

---

# Verkehrsverband Mittelsachsen

## Ausbau Oelsnitz - Stollberg

### Funkausleuchtungsmessung und Ausbreitungsberechnung

Version: 1.1

21.09.2016

PBIT GmbH  
Projektbetreuungsgesellschaft  
für Informationstechnik mbH  
Berliner Straße 60  
03046 Cottbus

Telefon: 0355 / 49 49 59 0  
E-Mail: [info@pbit-gmbh.de](mailto:info@pbit-gmbh.de)

---

## Dokumentenhistorie

Änderung			Beschreibung der Änderung (z.B. geänderte Kapitel)	Autor	Zustand (in Bearbeitung / vorgelegt / freigegeben)
Nr.	Datum	Version			
1	22.08.2016	0.1	Initiale Produkterstellung	SrU	vorgelegt
2	22.08.2016	1.0	Einarbeitung Messergebnisse	SrU	vorgelegt
3	21.09.2016	1.1	Auswertung Bahnfunk	SrU	vorgelegt

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1-5
1.1	Zielsetzung.....	1-5
1.2	Geltungsbereich.....	1-5
1.3	Referenzen.....	1-5
2	Ausbreitungsberechnung.....	2-6
3	Messtechnik.....	3-10
3.1	Messsystem .....	3-10
3.2	Ermittlung Messdaten .....	3-11
4	Funkstandorte.....	4-12
4.1.1	Stollberg.....	4-12
4.1.2	Niederölsnitz.....	4-13
5	Messergebnisse .....	5-14
5.1	TETRA.....	5-14
5.2	Bahnfunk.....	5-17
6	Auswertung.....	6-18

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausbreitung – Neuölschnitz .....	2-6
Abbildung 2: Ausbreitung - Haltestelle Gewerbegebiet .....	2-7
Abbildung 3: Ausbreitung – Niederwürschnitz .....	2-7
Abbildung 4: Ausbreitung – Stollberg .....	2-8
Abbildung 5: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet .....	2-8
Abbildung 6: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet / Stollberg.....	2-9
Abbildung 7: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet .....	2-9
Abbildung 8: Radio Network Analyzer TSMW / Messantenne Kathrein K713226.....	3-10
Abbildung 9: ROMES Messsystem .....	3-10
Abbildung 10: TETRA BOS - Dekodierung.....	3-11
Abbildung 11: Ortswahrscheinlichkeit TETRA PMR .....	3-11
Abbildung 12: Funkstandorte Neuölsnitz / Stollberg .....	4-12
Abbildung 13: Antennenstandort Stollberg .....	4-13
Abbildung 14: Antennenstandort Niederölsnitz .....	4-13
Abbildung 15: Messdaten – Bestandsnetz.....	5-14
Abbildung 16: Messdaten - Standort Neuölsnitz .....	5-15
Abbildung 17: Standort – Stollberg.....	5-15
Abbildung 18: Messdaten - Best Server Pegel .....	5-16
Abbildung 19: Messdaten - Best Server Pegel .....	5-16
Abbildung 20: Pegel analoger Bahnfunk .....	5-17
Abbildung 21: Ausbreitung – 4 Standorte – Prädiktion .....	6-18

# **1 Einführung**

## **1.1 Zielsetzung**

Die bisherige Straßenbahnverbindung von Chemnitz nach Stollberg wird ertüchtigt und bis zur Ortschaft Oelsnitz erweitert.

Für die Sicherstellung der Funktionalität des Betriebsfunks ist in der Ortschaft Neuölsnitz eine neue Funkstation vorgesehen.

Mit einer Funkausbreitungsberechnung wurde analysiert ob die neu zu ertüchtigende Straßenbahnstrecke mit der neu geplanten Basisstation komplett ausgeleuchtet werden kann.

Zusätzlich zur Ausbreitungsberechnung wurde eine Funkfeldvermessung durchgeführt.

Dieses Dokument beschreibt die Ergebnisse der Funkausbreitungsmessung und der Berechnung.

## **1.2 Geltungsbereich**

Dieses Dokument gilt für den Verkehrsverbund Mittelsachsen

## **1.3 Referenzen**

- Frequenzzuweisung 2015
- Funkversorgungsgebiet ÖPNV-CVAG Süd
- 6.4.1Übersichtsplan TK-Standorte
- U3\_B1\_ÜPlan\_V
- U3\_B2\_ÜPlan\_B

## 2 Ausbreitungsberechnung

Zur Analyse der Funkausbreitung wurde eine Berechnung für die vorgesehenen Standorte in Neuölsnitz und an der Haltestelle Gewerbegebiet durchgeführt. Ebenfalls analysiert wurden die derzeit für den analogen Funk verwendeten Standorte Niederwürschnitz und Stollberg.

Die Simulation verwendet eine Orts- und Zeitwahrscheinlichkeit von 96% und geht von einem Mindestempfangspegel von -94dBm aus.

Für die Simulationen wurde für alle Standorte eine 0dBd Rundstrahlantenne Antenne mit einer Strahlungsleistung von 35dBm verwendet.

Als Grundlage zur Berechnung wurden folgende Höhen verwendet:

- Niederölsnitz: 20 Meter
- Gewerbegebiet: 5 Meter
- Niederwürschnitz: 10 Meter
- Stollberg: 10 Meter

Die simulierte Höhe für das Empfangsgerät beträgt 2m.

