



Bundesanstalt  
für den Digitalfunk der Behörden und  
Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

---

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

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

---

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

Fehrbelliner Platz 3, 10707 Berlin  
Postanschrift: 11014 Berlin

**Version V3.3 – 20.05.2019**

## 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>
<b>2.1 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
<b>2.2 Nutzung und Verteilung der Kosten</b>	<b>11</b>
2.2.1 Errichtung einer Objektfunkanlage	12
<b>3 ANFORDERUNGEN AN OBJEKTFUNKANLAGEN</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Verfügbarkeit (permanent / im Bedarfsfall)</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Redundanzvorgaben</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Kapazität und Versorgungskategorie im Gebäude</b>	<b>14</b>
<b>3.4 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>
<b>5.1 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 (Metropolkonzept)	20
5.1.4 Repeater-Anbindung über Luftschnittstelle an eine Freifeld-Basisstation	21
5.1.4.1 Mehrfach-Objekt-Anbindung über die Luftschnittstelle (Schirmzelle)	23
5.1.5 Passive Einkopplung mit gerichteter Außenantenne	24
<b>5.2 Objektversorgung mit DMO</b>	<b>25</b>
5.2.1 DMO-Repeater	25
5.2.1.1 DMO- 1A Repeater	25

5.2.1.2	DMO- 1B Repeater	26
5.2.1.3	Frequenzplanung für DMO-Repeateranlagen	26
<b>5.3</b>	<b>Autarke Basisstation in der Objektversorgung</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Verteilssystem im Objekt</b>	<b>27</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	29
<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>32</b>
<b>6.3</b>	<b>Objektversorgung mit DMO-Repeater oder autarker 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 TMO-Repeater</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 mittel DMO-Repeater/ autarke Basisstation</b>	<b>35</b>
<b>7.3</b>	<b>Objektversorgung mittels eigener Basisstation</b>	<b>35</b>
7.3.1	Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss	36
7.3.2	Anbindung der Basisstation an das Zugangsnetz	36
<b>7.4</b>	<b>Einbindung einer Objektfunkanlage in das BOS-Netz</b>	<b>36</b>
7.4.1	Kapazität	36
7.4.2	Frequenzzuweisung und –beantragung	37
<b>7.5</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>

8.4.1	Rechenbeispiel Rauschbeitrag TMO-Luftschnittstellen-Repeater	41
<b>8.5</b>	<b>Redundante Signaleinspeisung</b>	<b>42</b>
<b>8.6</b>	<b>Feldstärkevorgaben und Zellwechsel</b>	<b>43</b>
<b>8.7</b>	<b>Frequenznutzung und Kriterien für störungsfreien Betrieb</b>	<b>43</b>
<b>8.8</b>	<b>Zusätzlicher Einsatz von Außenantennen</b>	<b>44</b>
8.8.1	TMO-Objektfunkanlagen	44
8.8.2	DMO-Objektfunkanlagen	44
<b>9</b>	<b>MESSUNGEN</b>	<b>45</b>
<b>9.1</b>	<b>Panoramamessungen - Ermittlung der HF-Bedingungen für TMO - Luftschnittstellenanbindung</b>	<b>45</b>
9.1.1	Allgemeines und Vorbemerkungen	45
9.1.2	Voraussetzungen - planerisch und messtechnisch	47
9.1.3	Ablauf der PM	50
9.1.3.1	Messungen mit 2 dBi Rundstrahler	50
9.1.3.2	Messungen mit Richtantenne	51
9.1.4	Dokumentation der Ergebnisse	52
9.1.5	Auswertung der Panoramamessung	54
9.1.6	Panoramamessungen in Bestands-OV-Systemen	56
9.1.6.1	Panoramamessungen-Wartung ( PM-W )	56
<b>9.2</b>	<b>Funkversorgung am Objekt (Umfeldmessung)</b>	<b>58</b>
9.2.1	Messaufbau und Messgeräte	58
9.2.2	Aufbereitung und Visualisierung der Messergebnisse	59
<b>9.3</b>	<b>Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne</b>	<b>61</b>
9.3.1	Messaufbau und Messgeräte	61
<b>9.4</b>	<b>Anbindepegel am Repeatereingang</b>	<b>62</b>
9.4.1	Messaufbau und Messgeräte	63
<b>9.5</b>	<b>Rauschleistung im Uplink (UL) vom Repeater zur Basisstation</b>	<b>64</b>
9.5.1	Messaufbau und Messgeräte	64
<b>9.6</b>	<b>Funkversorgung im Objekt (Funktionale Abnahme)</b>	<b>66</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>Inhaltliche 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>Umfassende inhaltliche Überarbeitung</b>
3.1	<b>Abschnitt 7.1.1, 7.1.2 und 8.4.1 inhaltlich angepasst in Bezug auf Repeatervertrag und Rauschberechnung</b>
3.2	<b>Fortschreibung Kapitel 9 und Integration der Messanleitung</b>
3.3	<b>Umfassende Überarbeitung des Kapitels 9.1 Panoramamessung</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AS	Autorisierte Stelle des Landes
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
TMO	Trunked Mode Operation
TMOa	autarke Basisstation (ohne Netzanbindung)
TMOR	Trunked Mode Repeater (Repeater im TMO-Betrieb)
TRX	Transceiver (Sende- und Empfangsteil der Basisstation)
TX	Transmitter (Sender)
UL	Uplink (Verbindung Mobilstation zu Basisstation)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VSA	Verschlusssachenanweisung
VStättVO	Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (Stehwellenverhältnis)

## **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 Gebäudeinnern 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 bleibt der Regelungsanspruch der BDBOS 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 strategische 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 Digitalfunknetz 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. Der mit der Einführung des Digitalfunks verbundene Auftrag ein einheitliches Netz für alle BOS aufzubauen, sollte aber auch allen BOS-Kräften die Möglichkeit eröffnen, das verfügbare Netz, also auch in Gebäuden mit Objektfunkanlagen, zu nutzen.

Des Weiteren sollte die Funkversorgung des BOS-Netzes auch in Gebäuden die volle Funktionalität von Tetra gewährleisten. Diese ist nur im Netzbetrieb (TMO) gegeben. Die Betriebsart DMO gilt laut ETSI-Spezifikation als Rückfallstufe und wird auch zukünftig nicht weiter entwickelt werden.

Da in DMO betriebene Objektfunkanlagen nur im (Feuerwehr-)Einsatzfall eingeschaltet werden sollen (s. Kapitel 3.1), werden andere BOS zudem im Regelfall 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 Verschlussanweisungen 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.

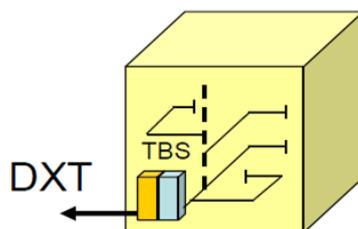


Abbildung 5-1: Eigene Basisstation im Objekt

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 Objektverteilstrom	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 Antennennerverteilsystem 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.

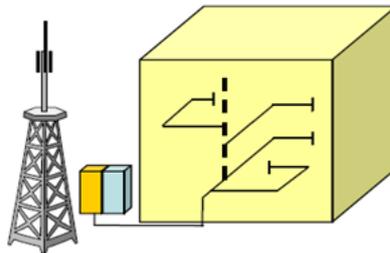


Abbildung 5-2: Direkte HF-Ankopplung an Freifeld-Basisstation

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 Antennenverteilsystem des zu versorgenden Objektes ausgesendet bzw. empfangen. Die optische Zwischenwandlung dient der verlustärmeren Übertragung.

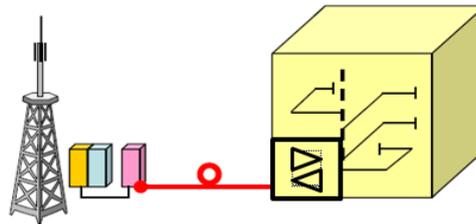


Abbildung 5-3: Repeater mit Anbindung über LWL

Besonderheiten der Variante	Folgeerscheinungen
<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.

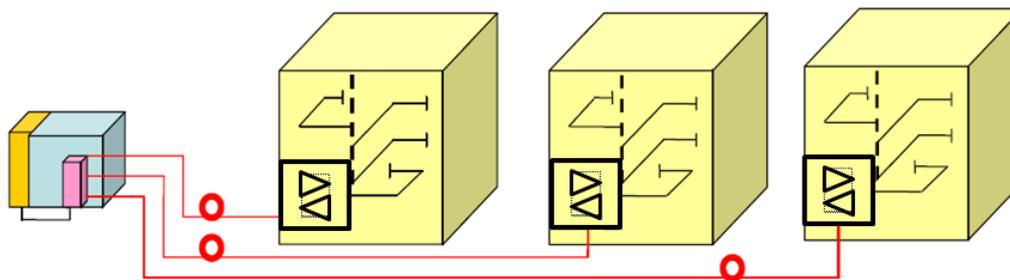


Abbildung 5-4: Anbindung mehrerer Repeater über LWL

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 Zugangsnetz	
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. Abschnitt 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 Repeater-technik ergebende Verlängerung der Signallaufzeit im Gebäude kann die Anbindung an eine Basisstation erforderlich machen, die nicht gleichzeitig Best-Server im Gebäudeumfeld ist (s. Abschnitt 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 Kapitel 8 beschrieben. Der Rauscheintrag kanalselektiver Repeater lässt sich durch den Einsatz des unter Abschnitt 5.5.1 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.

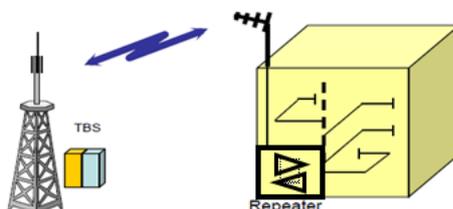


Abbildung 5-5: Repeater mit Anbindung über die Luftschnittstelle

Besonderheiten der Variante	Folgerscheinungen
<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 Parametergenerierung. 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.

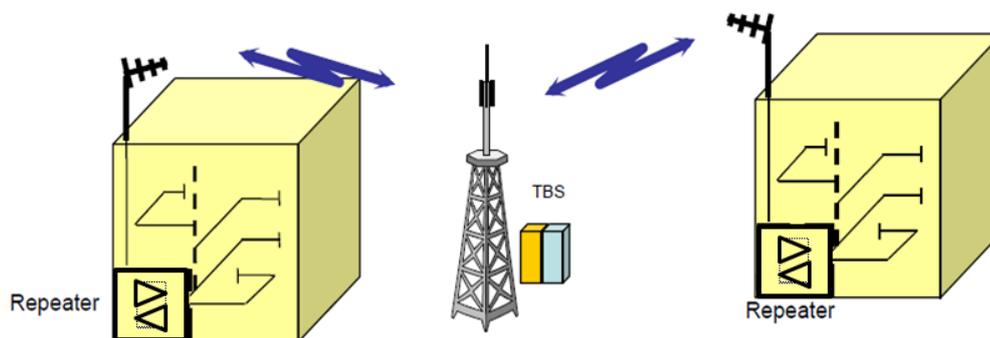


Abbildung 5-6: Anbindung mehrerer Repeater über die Luftschnittstelle

Auswirkung auf das Digitalfunk BOS-Netz	Folgerscheinungen
<b>Festnetz</b>	
Die zusätzliche Verkehrslast der	Anbindung von zusätzlichen Basisstationen

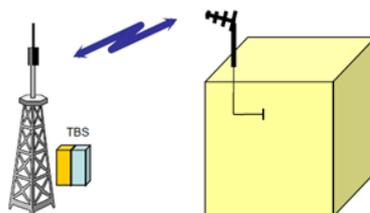
Objektversorgung wird zur DXT transportiert.	zur Versorgung von mehreren Objekten erforderlich.
<b>Funknetz</b>	
In der Regel ist eine Kapazität von 2 Trägern ausreichend	Verkehrsüberwachung und ggf. Trägernachrüstung erforderlich
Rauschen der Objektversorgungs-TBS erhöht sich durch Repeater-Anbindung (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 8
<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 5-7: Passive Einkopplung mit Außenantenne*

<b>Besonderheiten der Variante</b>	<b>Folgerscheinungen</b>
------------------------------------	--------------------------

<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.

