

Gutachten

## **Radarverträglichkeit RIAS-Gelände am Britzer Damm 176**

Auftraggeber (AG):

RIAS/Gewobag Projektentwicklung Britzer Damm GmbH

– Dresden, 16.05.2024 –



## **Umfang:**

Dieser Bericht umfasst 44 Seiten.

Dokumentenname: GfL\_Signaturgutachten\_RIAS\_1.2\_df160524



## **Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH**

Hermann-Prell-Str. 8  
01324 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 273260-3

Fax: +49 (0) 351 273260-4

URL: [www.gfl-consult.de](http://www.gfl-consult.de)

E-Mail: [info@gfl-consult.de](mailto:info@gfl-consult.de)



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	5
Ausgangslage .....	7
1 Einführung in den Anlagenschutz .....	9
1.1 Schutzbereichsgesetz (SchBerG) .....	9
1.2 Anordnung eines Schutzbereiches für die Luftverteidigungsanlage Berlin Tempelhof .....	9
2 Überblick über die zu betrachtende Anlage.....	10
2.1 Allgemeine Beschreibung des LVR THF .....	10
3 Analyse der Anlagenschutzbereiche und qualitative Analyse der Störwirkung.....	11
3.1 Anlagenschutzbereich des LVR THF .....	11
3.2 Qualitative Analyse der Störwirkung.....	11
3.2.1 Vorgehensweise.....	11
3.2.2 Ergebnisse der Sichtschattenanalyse.....	12
4 Methodik und Modellbildung .....	15
4.1 Betrachtungen zur Primärradarkomponente RRP-117.....	15
4.1.1 Funktionelle Beeinträchtigung des Primärradars und spezielle Parametrisierung der Simulation .....	15
4.1.2 Fiktive Zieldarstellung und Streuwege .....	16
4.1.3 Berücksichtigung der Bebauungszustände.....	16
4.1.4 Untersuchungsszenarien.....	18
4.2 Betrachtungen zur Sekundärkomponente RRP-117.....	19
4.2.1 Allgemeines.....	19
4.2.2 Entstehung von Spiegelzielen .....	19
4.2.3 Umsetzung.....	21
4.2.4 Methodenbeschreibung.....	22
5 Ergebnisse Störwirkungsanalyse .....	27
5.1 Primärradar – Feldstärkeänderung als Ergebnis der Simulation .....	27
5.1.1 Ergebnisse der Szenarien - zusammenfassende Darstellung.....	27
5.1.2 Ergebnisse der Szenarien – einzelne Elevationsschritte.....	28
5.2 Zusammenfassung Ergebnisse Primärradar.....	30
5.3 Zusammenfassung Ergebnisse Sekundärradar .....	31
5.4 Zusammenfassung Ergebnisse MSSR .....	35
6 Analyse Richtfunkstrecken.....	37
7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	39
7.1 Operationelle Bewertung und Analyse von Radardaten.....	40
7.2 Maßnahmen zur Dämpfung von Reflexionsfeldstärken.....	40
Abkürzungsverzeichnis .....	41
Abbildungsverzeichnis .....	42

Literatur- und Quellenverzeichnis..... 43

## Ausgangslage

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Entwicklungsfeld Britzer Damm soll ein modernes Stadtquartier entwickelt werden (siehe Abbildung 1). Derzeit befindet sich das Projekt in einem frühen Stadium. Das Bezirksamt Neukölln leitet aktuell das Bebauungsplanverfahren ein [1].

In dem Projekt soll ein Wohnquartier mit ca. 1.100 Wohneinheiten entstehen, ergänzt um ca. 33.000 m<sup>2</sup> BGF-Gewerbeflächen [1].

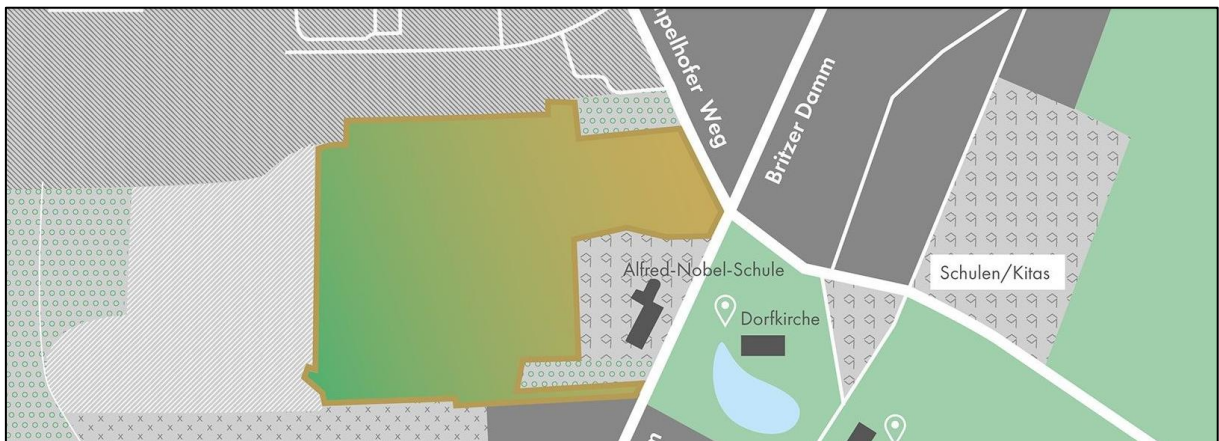


Abbildung 1: Entwicklungsfeld Britzer Damm - Flächenabgrenzung [1]

Die Bundeswehr hat im Rahmen der frühzeitigen Behördenbeteiligung zum Bebauungsplanverfahren Entwicklungsfeld Britzer Damm vom 26.01.2023 eine Stellungnahme abgegeben [2]. Hierin wurde empfohlen, da möglicherweise Belange der Bundeswehr berührt werden, die Planung gutachterlich begleiten zu lassen, um Auswirkungen auf die LVR Anlage THF im Hinblick auf Beeinträchtigungen/Störpotenzial der Radarerfassung aufgrund von Reflexions-, Streu- und Verschattungseffekte durch die zu erwartenden Dimensionen zu untersuchen. Weiterhin ist ausgeführt worden, die geplante maximale Bauhöhe auf 79 m NHN zu begrenzen und in der Begründung des o.g. Bebauungsplanentwurfes aufzunehmen.

Dieses Gutachten soll daher Aussagen zur Radarverträglichkeit als auch zu Störwirkungen von Richtfunkanlagen des Bauvorhabens treffen, um die Belange der Landesverteidigung, sowie Sicherheit und Ordnung im Bebauungsplanverfahren sachgerecht abwägen zu können und die Vollziehbarkeit der vorgesehenen Festsetzungen darzustellen.

Untersuchungen der GfL zu anderen in der Nähe befindlichen Bauvorhaben (hier Bebauungsplanverfahren 7-82a im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen des Landes Berlin [3]) zeigen, dass ausschließlich das LV-Radar THF (Typ „RRP-117“) der Bundeswehr (Bw) von Bedeutung ist. Grundlage der Analyse war hier analog zu diesem Gutachten in einem ersten Schritt auf Planungsvarianten mit den größten Bauhöhen zu fokussieren, um mögliche Störpotenziale zu identifizieren.

Im Rahmen dieses Gutachtens soll in Bezug auf die Flächenplanung nachfolgende sog. Variante 3 die Grundlage der Untersuchungen bilden (vgl. Abbildung 1). Hier ist eine maximal geplante Bauhöhe im südlichen Bereich des Gebietes von bis zu 91 m NHN vorgesehen. Diese Variante weist die größte Bauhöhe aller Planungsvarianten auf. Zudem soll eine vergleichende Analyse zur sog. Variante 0 erfolgen, die Basis des Planungsvorhabens ist (vgl. Abbildung 3). Hier ist eine maximale Bauhöhe von 81,7 m NHN im nördlichen Bereich des Gebietes vorgesehen.

Eine operationelle Bewertung der Ergebnisse erfolgt hingegen nicht im Rahmen des Gutachtens. Diese ist allein Aufgabe des Betreibers des LVR THF.



# 1 Einführung in den Anlagenschutz

## 1.1 Schutzbereichgesetz (SchBerG)

Die Nutzung von Grundstücken in einem Gebiet, das als für Verteidigungszwecke relevant eingestuft wird, ist durch § 1 Gesetz über die Beschränkung von Grundeigentum für die militärische Verteidigung (Schutzbereichgesetz, SchBerG) [6] beschränkt. Dieses Gebiet wird gemäß § 2 SchBerG [6] durch Anordnung eines Anlagenschutzbereiches erklärt, der die Wirksamkeit von Verteidigungsanlagen sicherstellt.

Das Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw) ist laut § 9 SchBerG [6] die zuständige Behörde und legt die notwendigen Maßnahmen innerhalb des jeweiligen Schutzbereiches fest.

## 1.2 Anordnung eines Schutzbereiches für die Luftverteidigungsanlage Berlin Tempelhof

Durch die zuständige Schutzbereichsbehörde *Wehrbereichsverwaltung Ost* wurde am 29. November 2007 eine Anordnung zur Aufhebung und Neuordnung eines Schutzbereiches für die Luftverteidigungsanlage Berlin Tempelhof erlassen und im Amtsblatt für Berlin am 7. März 2008 veröffentlicht [7] (vgl. Abbildung 4). Bestandteile dieser Anordnung sind u. a. der Schutzbereichsplan und die Auflistung der betroffenen Grundstücke. Das hier gegenständliche Bebauungsplanverfahren Entwicklungsfeld Britzer Damm liegt nicht innerhalb dieses Schutzbereiches.



Abbildung 4: Schutzbereich LVR THF, Radius 2,5 km (Zone C, rot) inkl. Bebauungsplanverfahren Entwicklungsfeld Britzer Damm (blau)

## 2 Überblick über die zu betrachtende Anlage

### 2.1 Allgemeine Beschreibung des LVR THF

Das Luftverteidigungsradar (LVR) THF ist ein Radarsystem (Remote Radar Post, RRP-117), das aus zwei Komponenten besteht, dem klassischen Radar (Primärradar) zur Erfassung von elektromagnetisch reflektierenden Luftzielen sowie einer Sekundärradar-Komponente (Secondary Surveillance Radar, SSR) *MSSR 2000 I* zur Abfrage und Auswertung der Antworten von mit Transpondern ausgerüsteten Luftfahrzeugen (LFZ) (vgl. Abbildung 5) [4, 8].

Die Antennen beider Komponenten sind starr übereinander auf einer vertikalen Achse angeordnet, die mit einer definierten Umlaufzeit azimuthal (horizontal) rotiert. Unabhängig voneinander bestimmen beide Systeme als Koordinaten erfasster Ziele (LFZ) im Raum mittels a) Azimutwinkel anhand der aktuellen horizontalen Ausrichtung der Antenne und b) Schrägentfernung zum Ziel mittels Laufzeitmessungen elektromagnetischer Wellen. Beide Teilsysteme arbeiten monostatisch, d.h. sie senden und empfangen mit derselben Antenne.

Das RRP-117 kann das Vertikaldiagramm seiner Antenne - also den vertikalen Erfassungsbereich - in einem begrenzten Winkelbereich der Elevation elektronisch schwenken (Phased Array). Dadurch kann es zusätzlich die Flughöhe von Objekten berechnen, wobei der absolute Höhenmessfehler über Grund prinzipbedingt (Winkelfehler) mit horizontaler Zielentfernung ansteigt. Dies wird als 3D-Radar zur Flugzielerfassung bezeichnet. Beim SSR stammt die Höheninformation vom kooperativen, mit Transponder ausgestatteten Flugziel, sodass auch diese Komponente eine räumliche Abtastung des Luftraums dieser LFZ ermöglicht. Als Bestandteil eines LVR hat der SSR-Teil zusätzlich noch die Aufgabe, durch spezielle Abfragen militärischer Transponder eine Freund-Feind-Erkennung (Identification Friend or Foe, IFF) durchzuführen.

Für beide Teilsysteme ergeben sich grundsätzlich verschiedene Störpotentiale, die im Kapitel 4 detailliert analysiert werden.



Abbildung 5: Radarturm des LVR THF [9]

## **3 Analyse der Anlagenschutzbereiche und qualitative Analyse der Störwirkung**

### **3.1 Anlagenschutzbereich des LVR THF**

Zunächst gilt es zu untersuchen, welche der künftig zulässigen Bebauung (vgl. Abbildung 2) sich grundsätzlich lateral im Anlagenschutzbereich des LVR THF der Bundeswehr am ehemaligen Flughafen Tempelhof befindet. Der angeordnete Schutzbereich für dieses Radar weist einen Radius von 2,5 km (Zone C) auf [4, 7] (vgl. auch Abbildung 4). Somit liegen keine der künftig geplanten Gebäude lateral innerhalb des Schutzbereiches.

Obgleich die künftigen Neubauten eine geringere Höhe als die Radaranlage (ca. 106 m ü NHN) aufweisen, sind Störwirkungen auf das LVR THF durch dessen Elevationseinstellung der Antenne (vgl. Kapitel 4) nicht ausgeschlossen und damit zu prüfen.

### **3.2 Qualitative Analyse der Störwirkung**

#### **3.2.1 Vorgehensweise**

Die Simulation der vom Radar ausgehenden und potentiell reflektierten elektromagnetischen Wellenausbreitung erfolgt dreidimensional. Es werden sowohl die möglichen Kubaturen der künftig geplanten Gebäude des Bebauungsplanverfahrens Entwicklungsfeld Britzer Damm als auch jene vorgelagerte Bestandsgebäude berücksichtigt, die im Strahlungsfeld des LVR THF liegen (vgl. Abbildung 6).

Mithilfe des bereitgestellten georeferenzierten Planentwurfs des Bebauungsplanverfahrens [4] wurden die künftigen Kubaturen innerhalb der festgelegten Baugrenzen modelliert. Aktuell liegen noch keine detaillierten Planungen zu Gebäuden- und Fassadengestaltungen vor. Insgesamt wurden 16 Kubaturen als 3D-Elemente berücksichtigt und durchnummeriert (vgl. Abbildung 8)

Die 3D-Gebäudemodelle der Bestandsobjekte liegen im Detaillierungsgrad LOD2 vor [10]. Es wurden zusätzlich Gebäude hinter dem Plangebiet erfasst. Nachfolgende Abbildung 6 zeigt das Umgebungsmodell in Sichtachse des LVR THF.