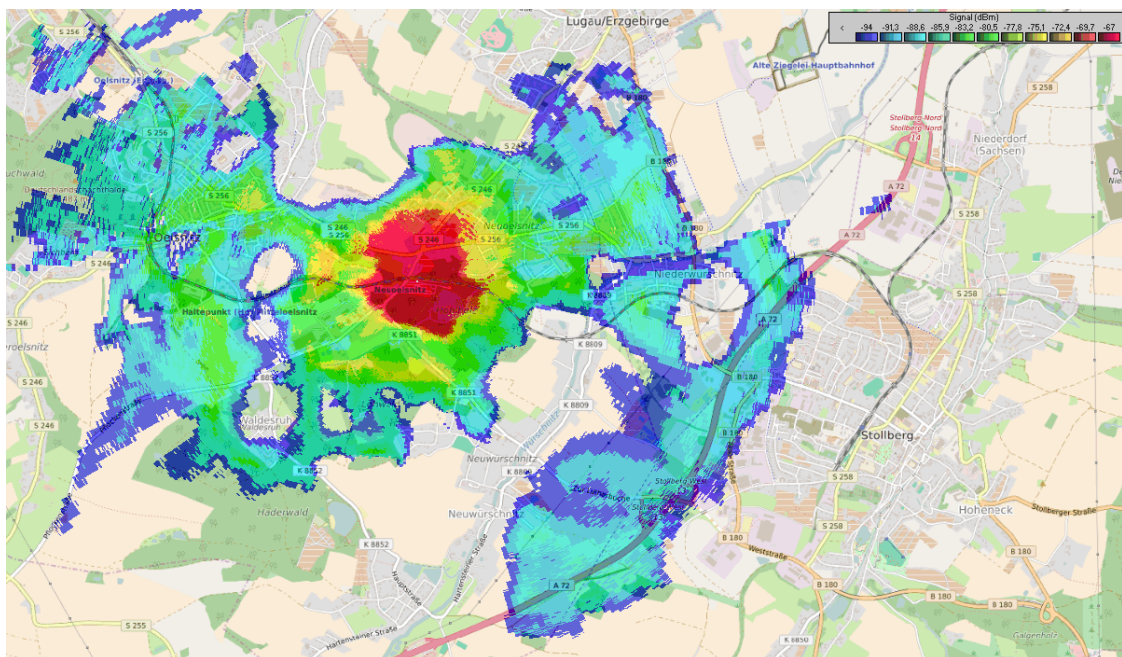


Abbildung 1: Ausbreitung – Neuölsnitz

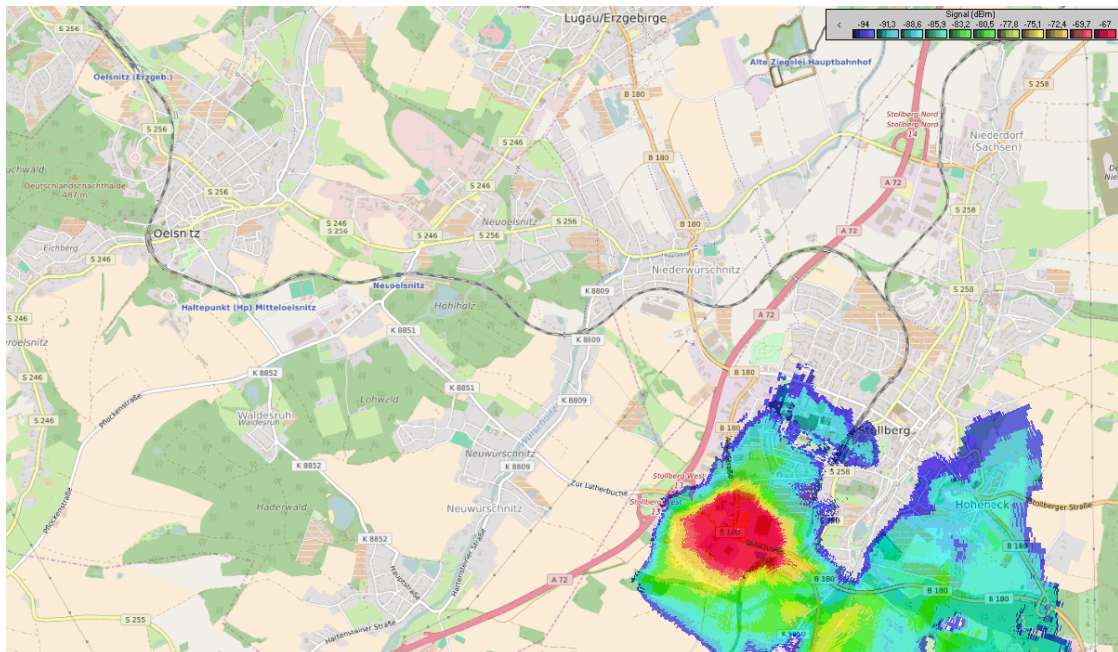


Abbildung 2: Ausbreitung - Haltestelle Gewerbegebiet

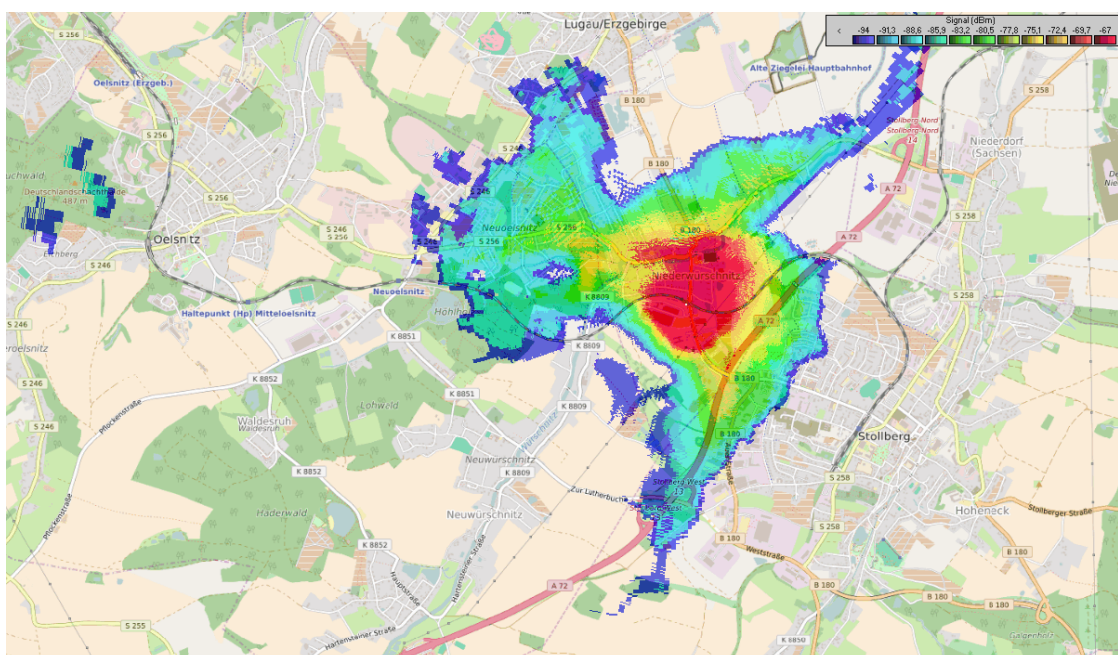


Abbildung 3: Ausbreitung – Niederwurschnitz



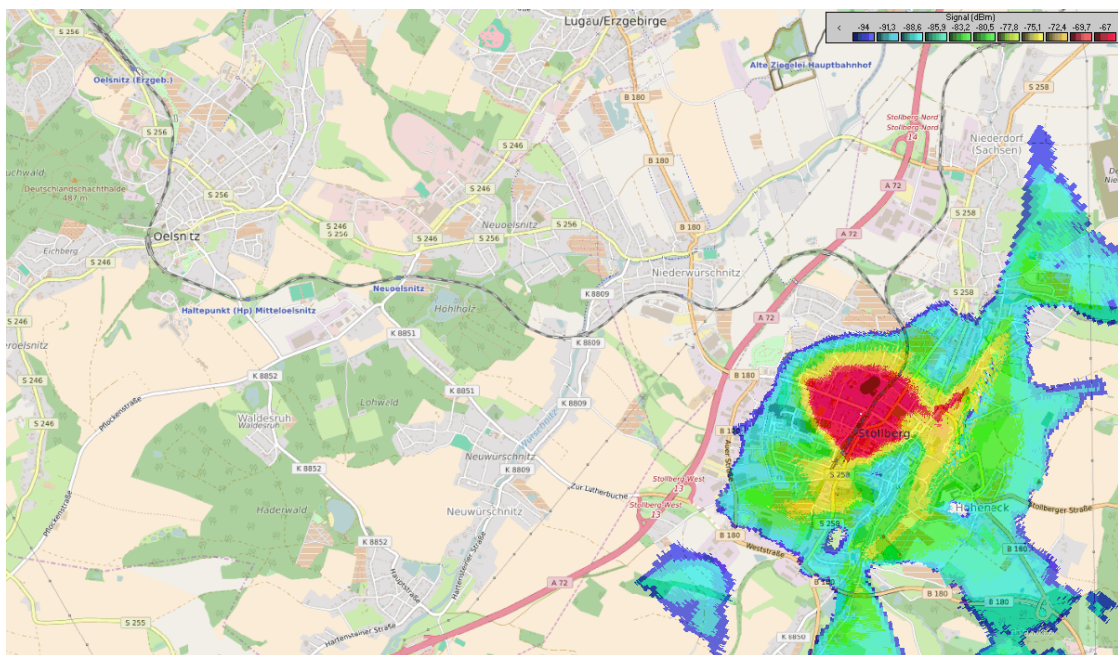


Abbildung 4: Ausbreitung – Stollberg