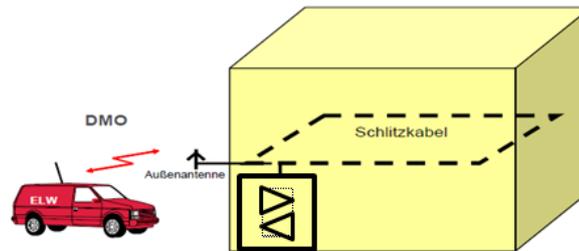


Abbildung 5-8: Einsatz eines DMO-Repeater

### 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-Repeater 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 PräsenzsSignale eines anderen DMO-Repeater erkennt – sogenannte „Verriegelung“.

DMO-1A-Repeater werden 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-Repeater 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 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 Verschlüsselung 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.

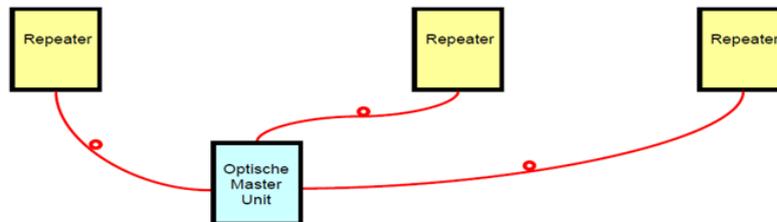


Abbildung 5-9: Komponenten eines optischen Verteilsystems

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

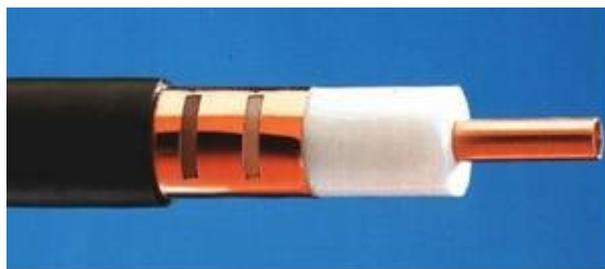


Abbildung 5-10: Aufbau eines Schlitzkabels

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>homogene Funkfeldverteilung ununterbrochene HF-Abdeckung, damit einfache Versorgung von Problemereichen (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 angebotenen 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 ausulegen. 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 5.5.1) 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) 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-Repeater. 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 2), 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 die für die Planung der Objektversorgung erforderlichen Angaben:

- Anbindungsart
- Ausrichtung der Anbindeantenne
- Ausgangsleistung der Anbinde-Basisstation zur Berechnung der Desensibilisierung
- Zielwert für Desensibilisierung
- ggf. Frequenzen bei Einsatz einer kanalselektiven Repeater- Anbindung
- ggf. Vorgaben zu Filterbandbreiten der kanalselektiven Repeater bzw. Laufzeitverzug
- ggf. Vorgaben zu Uplink-Stummschaltungs-Einstellungen

bzw.

- Standort der Anbinde-Basisstation bei Versorgung über leitungsgeführte Anbindung (LWL oder HF-Signal)

- Technische Kennwerte und Vorgaben zum leitungsgebundenen Anschluss

### **7.1.2 Abnahme und Inbetriebnahme**

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

TMO-Repeateranlagen betreffend muss spätestens an dieser Stelle der vom Objekteigentümer gezeichnete „Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss für TMO-Repeater“ in der BDBOS vorliegen (Schriftform). Bestandteil dieses Vertrages sind die zur Abnahme finalisierten „Systemkennwerte zur Inbetriebnahme von Objektfunkanlagen mit TMO-Repeatern“, das wichtige Anlagenkennwerte dokumentiert.

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. Für TMO-Luftschnittstellen-Repeater ist das Datenblatt „Systemkennwerte zur Inbetriebnahme von Objektfunkanlagen mit TMO-Repeatern“ obligatorisch und Voraussetzung für den Betrieb der Anlage.

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 Anbindungs-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.

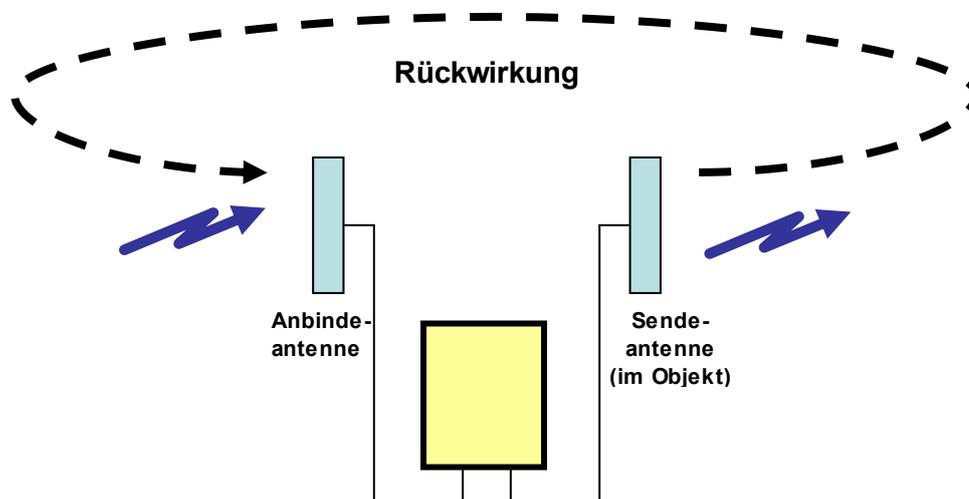


Abbildung 8-1: Schematische Darstellung der Rückwirkung von Sende- auf Anbindeantenne

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.

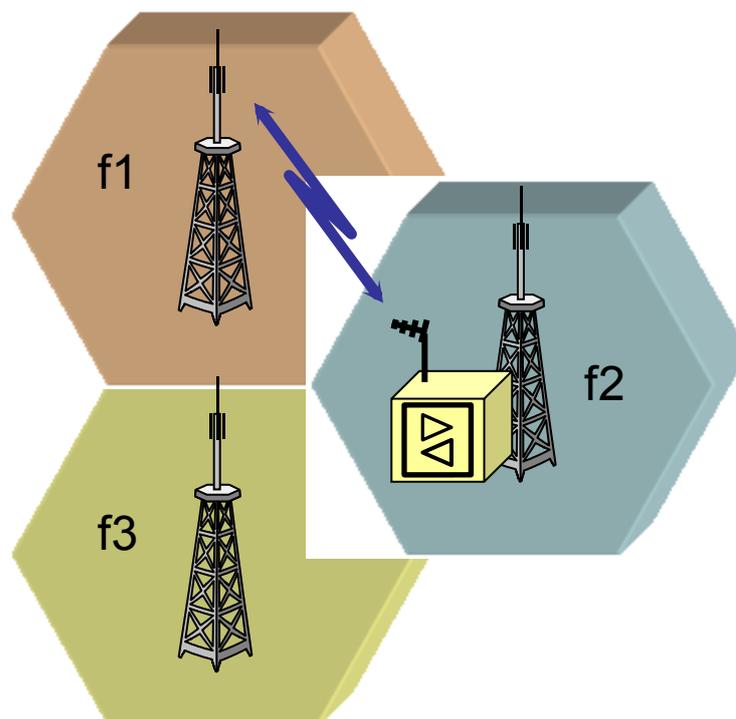


Abbildung 8-2: Anbindung des Repeaters an eine benachbarte Funkzelle

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

### 8.4.1 Rechenbeispiel Rauschbeitrag TMO-Luftschnittstellen-Repeater

Im Rahmen der Zuweisung der Anbindezone hat die AS/Landesstelle die Einhaltung der Desensibilisierungsgrenze sicherzustellen.

Grundrauschen TBS Eingang [dBm]	-124	konstante Kanalrauschleistung
Ausgangsleistung Anbinde-TBS BSPWR [dBm]	40	TBS spezifisch von AS/Landesstelle übermittelt
Thermisches Grundrauschen Repeatereingang [dBm]	-130	konstante Kanalrauschleistung - untere Rauschgrenze Repeatereingang MS-seitig
Rauschmaß Repeater bei vorgesehener Verstärkung [dB] $F_{dB}$	5	Beispielwert
DL-Pegel Anbindezone am Eingang Repeater DL-RxLev Repeater [dBm]	-40	Tetra MCCH pegelrichtig gemessen +/-1dB Messtoleranz
Verstärkung Repeater $A_{Rep}$ [dB]	82	Beispielwert - variabel
Zusätzliche Leerlauf-Dämpfung durch Uplink-Stummschaltung D	12	Beispielwert - variabel/Bereich Hersteller abhängig

Ableitung des Pfadverlustes:

Pfadverlust [- dB]	=	BSPWR [dBm]	-	DL-RxLev Repeater [dBm]
80	=	40	-	(-40)

Rauschberechnung des **ersten** Repeaters an einer TBS:

$$P_{\text{Rauschen Rep-TBS}} = P_{\text{Grundrauschen Rep}} + F_{dB \text{ Rep}} + A_{\text{Rep}} + \text{Muting} + \text{Pfadverlust}_{\text{TBS-Repeater}}$$

$$- 135 \text{ dBm} = -130 \text{ dBm} + 5 \text{ dB} + 82 \text{ dB} + (-12 \text{ dB}) + (-80 \text{ dB}) \quad (1)$$

Leistungswerte delogarithmieren und zur Gesamtrauschleistung dieser spezifischen Repeater/TBS Konstellation  $P_{\text{Gesamtrauschen}}$  addieren:

$P_{\text{Rauschen Rep an TBS}}$	- 135 dBm	->	3,16228E-14 mW
$P_{\text{Grundrauschen TBS}}$	- 124 dBm	->	+ 3,98107E-13 mW
$P_{\text{Gesamtrauschen TBS}}$	- 123,67 dBm	<-	4,2973E-13 mW

Differenz zwischen Grundrauschleistung TBS und Gesamtrauschleistung TBS ergibt die Desensibilisierung der Anbinde-TBS

$P_{\text{Grundrauschen TBS}}$	- 124 dBm
$- P_{\text{Gesamtrauschen TBS}}$	+ 123,67 dBm
Desensibilisierung $TBS$	0,23 dB

Mit jedem weiteren Repeater an einer jeweiligen Anbinde-TBS ist das Gesamtrauschen entsprechend inkrementell zu erhöhen.

## 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.

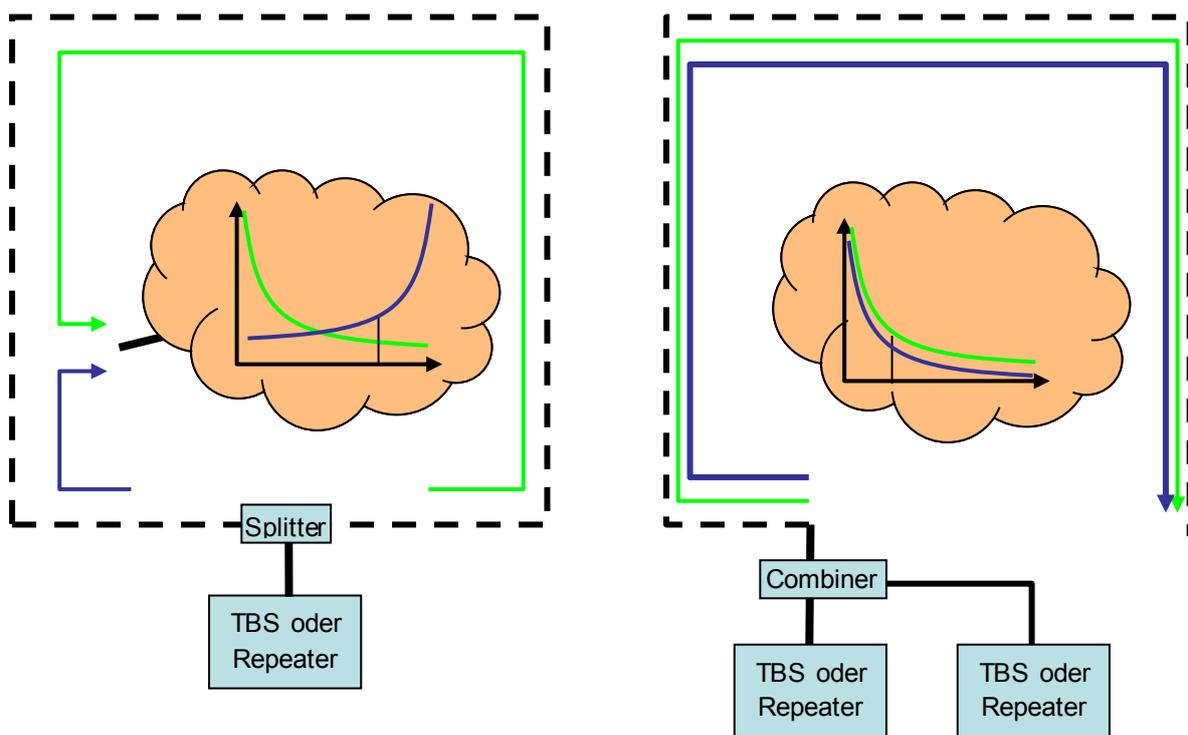


Abbildung 8-3: Möglichkeiten zur redundanten Signaleinspeisung

## 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 (Sollwert, ggf. noch akzeptabel 15...16 dB) 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 Reselection 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 7.1).