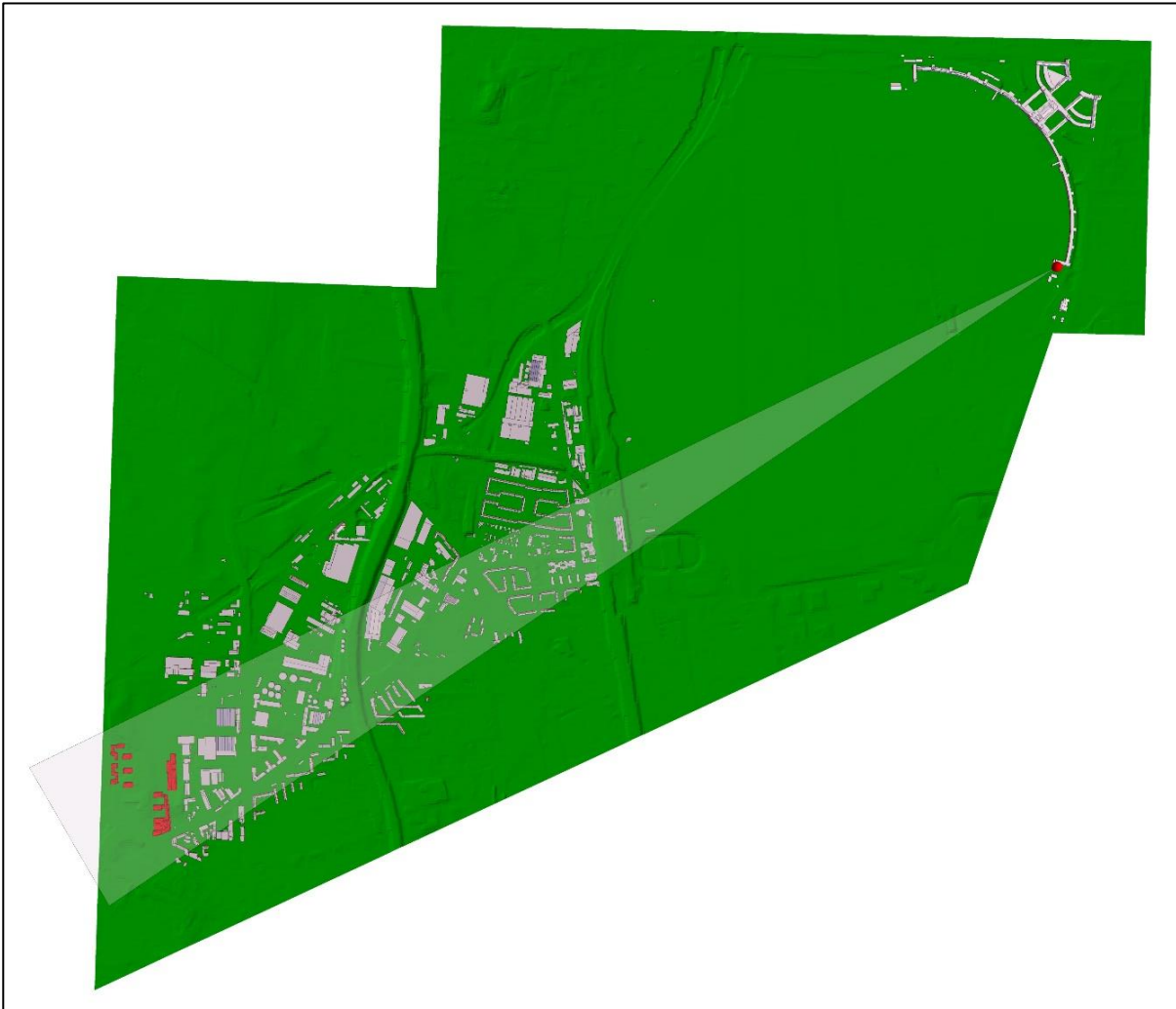


Abbildung 6: Umgebungsmodell (LOD2) in Sichtachse des LVR THF (geplante Gebäude rot markiert) inkl. analysierter Azimutbereich im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4)

Mithilfe des erstellten Umgebungsmodells um das LVR THF inkl. der künftig zulässigen Gebäude (rot markiert in Abbildung 6) wird im Rahmen der nachfolgenden Sichtschattenanalyse (vgl. Kapitel 3.2.2) analysiert, welche Bereiche der geplanten Gebäude von bestehenden Objekten abgeschattet werden und somit keine Störwirkung induzieren werden und welche Gebäudeteile sich im optischen Sichtbereich der Radaranlage („Line-of-sight“<sup>1</sup>) befinden und somit ggf. Störwirkungen auslösen können. Dies erfolgt in diesem Schritt qualitativ.

### 3.2.2 Ergebnisse der Sichtschattenanalyse

Die Sichtschattenanalyse zeigt im Ergebnis, dass vor allem die hohen Gebäude (Gebäude Nr. 7, 8, 9) bei tiefen Elevationen in die Line-of-sight der Radaranlage hineinragt, wie die nachfolgende Abbildung 7 veranschaulicht.

<sup>1</sup> Sichtverbindung zwischen Sender und Objekt



Abbildung 7: Sichtschatenanalyse in Sichtachse des LVR THF

Ebenso ist festzustellen, dass auch nahezu alle weiteren geplanten Hochbauten die umliegende Bebauung deutlich überragen und somit ggf. Störpotenziale induzieren. Diese werden ebenfalls im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4 und Kapitel 5) berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt das detaillierte Ergebnis der Sichtschatenanalyse (Abschattungseffekte) für alle hier wesentlichen Gebäude des Bebauungsplanverfahrens Entwicklungsfeld Britzer Damm.

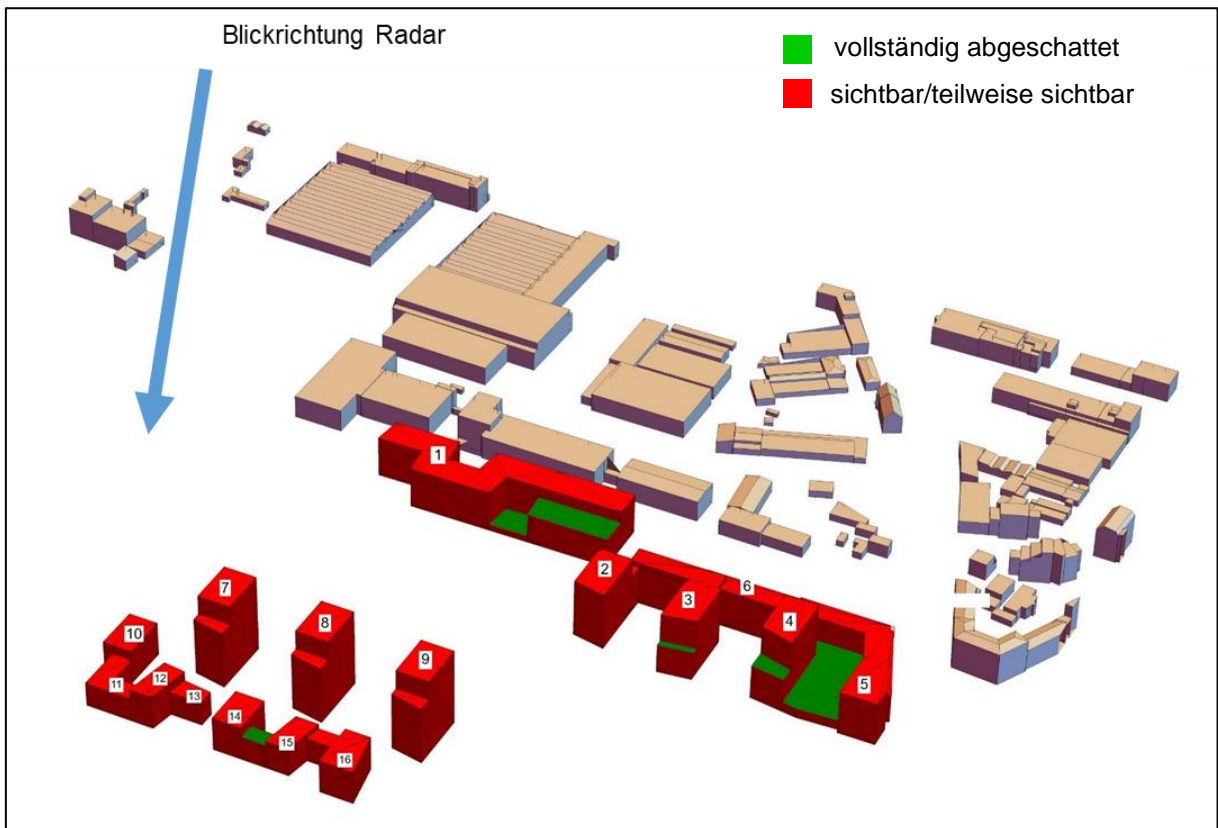


Abbildung 8: Ergebnis der Sichtschatenanalyse auf Basis der Kubaturen der geplanten Gebäude



## 4 Methodik und Modellbildung

### 4.1 Betrachtungen zur Primärradarkomponente RRP-117

#### 4.1.1 Funktionelle Beeinträchtigung des Primärradars und spezielle Parametrisierung der Simulation

Grundsätzlich kann die Funktionsweise eines Primärradars durch Objekte in der Line-of-sight zwischen Radar und Ziel aufgrund einer Reduktion der Feldstärke gegenüber der freien Wellenausbreitung beeinträchtigt werden.

Dies führt zu einer Verringerung der Reichweite des Radars, da der Empfänger bei einem Ziel gleichbleibender Größe und Entfernung dann einen kleineren Empfangspegel und damit ein kleineres Signal-Rauschverhältnis verarbeiten müsste<sup>2</sup>.

Der Betreiber der Anlage könnte aber auf Basis dieser veränderten Empfangspegel und mit Kenntnis weiterer Parameter und Eigenschaften des RRP-117, welche den Gutachtern im Rahmen dieses Gutachtens jedoch durch die Bundeswehr nicht zugänglich gemacht wurden, eine eigene Abschätzung für die Reichweitenminderung vornehmen. Dies wäre insbesondere dann möglich, wenn die ebenfalls nicht öffentlich zugänglichen Ergebnisse der Radar-Flugvermessung mit einbezogen würden.

Falschziele des Primärradars durch Mehrfachreflexionen über Fassaden zu Objekten nördlich des Bebauungsplanverfahrens Entwicklungsfeld Britzer Damm (vgl. Abbildung 6) werden in diesem Gutachten nicht berücksichtigt, da diese Strahlengänge aufgrund der geringeren Bauhöhe der Objekte gegenüber der Höhe der Radarantenne nur sehr niedrige Ziele in nächster Nähe erfassen würden. Durch die zusätzliche doppelte Streuung auf dem Hin- und Rückweg über die Fassade wäre der Empfangspegel zu gering für eine fälschliche Auswertung.

Das RRP-117 ist ein sog. Pulskompressionsradar, das Pulse unterschiedlicher Länge mit einer Frequenzmodulation während der Pulsdauer in horizontaler Polarisation aussendet. Die Pulskompression ist dabei ein Verfahren, bei dem mit kleinerer Pulsspitzenleistung und längerer Pulsdauer gesendet wird. Durch die Kompression im Empfangskanal entsteht die erforderliche radiale Zielauflösung. Das Phasenzentrum des LVR THF befindet sich ca. in einer Höhe von 106 m ü. NHN. Ein einzelnes Radar arbeitet dabei mit ihm zugewiesenen, unterschiedlichen Mittenfrequenzen im Frequenzband 1.215 MHz bis 1.400 MHz, die nach einem festgelegten Ablaufschema systematisch umschalten. Dies dient dazu, dass die Störung einer einzelnen Frequenz die Funktion des Radars nicht vollständig blockiert. Für die Simulationen in diesem Gutachten werden die genannten Frequenzen an den jeweiligen oberen und unteren Grenzen berücksichtigt. In der untersten Elevationseinstellung, z.B.  $-0.33^\circ$ , erzielt das Radar seine größtmögliche operationelle horizontale Reichweite über dem Erdboden. Bei höheren Elevationen bleibt durch den nahezu konstanten Antennengewinn die erzielbare Schrägentfernung gleich groß, durch die Projektion auf den Boden sinkt aber die Reichweite über Grund.

Aus den Messungen expandierter Pulse diverser Radare im Forschungsprojekt WERAN [11] sind den Gutachtern nähere Details bekannt, die in den vorliegenden Simulationen zur Nachbildung der monostatischen Sende- und Empfangsantenne verwendet werden. Das

---

<sup>2</sup> Eine Berechnung der verkürzten Reichweite auf einen Wert, bei dem der Empfangspegel den gleichen Wert hätte wie im Zustand ohne Hindernis, ist grundsätzlich möglich, die alleinige Betrachtung dieser pegelbasierten Berechnung im elektromagnetischen Fernfeld setzt aber voraus, dass die gesamte Signalverarbeitung im Empfangszweig bis zur Darstellung des Ziels beim Benutzer der Anlage ein streng „lineares System“ ist. Das ist in realen Systemen nicht der Fall, sodass eine linear angesetzte Berechnung der operationellen Reichweitenminderung lediglich auf Basis der Feldgrößen keine verlässlichen Ergebnisse liefern würde



Feldsimulationen durchzuführen. Die 3D-Ansichten der Bebauungsszenarien *a)* und *b)* sind für die beiden Signalwege *Forward Scatter* und *Backward Scatter* in den nachfolgenden Abbildung 10 bis Abbildung 13 veranschaulicht.

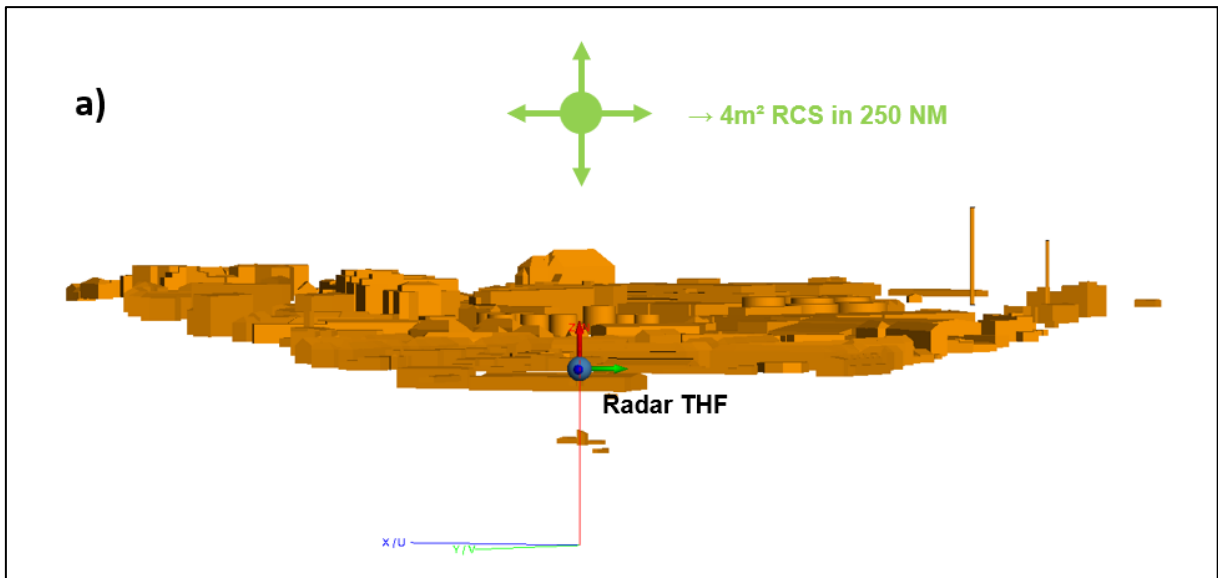


Abbildung 10: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Bestand)

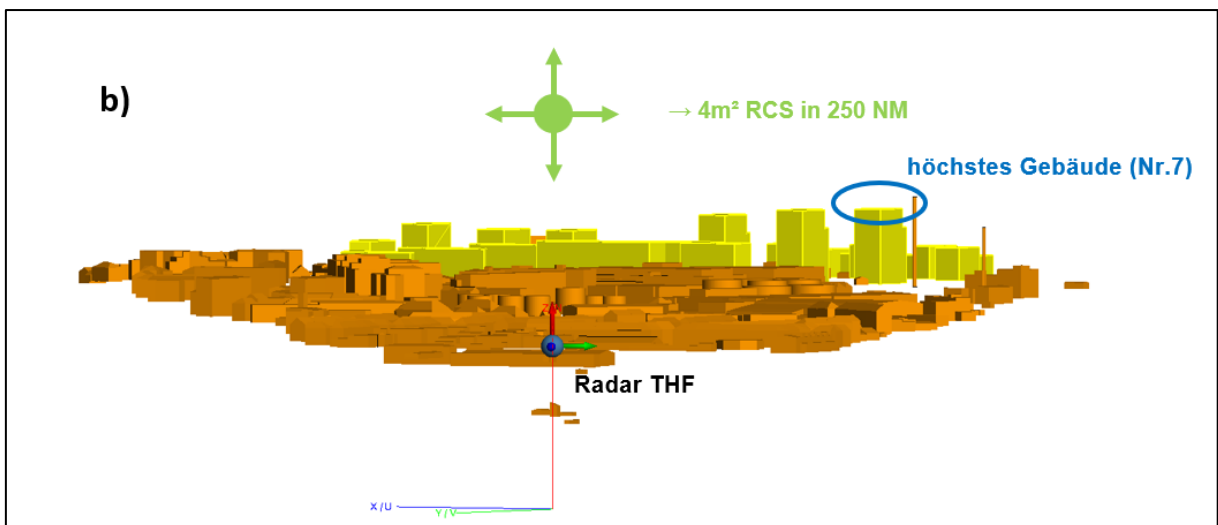


Abbildung 11: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Planung)