In der Berechnung für den Best Server zeigt sich, dass mit den zwei geplanten Standorten keine ausreichende Ausleuchtung erreicht werden kann.

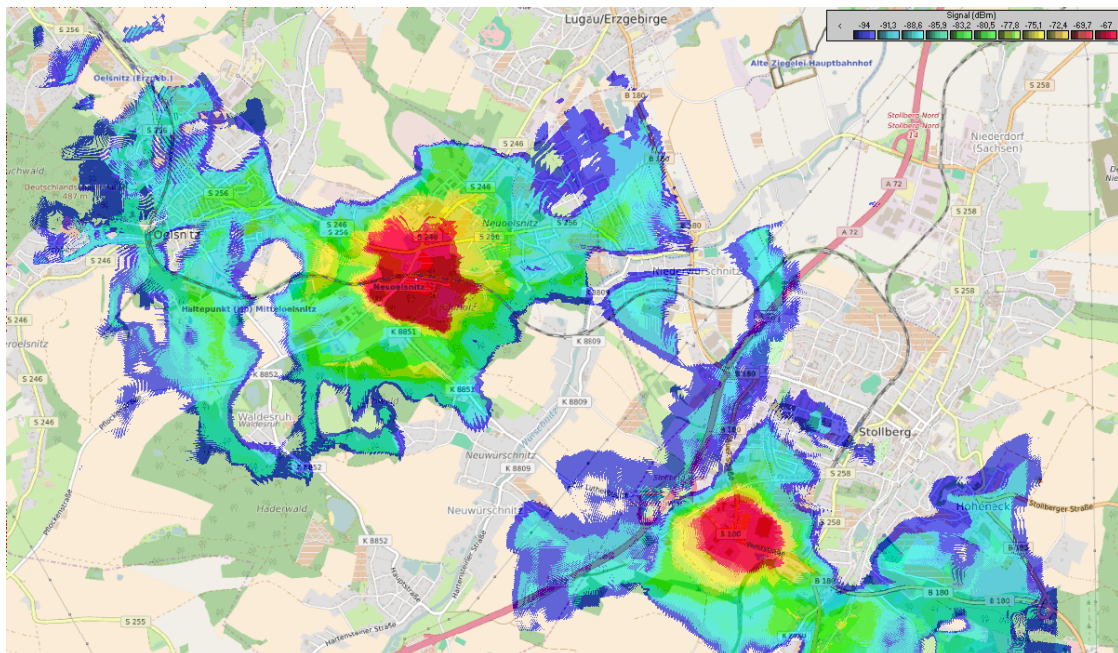


Abbildung 5: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet

Im Gebiet Niederwürschnitz und in Stollberg würde es zu einer Unterversorgung kommen.