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, Tunneleinlässe, Notausgänge) soweit wie nötig eine Überlappung zwischen Objektfunkversorgungsbereich und Freifeldversorgungsbereich geschaffen werden. Dabei kann der Zellwechselbereich sowohl im als auch außerhalb des Objektes liegen.

### **8.8.2 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

Im Rahmen der Realisierung einer Objektversorgung (OV) im Digitalfunk BOS mit einem (luftangebundenen) TMO-Repeater (kurz TMOR) sind diverse Messungen erforderlich. Am Beginn des Errichtungsprozesses müssen Messungen zur Bestätigung der Erforderlichkeit einer OV, zur Gewährleistung der digitalen Funkkommunikation im Gebäude, sowie im zweiten Schritt zur Planung und Festlegung von Anbindung und optimaler Repeater-Konfiguration erfolgen. Weitere Messungen werden durch das Anzeigeverfahren und den Verwaltungsvertrag zum Netzanschluss von TMOR vorgeschrieben.

Die eigentlichen messtechnischen Maßnahmen lassen sich unterscheiden in:

1. vorbereitende Messungen (ohne vorhandene bzw. aktive Objektversorgung):
  - Umfeld- und Versorgungsmessung zur Ermittlung der Funkversorgung am und im Objekt und
  - Panoramamessung zur Festlegung der Anbindung eines TMOR
2. validierende Messungen (mit aktiver Objektversorgung):
  - Messung der Entkopplung von Anbinde- und gebäudeseitigem Antennennetzwerk,
  - Messung der Rauschleistung im Uplink (UL) vom Repeater zur Basisstation
  - Messung des Anbindepegels am Repeatereingang sowie
  - Ermittlung der Außenwirkung der realisierten OV (Umfeldmessung)

Die einzelnen Messungen sind im Folgenden näher beschrieben, um die Durchführung mit konkreten, praxisnahen Anleitungen zu unterstützen. Dieses Kapitel richtet sich somit insbesondere an die Planungs- und Errichterfirmen, die diese Messungen in der Regel vornehmen. Ziel ist es, bundesweit vergleichbare Messergebnisse nach standardisierten Verfahren in einheitlich hoher Qualität zu gewährleisten. Ggf. sind weitere, landesspezifische Vorgaben zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass die Messungen mit aktiver Objektversorgung erst nach erfolgreicher Beantragung der Anlage bei der BNetzA und anschließender Gestattung der Frequenznutzung durch die BDBOS durchgeführt werden können (Schritt 5 des Anzeigeverfahrens). Nach Durchführung der Messungen ist die Anlage wieder zu deaktivieren. Die Aufnahme des regulären Betriebs ist erst nach erfolgreicher Abnahme und Inbetriebnahmemeldung und somit dem Abschluss des Anzeigeverfahrens mit Schritt 8 und 9 (Inbetriebnahmebestätigung und Frequenznutzung) gestattet.

### 9.1 Panoramamessungen - Ermittlung der HF-Bedingungen für TMO - Luftschnittstellenanbindung

#### 9.1.1 Allgemeines und Vorbemerkungen

Panoramamessungen (nachfolgend abgekürzt PM) sind für eine Bewertung der potentiellen Anbindezellen und die Festlegung der optimalen Anbindung eines TMORmittels Richtantenne obligatorisch. Die vorgegebenen Messungen und daraus resultierenden Auswertungen sind für den sicheren dauerhaften funktionalen sowie rückwirkungsfreien Betrieb zwingend erforderlich. Ferner ermöglichen sie eine Bewertung der Belastung der im Einflussbereich der OV liegenden Freifeld-Basisstationen durch von ihr hervorgerufenen Uplinkaussendungen.

**Hinweis:**

Es wird dringend empfohlen, ein „Vor-Abstimmungsgespräch“ mit der jeweilig zuständigen Autorisierten Stelle (AS) zu führen, um notwendige objekt- und länderspezifische Informationen, Daten und Anforderungen für eine dahingehend korrekte PM zu erhalten und somit Wiederholungsmessungen zu vermeiden. In einigen Bundesländern ist dieses Abstimmungsgespräch obligatorisch.

*Hinweis 9-1*

Der Begriff der PM selbst ist weiter gefasst und beinhaltet neben der eigentlichen Messung des Umkreises per Richtantenne noch weitere Messanforderungen und Aufgabenstellungen:

- *Ermittlung der technisch möglichen Anbinde-Basisstation(en)*
  - HF-Kanalleistungen der Nutz- und Nachbar-Kanäle im DL.
  - Stabilität der HF-Leistungen, sowie Erkennen und Aufzeichnen von Störeinflüssen
  - Modulationsqualität der relevanten HF-Träger
- *Ermittlung bestimmter Zell-Informationen der Basisstationen über die MCCH*
  - Identifizierung der Basisstationen: LAC
  - Funktion der ermittelten HF-Träger: MCCH oder TCH
  - Einbuch- und Umbuchparameter
- *Auswertung und Bewertung der aufgenommenen Daten*

Diese Messanforderungen und Aufgabenstellungen weisen teilweise zusätzliche Punkte auf, die abhängig von den Anforderungen und der Verfahrensweise des Landes zu erbringen sind. Hierzu sei abermals auf den obigen Hinweis zum „Vor-Abstimmungsgespräch“ verwiesen.

Die beschriebene PM berücksichtigt, dass die grundsätzlichen Vorgaben der eingestellten Filterbandbreiten der Repeater bei  $\leq 35$  kHz liegen und direkte Nachbarkanäle ( $\pm 25$  kHz) einer anderen Basisstation keinen größeren Pegel aufweisen als die Anbinde-Basisstation selbst.

Im Ergebnis liefert die PM die Vorgaben zur Anbindung im Rahmen des Prozesses der Anzeige zum Aufbau oder Änderung von Objektfunkanlagen. Dabei kommen folgende Grundannahmen zur Anwendung:

- Das Richtantennen-Diagramm bestimmt die Wechselwirkung zwischen dem Digitalfunk BOS-Freifeld und dem zu planenden OV-System im Vollwinkel 360°.
  - -> die Parameter der Antenne werden deshalb vorgegeben
- Die zugeteilten Kanäle und Filterbandbreiten im kanalselektiven TMOR erfordern die zwingende Bewertung folgender Kennwerte:
  - -> Nachbarkanal-Downlink-Leistungen, die bei Repeater-Filterbandbreiten  $\geq 35$  kHz von anderen Freifeld-Basisstationen (ggf. störend) ins Objekt eingebracht werden könnten
  - -> Uplink-Rauschen in anderen Freifeld-Basisstationen im Wirkungsbereich der Richtantenne bei Repeater-Filterbandbreiten von  $\geq 35$  kHz. (Rauschleistungen im Einflussbereich von vergrößerten Repeater-Filterbandbreiten werden zufällig um den Betrag des Uplink-Mutings angehoben, wenn ein im Objekt aktives HRT per Rufaufbau oder Signalisierung die Rausch-Minderung austastet.)
- Die Summenleistung aller leistungsstark einwirkenden Basisstationen auf den breitbandigen Vorverstärker des TMOR.

### 9.1.2 Voraussetzungen - planerisch und messtechnisch

Die PM ist grundsätzlich an der Position durchzuführen, an der später die Anbindeantenne platziert werden soll und die eine 360° Rundumsicht ermöglicht. Das schließt die spätere Nutzung von baulichen Gegebenheiten für gezielte Entkopplung der Anbinde-Basisstation nicht aus, ein initialer Überblick über die Gesamtsituation ist jedoch notwendig.

Bei Objekten, die sich noch in der Planung bzw. im Aufbau befinden hat eine PM auf z.B. Nachbargebäuden o.ä. nur vorläufigen Charakter und ist immer im obigen Sinne zu wiederholen.

Eine spätere Montage der Betriebs-Anbindeantenne an räumlich anderer Stelle erfordert ebenso eine Wiederholung der PM, wenn Nachbarkanal-Leistungen der zugeteilten Frequenzen den Wert der Kanalleistung der Anbinde-Basisstation überschreiten oder ein starker Best-Server unterdrückt werden muss.

Der PM sollte eine Vorplanung des künftigen OV-Systems vorausgehen. Mindestens zwei Punkte gilt es bereits bei der Vorauswahl des Antennenstandortes zu berücksichtigen:

- Der Kabelweg von Anbindeantenne zum Repeater ist dämpfungsarm auszulegen (Distanzen und Kabeltyp)
- Die HF-Isolation zwischen dem Funkfeld der Anbindeantenne und dem OV-Funkfeld des Antennennetzwerks bestimmt grundlegend die mögliche Verstärkung des TMO-Repeaters und sollte bestmöglich vorgeplant werden.

Die zu nutzenden Messmittel einer PM sind nicht vorgeschrieben, sondern ergeben sich ebenso wie Werkzeuge zur Auswertung aus den Anforderungen an die PM, die vollständig zu erfüllen sind.

Die genutzte aktive und passive Messtechnik inkl. der Antennen ist detailliert unter Darstellung eines Blockschaltbildes zu beschreiben. Die Basiseinstellungen, sowie die Toleranzen der Parameter sind dabei nachzuweisen bzw. zu dokumentieren. (Umfassendes Messprotokoll)

Bestandteil einer PM sind Rundum-Fotos vom Aufstellort mit Sicht über die Ausrichtungsachse der montierten Richtantenne unter Erkennbarkeit der räumlichen Orientierung. Ergänzend ist ein Foto zu fertigen, dass den Messaufbau und seine Orientierung auf dem Gebäude wiedergibt.

Der Standort der PM und damit der Anbindeantenne ist so auszuwählen, dass die Anforderung einer freien ersten Fresnelzone bestmöglich erfüllt wird.

Es werden 2 vertikal polarisierte Antennen für die Messungen benötigt:

- Rundstrahlantenne 360°;  $\lambda/2$ ; Gewinn 2dBi.
- Richtantenne mit Öffnungswinkel  $\leq 47^\circ$  (3dB) und einer Nebenkeulendämpfung von  $\geq 20$ dB im Bereich von  $55^\circ$  bis  $305^\circ$  im Antennen-Kreis-Diagramm.