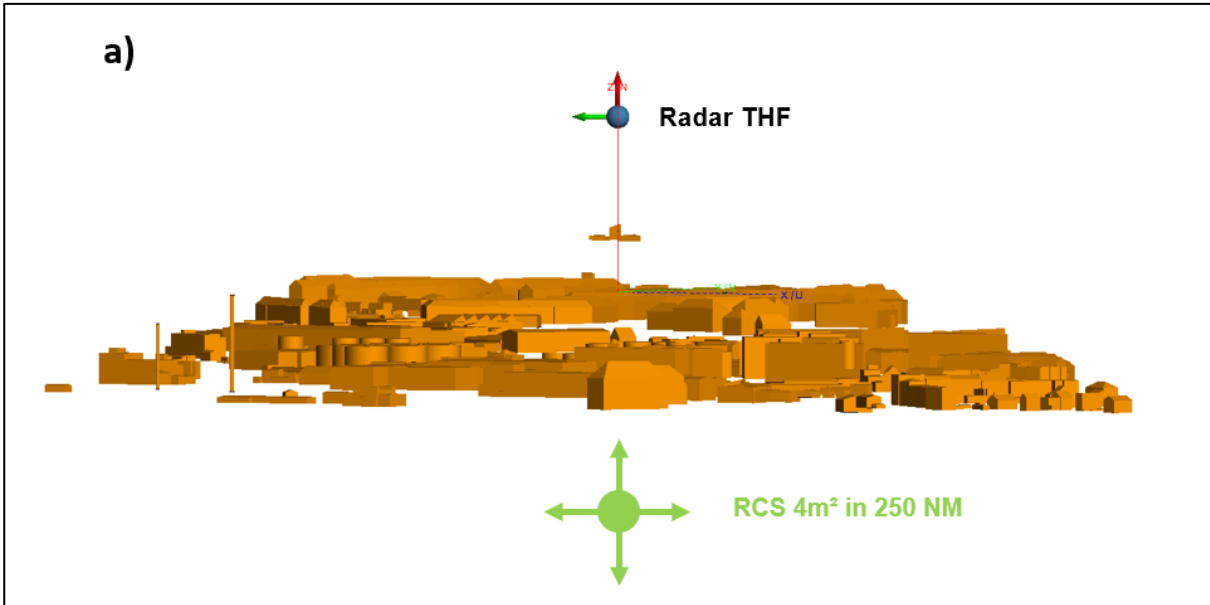


Abbildung 12: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Bestand)

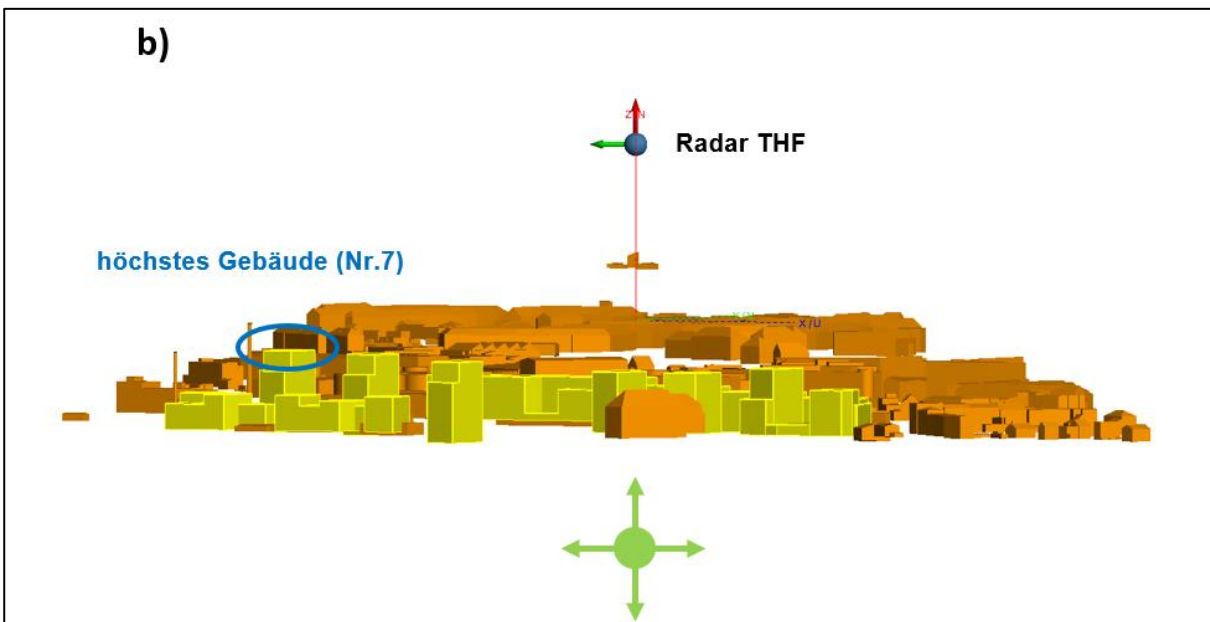


Abbildung 13: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Planung)

Visuell gut erkennbar ist, dass die angestrahlte Fläche bzw. die Verschattung durch die neuen Gebäude im Planungsfeld b) erheblich ist. Die Abtastung des Ziels in Azimut und Elevation hinter dem Feld ist durch die platzierbare Kugel (RCS = 4 m<sup>2</sup>) dargestellt. Das höchste Gebäude der Planung b) ist Nr. 7 gemäß der Übersicht in Abbildung 8.

#### 4.1.4 Untersuchungsszenarien

Ausgehend von der Grundanforderung des Gutachtens soll im Szenario 0 die Analyse der Störwirkung mit Simulation der Planungsgebäude in voller Höhe und Volumen (Stand: Flächenplanung Variante 3, 24.04.2023) erfolgen. Diese Variante weist gemäß AG zudem die höchsten geplanten Bauhöhen auf.

In Abstimmung mit dem AG wurde festgelegt, dass bei Feststellung möglicher Störwirkungen ein weiteres Untersuchungsszenario (hier Anpassung der Höhe der höchsten Gebäude)

erfolgen soll, um ggf. erforderliche Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung einer Störwirkung spezifizieren zu können.

Es werden folgende Untersuchungsszenarien definiert und im Rahmen der Störwirkungsanalyse (Vergleich zwischen Bestand und Planung) untersucht:

- Szenario 0: Simulation der Bauwerke in voller Höhe und Volumen gemäß Flächenplanung Variante 3,
- Szenario 1: Absenkung der Bauhöhe der höchsten Gebäudes Nr. 7, 8, und 9 gemäß Abbildung 8 um 6 m

## 4.2 Betrachtungen zur Sekundärkomponente RRP-117

### 4.2.1 Allgemeines

Die Funkortungsanlage Sekundärradar (engl. Secondary Surveillance Radar, SSR) ist kein Radar im eigentlichen Sinn, da seine Funktion nicht auf dem Prinzip der Streuung/Reflektion elektromagnetischer Wellen an einem (passiven) Ziel basiert. Vielmehr handelt es sich um eine Zweiwegefunkverbindung in Form eines Abfrage-Antwort-Schemas zwischen einem Interrogator am Boden und einem Transponder an Bord eines kooperativen (nicht passiven) Ziels, bei dem bestimmte Antwortformate (sog. Mode) ausgelöst werden. Beim SSR der ersten Generation waren und sind dies noch in der zivilen Nutzung die Modi A und C sowie im militärischen Betrieb die Modi 1 bis 3. Durch Messung der Signallaufzeit wird die Schrägentfernung als erste Zielkoordinate berechnet, bei drehenden Antennen entspricht die zweite Koordinate der azimutalen Stellung der Antenne. In der zivilen Nutzung ortet das SSR Ziele im Luftraum und liest beim Mode S (neue Generation) weitere Parameter über den Zustand des Ziels aus. Die militärische SSR-Komponente eines LVR, also auch das Radar THF, nutzt gemäß NATO STANAG 4193 [12] die Modi 1, 2, 3/A, C, 4, 5, S (Mark XII-A/S), worin die Identifizierungsmodi 1, 2, (4), 5 zur Freund-Feind-Erkennung enthalten sind. Der neuere, kryptographische Mode 5 als Nachfolger des Mode 4 bietet darüber hinaus weitere Möglichkeiten.

Eine substantielle Verbesserung der Richtungsmessung der Zielkoordinate *Azimutwinkel* ist mit der Einführung der Monopuls-Auswertung im SSR-Antwortkanal verbunden. Hierbei misst das SSR am Boden für jeden einzelnen empfangenen Puls der Transponder-Antwort eine Winkelabweichung zur momentanen Drehrichtung der Antenne durch Differenzbildung der Empfangssignale zweier gegenphasiger Teildiagramme der SSR-Antenne. Diese als Monopulse Secondary Surveillance Radar (MSSR) bezeichneten Geräte sind nunmehr Stand der Technik bei allen mechanisch drehenden Installationen.

Im Gegensatz zum Primärradar führt beim SSR eine Verschattung und damit Feldstärkeminderung am Ziel nicht zu vergleichbaren Problemen. Dies liegt insbesondere daran, dass es sich um eine Zweiwegefunkübertragung handelt, bei der sich die Feldstärkeminderung in Abhängigkeit der Reichweite  $R$  proportional zu  $1/R^2$  (eine Laufstrecke) und nicht  $1/R^4$  (zwei Laufstrecken hin- und zurück) wie beim Primärradar verhält. Die Feldstärkeminderung durch mögliche Verschattung in Bezug auf die SSR-Komponente kann in diesem Gutachten daher unberücksichtigt bleiben.

### 4.2.2 Entstehung von Spiegelzielen

Wesentliche Störungen des SSR durch umliegende Bebauung können durch reflektierende Fassadenflächen und dadurch erzeugte Spiegelziele entstehen. Einem über Reflexionen angesprochenen, tatsächlichen Ziel mit Transponder ordnet das Radar somit falsche Zielkoordinaten (Azimut, Entfernung) zu. Um diesen Fall zu vermeiden, ist im Zuge der konkreten Hochbauplanung sicherzustellen sicher zu stellen (vgl. Kapitel 4.2.3), dass die Fassaden künftiger Gebäude keine Streufelder mit hoher Feldstärke erzeugen, aufgrund derer

der Transponder eines LFZ eine vermeintlich gültige Abfrage auf 1.030 MHz erkennt und diese auf 1.090 MHz beantwortet.

Das SSR ist ein zeitvariantes System, bei dem vom Interrogator Pulse der Länge  $0,8 \mu\text{s}$  (IFF: P1, P2, P3; Mode A/C: P1, P2, P3, P4; Mode S: P1, P2, ( $P6 > 19 \mu\text{s}$ )) ausgesendet werden. Unerwünschte Spiegelziele treten dann auf, wenn das Radar gemäß Abbildung 14 auf den Reflektor gerichtet ist und das Streufeld am Ort des LFZ trotzdem eine Stärke oberhalb des Minimum Trigger Levels (MTL) erreicht, bei der der Transponder durch Radarabfrage auf 1.030 MHz auslöst und seine Antwort auf 1.090 MHz über denselben Umweg der Reflexion im Radar empfangen kann und somit ausgewertet wird. Hierdurch entsteht ein zufälliger, ggf. signifikanter Fehler in den Zielkoordinaten sowohl bei der Richtungs- als auch der Entfernungsmessung.

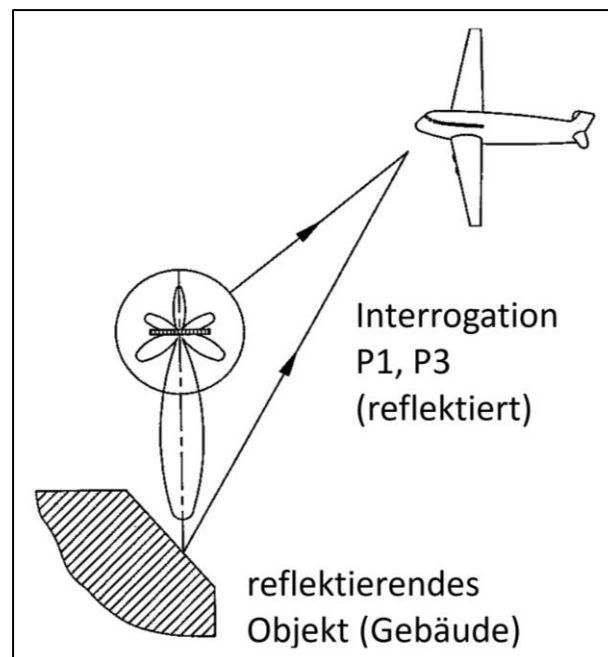


Abbildung 14: Störungsfall: Unerkannte Abfrage des Transponders über reflektierendes Objekt

### **Einfluss auf konventionelles IFF und Sekundärradar Mode A/C**

Das eigentliche Problem der Spiegelziele im Ergebnis der Radarsignalverarbeitung tritt nur bei den konventionellen SSR-Formaten 1,2,3/A,C („Mark XA“) auf. Die heute noch weltweit einheitlich verwendeten SSR-Frequenzen 1030 MHz und 1090 MHz und die Signalstruktur dieser konventionellen Modi geht ursprünglich auf eine Definition aus dem Jahr 1942 (Systeme „Mark IV“ und „Mark V“) zurück.

### **Ziviler Mode S**

Das MSSR 2000 I unterstützt das neuere, zivile SSR-Format Mode S, bei dem Ziele selektiv abgefragt werden. Ein Mode S-Transponder ist im Ablauf seiner Abfragesequenz beim Roll-Call der Uplink-Formate UF04, 05, 20, 21 nicht von möglichen Störungen durch Spiegelziele betroffen, da das Radar das LFZ nur im erwarteten Winkelbereich mit seiner Mode S-Adresse abfragt.

Das Problem der Falschzieldarstellung entsteht bei Mode S theoretisch nur in der Akquisitionsphase (All-Call), bei der der Interrogator durch das Abfrageformat UF11 (Mode S only All-Call) neue Ziele im operationellen Erfassungsbereich anhand ihrer Mode S-Adresse identifiziert und für den Roll-Call vorbereitet. Die gegenüber den konventionellen Abfragemodi völlig neu definierten Abläufe der Kommunikation zwischen Interrogator und Transponder

minimieren das Problem der Spiegelzielerfassung beim zivilen Mode S derart, dass es vernachlässigt werden kann.

### **Militärischer Mode 5**

Der als neuer NATO-Standard für das IFF eingeführte Mode 5 hat teilweise vergleichbare Eigenschaften wie der zivile Mode S, was die Abläufe von Abfragen und Antworten und damit auch die azimutale Selektion von militärischen Transpondern betrifft. Das Problem der Falschzielgenerierung durch Reflexionen ist damit deutlich minimiert.

### **4.2.3 Umsetzung**

Das Radar THF ist in seiner bestimmungsgemäßen Verwendung keine Anlage der Flugsicherung gemäß den Regeln der ICAO und dient damit nicht der Verfolgung von Zielen und der Flugverkehrskontrolle durch Fluglotsen z.B. auf An- und Abflugverfahren der Verkehrsflughäfen.