Die zusätzliche Einbindung des Standortes Stollberg verbessert sich die Versorgung auf der bisher genutzten Strecke und in Richtung Gewerbegebiet.

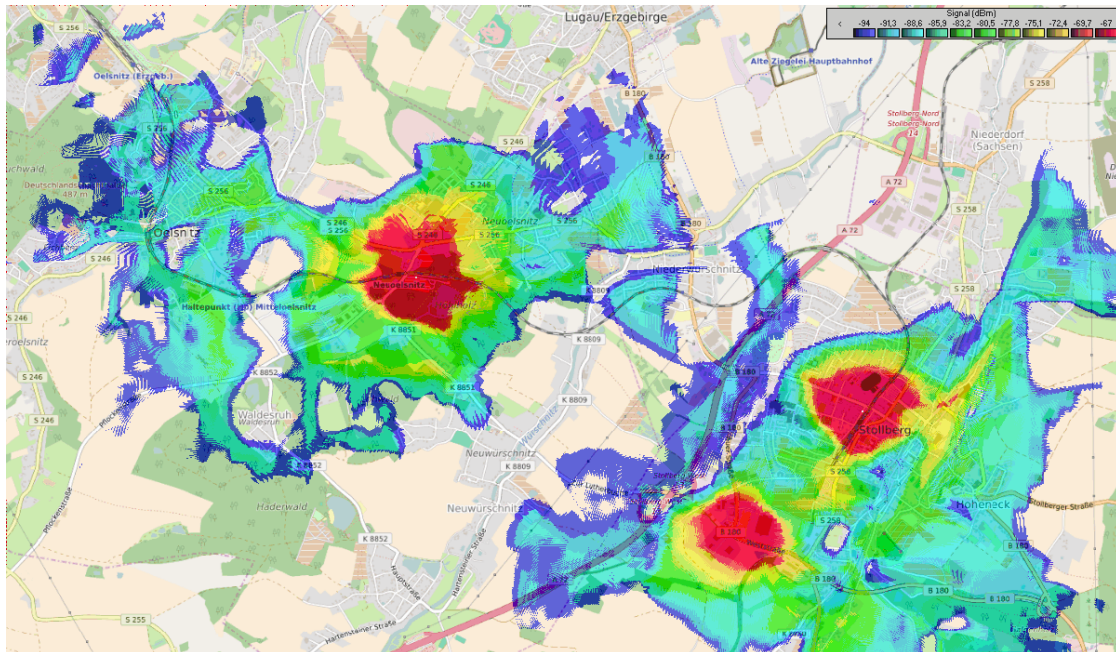


Abbildung 6: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet / Stollberg

Auch mit allen vier Standorten und den Plandaten würden einige Bereiche nur unvollständig versorgt werden.

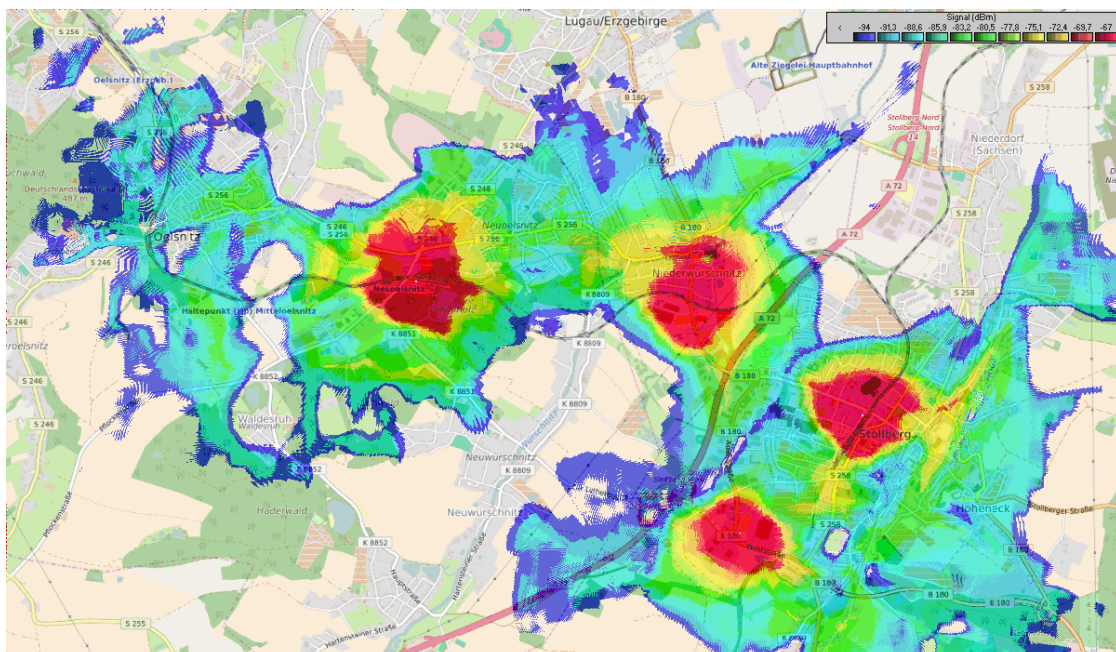


Abbildung 7: Ausbreitung – Neuölsnitz / Gewerbegebiet

### 3 Messtechnik

#### 3.1 Messsystem

Das von der Firma Rohde und Schwarz entwickelte Messsystem ROMES ermöglicht eine Analyse von Funksignalen der unterschiedlichsten Technologien.

Der verwendete Messempfänger TSMW empfängt und dekodiert auf zwei Kanälen analoge und digitale Funksignale.



Als Messantenne wurde die Kathrein K713226 verwendet.