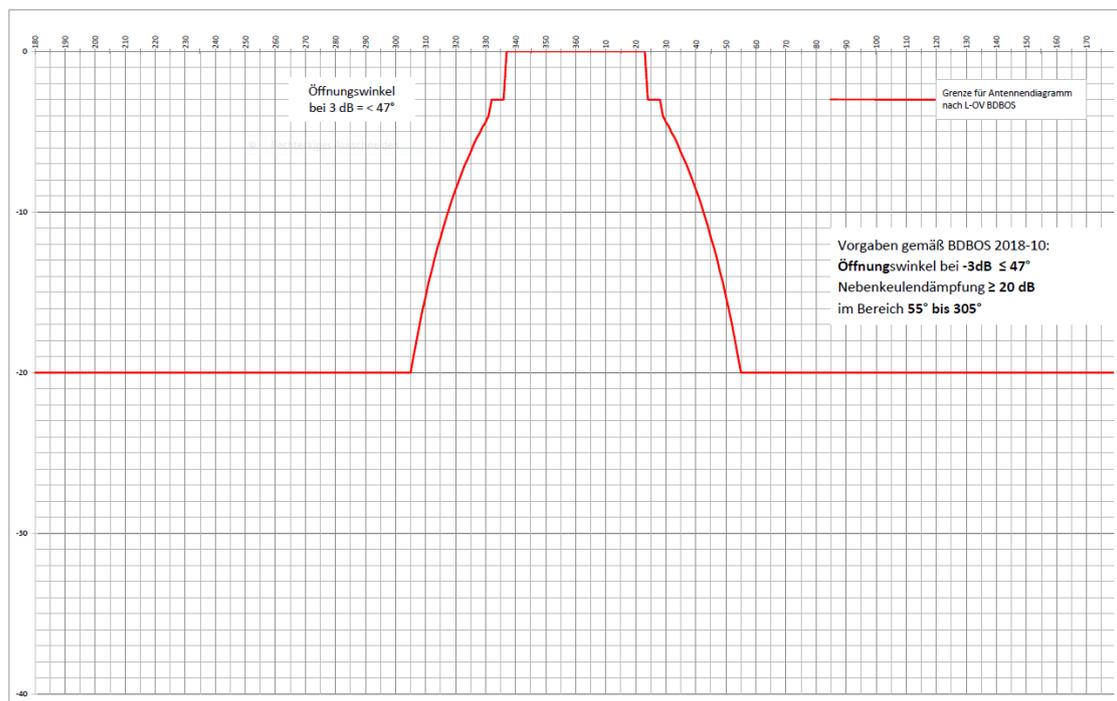


Abbildung 9-1 Grenzwert-Maske Richtantenne kartesisch

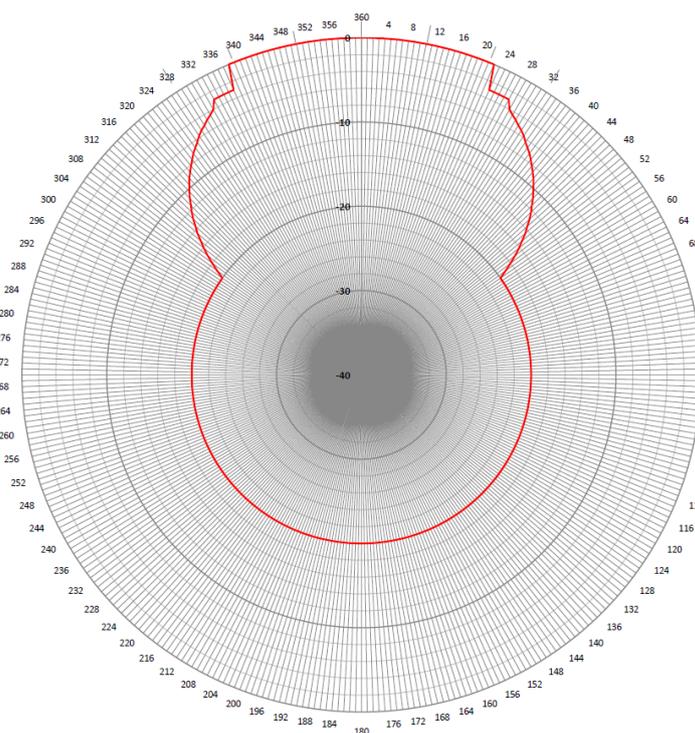


Abbildung 9-2 Grenzwert-Maske Richtantenne polar

In Sonderfällen kann die zuständige Autorisierte Stelle in Abstimmung mit der BDBOS bei Bedarf (Nachweis) eine abweichende Charakteristik vorgeben.

Der Pfadverlust zwischen Messantenne und Messempfänger ist zu ermitteln und rechnerisch zu kompensieren. Ziel ist die ausschließliche Bewertung und Dokumentation des über die Antenne erfassten Funkfeldes.

Die Position der Messantenne ist per GPS Empfänger aufzunehmen und im WGS 84 Format zu dokumentieren. Zusätzlich ist die Höhe über Grund anzugeben.

Die spätere Betriebs-Antenne muss mindestens den technischen Vorgaben der Messantenne genügen - ein entsprechender Nachweis ist zu führen.

### 9.1.3 Ablauf der PM

**Hinweis:**

Unmittelbar vor Messdurchführung sollte über die AS erfragt werden, ob im Messgebiet Ausfälle von Basisstationen zu verzeichnen sind. Mögliche fehlende Zellen würden das Ergebnis der PM insgesamt in Frage stellen.

*Hinweis 9-2*

#### 9.1.3.1 Messungen mit 2 dBi Rundstrahler

##### **Hintergrund der Rundstrahler-Messung**

Die Ergebnisse der Messung per Rundstrahler ermöglichen die Gegenüberstellung der HF-Leistungs-Differenzen von Basisstationen des Freifeldes ohne den Einfluss einer Richtantennen-Charakteristik.

Neben den HF-Kanalleistungen einer Basisstation werden jeweils auch einige Zellparameter gewonnen. Es ist zulässig, diese allein hier erfassten Daten mit den unmittelbar nachfolgenden HF-Leistungs-Messungen über die Richtantenne zu verknüpfen (Option, abhängig vom jeweiligen Mess-System).

Die Zell-Daten muss der Planer zur Berechnung der richtungsabhängigen Umbuch-Situationen zwischen dem Freifeld und dem Funkfeld des OV-Systems, sowie innerhalb der UL-Linkbilanz (Berücksichtigung der UL-Sendeleistung in Abhängigkeit der HRT RSSI-Werte) heranziehen.

Aus den HF-Leistungswerten der Rundstrahler-Messungen lässt sich herleiten:

- Die Pegel-Dynamik zwischen Basisstationen macht die Fixierung des Referenzlevels aller unmittelbar folgenden Richtungs-Messungen (keine Übersteuerungen, kein Mess-Bereichswechsel der spektralen Anzeigen) notwendig. Pegelreferenzbildend ist dabei die HF-leistungstärkste Freifeld-Basisstation, deren gemessene MCH-Kanalleistung hierzu um 9 dB (Vermeidung der Übersteuerung bei Auftastung aller möglichen TCH der stärksten BS) und dem Antennengewinn der Richtantenne zu erhöhen ist.
- Hinweis bei sehr starken Best-Servern auf die Berücksichtigung einer räumlichen Anbinde-Verbotzone in der späteren Ausrichtung. (Verbinden der Richtantennen-Selektivität mit den Winkelbezügen der Basisstationen) - Abgrenzung über die Ausrichtung zu HF-leistungstarken Best-Server(n).

##### **Durchführung der Messung:**

- Es ist ein Bandpassfilter 390-395 MHz zwischen Antenne und Mess-Empfänger zu schalten, um den typisch breitbandigen Mess-Vorverstärker im optimalen Arbeitsbereich zu halten. (Blocken des Einflusses anderer Funk-Systeme). Dämpfung und Frequenzgang des Bandpassfilters sind in den Messergebnissen rechnerisch zu kompensieren.
- Aufnahme des Downlink-Spektrums von 390-395 MHz. Pro Tetra-Kanal sind  $\geq 10$  Messungen (Mess-Sequenzen), gleichmäßig verteilt über einen Zeitraum von mindestens einer Minute durchzuführen und im Gesamtergebnis zu mitteln.

- Detektor: RMS
- zusätzlich 2 Trace-Funktionen: Max Hold und Min Hold (Erkennung von Fading)
- Stehen die aktuellen, nachfolgend aufgeführten Zellparameter, dem OV-Planer nicht zur Verfügung, können diese im Rahmen der PM ermittelt werden:
  - Tetra-Kanal; Frequenz; LAC (Dezimalzahl)
  - Fast Reselect Threshold (FRT), Fast Reselect Hysteresis (FRH), Slow Reselect Threshold (SRT) und Slow Reselect Hysteresis (SRH) (siehe ETSI EN 300 392-2 ; 18.3.4.5 = „Umbuchparameter“)
  - Minimum RX Access Level (siehe ETSI EN 300 392-2 ; 18.5.12)
  - Access\_Parameter und MS\_TXPwr\_Max\_Cell (siehe ETSI EN 300 392-2 ; 23.4.4.2 = UL-Sendeleistungsregelung)
  - Liste der Nachbarzellen-Beziehungen aller Best-Server aus den Umfeldmessungen (Ein Kriterium zur vorzugsweisen Nutzung einer Anbinde-Basisstation ist, dass diese aus der Freifeldplanung eine Nachbarzellen-Beziehung zu den Umfeldzellen des geplanten Objekts hat)

### 9.1.3.2 Messungen mit Richtantenne

- Das Bandpassfilter (siehe 9.1.3.1) verbleibt am Eingang des Mess-Empfängers.
- Der in der Rundstrahlermessung ermittelte HF-Leistungs-Referenzwert des Mess-Empfängers ist während aller Messungen per Richtantenne im Vollkreis beizubehalten.
- Beginnend mit 0° (Nord) ist die Richtantenne in 12 Positionen (Drehwinkelweite je 30° im Vollkreis) für die Dauer der Mess-Sequenzen zu fixieren. Die AS kann abweichende Winkelweiten vorgeben.
- Aufnahme des gesamten Frequenz-Spektrums von 390-395 MHz: Es sind pro Richtungsmessung und Kanal wieder  $\geq 10$  Messungen (Detektor=RMS), gleichmäßig verteilt über einen Zeitraum von mindestens je einer Minute, zu mitteln. Die Dichte der Kanalnutzung macht eine Messung in der Betriebsart Channel-Power notwendig. (RBW  $\leq 300$  Hz; Kanalbreite 24.3 kHz; Pegel-Abweichung  $\leq \pm 2$  dB)
- Das gesamte DL-Frequenz-Spektrum kann entweder mit RBW  $\leq 5$  kHz Kanalvergleichend oder über Channel-Power Messungen absolut bewertet werden. Es ist im Ergebnis optisch so aufzuarbeiten, dass die Auswertung aller, während der Messungen aktiven Nachbarkanal-Leistungen zu einer geplanten OV-Anbindung möglich ist.  
Hinweis: Damit werden pro Richtungsmessung alle 200 DL-Kanäle, die jeweils oberhalb des Messempfänger-Grundrauschens einer schmalen RBW liegen, erfasst.
- Jede Richtungsmessung ist unter Einbeziehung der Richtantenne in das Foto (Sichtachse parallel zur Antennen-Achse) per Bild zu dokumentieren. (Bild-Öffnungswinkel  $> 60^\circ$ ). Die Bilder sind mit der Ausrichtung zu beschriften.
- Die Modulationsqualität ist für jeden Messpunkt der Kanal-Auswertematrix in Anlehnung an die ETSI Spezifikation TS 101 789-1 V1.1.2 Abschnitt 5.5.6 als Vektorfehler zu ermitteln und zu dokumentieren. Grenzwerte sind RMS 10%, Peak 30% gemäß Abschnitt 5.5.6.3