In einem ersten Schritt wird das Problem der Erzeugung von Spiegelzielen adressiert, indem über Wirkflächen im Raum die Streuintensität durch Reflexionen an Fassaden der Gebäude im Plangebiet dargestellt wird. Relevant für diese Betrachtung ist allein die reine äußere Objekthülle mit ihrer reflexionswirksamen Streufläche, während die innere Aufteilung des Gebäudes keine Rolle spielt. Eine Berechnung des Reflexionsverhaltens entlang bestimmter Flugrouten ist nicht Gegenstand des Gutachtens.

Für den Fall der stärksten angenommenen Reflexion (Totalreflektion) wird die MSSR-Antenne in der Simulation auf die größte sichtbare Reflexionsfläche im Plangebiet ausgerichtet und die jeweiligen Streufelder auf der Abfragefrequenz 1.030 MHz berechnet. Da keine Hochbauplanung mit einer konkreten Fassadengestaltung vorliegt, geht die Simulation von einfachen Baukörpern in Form von Quadern aus, die eine glatte Oberfläche aufweisen und stellt damit eine Worst-Case-Betrachtung dar. Dies bewirkt eine Fokussierung der reflektierten Strahlung in bestimmte Richtungen.

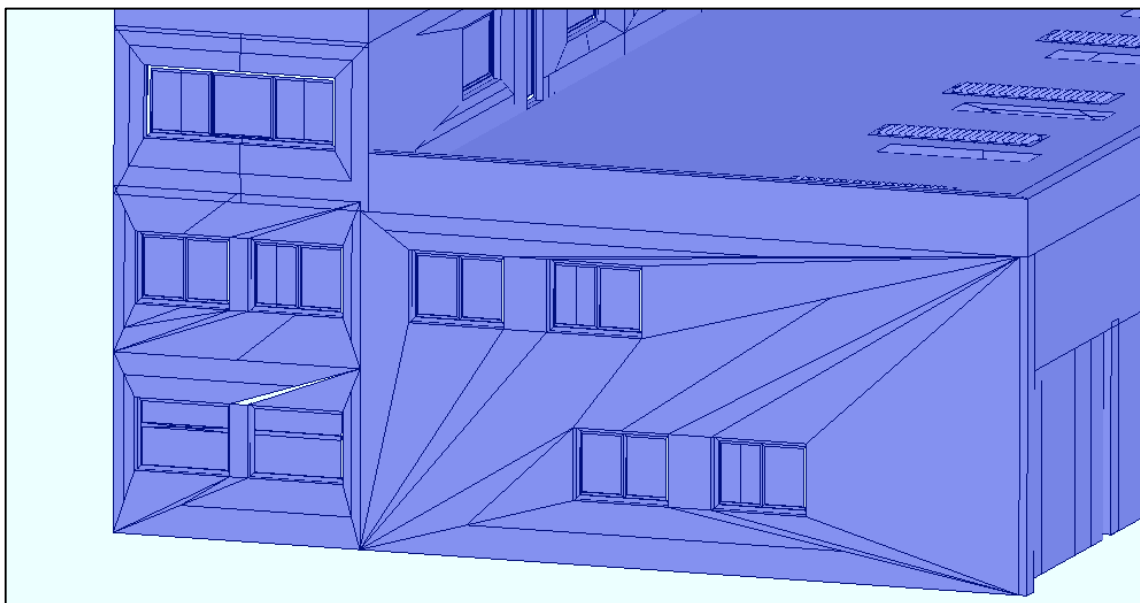


Abbildung 15: Beispiel eines Fassadenmodells mit Fenstern und Vorsprüngen

Feinere Strukturen führen zu einer breiteren Streuung der Reflexionen und damit zu einer Verteilung der gestreuten Strahlungsleistung in einem größeren Volumen. Zudem besteht die Möglichkeit, einzelne Fassadenbauteile mit spezifischen Materialparametern zu versehen, die zu reduzierten Reflexionseigenschaften und damit zu einer Dämpfung der simulierten Streufeldstärken führen (vgl. Kapitel 7.2). Auch Neigungen von Fassaden wirken hier begünstigend.

Liegen Details der Fassadenplanung vor, kann in weitergehenden Simulationen die Raumrichtung und Größe möglicher Winkelfehler nach dem Monopuls-Prinzip berechnet werden. In einem späteren Planungsstadium könnte geprüft werden, ob weitere Simulationen mit dann spezifischer Fassadengestaltung, wie etwa im Beispiel gemäß Abbildung 15, erforderlich sind.

#### 4.2.4 Methodenbeschreibung

##### Strahlungsquelle

Die Abstrahleigenschaften der MSSR-Sendeantenne sind entscheidend für die Streufelder und das Störpotential. Stand der Technik bei MSSR-Antennen ist die Ausführung als Large Vertical Aperture Antenna (LVA-Antenne), die als zweidimensionales Diagramm dargestellt wird. Das vertikale Strahlungsdiagramm wird dabei durch eine bestimmte Verteilung von Strombelägen und Phasen in den Spalten so geformt, dass der Großteil der Sendenergie in einen flachen, positiven Elevationswinkelbereich gelenkt wird, um eine starke Anstrahlung des Erdbodens zu vermeiden und um eine große Reichweite zu erzielen. Dieses im Falle des MSSR als Phased Array umgesetzte Prinzip der Signalbündelung ist damit identisch mit der Erzeugung des Vertikaldiagramms des RRP-117 (vgl. Kapitel 2.1) mit dem wesentlichen Unterschied, dass das Diagramm des MSSR fest eingestellt wird. Die resultierenden horizontalen und vertikalen Strahlungsdiagramme der LVA-Antenne sind in Abbildung 16 dargestellt.

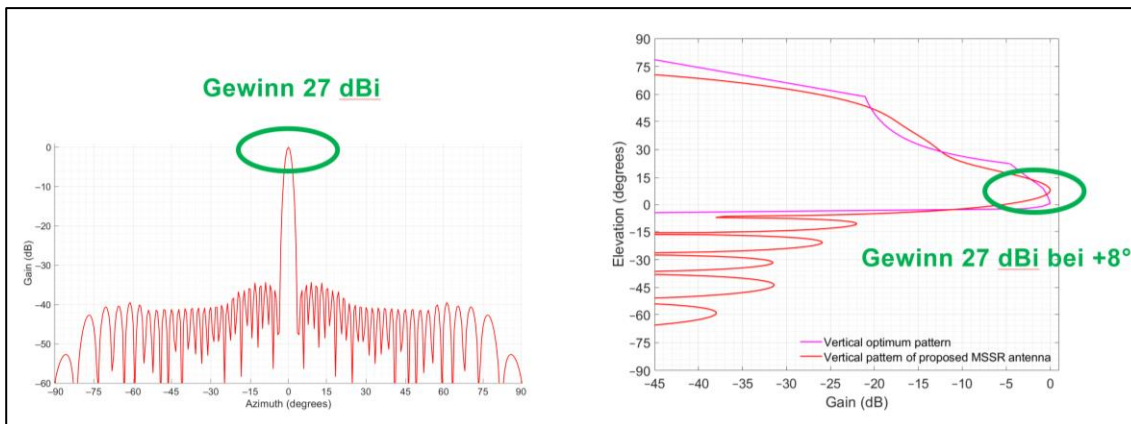


Abbildung 16: Horizontal- (Summen-) und Vertikaldiagramm einer MSSR-LVA-Antenne

Eine Strahlungsquelle mit diesen Eigenschaften wird in der elektromagnetischen Simulation nachgebildet und beleuchtet die Bebauung mit den Objekten in gemäß Abbildung 6.

Für den MSSR-Teil des LVR THF werden weiterhin folgende technische Daten angesetzt, die aus öffentlich zugänglichen Quellen [8] entnommen wurden:

- Sendeleistung: 2 kW = +63 dBm
- Leitungsverlust: 4 dB (typischer Wert MSSR)
- Antennengewinn: 27 dBi (Annahme, da typischer Wert für LVA-Antenne)
- Elevationswinkel der maximalen vertikalen Strahlung: +8°
- Höhe der Antenne bei THF (Phasenzentrum): ca. 112 m ü. NHN

##### Simulationsverfahren

Für die numerische Simulation der Streufelder der MSSR-Anlage kann grundsätzlich ein hybrides Verfahren aus Momentenmethode (MoM) und physikalischer Optik (PO) eingesetzt werden. Erstere Methode kommt insbesondere dann in Betracht, wenn kleinteilige

Einzelheiten von Fassaden im Modell zur Verfügung stehen und hierdurch eine komplexere Streuung stattfindet.

Die Dimension der LVA-Antenne sowie die Parameter der Anregung der Teilstrahler werden so gewählt, dass sie im elektromagnetischen Fernfeld den Vorgaben des real verwendeten Antennentyps entsprechen.

Das resultierende Feld trifft – entsprechend der Geometrie im CAD-Modell – auf die Fassadenoberfläche des Gebäudes, dessen Streuverhalten asymptotisch mit der PO bestimmt wird. Die Baukörper sind im gegenwärtigen Planungszustand lediglich quaderförmige Objekte, die jeweils eine große, ebene Oberfläche ohne spezifische Fassadenstrukturen aufweisen. Die Methode geht weiterhin von einer elektrisch ideal leitfähigen Oberfläche aus und stellt somit den Fall der größtmöglich angenommenen Störungen (Worst-Case-Szenario) dar. In der Realität liegen die Reflexionsfeldstärken darunter, da für eine tatsächlich hergestellte Fassade diese Annahme nur dann gelten würde, wenn diese voll metallisch ohne Fenster und sonstige schlechter leitende Bauelemente ausgeführt wäre. Relevant für diese Berechnung ist allein die rein äußere Objekthülle mit ihrer reflexionswirksamen Streufläche, während die innere Aufteilung der Gebäude keine Rolle spielt.

### **Darstellung des ungünstigsten Falls von Spiegelzielen**

Für die Berechnung der Streufeldstärken wird die Annahme getroffen, dass der mechanische Elevationswinkel der LVA-Antenne („Tilt“)  $0^\circ$  beträgt, sowie ihre azimutale Ausrichtung gemäß Abbildung 17 auf die Mitte der größten Gebäude (Nr. 7 bis Nr. 9) zeigt:

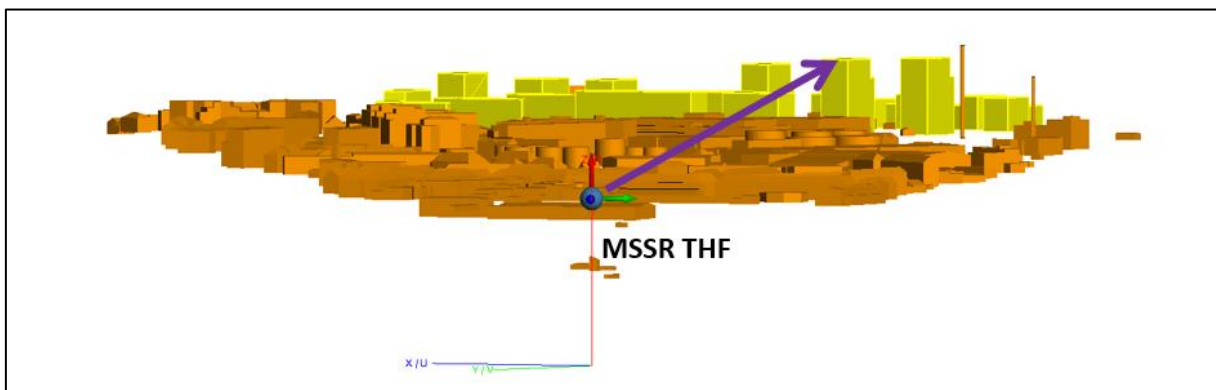


Abbildung 17: Ausrichtung des MSSR auf die Mitte der höchsten Gebäude

Die gestreuten Felder dieser Reflexion weisen eine räumliche Ausdehnung auf. Um ihre Verteilung möglichst gut zu beschreiben, werden geeignete Flächen im Raum definiert, durch die die gestreute Energie tritt und an deren Aufpunkten die Feldstärke oder weitere hieraus abgeleitete Größen ablesbar sind. Im ersten Iterationsschritt bietet sich die Oberfläche einer Halbkugel mit einem Radius von 1 km an, die über das Planungsfeld gestellt wird, wie es die Abbildung 18 in der Ansicht „frontal“ anschaulich macht.

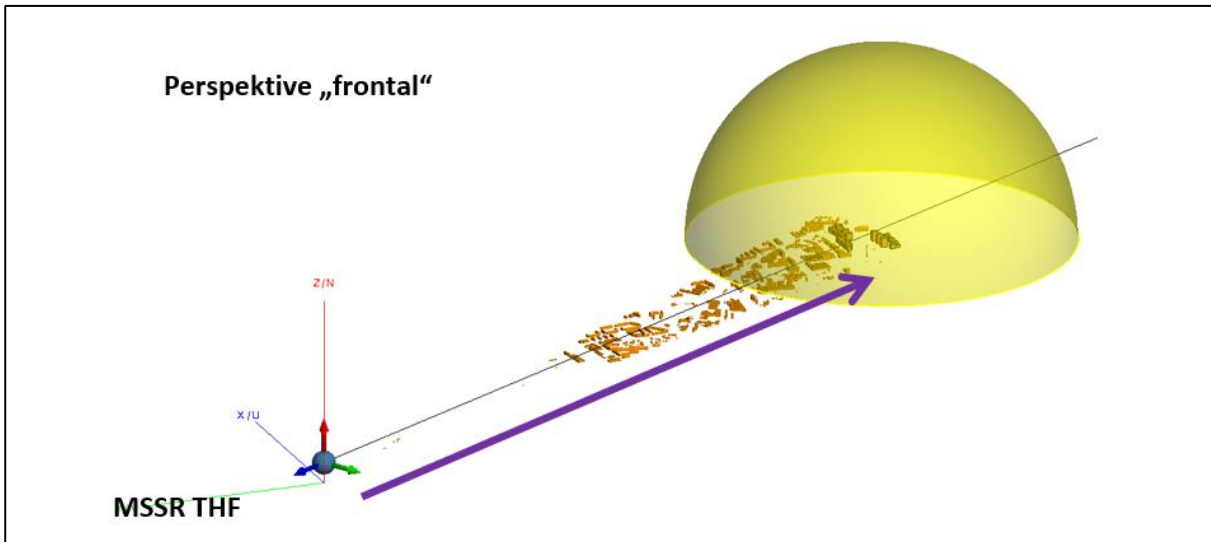


Abbildung 18: Halbkugel als Oberfläche für die Darstellung von Streufeldstärken im Raum

Nachfolgende Abbildung 19 zeigt zwei weitere Ansichten aus den Perspektiven „rückseitig“ und „oben“.