Abbildung 8: Radio Network Analyzer TSMW / Messantenne Kathrein K713226

Die von der TSMW an einen Rechner gesendeten Daten werden von der Software ROMES ausgewertet.

Die Geokodierung der Messdaten erfolgt über einen angeschlossenen GPS Empfänger oder manuell in einem hinterlegten Gebäudeplan.

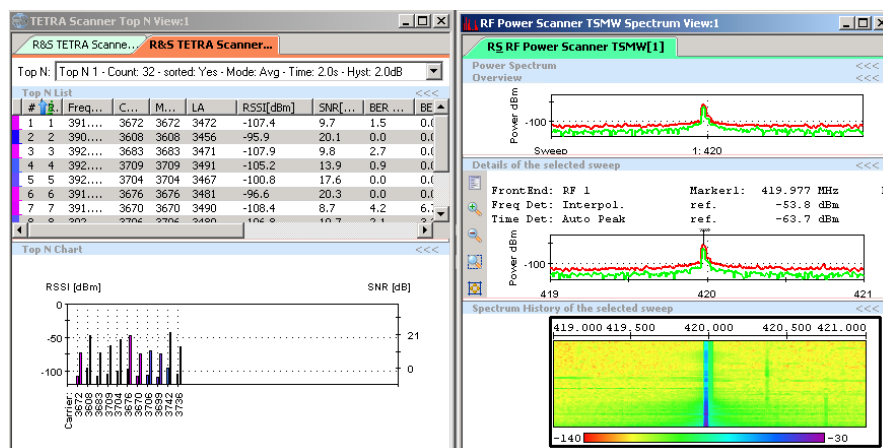


Abbildung 9: ROMES Messsystem

## 3.2 Ermittlung Messdaten

Für die Auswertung der Messung werden die Daten aus der Decodierung des TETRA Signals herangezogen.

Der Indikator für die Energie eines TETRA Trägers ist die gemittelte Empfangsleistung. Dieser Wert wird als Received Signal Strength Indicator (RSSI) bezeichnet.

Die Zuordnung der Zelle erfolgt durch den Location Area (LA).

Die Frequenz (Frequency), der Kanal des Trägers (Carrier, Main Carrier) sowie der Störabstand und die Blockfehlerrate (SNR, BER) bleiben bei der Auswertung der Empfangsfeldstärke unberücksichtigt.

Frequency...	Carrier	Main Carrier	LA	RSSI[dBm]	SNR[...]	BER ...	BER ...	MER[%]	ModE...	MFN	MCC	MNC
393.8875	3755	3755	8343	-56.7	32.5	0.0	0.0	0.0	30.6	22	262	1001
390.4625	3618	3618	8351	-83.7	30.0	0.0	0.0	0.0	27.6	22	262	1001
392.5125	3700	3700	8327	-90.6	26.9	0.0	0.0	0.0	22.9	22	262	1001
394.6375	3785	3785	8355	-89.5	27.2	0.0	0.0	0.0	24.1	22	262	1001
390.7625	3630	3630	8345	-97.5	22.8	0.0	0.0	0.0	20.7	22	262	1001
394.9125	3796	3796	8445	-99.8	19.7	0.0	0.0	0.0	15.9	22	262	1001
392.2875	3691	3691	8337	-94.7	25.8	0.0	0.0	0.0	23.9	22	262	1001
391.8625	3674	3674	8354	-102.4	16.8	0.0	0.0	0.0	14.3	22	262	1001
390.9875	3639	3639	8332	-100.2	18.1	0.0	0.0	0.0	10.9	22	262	1001
392.7125	3708	3708	8336	-109.9	9.6	0.0	0.0	14.3	1.4	22	262	1001
392.5375	3701	3701	8356	-110.3	13.3	2.1	6.7	0.0	9.8	22	262	1001
392.0875	3683	3683	8342	-107.2	12.2	0.0	0.0	0.0	11.9	22	262	1001
392.6625	3706	3706	8341	-108.1	13.6	0.0	0.0	0.0	9.7	54	262	1001
390.9625	3638	3638	8359	-110.1	9.5	2.7	0.0	6.5	34	262	1001	
392.5625	3702	3702	8335	-110.9	9.7	3.0	3.3	0.0	6.4	22	262	1001
394.2875	3771	3771	8346	-108.5	7.0	5.7	0.0	3.3	22	262	1001	

Abbildung 10: TETRA BOS - Dekodierung

Die Abbildung 4 zeigt eine Momentaufnahme eines TETRA Signals während einer Messung.

Als Indikator für die Versorgung eines Gebäudes dient die Ortswahrscheinlichkeit. Anhand der statistischen Auswertung aller Messdaten innerhalb eines Gebäudekomplexes ergibt sich die prozentuale Wahrscheinlichkeit für einen definierten Pegel im Gebäude.

Der Grenzwert für von außen versorgte Gebäude liegt bei einem Pegel besser - 88dBm mit einer Ortswahrscheinlichkeit von mindestens 96%.

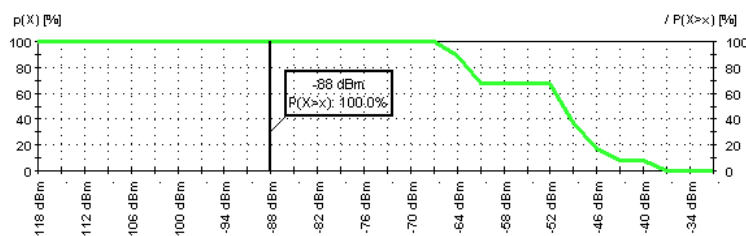


Abbildung 11: Ortswahrscheinlichkeit TETRA PMR

## 4 Funkstandorte

Für die Ausbreitungsberechnung wurde an zwei Standorten jeweils eine TETRA – Funkzelle aufgebaut.



Abbildung 12: Funkstandorte Neuölsnitz / Stollberg

Die gewählten Strahlungsleistungen entsprechen den von der BNetzA bisher genehmigten Leistungen.