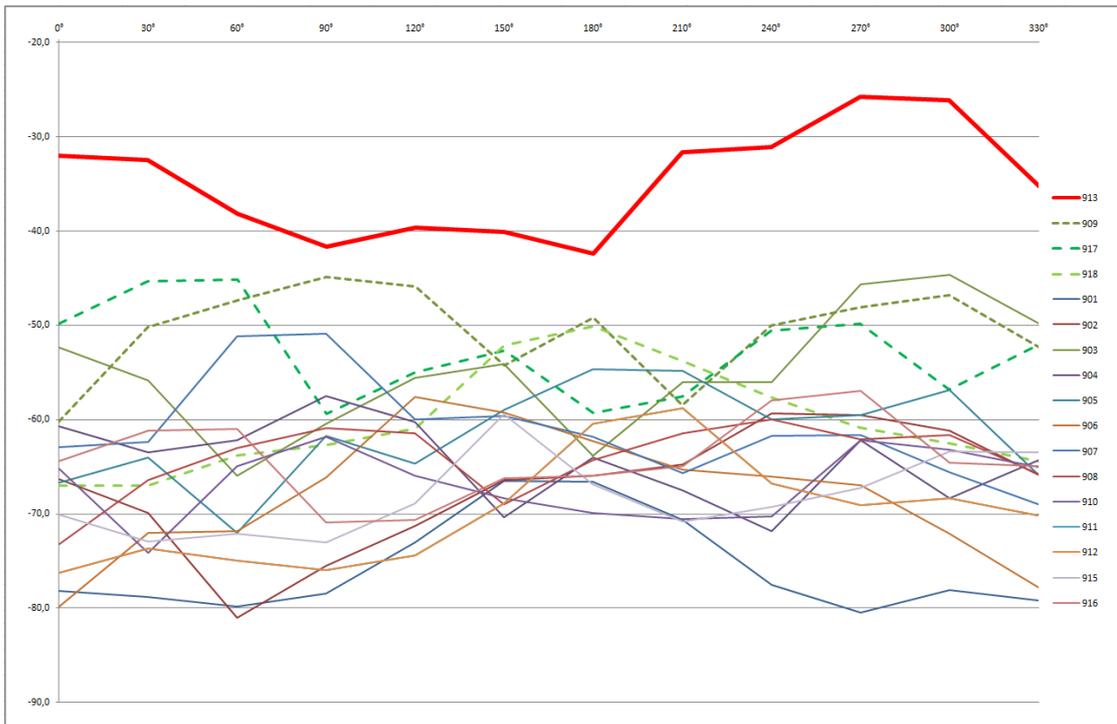


Abbildung 9-4 Musterdiagramm PM kartesisch

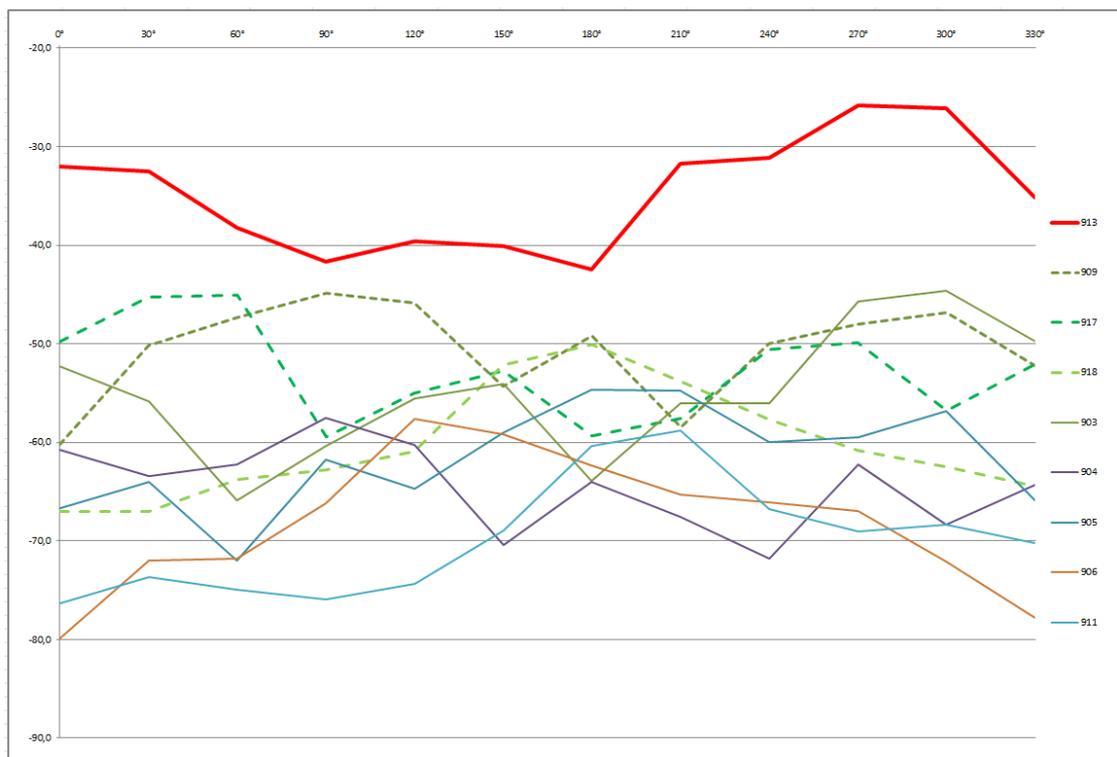


Abbildung 9-5 Musterdiagramm PM Reduziert kartesisch

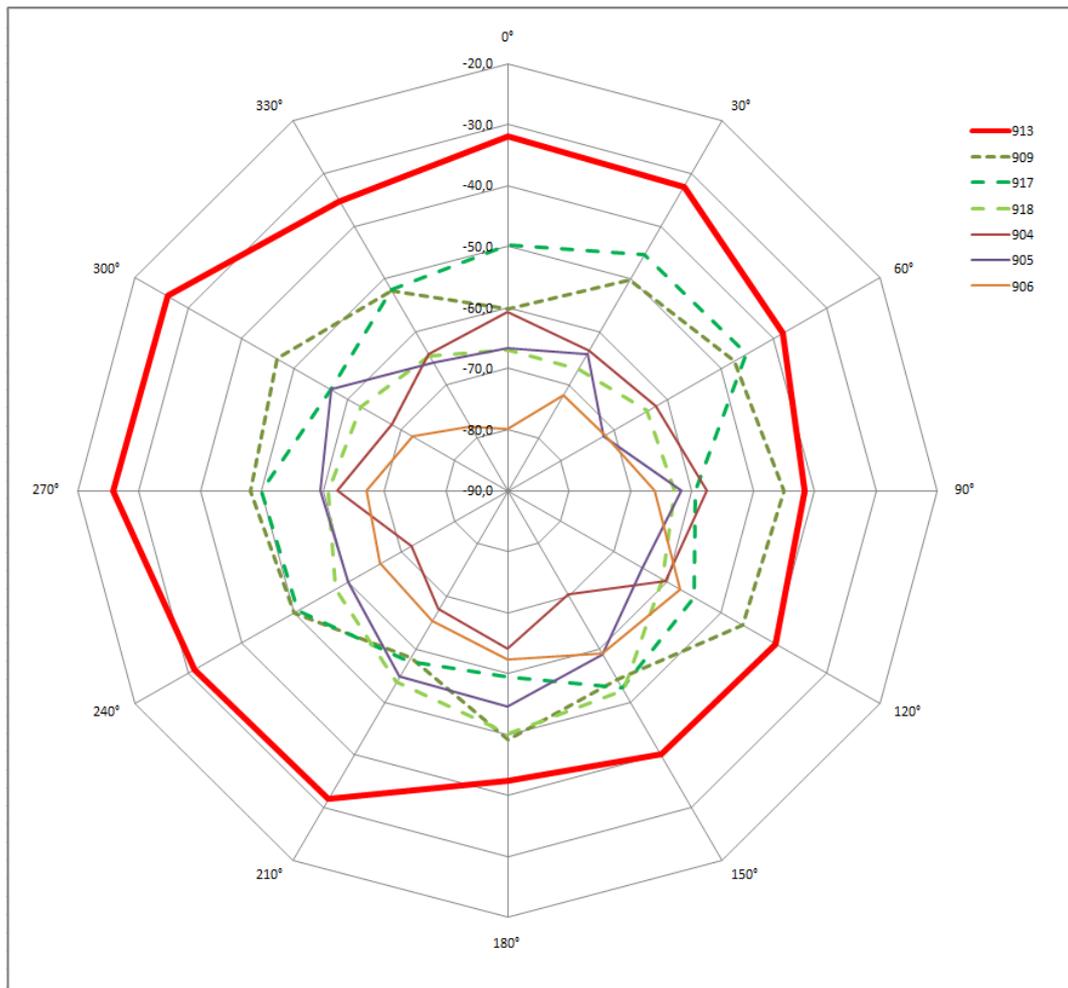


Abbildung 9-6 Musterdiagramm PM polar

Für die 360° Rundstrahlmessung und alle Richtungsmess-Sequenzen ist eine Darstellung des gesamten Downlink-Spektrums über je 200 x Channel-Power, alternativ als Spektrum mit kanalselektiver Auflösung (schmale RBW,  $\leq 5\text{kHz}$ ), in lesbarer Auflösung vorzunehmen.

Gesonderte Hinweise und zu beachtende Umstände zur Anbindung an das Freifeld-Netz sind ausdrücklich erwünscht und können in freier Form als Anlage(n) beigelegt werden.

### 9.1.5 Auswertung der Panoramamessung

Nachfolgende Erläuterungen zur Auswertung der PM haben informativen Charakter und dienen dem umfassenden Verständnis des Verfahrens. Es kann von Seiten des Fachplaners/Errichters allenfalls ein Vorschlag zur Anbindung gewonnen und übermittelt werden - teilt man ihm die unten erwähnten Kanalinformationen nicht mit, ist der Vorschlag wahrscheinlich unzulänglich. Letztendlich bleibt die endgültige Festlegung einer Anbinde-Zelle immer der AS und BDBOS vorbehalten.

Das Ziel der Auswertung der PM ist das Erkennen und Bereitstellen von je nach Kanalzahl (also bis zu 8) notwendigen störungsfreien Frequenzkorridoren zwischen Anbinde-Basisstation und TMO-OV-System.

Die Filterbandbreite des TMO-Repeater bestimmt die Breite dieser Frequenzkorridore. Die Regelvorgabe bei Kanal-Filterbreiten wird auf  $\leq 35$  kHz festgelegt.

Bandbreiten  $\leq 35$  kHz bedingen einen zu bewertenden Korridor von 75 kHz und ermöglichen somit, dass nur in den 1. Nachbarkanälen ( $\pm 25$  kHz) die HF-Leistung bewertet werden muss.

Zu hohe HF-Leistungen neben einem Nutzkanal, aber noch im Durchlassbereich des Kanalfilters können bei zu großer Filter-Bandbreite negativen Einfluss auf die Nutzkanäle haben: ALC-Alarm im betroffenen Nutzkanal bei temporärer Aktivierung von HF-Trägern fremder TBS.

Zu starke Träger außerhalb der Kanalfilterwirkung können ALC-Alarm des breitbandigen Vorverstärkers bewirken und die DL-Repeaterleistung negativ beeinflussen (Rauschen, ggf. Reduzierung der Gesamtverstärkung)

Alle Best-Server Frequenzen des Objektes sollten grundsätzlich einen Mindestabstand von 50 kHz zu den OV-Frequenzen haben. (Maßgeblich sind die Pegelverhältnisse von Best-Server-Basisstation(en) zur Anbindezone.)

Zur Auswertung der PM wird eine Liste aller Kanäle (MCCH plus TCHs) der beteiligten Basisstationen zum Zeitpunkt der Messung benötigt, damit kann eine korrekte Auswertung der PM und die endgültige Festlegung der Anbindezone nur in den AS und bei der BDBOS erfolgen.

Ob die Frequenzkorridore zu einer potenziellen Anbinde-Basisstation auch die notwendige Breite und Reinheit aufweisen, wird anhand der Mess-Ergebnisse (200x Channel-Power oder die DL-Frequenz-Spektren mit RBW  $\leq 5$  kHz) ermittelt:

- (1) Für die jeweils zur Bewertung anstehenden, potenziellen Anbinde-Basisstationen werden alle Kanalnummern der benötigten Frequenzkorridore und die MCCH-Kanalleistung notiert.
- (2) Für alle anderen Freifeld-Basisstationen der PM mit einer MCCH-Kanalleistung größer der vorhergehend notierten Leistung (1) werden jeweils alle zugehörigen Kanalnummern aufgenommen.
- (3) Fällt nur einer dieser Kanäle aus (2) in einen der Frequenzkorridore aus (1), kann diese Funkzelle (1) nicht als Anbinde-Basisstation zugeteilt werden.

Die bekannten Repeaterhersteller empfehlen ebenfalls ausdrücklich, die Nachbarkanal-Pegel kleiner als den Nutzkanal zu halten.