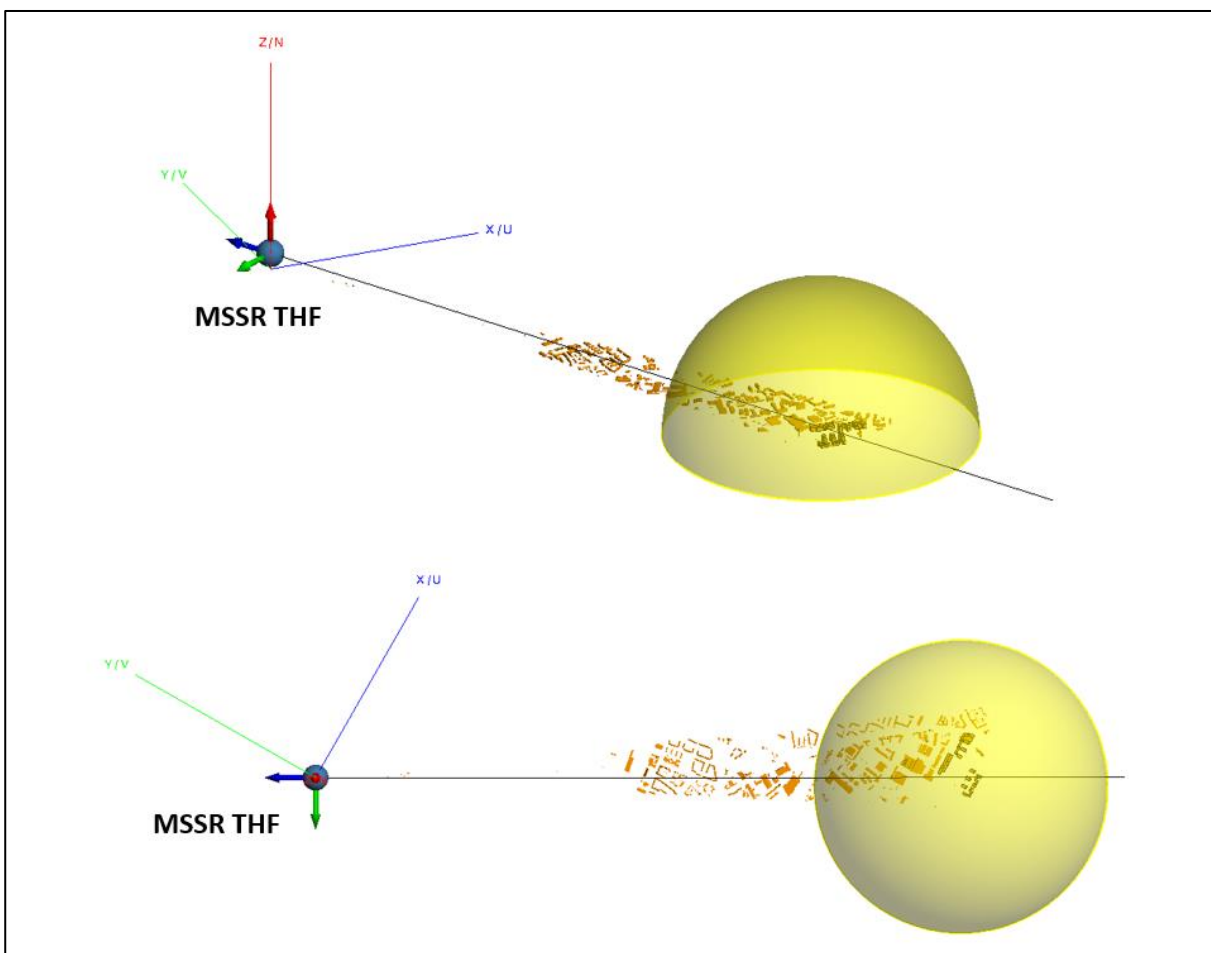


Abbildung 19: Perspektiven „rückseitig“ und „oben“

Ein kartesisches Koordinatensystem bildet die umgerechneten, gestreuten Empfangspegel des Transponders über die sphärischen Koordinaten „Phi“ und „Theta“ zweidimensional ab.

Die Betrachtung weiterer Flächen im Raum unter Berücksichtigung von anderen Körpern in unterschiedlichen Distanzen zum Plangebiet ist dann vorzunehmen, wenn weitere planerische Details der Fassadengestaltung und zur Ausgestaltung der Dachkonstruktionen vorliegen. Begünstigend sind eine diffuse Oberflächengestaltung (z.B. Dachaufbauten, Dachbegrünung etc.), die eine breitere Streuung der Reflexionen bewirkt, dämpfende Fassadenmaterialien als auch spezifische Neigungen der Fassaden.

### **Empfangspegel im Transponder-Abfragekanal**

Gemäß der oben getroffenen Annahmen wird das MSSR mit seinem Azimutwinkel auf die Mitte des Plangebietes ausgerichtet und die jeweiligen Streufelder der Frequenz 1.030 MHz auf der Halbkugel berechnet.

Laut Quellenlage bei ICAO und EUROCAE gibt es keinen Wert der Grenzfeldstärke, ab der ein Transponder eine Antwort auslöst, sondern nur eine untere Schwelle für den Empfangspegel (Minimum Trigger Level, MTL), die aus den EUROCAE ED-73F [13] hervorgeht. Die größte Empfindlichkeit ergibt sich hieraus als unterer Grenzwert mit  $-73 \text{ dBm} - 4 \text{ dB} = -77 \text{ dBm}$  (Mode A/C/S).

Eine Überführung der Feldstärke E in eine Empfangsspannung U setzt die Kenntnis des Antennenfaktors (AF) voraus:

$$U = E \cdot AF \quad (1)$$

Mit: U – Empfangsspannung [dBV]  
 E – Feldstärke [dBV/m]  
 AF – Antennenfaktor [dB 1/m]

Die Umrechnung hin zum Empfangspegel in dBm lässt sich über die Impedanz im freien Raum ( $377 \Omega$ ) und die Leistungsabgabe bezogen auf eine Impedanz von  $50 \Omega$  am Fußpunkt der Antenne ausführen. Typischerweise gleicht eine Flugzeugantenne einem elektrischen Monopol der Länge  $\lambda/4$ . Der Antennenfaktor dieses Monopols ist in der Theorie mit  $30 \text{ dB 1/m}$  anzusetzen. Vermessungen von realen Flugzeugantennen in sog. Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell (GTEM-Zellen) zur Erzeugung von definierten elektromagnetischen Fernfeldern haben jedoch gezeigt, dass realistische Werte bei  $34 \text{ dB 1/m}$  liegen und somit die Antenne  $5 \text{ dB}$  weniger Pegel liefert als ein idealer Monopol [14]. Die Koaxialleitung zwischen Antenne und Transponder weist mit Steckverbindern Verluste von etwa  $3 \text{ dB}$  Dämpfung auf, sodass sich ein effektiver Antennenfaktor von  $37 \text{ dB 1/m}$  ergibt, was den Empfangspegel am Transponder weiter abschwächt.

Diese Werte sind Angaben mit praxisnahen Antennen und Installationen am LFZ. Bei einer rein theoretischen Betrachtung wären kleinere Antennenfaktoren anzusetzen, die gemäß obigen Ausführungen zu höheren Streufeldstärken führen würden.



## 5 Ergebnisse Störwirkungsanalyse

### 5.1 Primärradar – Feldstärkeänderung als Ergebnis der Simulation

Alle Abbildungen der nachfolgenden Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 zeigen den Unterschied der Empfangsfeldstärken im Radar beim Durchlaufen der Strahlengänge im *Forward*- und *Backward Scatter* zwischen den Szenarien a) Bestand und b) Planung (vgl. Kapitel 4.1.3).

In den zusammenfassenden Darstellungen (vgl. Kapitel 5.1.1) des folgenden Abschnitts sind die Änderungen des Empfangspegels farblich als 3. Dimension gekennzeichnet. Die Legende rechts neben dem Diagramm weist der Farbe im Diagramm die zugehörige Pegeländerung in Dezibel (Steigerung von rot zu blau) zu. Das Radar schwenkt mit seiner Strahlbreite in einer gewählten Azimut- und Elevationsschrittweite von  $0,25^\circ$  über das Plangebiet. Die Abszissenachse der Diagramme kennzeichnet den Azimutwinkelbereich von  $145,5^\circ$  bis  $153^\circ$ , während die Y-Achse (links) Elevationen von  $-0,75^\circ$  bis  $+0,5^\circ$  beschreibt.

Zur besseren Verfolgung der veränderlichen Pegel wird zudem eine zweite Darstellung als Einzeldiagramme über dem betrachteten Azimutwinkelbereich implementiert (vgl. Kapitel 5.1.2).

#### 5.1.1 Ergebnisse der Szenarien - zusammenfassende Darstellung

Im Szenario 0 ist der volle Winkelbereich der azimuthalen Strahlschwenkung auf der unteren Grenzfrequenz 1.215 MHz dargestellt. Gut erkennbar ist, dass die höchsten Gebäude (Nr. 7 bis Nr. 9, vgl. Abbildung 8) im azimuthalen Winkelbereich von  $149,5^\circ$  bis  $151,22^\circ$  keine herausragenden Verschattungseffekte hervorrufen, da sie in einigem Abstand zueinander angeordnet (vgl. nachfolgende Abbildung 20).

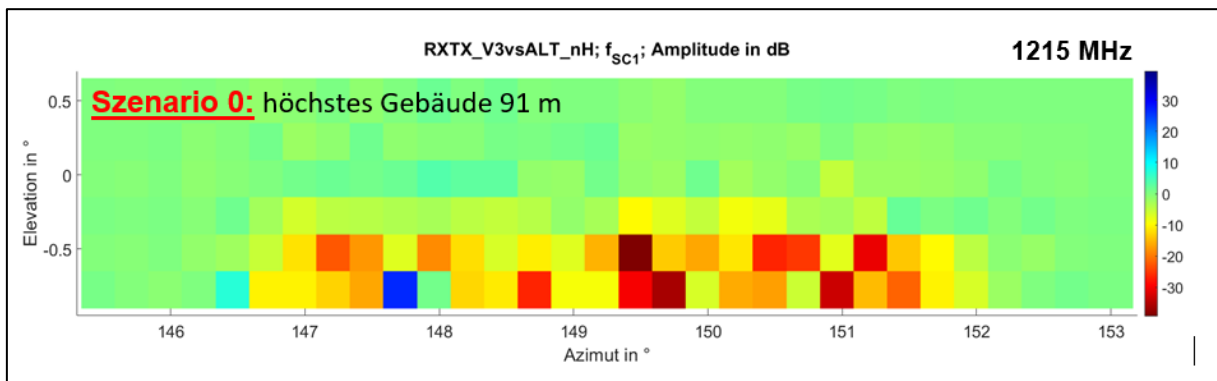


Abbildung 20: Empfangspegeländerung - Szenario 0 bei der Frequenz 1.215 MHz

Szenario 1 konzentriert sich auf die Modifikation der höchsten Gebäude Nr. 7 bis Nr. 9. Hier wurde eine Reduktion der Gebäudehöhen um 2 Etagen (6 m) untersucht (vgl. nachfolgende Abbildung 21). Im Ergebnis ist festzustellen, dass die Variation der Höhe und damit die Unterschiede im Vergleich der Ergebnisse der beiden Szenarien 0 und 1 nicht erheblich sind (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 21).

Es entstehen teilweise sogar Feldstärkeüberhöhungen durch konstruktive Überlagerung des direkten Signals mit Reflexionen an den Dächern der Gebäude. Hier muss einschränkend gesagt werden, dass die Reflexionen auf der oberen Gebäudekante auch auf die derzeit einfachen Ausführungen der Baukörper als Quader ohne Oberflächenstruktur zurückzuführen sind. Unterhalb von  $-0,25^\circ$  Elevation ergeben sich im gesamten von der Planung betroffenen Azimutbereich von  $147^\circ$  bis  $151,5^\circ$  Einschränkungen des Empfangspegels.

Bei mehr als 10% Frequenzunterschied zwischen Bandunterende und -oberende zeigen die Berechnungen bereits die Auswirkungen der leicht unterschiedlichen Wellenausbreitung.

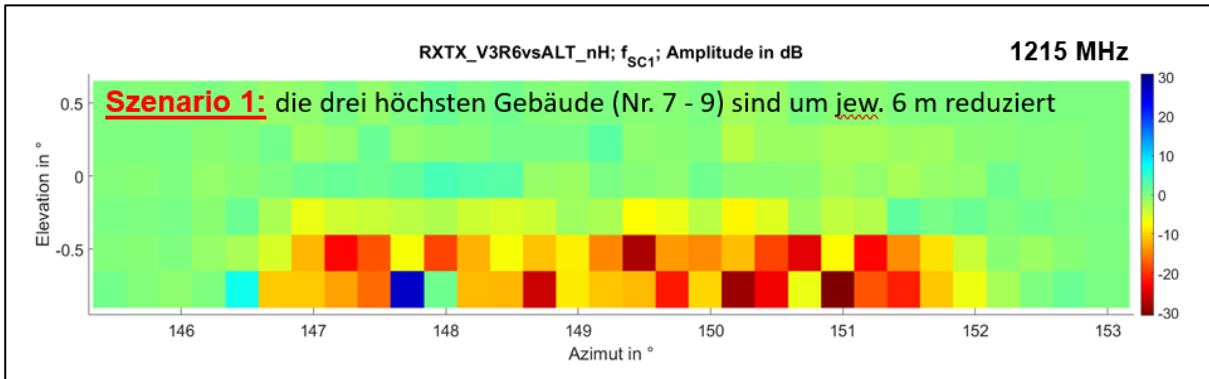


Abbildung 21: Empfangspegeländerung - Szenarien 1 bis 5 bei der Frequenz 1.215 MHz

Für alle simulierten Szenarien gilt, dass bei niedrigen Elevationen unter  $-0,5^\circ$  größere Gebäudefronten angestrahlt werden, aber auch Reflexionen vom Erdboden zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Aussagesicherheit der Simulation verringert sich dadurch, da insbesondere die komplexe Interaktion zwischen dem großflächigen, unterschiedlich leitfähigen Erdboden und den Gebäudefronten mit vertretbarem Aufwand nicht hinreichend berücksichtigt werden kann<sup>4</sup>.

### 5.1.2 Ergebnisse der Szenarien – einzelne Elevationsschritte

Zur besseren Verfolgung der veränderlichen Pegel für die einzelnen Elevationsschritte sind die folgenden Diagramme anders strukturiert und pro Elevation von  $-0,75^\circ$  bis  $+0,5^\circ$  in Schrittweite  $0,25^\circ$  als Einzeldiagramme über dem betrachteten Azimutwinkelbereich von  $145,5^\circ$  bis  $153^\circ$  (Abszissenachse) für alle Szenarien gemäß Kapitel 4.1.3 ausgeführt. Die Ordinatenachse beschreibt nun jeweils die Empfangspegeländerung in Dezibel mit Kennzeichnung der 0-dB-Linie. In diesen Darstellungen sind die Simulationsergebnisse beider Grenzfrequenzen 1.215 MHz und 1.400 MHz abgebildet.

<sup>4</sup> Hierzu wäre die detaillierte Modellierung der Erdoberfläche erforderlich, was nicht Bestandteil der Simulation war.