### 4.1.1 Stollberg

In Stollberg wurde auf dem Dach des Betriebsgebäudes ein Rundstrahler des Typs CXL70-5 in einer Höhe von ca. 10 Metern aufgebaut.

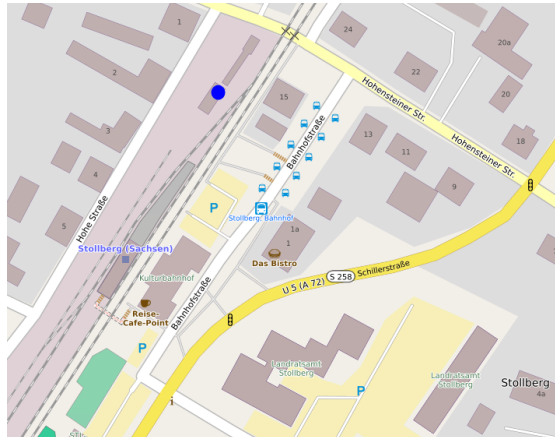
Standortdaten:

- Funkzelle TETRA TB3p, Leistung 32dBm
- Kabelverlust 2dB
- Antenne CXL70-5, Gewinn 5dBd
- Strahlungsleistung: 35dBm ERP





Abbildung 13: Antennenstandort Stollberg



#### 4.1.2 Niederörsnitz

In Niederörsnitz wurde die Funktechnik auf einer Hebebühne in ungefähr 20m Höhe montiert

Standortdaten:

- Funkzelle TETRA TB3p, Leistung 32dBm
- Kabelverlust 2dB
- Antenne CXL70-5, Gewinn 5dBd
- Strahlungsleistung: 35dBm ERP



Abbildung 14: Antennenstandort Niederörsnitz





## 5 Messergebnisse

### 5.1 TETRA

Während der Messung wurde die zu ertüchtigende Bahnstrecke komplett zu Fuß abgesprochen.

Aufgezeichnet wurden die Daten die vom Standort Neuölsnitz, Stollberg und den Bestandsnetz ausgesendet werden.