Die maximale Downlink-HF-Summenleistung am breitbandigen Vorverstärker-Eingang eines TMO-Repeater darf nicht zu einer automatischen Leistungsregelung (ALC) aller DL-Kanäle führen. Mindestens die gemessene Best-Server MCCH-Kanalleistung ist zur Bewertung um alle zugehörigen TCH-Kanalleistungen rechnerisch zu ergänzen.

In solchen Situationen ist ggf. mit einer richtungsschärferen Anbindeantenne oder deren Fein-Ausrichtung das HF-Leistungsverhältnis zwischen starken Basisstation(en) und der Anbinde-Basisstation zu verbessern.

Alternativ, soweit es die Anbinde-Leistung ermöglicht, ist der Antennen-Pfad zu bedämpfen.

Das mögliche Uplink-Rauschen zu allen Freifeld-Basisstationen im Wirkungsbereich der Anbinde-Richtantenne kann rechnerisch jeweils aus den gemessenen DL-Pfadverlusten ermittelt werden:

- UL-Rauschen im Nutzkanal zur Anbinde-Basisstation bei aktiver Rauschunterdrückung (Desensibilisierungsbeitrag)
- (Nebenkanal-)Uplink-Rauschen zu allen Freifeld-Basisstationen im Wirkungsbereich von Repeater-Filterbandbreiten größer 35 kHz ( temporär, zufällig wenn zugehöriger UL-Nutzkanal im OV-System aktiv)

### 9.1.6 Panoramamessungen in Bestands-OV-Systemen

Das BOS-Freifeld-Funknetz wird fortlaufend angepasst und unterliegt damit Veränderungen.

Durch Basisstations-Neubauten, durch Standortverschiebungen einer Freifeld-Basisstation oder durch sonstige bauliche Veränderungen im Umfeld oder am Objekt kann sich das Frequenz-Spektrum im Wirkungsbereich der OV-Anbindeantenne funktions- und rückwirkungsrelevant ändern. Auch die Best-Server-Situation des OV-Systems kann sich verschieben.

Ebenso können Kanal-Änderungen im Freifeld-Netz der BOS für ein bestehendes OV-System zur Folge haben, dass die Beschaffenheit der ursprünglich ermittelten Frequenzkorridore nicht mehr den notwendigen Anforderungen einer TMO-Luftschnittstelle entsprechen. Das Problem verschärft sich bei großen Filterbandbreiten: Ein 60 kHz Filter z.B. benötigt pro Kanal jeweils einen freien Frequenzkorridor von 125 kHz.

Ob die gegenwärtige Anbindungs-Situation der OV funktionstüchtig ist, muss deshalb regelmäßig durch die Auswertung einer Wartungsmessung geprüft werden.

Des Weiteren müssen vor der Kanalumstellung von TMOR-Frequenzen die „neuen“ Frequenz-Korridore mit den Ergebnissen von aktuellen Wartungsmessungen überprüfen werden.

#### 9.1.6.1 Panoramamessungen-Wartung ( PM-W )

PM-W beinhalten alle Positionen einer Richtungs-Mess-Sequenz, sowie die Zelldatenaufnahme und deren Auswertungen.

Gemessen wird über die Betriebs-Richtantenne vor dem TMOR-BS - Port.  
(Der Pfadverlust zur Richt-Antenne ist messtechnisch zu überprüfen und zu berücksichtigen).

Bei relevanten Abweichungen der PM-W gegenüber der Inbetriebnahme oder der letzten Wartung ist auch eine erneute Überprüfung der Best-Server-Situation über Umfeldmessungen notwendig.

Die Auswertung der PM-W kann zur Folge haben:

- Verringerung der Kanalbandbreite des TMO-Repeaters, ggf. durch Hardware-Nachrüstung

- Austausch der Richtantenne
- Nebenkanal-Uplink-Rauschen auf fremde Freifeld-Basisstationen ist neu zu bewerten
- Änderung der Anbinde-Basisstation, mit der Folge von:
  - Vollständige erneute PM
  - Filterbandbreite des TMO-Repeater neu bewerten
  - Position und Ausführung der Anbindeantenne neu bewerten

Jede Wartung an einem TMO-OV-System beinhaltet zur Überprüfung auf bauliche Veränderungen an Gebäuden und HF-Reflektionsflächen (Nachbargebäude) die Isolationsmessungen. Die Ergebnisse sind in den notwendigen Anpassungsarbeiten ebenfalls zu berücksichtigen. Diese sind mit der zuständigen Autorisierten Stelle und der BDBOS abzustimmen und durch den Betreiber der Anlage zu veranlassen.

## 9.2 Funkversorgung am Objekt (Umfeldmessung)

Die Messung der Funkversorgung am bzw. um das zu versorgende Objekt unterstützt zunächst vor Fertigstellung der Anlage (Vormessung) die Autorisierte Stelle (AS) bei der fundierten Auswahl der Anbinde-TBS. Sofern laut Panoramamessung mehrere Anbindungsvarianten möglich sind, kann anhand der gemessenen Versorgung im Umfeld des Objektes die optimale Anbindungszelle bestimmt werden, bei der z. B. alle erforderlichen Nachbarschaften bereits eingerichtet sind.

Nach Realisierung der Objektversorgung wird die Umfeldmessung einmal mit deaktivierter Anlage und ein zweites Mal mit aktiviertem Repeater durchgeführt. Anhand des Unterschiedes lassen sich die Außenwirkung der OV und mögliche Rückwirkungen auf das Freifeld bewerten.

Im Zuge dieser Messung sollen auch die Übergänge vom Objekt ins Freifeld und zurück überprüft werden, vor allem bei relativ weit entfernten Anbinde-Basisstationen aus der zweiten oder gar dritten Reihe. Sollten Zellwechsel wegen fehlender Nachbarschaftsbeziehungen fehlschlagen, ist die zuständige AS zu informieren, die bei Bedarf eine Ergänzung der Nachbarschaften initiieren kann.

### 9.2.1 Messaufbau und Messgeräte

Für die Messung kommt der in Abbildung 9-7 skizzierte Messaufbau zum Einsatz. Hierbei wird das Empfangssignal der Empfangsantenne ggf. über ein Antennenkabel zu einem geeigneten Messempfänger geführt.

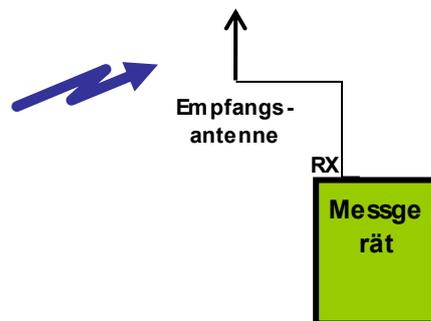


Abbildung 9-7: Messaufbau zur Messung der Funkversorgung

Zur präzisen Ermittlung der Funkversorgung werden TETRA-Netzscanner eingesetzt, die zusätzlich zur Leistungsmessung eine gleichzeitige Analyse der Signalanteile hinsichtlich Nutz- und Störanteilen gestattet. Die Anzahl der auszuwertenden Zellen sollte bei der Messwertaufnahme nicht zu gering gewählt werden, z. B. TOP32, und erst später im Rahmen der Auswertung bei Bedarf reduziert werden.

Trotz der in Abschnitt 9.1.2 genannten Nachteile sind endgerätebasierte Messungen nach den derzeit vorliegenden Erkenntnissen bei der Umfeldmessung durchaus einsetzbar. Im Gegensatz zu den Funkverhältnissen auf dem Gebäudedach sind am Boden in der Regel nur die eingetragenen Nachbarzellen des jeweiligen Best Servers relevant und die Gefahr von übersehenen Zellen ist sehr gering. Wenn jedoch ein Netzscanner vorhanden ist, sollte dieser genutzt werden.

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 heraus geführt ist. Bei „Trolley“-Systemen ist ebenfalls auf die vertikale Montage der Empfangsantenne in der geforderten Höhe zu achten. Bei Straßentunneln oder ausgedehnten Objekten kann auch ein im Fahrzeug installiertes Messsystem mit Außenantennen verwendet werden.

Der Antennengewinn und Verluste durch Kabelstrecken und Adapterstücke sind in den Messergebnissen zu berücksichtigen. Die Toleranz und Empfindlichkeit des Messempfängers ist wie der tatsächliche Messaufbau und die verwendeten Komponenten zu protokollieren.

Die Messroute ist individuell vom Objekt und der umgebenden Bebauung abhängig. Sie sollte insbesondere die Ausgänge und Notausgänge des Gebäudes sowie Flächen für die Feuerwehr und deren Bereitstellungsräume umfassen, ein Beispiel zeigt Abbildung 9-8.

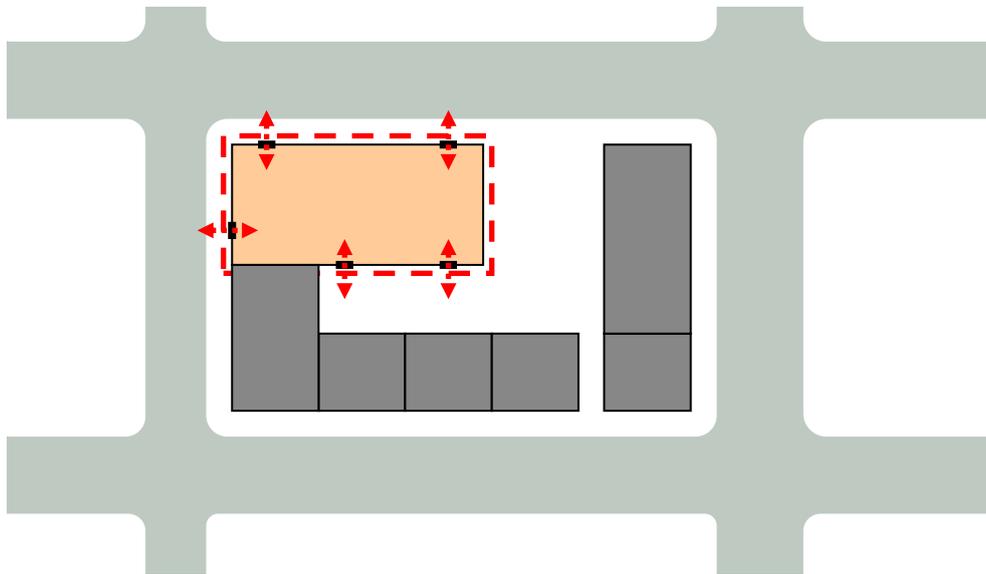


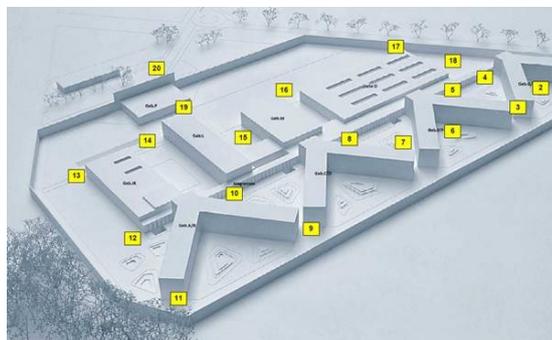
Abbildung 9-8: Schematische Darstellung zur Messung der Funkversorgung am Objekt

### 9.2.2 Aufbereitung und Visualisierung der Messergebnisse

Die Umfeldmessung liefert die Feldstärke bzw. Empfangsleistung aller relevanten Basisstationen entlang der gewählten Messroute. Die Rohdaten sind auf Messpixel geeigneter Kantenlänge zu verdichten (Medianwertbildung) und für die Bewertung grafisch darzustellen. Optimal ist die Visualisierung in Verbindung mit Luftbildern wie in Abbildung 9-9 gezeigt. Alternativ ist die Dokumentation mittels Tabellen oder Diagrammen mit eingezeichneten Wegpunkten zulässig, siehe Abbildung 9-10. Es versteht sich von selbst, dass für den Vergleich der Umfeldmessung mit aktiver und deaktivierter Anlage dieselben Routen bzw. Wegpunkte zu messen sind. Bei sehr einfachen Verhältnissen kann die Beschreibung in Textform reichen, wenn z. B. im ländlichen Gebiet nur eine einzige Zelle sichtbar ist.



