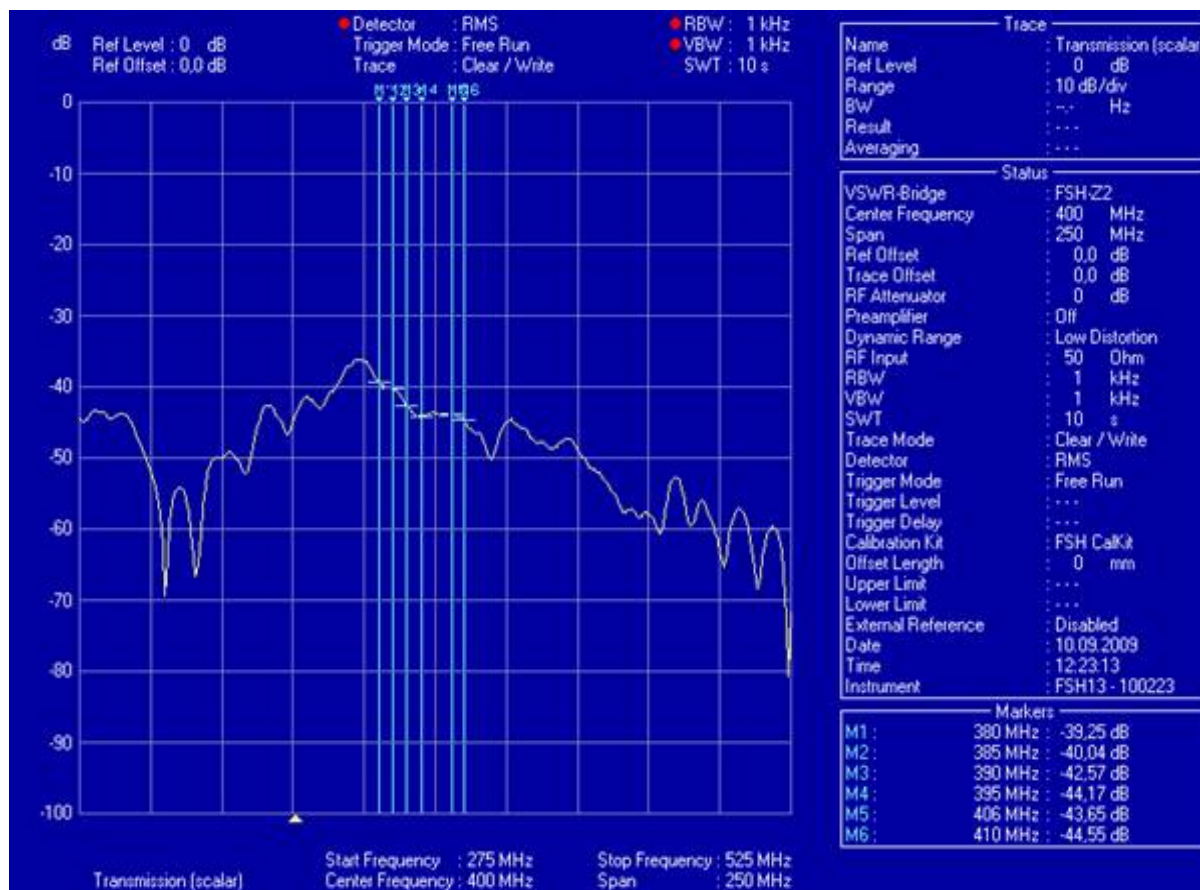


Abbildung 21: Beispiel für die Messung der Antennen-Entkopplung

#### 9.4 Funkversorgung im Objekt (Funktionale Abnahme)

Die funktionale Überprüfung der geforderten Versorgungsgüte, der Redundanzvorgaben und die Gewährleistung der Ende-zu-Ende-Kommunikation im Objekt obliegen der fordernden BOS. Näheres hierzu ist den entsprechenden Merkblättern zu entnehmen.

Für die Messung kann wiederum ein portables Messsystem wie in Abbildung 14 zum Einsatz kommen. Die Anforderungen entsprechen den Ausführungen in Kapitel 9.1. Hierbei erfordert der Einsatz meist ein tragbares System für die Messungen wie beispielsweise in Gebäuden.

Messgrößen sind die Feldstärke bzw. Empfangsleistung der versorgenden Basisstation in den zu versorgenden Teilen des Objektes. Bei einer Gebäudeversorgung sollten dabei in jeder Geschossebene repräsentative und möglichst homogen verteilte Räume exemplarisch vermessen werden. Tiefgaragenebenen sollten möglichst gleichmäßig in einem Raster von etwa 5-10 m vermessen werden. Straßentunnel sollten entlang jeder Fahrbahn und – falls vorhanden – auf dem Mehrzweckstreifen untersucht werden. Hierzu kann auch ein in einem Fahrzeug eingebautes Messsystem zum Einsatz kommen. Bei Eisenbahntunneln ist eine Messung mit einem tragbaren System möglich, solange der Tunnel nicht in Betrieb ist (und die Tunnellänge diese Messung in vertretbarer Zeit zulässt).

Zusätzlich zu repräsentativen Untersuchungen sollten innerhalb des Objektes alle Flucht- und Rettungswege und die damit in Verbindung stehenden Gebäudeteile unter-

sucht werden. Dies schließt meist sämtliche Treppenhäuser in Gebäuden und insbesondere separate Rettungstunnel und deren Zugänge bei Tunnelanlagen ein.

Je detaillierter die Messung der Versorgungssituation im Objekt erfolgt desto besser ist die Einstellung der optimalen minimierten Verstärkung von eingesetzten Repeatern möglich, so dass das gewünschte Versorgungsziel bei minimaler Verstärkung erreicht wird. Dies trägt zur Minimierung des Störpotenzials des Systems bei.

Die Erklärung der funktionalen Abnahme durch die fordernde BOS ist Voraussetzung für die endgültige Inbetriebnahme der Objektfunkanlage.