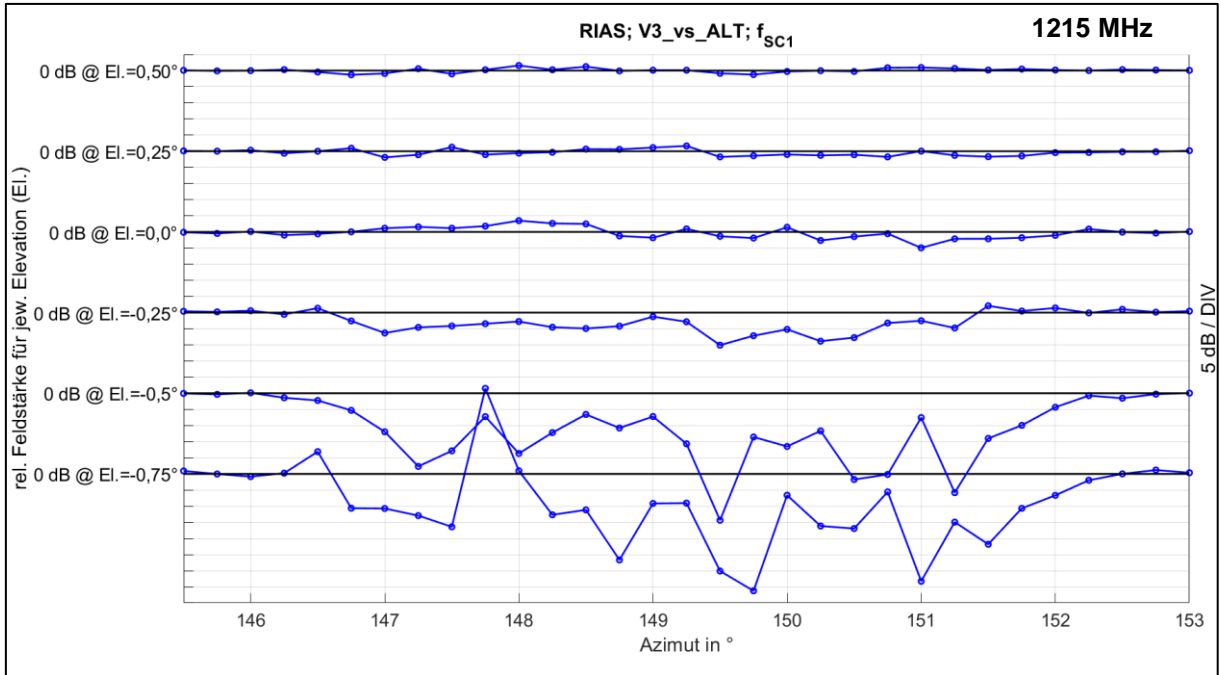


Abbildung 22: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 91 m ü. NHN (1.215 MHz)

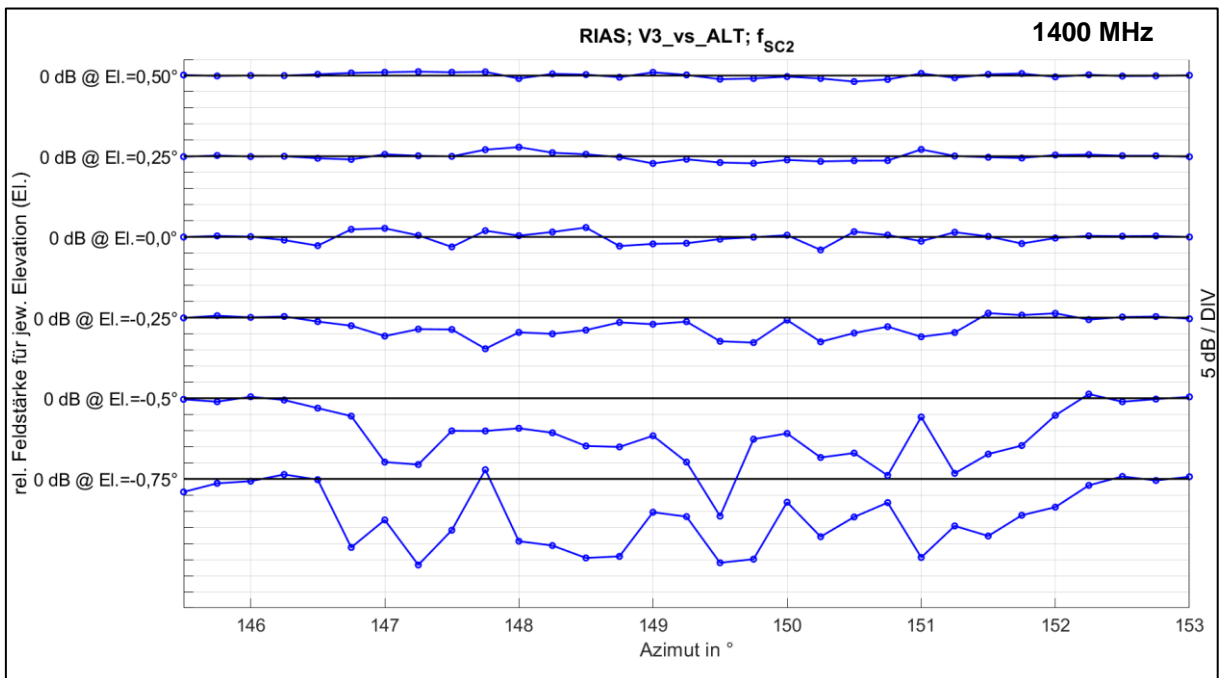


Abbildung 23: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 91 m ü. NHN (1.400 MHz)

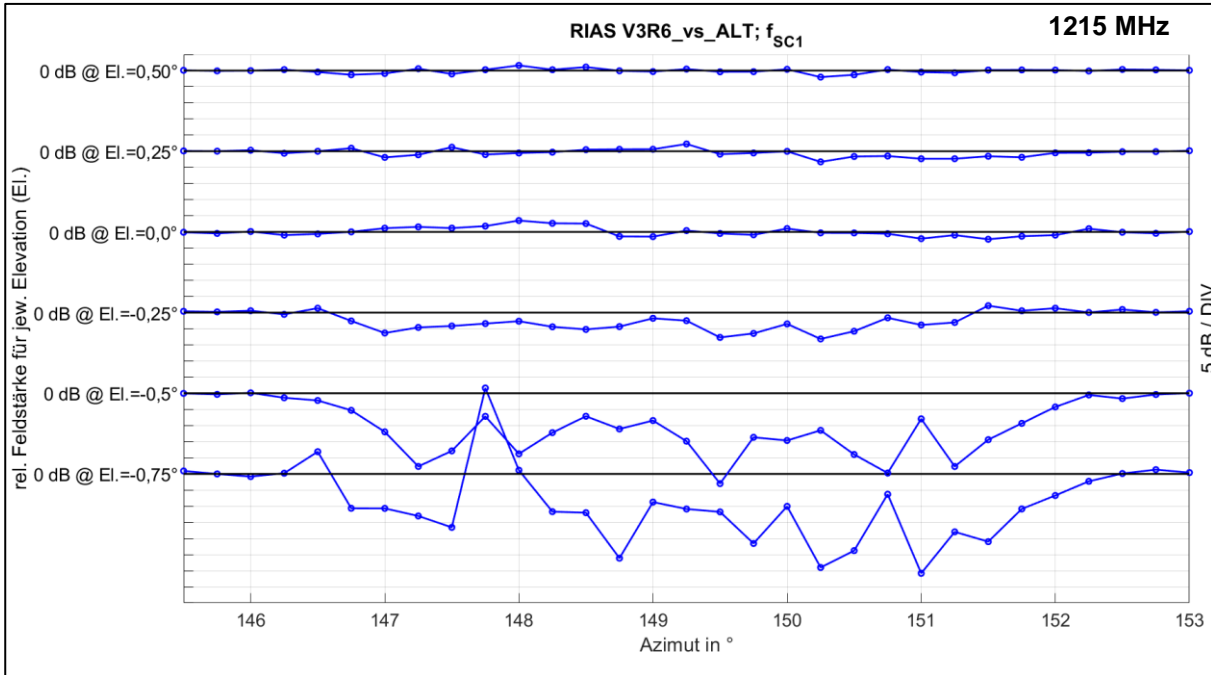


Abbildung 24: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe um 6 m (1.215 MHz)

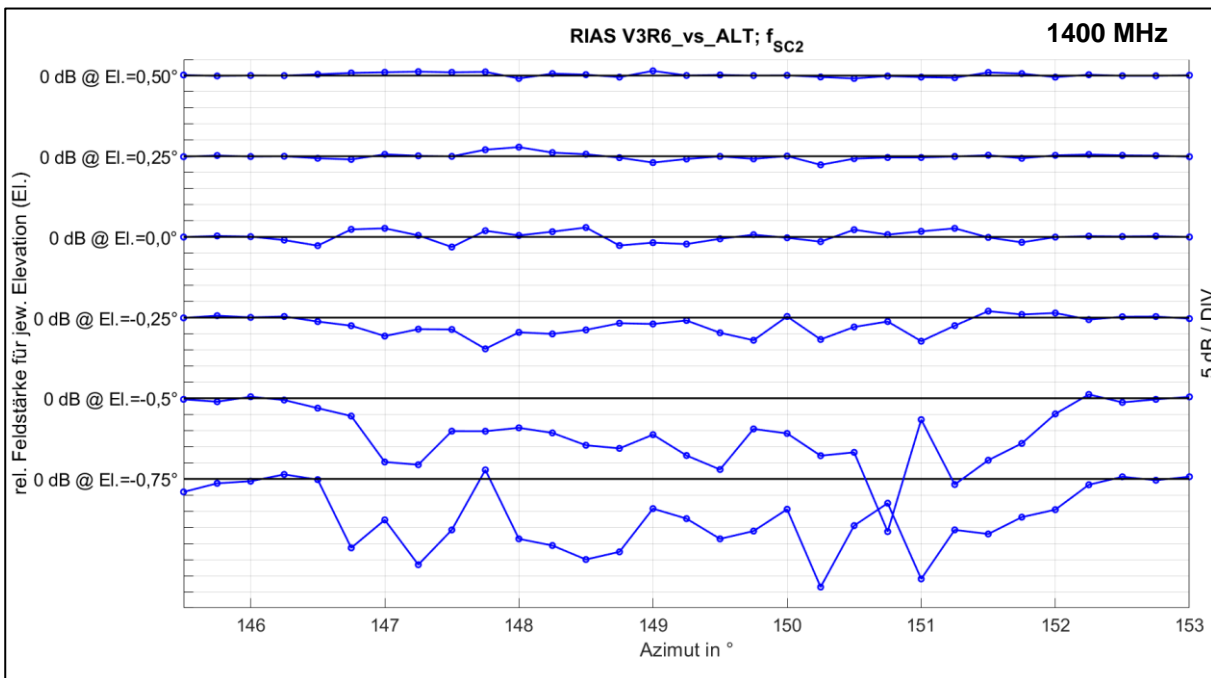


Abbildung 25: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe um 6 m (1.400 MHz)

## 5.2 Zusammenfassung Ergebnisse Primärradar

In Bezug auf das Primärradar ist für die Variante 3 (vgl. Kapitel Ausgangslage) festzustellen, dass bei einer Elevation des Radars von 0° und mehr im Azimutwinkelbereich des Plangebietes keine wesentlichen Empfangspegelveränderungen gegenüber der

Bestandsbebauung gegeben sind. Ebenso treten keine Pegelveränderungen über 10 dB oberhalb einer Elevation von  $-0,25^\circ$  auf.

Unterhalb von  $-0,25^\circ$  Elevation ergeben sich im kritischen Azimutbereich von  $147^\circ$  bis  $151,5^\circ$  im Einflussbereich Einschränkungen des Empfangspegels.

Im azimutalen Winkelbereich der höchsten Gebäude (Nr. 7 bis Nr. 9) werden keine herausragenden Verschattungseffekte hervorgerufen, da sie ininigem Abstand zueinander angeordnet sind. Entsprechend ist die Variation in deren Höhe und damit die Unterschiede im Vergleich der Ergebnisse der beiden Szenarien nicht erheblich (vgl. Kapitel 5.1). Vergleichbare Pegelveränderungen werden zudem von den zwar niedrigeren, jedoch langgestreckten Gebäuden in der azimutalen Mitte des untersuchten Bereiches erreicht.

Es entstehen teilweise sogar Feldstärkeüberhöhungen durch konstruktive Überlagerung des direkten Signals mit Reflexionen an den Dächern der Gebäude. Hier muss einschränkend hinzugefügt werden, dass die Reflexionen auf der oberen Gebäudekante auch auf die derzeit einfachen Ausführungen der Baukörper als Quader ohne Oberflächenstruktur zurückzuführen sind.

In Bezug auf die Variante 0 (vgl. Kapitel Ausgangslage) ist vorbehaltlich einer detaillierten elektromagnetischen Simulation ein vergleichbares Ergebnis zu erwarten, auch hier werden Einschränkungen des Empfangspegels festzustellen sein.

### 5.3 Zusammenfassung Ergebnisse Sekundärradar

In den drei genannten Perspektiven „südwest“, „ost“ und „oben“ (vgl. Kapitel 4.2.4) sind in den folgenden Abbildung 26 bis Abbildung 28 die Feldstärken, die ein Transponder an einem Ort als Folge der Streuung an den Objekten im Plangebiet und Umgebung auf der Abfragefrequenz 1.030 MHz empfangen würde, auf der Kugeloberfläche in ihrer Intensität farblich aufgetragen. Aufgrund der Randbedingungen der Simulation mit Annahme der einfachen Kubatur der Baukörper lässt sich mit der angewandten Methode nur eine Näherung erzielen, die hier aber das Worst-Case-Szenario darstellt. Dies betrifft insbesondere die nach oben gerichteten Streuungen, da aufgrund der elektrisch leitfähig angenommenen Flächen der Gebäude auch die Dächer der Gebäude, die eine Höhe deutlich unterhalb des Phasenzentrums der LVA-Antenne (112 m ü. NHN) aufweisen, stark reflektieren.

Die am kritischsten einzustufenden Reflexionen entstehen durch die Rückstreuung beim lokalen Winkel  $\Phi$  von etwa  $60^\circ$  und zwischen  $250^\circ$  und  $300^\circ$ . Dies entspricht in den perspektivischen Abbildung 26 bis Abbildung 28 einer Rückstrahlung auf nördlicher Seite der Radarstrahlung und einer Ablenkung im hinteren Teil der Analysefläche in Richtung „südwest“.

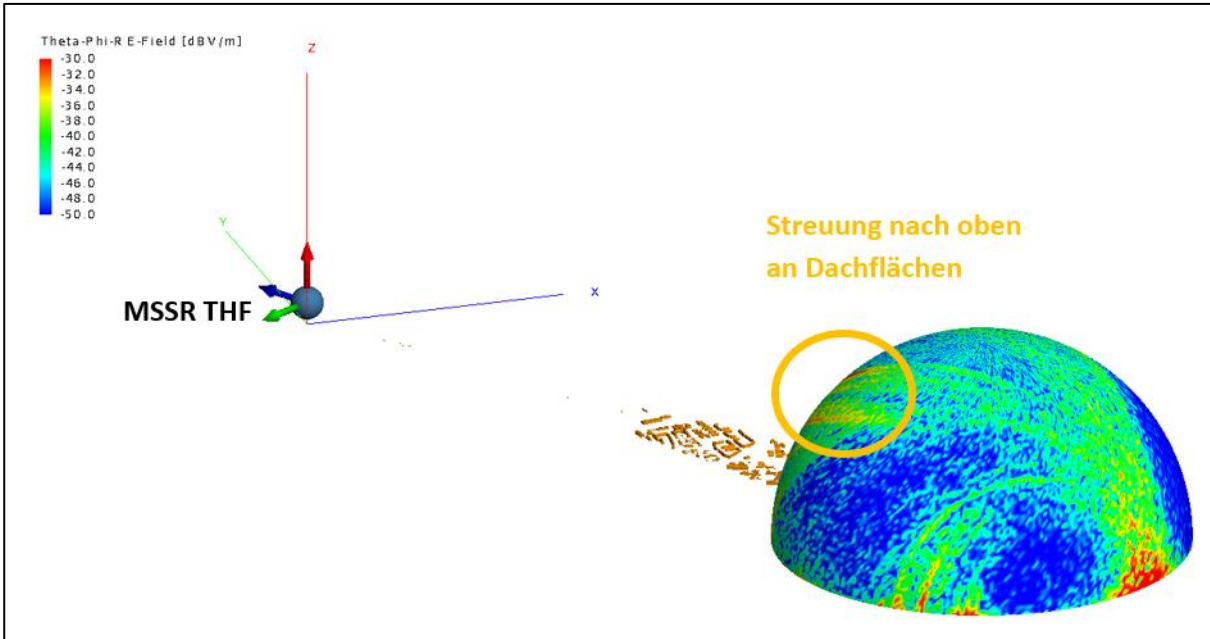


Abbildung 26: Streufeldstärken auf 1.030 MHz in der Perspektive „südwest“

Bei weiterer Projektion der Streufeldstärken bzw. -pegel in den Raum gilt die Fernfeldannahme der Wellenausbreitung, bei der jeweils eine Verdopplung der Entfernung zum Streukörper eine Pegelminderung von 6 dB bewirkt. Die Streuung nach oben vornehmlich über die leitfähigen Dachflächen zeigt z.T. auch sehr hohe Pegel, die aber durch die geringere Leitfähigkeit und Struktur der Dachgestaltung realer Gebäude geringer und weniger fokussiert ausfallen werden.