Abbildung 9-9: Beispielhafte Best Server um ein Objekt, Pixelgröße 8 Meter (Quelle: Google)



LAC	6364	6598	6292	7198	7171	6274	6398	6277	7295
Messpunkt									
1	-77,00 dBm	-109,00 dBm	-109,00 dBm	-109,00 dBm	-109,00 dBm				
2	-83,00 dBm	-91,00 dBm	-93,00 dBm	-99,00 dBm	-101,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm	-105,00 dBm	-109,00 dBm
3	-83,00 dBm	-91,00 dBm	-93,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-101,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm	-97,00 dBm
4	-93,00 dBm	-99,00 dBm	-97,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm	-107,00 dBm	-107,00 dBm	-109,00 dBm	-109,00 dBm
5	-91,00 dBm	-99,00 dBm	-99,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-109,00 dBm	-105,00 dBm	-105,00 dBm
6	-81,00 dBm	-95,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-107,00 dBm
7	-87,00 dBm	-91,00 dBm	-93,00 dBm	-93,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-109,00 dBm	-105,00 dBm	-105,00 dBm
8	-93,00 dBm	-87,00 dBm	-89,00 dBm	-89,00 dBm	-99,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-107,00 dBm	-103,00 dBm
9	-87,00 dBm	-91,00 dBm	-93,00 dBm	-97,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm	-105,00 dBm	-103,00 dBm
10	-93,00 dBm	-89,00 dBm	-93,00 dBm	-95,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-99,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm
11	-89,00 dBm	-93,00 dBm	-93,00 dBm	-93,00 dBm	-95,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-103,00 dBm	-103,00 dBm
12	-81,00 dBm	-91,00 dBm	-93,00 dBm	-97,00 dBm	-99,00 dBm	-105,00 dBm	-97,00 dBm	-101,00 dBm	-103,00 dBm
13	-83,00 dBm	-89,00 dBm	-93,00 dBm	-99,00 dBm	-101,00 dBm	-105,00 dBm	-109,00 dBm	-107,00 dBm	

Abbildung 9-10: Umfeldmessung für einzelne Wegpunkte, sowie Darstellung in Skizze und Tabelle

Ziel der Umfeldmessung ist zum einen die Visualisierung des Pegelverlaufs für ausgewählte Zellen, mindestens für die Anbinde-Basisstation: Im Vergleich der Bilder für die Messdaten ohne OV und mit aktiver OV oder einer Darstellung der Pegeldifferenz lässt sich die Außenwirkung gut beurteilen. Eine zu weitreichende Außenversorgung führt zu unnötigen Zellwechseln zwischen Freifeld und OV sowie möglichen Intersymbolinterferenzen. Dies gilt es weitestgehend zu vermeiden, notfalls durch eine Änderung der OV-Realisierung und/oder der Repeater-Konfiguration!

Aus den Pegeln lässt sich zudem für jedes Pixel oder jeden Wegpunkt der jeweilige Best Server, d. h. die Zelle mit dem höchsten Pegel, ableiten. Insbesondere bei der Auswahl

einer weit entfernten Anbinde-Basisstation, die im Umfeld der OV vorher kaum messbar war, gibt diese Auswertung Hinweise zu den erforderlichen Nachbarschaften.

### 9.3 Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne

Die Messung der Entkopplung von Anbinde- und Sendeantenne (auch Isolation genannt) ist für die Planung und Konfiguration einer OV mit TMO-Repeater zwingend notwendig. Für den sicheren Betrieb im stabilen Arbeitsbereich - Ausschluss Rückkopplungsfall mit Aufschwingen - ist die Verstärkung des Repeaters mindestens 15 dB geringer als die Entkopplung einzustellen. Lässt sich diese Vorgabe bei gegebener Verstärkung nicht einhalten, muss die Entkopplung entsprechend erhöht werden, z.B. durch angepasste Position der Anbindeantenne oder Änderung des genutzten Antennentyps bzw. Charakteristik des Abstrahlsystems.

#### 9.3.1 Messaufbau und Messgeräte

Zur Messung kommt folgende Messanordnung zum Einsatz.

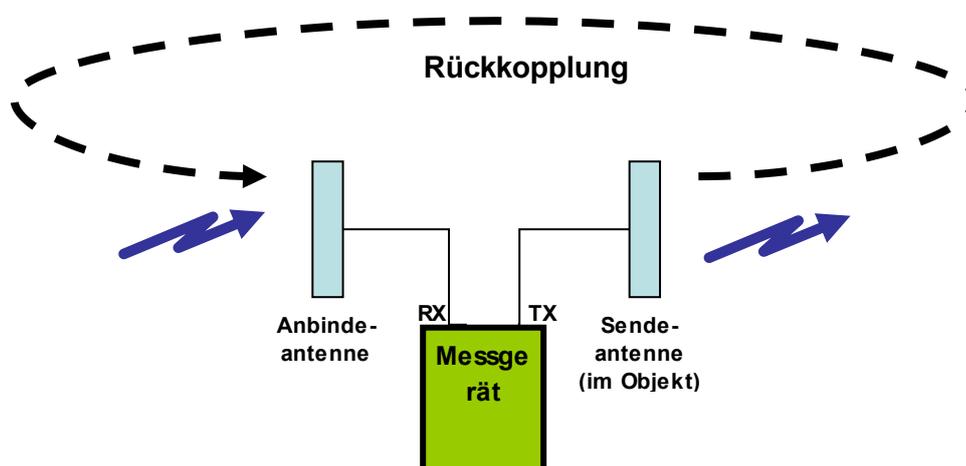


Abbildung 9-11: Messaufbau zur Messung der Antennenentkopplung

Die Messung der Entkopplung basiert auf einer sogenannten Transmissionsmessung, die üblicherweise Bestandteil von Spektrumanalysatoren oder ähnlichen Messgeräten ist. Dabei speist ein mitlaufender Signalgenerator (Mitlaufgenerator) über seinen Ausgang (TX) ein CW-Signal in die Abstrahlseite des Antennensystems (Inhaus-Verteilssystem mit Schlitzkabel bzw. Antennen Richtung HRT). Zeitgleich wird das empfangene Signal der Gegenseite (Anbindeantenne Richtung BS) am Eingang (RX) des Messgerätes erfasst. Die Diagrammdarstellung gibt über die Differenzbetrachtung des Testsignals (TX minus RX) die Entkopplung über den Frequenzbereich wider.

Eine Umkehrung des Messaufbaus, also Signalausendung über die Anbindeantenne und Empfang über das Antennensystem im Objekt, ist ebenfalls möglich. Bei Verteilssystemen die Richtungsabhängigkeit aufweisen, muss das Unter- und Oberband entsprechend getrennt eingespeist und erfasst werden.

Um Störungen zu vermeiden, ist die Messdauer möglichst kurz zu halten und die Generatorleistung auf maximal 10 dBm zu begrenzen. Ein typischer Wert ist 0 dBm.

Die Isolation wird über den gesamten Frequenzbereich (Uplink 380 – 385 MHz und Downlink 390 – 395 MHz) kontinuierlich bzw. mit einer sehr hohen Anzahl gleichmäßig verteilter Messpunkte pro Band (min. 200) ermittelt. Die Aufnahme einiger weniger Stützstellen oder gar die Beschränkung auf den aktuellen MCCH der Anbinde-TBS sind nicht aussagekräftig, da die Isolation zum einen stark frequenzabhängig ist und sich zudem die Kanäle (MCCH und TCH) der Anbinde-TBS später ändern können. Auch bei einem Frequenzplanwechsel muss die Anlage störungsfrei funktionieren, so dass der Minimalwert über beide Bänder als Maß für die Entkopplung des Objektes gilt.

Wenn Trägerfrequenzen des Oberbandes erfasst werden, sind diese Signalspitzen auszublenden, d.h. es ist visuell über die Grundkurve zu interpolieren.

Die folgende Konfiguration des Spektrumanalysators hat sich in der Praxis als empfehlenswert herausgestellt, um das über den Kopplungspfad stark gedämpfte Generatorsignal (Wertebereich < -100dBm) über dem Eigenrauschen des Messgeräts noch erfassen zu können:

- Referenzpegel möglichst gering wählen, keine Eingangsdämpfung verwenden
- Effektivwert-Detektor RMS (root mean square)
- Max-Hold-Einstellung
- Auflösebandbreite RBW (resolution bandwidth): 1kHz
- Videobandbreite VBW (video bandwidth): 3 kHz

Die in den folgenden Bildern dargestellte Entkopplungsmessung wurde mit den oben genannten Einstellungen aufgezeichnet. Für diese OV beträgt die minimale Entkopplung 102 dB (rote Linie in Abbildung 9-12), d. h. als Repeater-Verstärkung darf maximal der Wert 87 dB eingestellt werden.

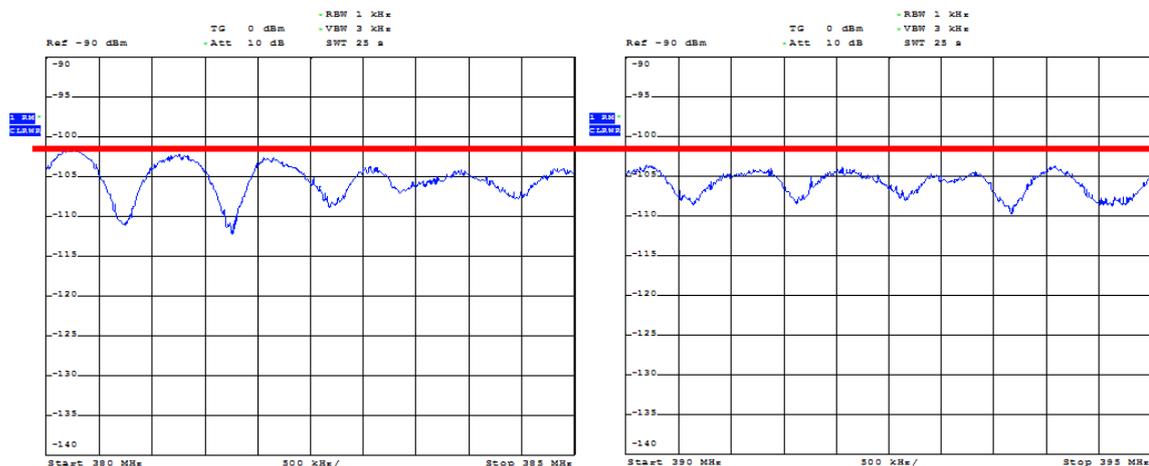


Abbildung 9-12: Beispiel einer Entkopplungs-Messung, rote Linie zeigt Minimum bei -102 dB

## 9.4 Anbindepegel am Repeatereingang

Der Empfangspegel des MCCH der Anbindezone am Repeatereingang wird zur Berechnung der durch die OV hervorgerufenen Desensibilisierung der Anbinde-TBS benötigt. Die Qualität dieser Messung ist entscheidend für alle darauf aufbauenden Schritte, daher wird eine Messgenauigkeit des Messgeräts < 1 dB gefordert.

Zudem ist der Empfangspegel der Anbinde-TBS eine wichtige Einflussgröße für die Planung und Konfiguration der Objektversorgung. Die Dokumentation der ursprünglichen Empfangssituation zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme ist nicht zuletzt für die Fehlersuche bei potentiellen späteren Störungen hilfreich.

### 9.4.1 Messaufbau und Messgeräte

Für diese Messung wird das Kabel der Anbindeantenne wie bei der in Abschnitt 9.3.1 beschriebenen Isolationsmessung mit dem Eingang (RX) des Spektrumanalysators anstelle des Repeatereingangs verbunden. Die Messwertaufnahme muss tetrakonform erfolgen, viele Hersteller haben hierzu ein spezielles TETRA-Messprogramm integriert. Als Mittenfrequenz wird der MCCH der Anbinde-TBS gewählt und der Span ausreichend groß zur Erfassung der Nachbarkanäle eingestellt. Der Pegelwert ergibt sich dann aus der über die TETRA-Kanalbandbreite von 25 kHz integrierten mittleren Kanalleistung (Channel Power). Diese wird je nach Spektrumanalysator als „Power“ bezeichnet oder mit CH PWR abgekürzt.