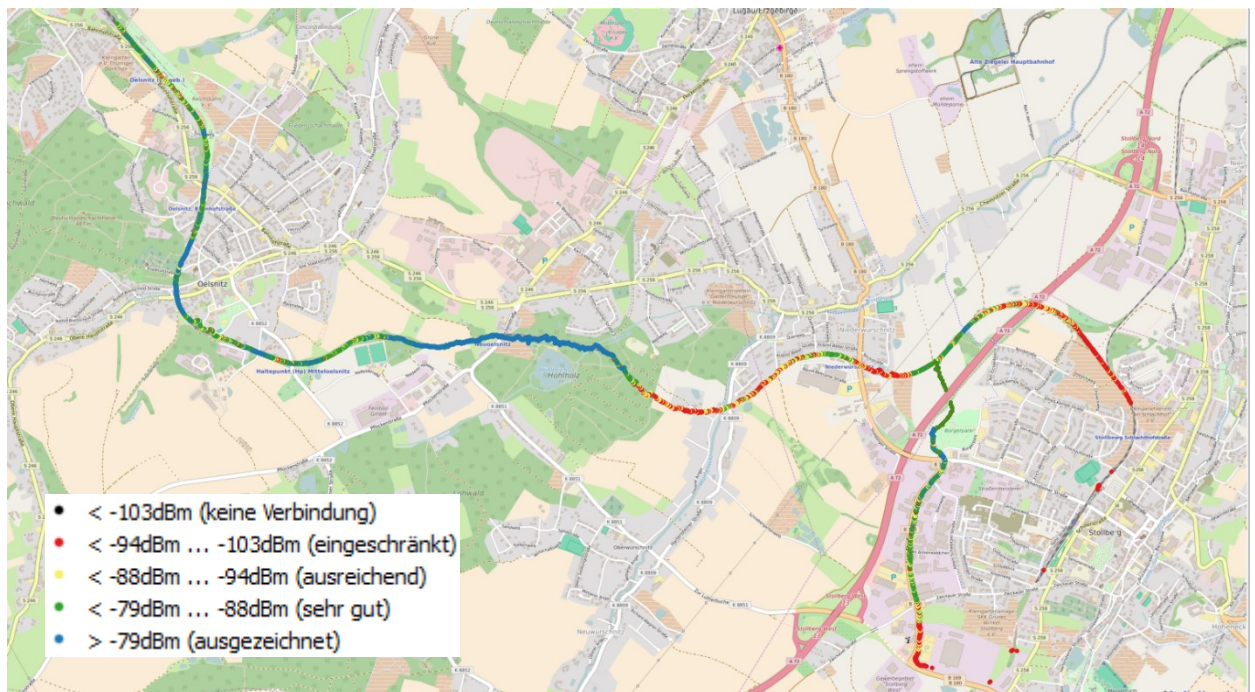


Abbildung 15: Messdaten – Bestandsnetz

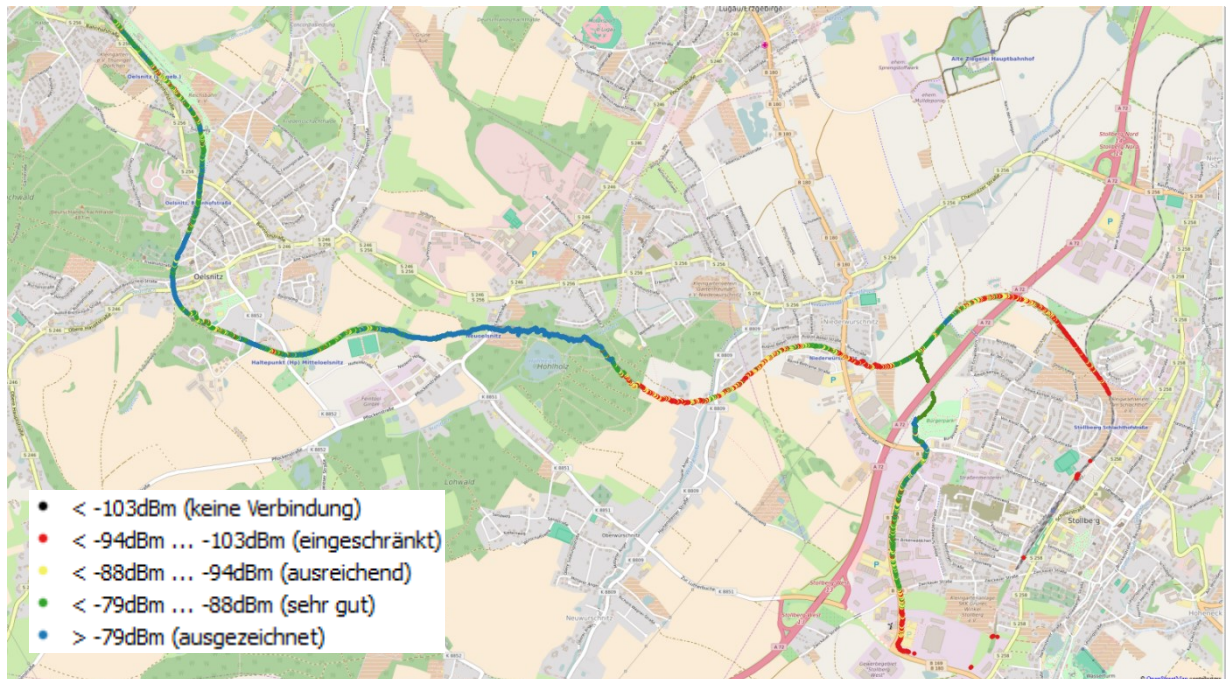


Abbildung 16: Messdaten - Standort Neuölsnitz



Abbildung 17: Standort – Stollberg



In der Analyse des Best Servers Pegels zeigt sich, wie in der Simulation berechnet, dass mit den Bestandsanlagen und zwei Standorten in Stollberg und Niederörsnitz eine ausreichende Versorgung nicht gegeben ist.

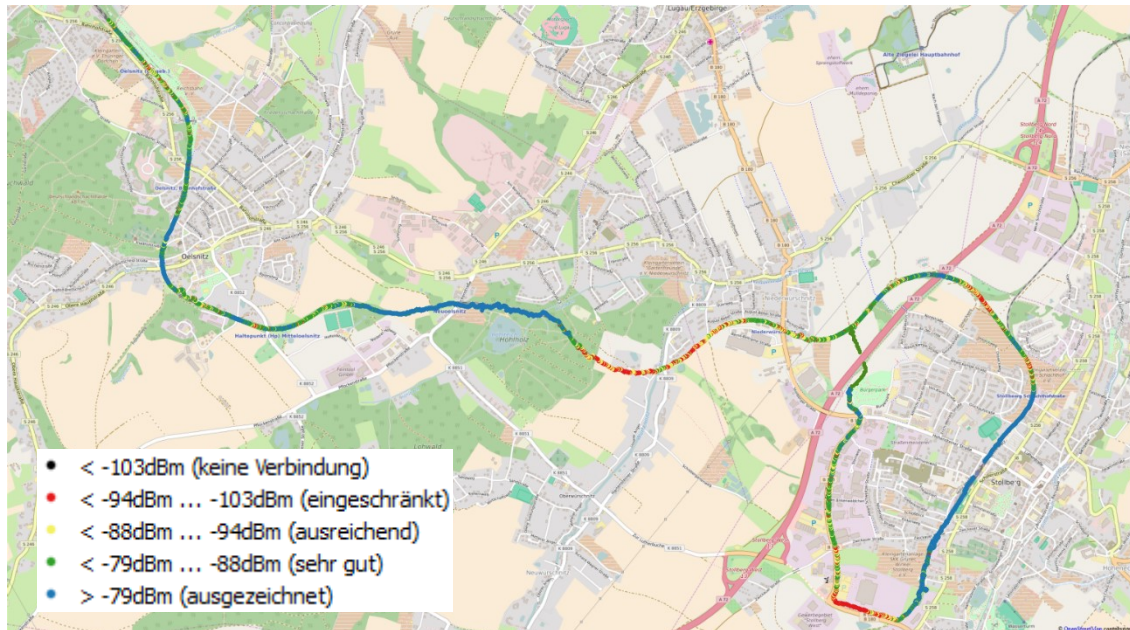


Abbildung 18: Messdaten - Best Server Pegel

In der Best Server Auswertung ist zu sehen, dass in den Bereichen in denen der Pegel nur unzureichend gegeben ist kein definierter Best Server vorhanden ist.