In der Perspektive nach Abbildung 27 zeigen die Simulationen starke Streufelder durch Reflexionen an Dächern und an Seitenteilen der Gebäude.

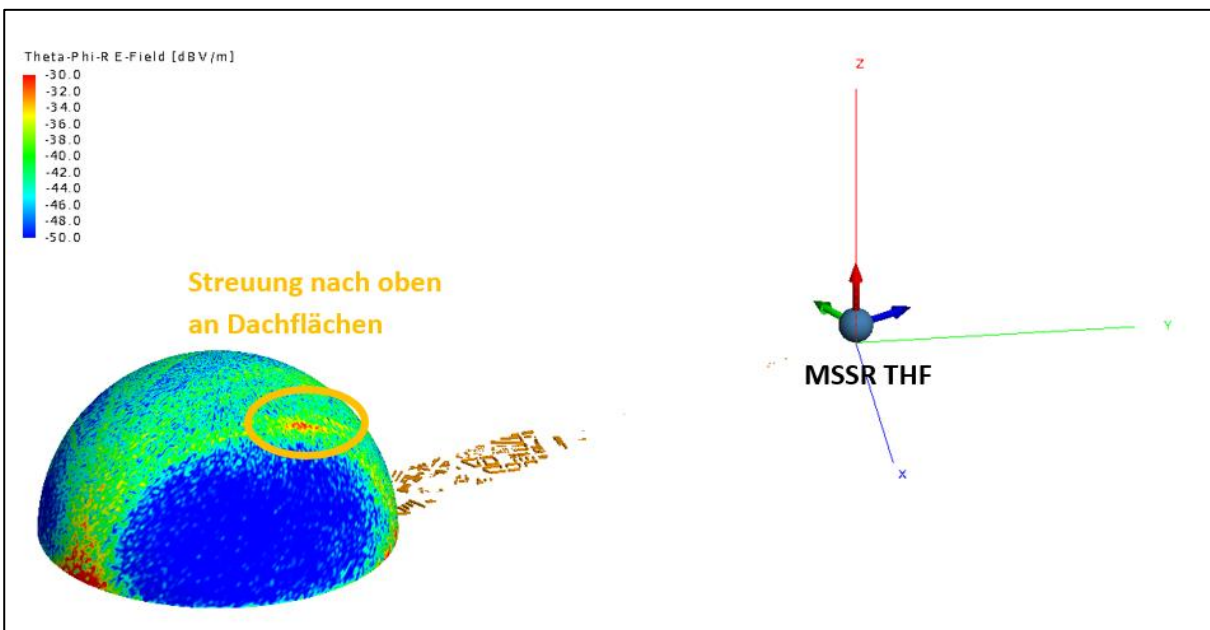


Abbildung 27: Streufeldstärken in der Perspektive „ost“

Da gemäß Abbildung 19 keine Gebäude hinter dem Plangebiet in der Simulation berücksichtigt wurden, wären rückseitig nur Reflexionen der zulässigen höchsten Gebäude oberhalb einer

dahinter liegenden Bestandbebauung wirksam, darunter wird es zu einer Verschattung kommen. In der perspektiven Ansicht auf die Halbkugel gemäß nachfolgender Abbildung 28 rücken die nach oben strahlenden Reflexionen näher in den Fokus.

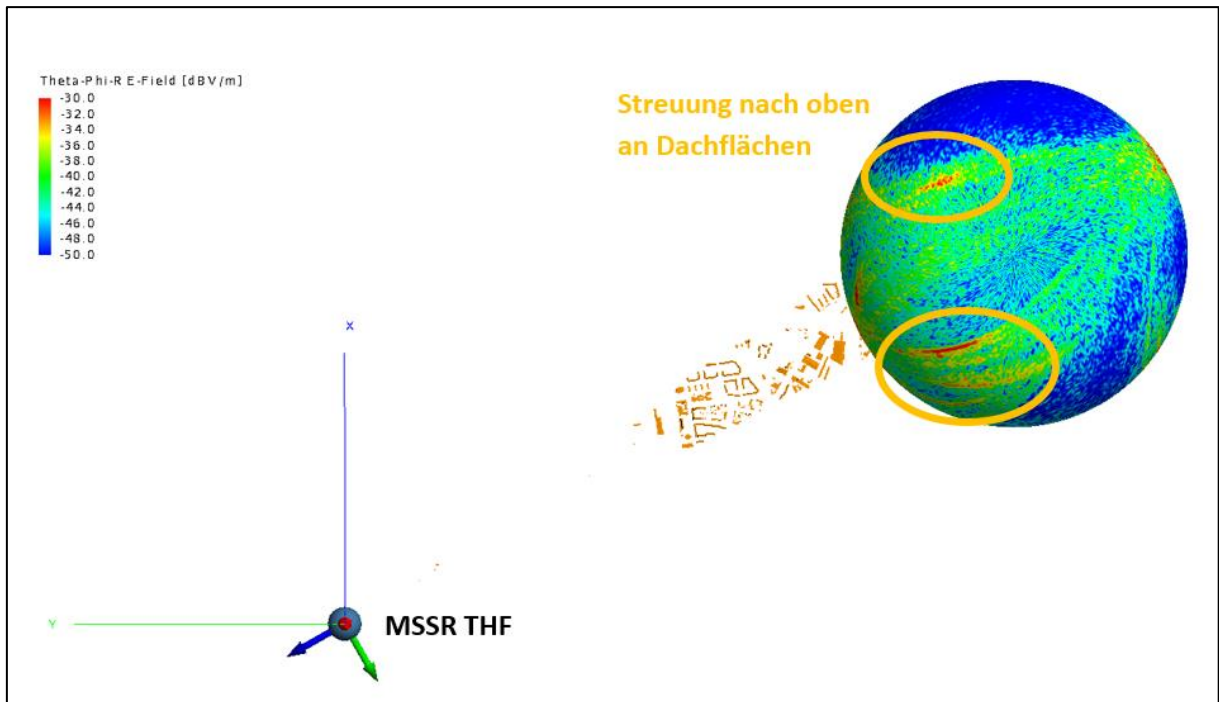


Abbildung 28: Streufeldstärken in der Perspektive „oben“

Im kartesischen Diagramm gemäß Abbildung 29 sind die abgeleiteten Empfangspegel der Streuung gemäß der Skala (rechts) als Farbwerte über den sphärischen Koordinaten Phi und Theta vom Kugelmittelpunkt aufgetragen. Zusätzlich ist in Abbildung 30 der Pegel als „Einfügeänderung“ des Szenarios 0 aufgetragen, der den direkten Unterschied zwischen dem Zustand vor und nach der Planbebauung sichtbar macht.

Die hohen Pegel der auftretenden Streupegel liegen in der Worst-Case-Betrachtung bei oberhalb von  $-50$  dBm, was deutlich höher ist als der MTL des Transponders. In sehr geringer Höhe über dem Boden sowie an einigen verteilten Stellen im Raum dicht über dem Plangebiet reichen die Streupegel also theoretisch aus, um in den konventionellen SSR-Modi die Transponder auszulösen. Die Rückstreuung der Simulation entspricht dem gesamten Bestand der Bebauung in der Umgebung des Plangebietes und den künftigen Objekten. Ohne weitere Kenntnisse der Rückstreuungseigenschaften der Bestandsgebäude sowie deren möglicher Neigung wird demzufolge durch die einfachen Baukörper eine sehr große Rückstreufläche gebildet<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Dieser Effekt würde sich abmildern, wenn die detaillierten Fassaden der Bestandgebäude in die Simulation integriert werden würden.

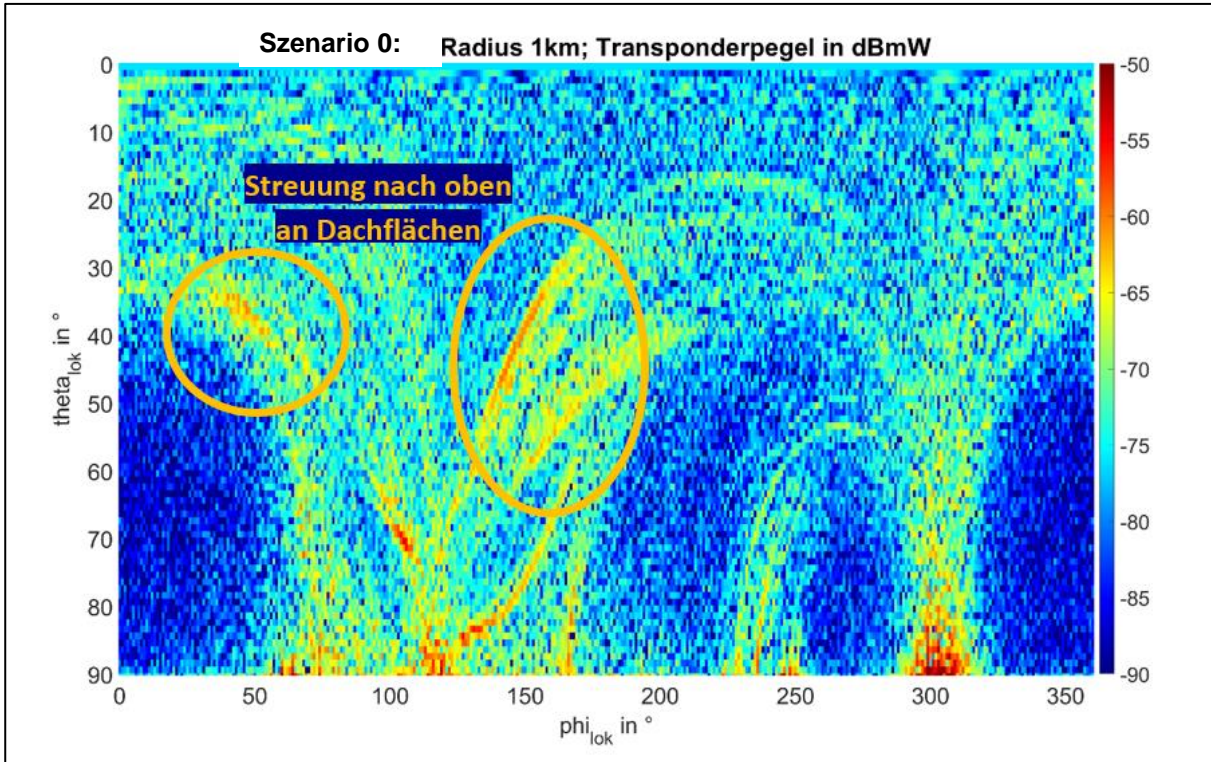


Abbildung 29: Gestreute Pegel im Worst-Case-Szenario, sphärische Koordinaten

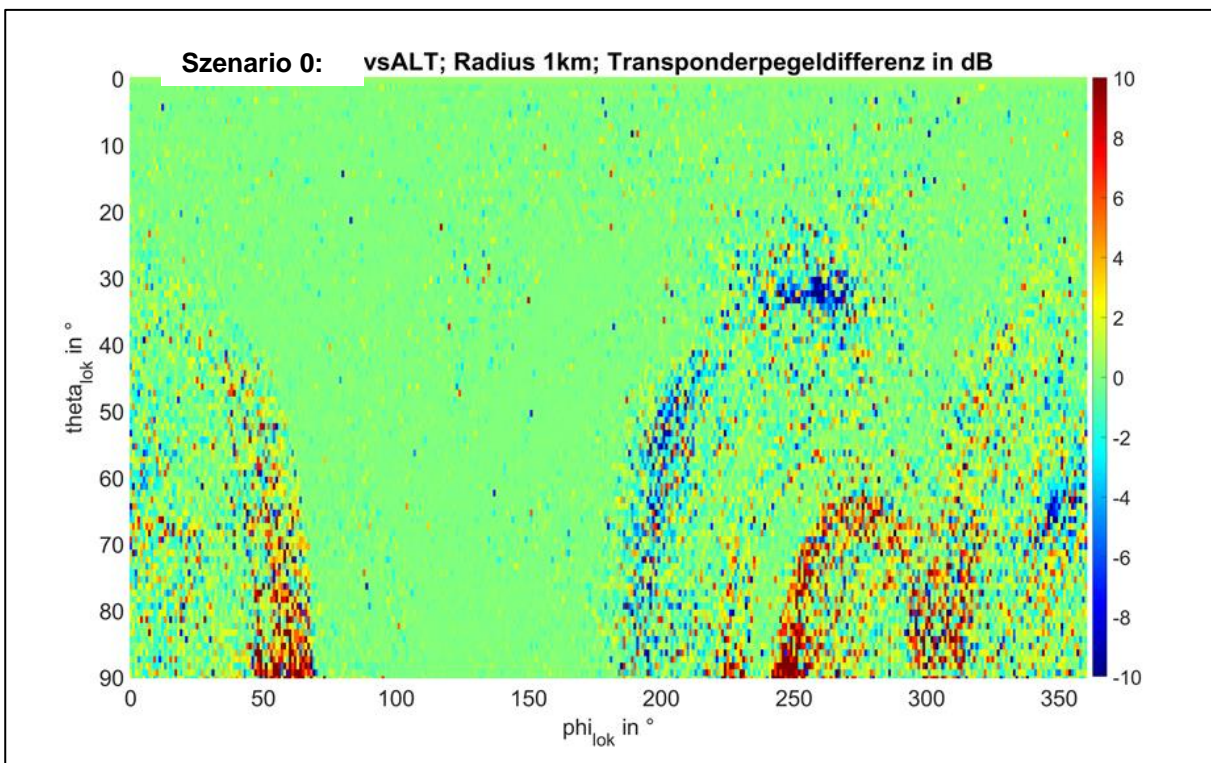


Abbildung 30: Pegelunterschiede der Streufeldstärke zwischen dem Szenario 0 und dem Bestandszustand

## 5.4 Zusammenfassung Ergebnisse MSSR

Mit Hilfe der Simulation der Streufelder und der Ableitung der Transponder-Empfangspegel konnte gezeigt werden, dass im hier ausschließlich simulierten Worst-Case-Szenario bei perfekt leitfähiger Ausführung aller Oberflächen und der Ausrichtung der LVA-Antenne auf die größte Reflexionsfläche im Plangebiet an einigen Stellen im Raum Grenzfeldstärken überschritten werden, die einen Transponder auslösen könnten.

Gemäß der Simulation kann es in diesem ungünstigsten Fall z.B. zu Spiegelzielen im Rückraum des Radars kommen, allerdings nur in geringen Höhen. Betroffen wären hiervon vornehmlich Luftfahrzeuge, deren Transponder im Mode A/C bzw. 1/2/3 abgefragt werden. Die Zielkoordinaten für Mode S-Transponder werden aus den selektiven Abfragen im erwarteten Winkelbereich (Roll-Call) vorgenommen, was die Generation von falschen Werten weitestgehend verhindert.



## 6 Analyse Richtfunkstrecken

Im nachfolgenden Kapitel 6 soll eine Analyse möglicher Störwirkungen auf Richtfunkstrecken im relevanten Untersuchungsraum (vgl. Kapitel Ausgangslage) erfolgen. Als Richtfunk wird allgemein eine drahtlose Nachrichtenübertragung mittels Radiowellen definiert, die von einem Ausgangspunkt auf einen definierten Zielpunkt gerichtet ist. Die Richtwirkung ergibt sich durch den Einsatz von Richtantennen, also energiebündelnder Antennen, die die elektromagnetische Energieübertragung möglichst effektiv auf die gewünschte Richtung beschränken [15]. Für diese Technologie sind spezifische Frequenzbereiche vorgesehen.