Die folgende Konfiguration des Spektrumanalysators hat sich in der Praxis als empfehlenswert herausgestellt:

- Effektivwert-Detektor RMS (root mean square)
- Auflösesebandbreite RBW (resolution bandwidth): 300 Hz
- Videobandbreite VBW (video bandwidth): 300 Hz

Das folgende Bild zeigt ein beispielhaftes Empfangsspektrum für einen MCCH mit der Mittenfrequenz 392,1125 MHz und die benachbarten TETRA-Kanäle. Der Messwert für den Anbindepegel (TETRA Power) beträgt hier -49,21 dBm.

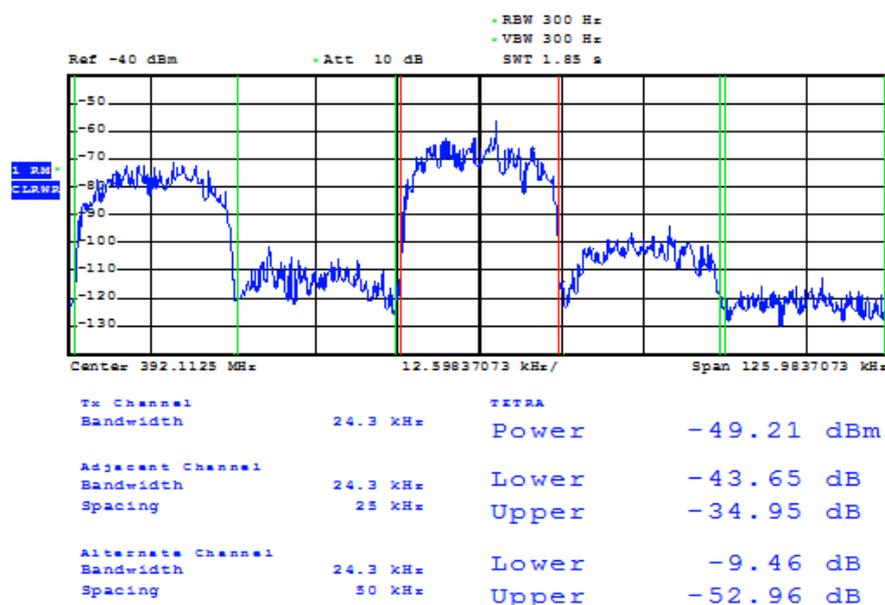


Abbildung 9-13: Beispiel einer Messung des Anbindepegels im MCCH

An diesem Bild erkennt man auch, dass die TETRA-Bewertung der Kanalleistung von großer Wichtigkeit ist: Ein per Marker abgelesener Pegel bei der Mittenfrequenz würde fälschlicherweise ca. -65 dBm ergeben.

## 9.5 Rauschleistung im Uplink (UL) vom Repeater zur Basisstation

Die spektrale Darstellung der Uplink-Rauschleistung zeigt störende Aussendungen im Verteilsystem, die ggf. die Konfiguration der Uplink-Stummschaltung (auch UL-Muting genannt) beeinflussen. Zumindest in einer Momentaufnahme ist diese Messung Bestandteil der vom Objekteigentümer (oder einem Bevollmächtigten) einzureichenden Unterlagen. Optimal wäre die Aufzeichnung über einen längeren Zeitraum, vor allem, wenn bei der Momentaufnahme Auffälligkeiten erkannt werden.

Bei kanalselektiven Repeatern ist das Leistungsmerkmal UL-Stummschaltung grundsätzlich und für jeden Träger zu aktivieren (Ausnahmen in begründeten Einzelfällen) und individuell für jedes Objekt zu konfigurieren. Die beiden relevanten Parameter sind die Dämpfung der Stummschaltung und der Pegel, ab dem die Stummschaltung greift. Diese Parameter sind je nach Repeater-Hersteller direkt im Konfigurationsmenü einstell- und ablesbar oder über Befehle in der Kommandozeile. Um die korrekte Funktion der UL-Stummschaltung sicherzustellen, wird die Rauschleistung einmal ohne und einmal mit aktivierter Stummschaltung gemessen.

### 9.5.1 Messaufbau und Messgeräte

Für diese Messung wird der Antennenausgang des Repeaters (basisstationseitige Anbindeantenne) mit dem Eingang (RX) des Spektrumanalysators verbunden. Das Verteilsystem im Objekt (Strahlerkabel, optische Verteilung, Verstärker usw.) muss in betriebsbereitem Zustand sein, so dass die Störaussendungen aus dem Objekt erfasst werden können. Die Messwertaufnahme erfolgt wie zuvor in Abschnitt 9.4.1 beschrieben tetrakonform als mittlere Kanalleistung im TETRA-Kanal der Bandbreite 25 kHz.

Die Messung wird über den Bereich des Uplinks (380 bis 385 MHz) und ausreichend großem Randbereich von mindestens 2,5 MHz durchgeführt. Zudem wird in einem ausgewählten Kanal, z. B. dem MCCH der Anbinde-TBS, die TETRA-Kanalleistung gemessen.

Die folgende Konfiguration des Spektrumanalysators hat sich in der Praxis als empfehlenswert herausgestellt:

- Effektivwert-Detektor RMS (root mean square)
- Auflösebandbreite RBW (resolution bandwidth): 300 Hz
- Videobandbreite VBW (video bandwidth): 300 Hz

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel einer UL-Rauschmessung bei aktiver UL-Stummschaltung. In diesem Fall sind keine störenden Aussendungen aus dem Objekt erkennbar, man sieht deutlich die Filtermaske des Repeaters.

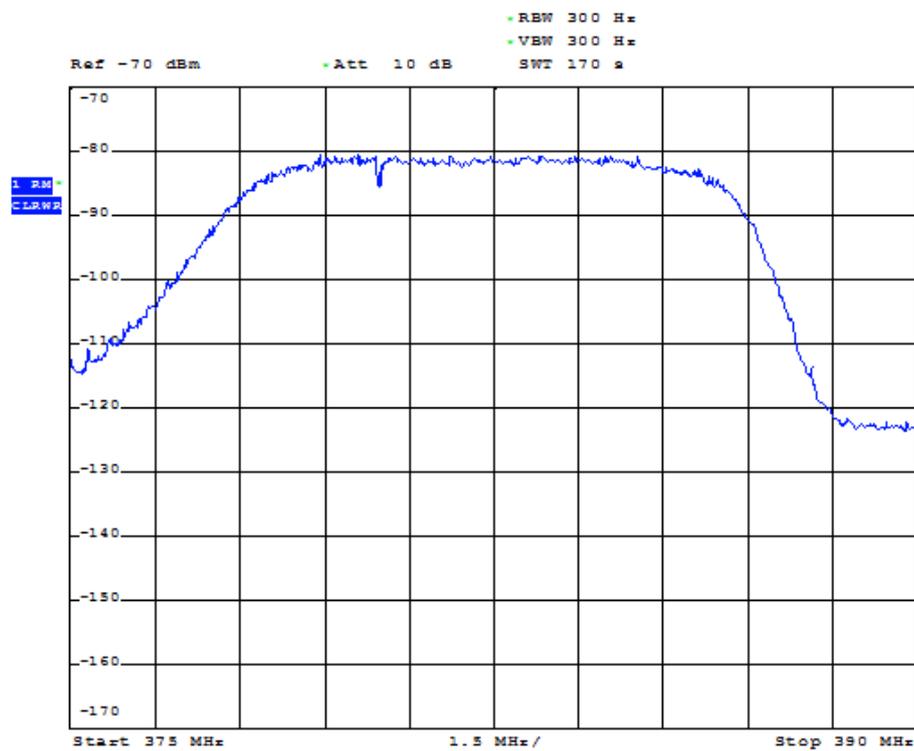


Abbildung 9-14: Beispiel einer UL-Rauschmessung bei aktivierter UL-Stummschaltung

Bei deaktivierter UL-Stummschaltung ist der TETRA-Kanal sichtbar.

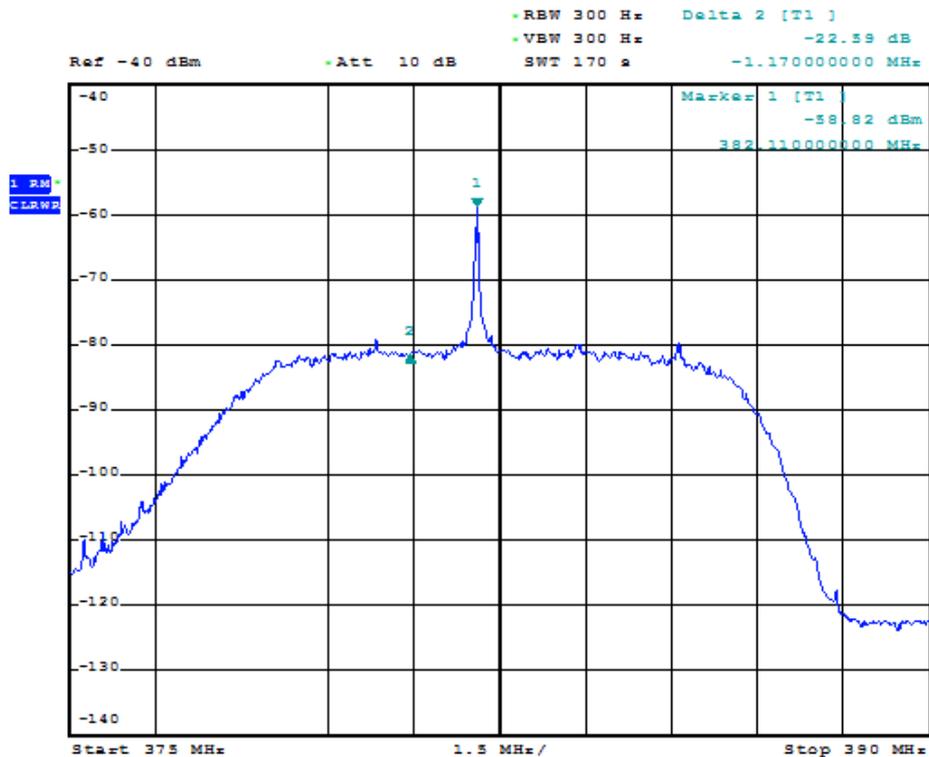


Abbildung 9-15: Beispiel einer UL-Rauschmessung bei deaktivierter UL-Stummschaltung

Die folgende Abbildung zeigt die Rauschleistung im Bereich des MCCH im direkten Vergleich mit und ohne Stummschaltung.

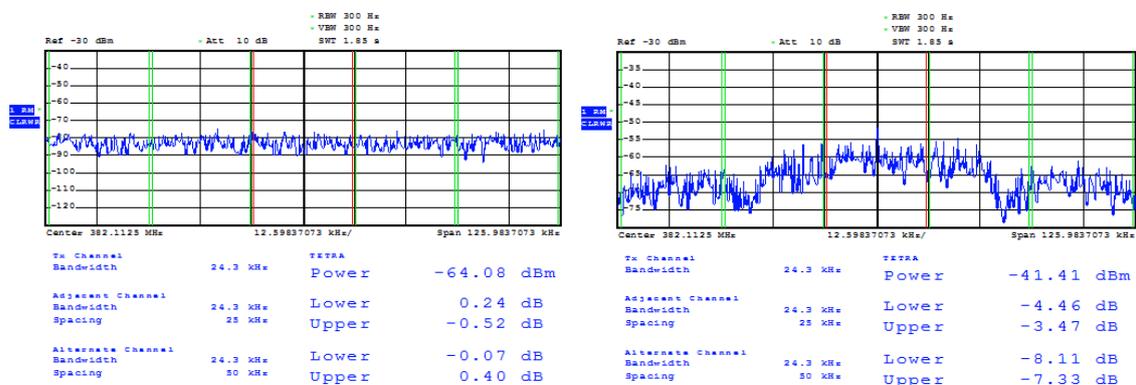


Abbildung 9-16: Beispiel einer UL-Rauschleistungsmessung bei aktivierter (links) und deaktivierter (rechts) UL-Stummschaltung im Bereich des MCCH - Kanalleistungsbewertung

## 9.6 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 im Objekt bietet sich ein tragbares Messsystem entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 9.2.1 an. 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 untersucht 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.