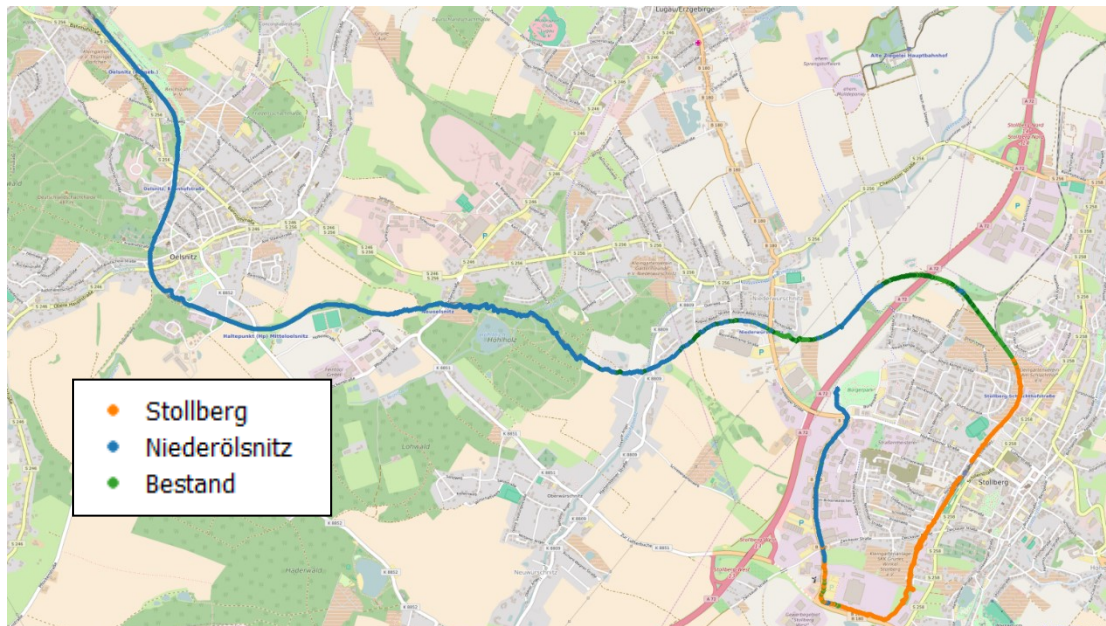


Abbildung 19: Messdaten - Best Server Pegel

## 5.2 Bahnfunk

Im Gegensatz zur Messung der Signale eines TETRA Netzwerkes dessen Broadcast Channel permanent ausgesendet wird, werden die analogen Funksignale für den Bahnfunk nur dann ausgesendet, wenn eine aktive Kommunikation stattfindet.

Zur Bestimmung der Ausbreitung des analogen Funknetzwerkes wurden an definierten Positionen der Strecke die Sender getastet und der Empfangspegel protokolliert.



Abbildung 20: Pegel analoger Bahnfunk

Die Ergebnisse der Pegel des analogen Bahnfunks sind ähnlich dem der TETRA PMR Pegel. Dies erklärt sich durch das ähnliche Frequenzband beider Technologien.

Obwohl der Bahnfunk mit einer höheren Sendeleistung als TETRA PMR genutzt werden kann, empfiehlt es sich die neu aufzubauenden Standorte (Gewerbegebiet, Niederölsnitz) ebenfalls mit dieser Technologie zu ertüchtigen.



## 6 Auswertung

Die Ausbreitungssimulation und die Ausleuchtungsmessung haben ergeben, dass für eine gesicherte Funkausleuchtung auf Grund des sehr bergigen Geländes der Neubaustrecke mindesten die Standorte Niederölsnitz, Niederwürschnitz, Gewerbegebiet und Stollberg notwendig sind.

Nach den Analysen zeigt sich, dass die bisher für die Standorte Stollberg und Niederwürschnitz angenommene Höhe von 10 Meter nicht ausreichend ist. Für eine Minimalversorgung müssen diese eine Höhe von mindestens 15 Metern über den Boden besitzen. Die Funkversorgung der zu ertüchtigenden Bahnstrecke sollte mit folgender Mindestvoraussetzung realisiert werden.

1. Niederölsnitz, Höhe der Antennen 20 Meter über Boden
  - Antenne 1, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 90°, 35dBm ERP
  - Antenne 2, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 330°, 35dBm ERP
2. Niederwürschnitz, Höhe der Antennen 15 Meter über Boden
  - Antenne 1, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 90°, 35dBm ERP
  - Antenne 2, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 260°, 35dBm ERP
3. Gewerbegebiet, Höhe der Antennen 5 Meter über Boden
  - Antenne 1, Kathrein K751121, omni, 30dBm ERP
4. Stollberg, Höhe der Antennen 15 Meter über Boden
  - Antenne 1, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 0°, 35dBm ERP
  - Antenne 2, Kathrein 800 10 252, Ausrichtung 200°, 35dBm ERP

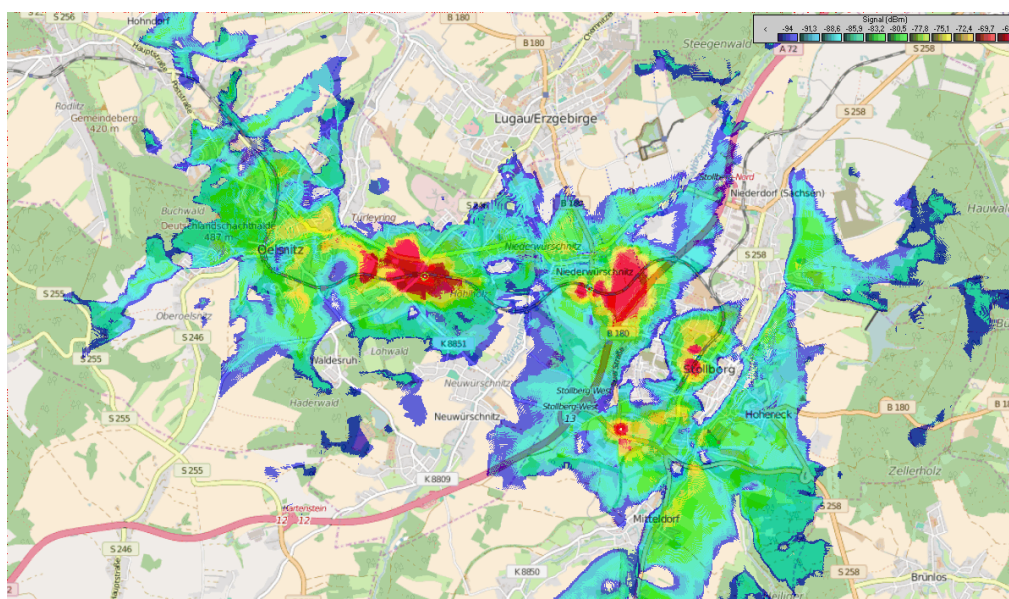


Abbildung 21: Ausbreitung – 4 Standorte – Prädiktion