Die Anfrage bei der Bundesnetzagentur ergab, dass 4 Richtfunkbetreiber in dem Planquadrat (Nord-West: 13E2546 52N2702, Süd-Ost: 13E2611 52N2649) gelistet sind [16]. Seitens des Projektträgers erfolgte daraufhin eine Anfrage zu folgenden Aspekten, um eine möglichst detaillierte Analyse möglicher Störwirkungen mittels elektromagnetischer Simulation zu ermöglichen:

- Standorte der Antennen
- Genutzte Frequenzen
- Bandbreite der Frequenzen
- Antennenarten (technische Beschreibung der Antenne)
- Bündelung der Richtfunkantennen

Das Ergebnis der Anfrage ist nachfolgend aufgelistet:

- Plusnet GmbH
  - keine Rückmeldung erfolgt, somit liegen keine Informationen vor
- LAN-COM-East Datennetze & Rechnerkommunikation GmbH
  - Aussagen zu Standorten und Höhe der Richtfunkantennen jedoch keine Informationen zu Frequenz und genutzter Bandbreite der Richtfunkstrecken [17]
- E-Plus Service GmbH
  - keine Rückmeldung erfolgt, somit liegen keine Informationen vor
- DEUTSCHLAND RADIO BERLIN
  - Richtfunkstrecke ist bereits zurückgebaut worden [18]

Die vorliegende Datenlage wird als unzureichend für eine Analyse mittels elektromagnetischer Simulation bewertet, da weder Frequenz noch Angaben über genutzte Bandbreite und Antennen der Richtfunkstrecken vorliegen. Direkt von der Betriebsfrequenz abhängig ist die Wahl der elektromagnetischen Simulationsmethode und damit auch die Modellbildung. Hierbei können - je nach Frequenz - sehr große Unterschiede bezüglich des Berechnungsaufwandes entstehen. Darüber hinaus bestimmt auch die genutzte Bandbreite den erforderlichen Aufwand dadurch, dass die elektromagnetischen Simulationen des Szenarios diese vollständig abdecken müssen. Hierfür wäre im ersten Schritt zu ermitteln, welche maximal zulässige spektrale Schrittweite für die Untersuchung zulässig ist. Anhand dieser würde anschließend die globale Bandbreite der Richtfunkstrecke in die einzeln zu simulierenden Frequenzbereiche unterteilt. In der Konsequenz ergibt dies daher eine praktisch lineare Abhängigkeit des entsprechenden numerischen Aufwandes von der belegten Bandbreite der Richtfunkstrecken.

Für die Richtfunkstrecke des Betreibers LAN-COM-East lässt sich ermitteln, dass deren Länge ca. 22,5 km beträgt, wovon ca. die halbe Entfernung über bebautem Gebiet liegt. Darauf basierend lässt sich ein verhältnismäßig hoher numerischer Aufwand prognostizieren, da

große bebaute Flächen modelliert und schließlich simuliert werden müssten. Es fehlen hier jedoch Daten zu den Antennen, Frequenzen und genutzter Bandbreite der Richtfunkstrecken.

Allgemein ist festzustellen, dass Bebauung, soweit sie in die Richtfunktrasse (räumlicher Zylinder zwischen den Richtfunkantennen) hineinragt, zu Störwirkungen führt. Es muss daher ein Mindestabstand zu Richtfunkstrecken eingehalten werden. LAN-COM-East gibt diesen mit > 10 m an [17].

Der Verlauf der Richtfunkstrecke von LAN-COM-East ist in nachfolgender Abbildung 31 dargestellt [17]. Die Richtfunkstrecke kreuzt das Planungsgebiet im südöstlichen Bereich, somit im Bereich bestehender Bebauung. Soweit die zukünftige Bebauung nicht in den o.g. Schutzbereich hineinragt, ist keine Störwirkung für die Richtfunkstrecke von LAN-COM-East durch das hier relevante Bauvorhaben zu erwarten.

Für die Richtfunkbetreiber Plusnet GmbH und E-Plus Service GmbH lassen sich aufgrund fehlender Eingangsdaten keine Aussagen zu Störwirkungen treffen. Die Richtfunkstrecke von DEUTSCHLAND RADIO BERLIN ist bereits zurückgebaut worden und somit nicht mehr existent.

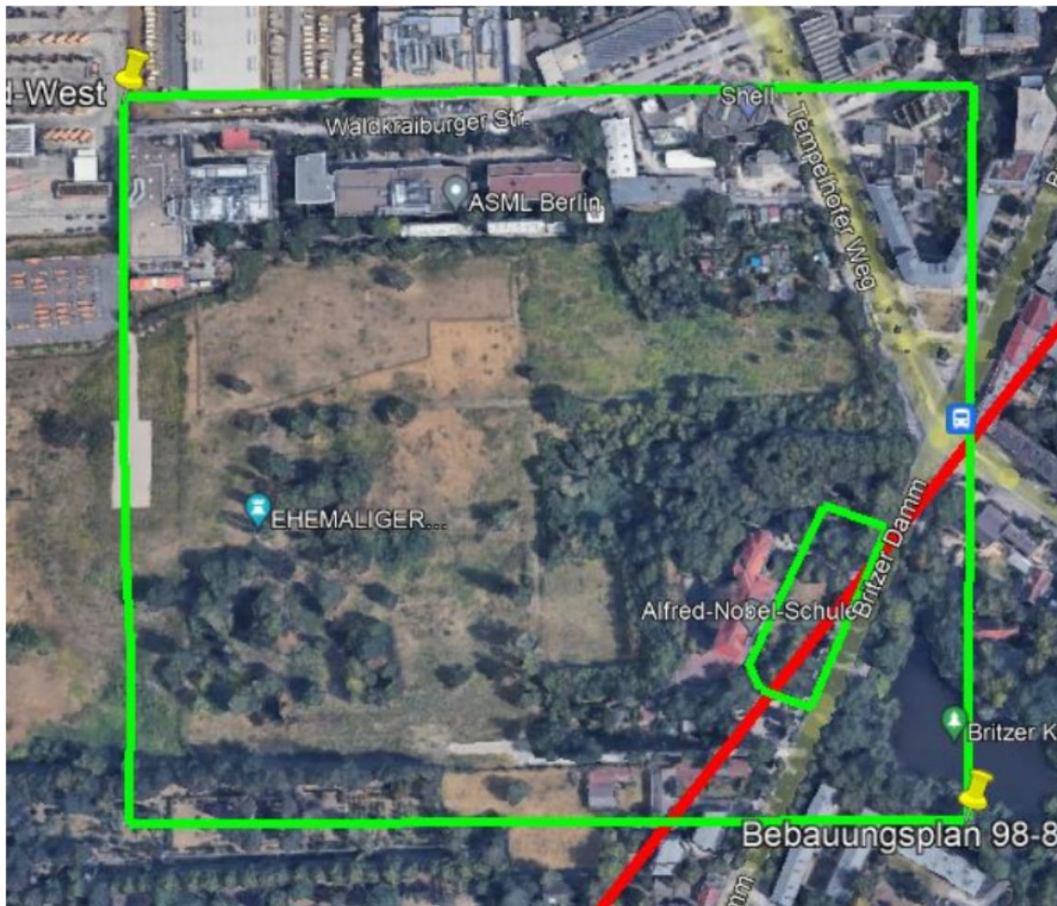


Abbildung 31: Verlauf der Richtfunkstrecke des Betreibers LAN-COM-East [17]

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In diesem Gutachten wurde auf Basis der vorliegenden Informationen durch elektromagnetische Simulationen gezeigt, welche Beeinträchtigungen des Empfangspegels beim Primärradar RRP-117 der LVR THF durch die künftige zulässige Bebauung im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Entwicklungsfeld Britzer Damm für die Variante 3 (vgl. Kapitel Ausgangslage) zu erwarten sind. Weiterhin sind Simulationen für die Sekundärradarkomponente durchgeführt worden, um in die Richtung der kritischen Raumpunkte mögliche Reflexionen zu finden und diese quantitativ zu bewerten.

Es ist festzustellen, dass in Bezug auf das Primärradar bei einer Elevation des Radars von  $0^\circ$  und höher im untersuchten Azimutwinkelbereich durch Planungsgebäude für alle untersuchten Szenarien gemäß Kapitel 4.1.4 keine wesentlichen Empfangspegelveränderungen gegenüber der Bestandsbebauung gegeben sind. Unterhalb von  $-0,25^\circ$  Elevation ergeben sich im kritischen Azimutbereich von  $147^\circ$  bis  $151,5^\circ$  im Bereich des Planungsgebietes jedoch Einschränkungen des Empfangspegels (vgl. Kapitel 5.2). Die untersuchten Szenarien gemäß Kapitel 4.1.4 zeigen hier, dass Szenario 1 mit einer deutlichen Absenkung der zulässigen Bauhöhe der höchsten geplanten Gebäude Nr. 7 bis Nr. 9 um 6 m (vgl. Abbildung 8) partiell zu geringeren Einschränkungen des Empfangspegels führt, die Unterschiede im Vergleich zu Szenario 0 (ohne Höhenbeschränkung) jedoch nicht signifikant sind (vgl. Kapitel 5.1). Es ist zu vermuten, dass dieser Effekt bei Implementierung der finalen Gebäude und Fassadengestaltungen dominanter ausgeprägt ist. Vergleichbare Pegelveränderungen werden zudem von den zwar niedrigeren, jedoch langgestreckten Gebäuden in der azimutalen Mitte des untersuchten Bereiches erreicht.

Zusammenfassend zeigt sich demnach, dass eine Reduktion der Höhe der geplanten Gebäude Effekte für eine Minimierung von Störwirkungen erzielt, jedoch auch weiterhin Einschränkungen des Empfangspegels zu verzeichnen sind.

In Bezug auf die Variante 0 (vgl. Kapitel Ausgangslage) ist vorbehaltlich einer detaillierten elektromagnetischen Simulation ein vergleichbares Ergebnis zu erwarten, auch hier werden Einschränkungen des Empfangspegels festzustellen sein.

In Bezug auf das Sekundärradar konnte mit Hilfe der Simulation der Streufelder und Ableitung der Transponder-Empfangspegel gezeigt werden, dass im hier ausschließlich simulierten Worst-Case-Szenario bei perfekt leitfähiger Ausführung aller Oberflächen und der Ausrichtung der LVA-Antenne auf die größte Reflexionsfläche im Plangebiet (Mitte der drei höchsten Gebäude) an einigen Stellen im Raum Grenzfeldstärken überschritten werden, die einen Transponder auslösen könnten.

Gemäß der Simulation kann es in diesem ungünstigsten Fall z.B. zu Spiegelzielen bei Rückstrahlung der Radarstrahlung auf nördlicher Seite und einer Ablenkung im hinteren Teil der Analysefläche in Richtung „südwest“ kommen, allerdings nur in geringen Höhen. Betroffen wären hiervon vornehmlich Luftfahrzeuge, deren Transponder im Mode A/C bzw. 1/2/3 abgefragt werden (vgl. Kapitel 0 und 5.4). Die gegenüber den konventionellen Abfragemodi beim zivilen Mode S völlig neu definierten Abläufe der Kommunikation zwischen Interrogator und Transponder minimieren das Problem der Spiegelzielerfassung beim zivilen Mode S derart, dass es vernachlässigt werden kann. Maßnahmen zur Dämpfung von Reflexionsfeldstärken sind im nachfolgenden Kapitel 7.2 ausgeführt.

Im Ergebnis der Analysen ist festzustellen, dass eine operationelle Einschätzung des Betreibers zu den festgestellten Sachverhalten erforderlich ist. Dies betrifft insbesondere die Beeinträchtigungen des Empfangspegels beim Primärradar, die nur im Kontext der operationellen Nutzung der Anlage beurteilt werden können. Da es sich um eine militärische Radaranlage handelt, sind den Gutachtern jedoch keine weiteren Informationen vom Betreiber der Anlage zur Verfügung gestellt worden.

## 7.1 Operationelle Bewertung und Analyse von Radardaten

Die Bundeswehr als Betreiber des Radars könnte in Bezug auf die Sekundärradarkomponente eine operationelle Bewertung der festgestellten kritischen Bereiche vornehmen und detaillierte Hinweise darauf geben, an welchen Stellen im Raum eine genauere Analyse der Reflexionen erfolgen sollte. Entscheidend ist hierbei auch der mechanische Elevationswinkel der LVA-Antenne (Tilt), die bei Schwenkung nach oben deutlich geringere Abstrahlungen in Richtung der Fassaden und folglich kleinere Streufeldstärken bewirkt, wie aus dem Vertikaldiagramm in Abbildung 16 hervorgeht.

Ob im Azimutbereich der bestehenden Bebauung im Planungsgebiet bereits jetzt regelmäßig viele SSR-Spiegelziele erzeugt werden, ließe sich durch Analyse von Radardaten (ASTERIX) bzw. weiteren lokalen Datensätzen aus dem LVR THF nachvollziehen. Dies könnte einen Aufschluss darüber geben, welche reflektiven Eigenschaften die bestehenden Fassaden der Bestandsbauten bereits besitzen. Darauf aufbauend könnte ein Vergleich mit den Simulationsergebnissen erfolgen.

## 7.2 Maßnahmen zur Dämpfung von Reflexionsfeldstärken

Im Rahmen der Gutachtenerstellung waren die elektrischen Eigenschaften der verwendeten Materialien der Gebäude und auch Details der Fassadengestaltung nicht bekannt, sodass diese nicht Gegenstand der Simulation waren und stattdessen Worst-Case-Annahmen getroffen wurden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, einzelne Fassadenbauteile mit spezifischen Materialparametern zu versehen, die zu reduzierten Reflexionseigenschaften und damit zu einer Dämpfung der simulierten Streufeldstärken führen.

Dämpfungsmaßnahmen durch absorbierende Fassaden lassen sich sinnvoll nur für einen sehr beschränkten Frequenzbereich realisieren. Nach dem Prinzip der phasenverschobenen Reflexion um  $180^\circ$  löschen sich auftreffende und reflektierte Welle kontrolliert aus (Jaumann-Absorber aus der Optik). Die absorbierende Verglasung besteht aus zwei Schichten, einem Teil- und einem Vollreflektor, die zueinander um eine halbe Wellenlänge versetzt angeordnet sind. Die Industrie bietet für den SSR-Bereich erprobte Lösungen an, die unter günstigen Voraussetzungen 20 dB Dämpfung erzielen. Es wäre dann der Nachweis zu erbringen, dass die tatsächlich verwendeten Bauteile der Fassade diese Dämpfungswerte erreichen. Ist dies auf Basis der Dokumentenlage nicht möglich, bleibt der Weg über die Messung der Dämpfungseigenschaften von ausgewählten Materialien in einer Absorberhalle, in der gegenüber einer metallischen Referenz gemessen wird. Die technische Möglichkeit zur Durchführung dieser spezifischen Messung besteht. Zudem müsste diese Maßnahme mit weiteren Simulationen der konkreten, kleinteiligen Oberflächenstruktur kombiniert werden.

Durch die Einführung eines Neigungswinkels der höchsten Gebäudes Nr. 7, 8 und 9 (vgl. Abbildung 8) nach unten könnte die Reflexion in die Vorbebauung abgelenkt werden. Dies sollte aber in Zusammenhang mit der Ausgestaltung der Fassade iterativ überprüft werden.

Eine mechanische Anhebung des sog. Tilt-Winkels der LVA-Antenne würde eine weitere Reduktion der Streufeldstärken bewirken, jedoch die Erfassung im unteren Elevationsbereich einschränken.

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AG</b>	Auftraggeber
<b>BAIUDBw</b>	Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr
<b>BW</b>	Bundeswehr
<b>DFS</b>	Deutsche Flugsicherung GmbH
<b>GfL</b>	Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH
<b>GTEM</b>	Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell
<b>Hz</b>	Hertz ( $s^{-1}$ )
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
<b>IFF</b>	Identification Friend or Foe
<b>KuBi</b>	Kultur- und Bildungshaus
<b>LFZ</b>	Luftfahrzeug
<b>LOD2</b>	Level of Detail 2 (Detailstufe der Gebäudedarstellung)
<b>LuftVG</b>	Luftverkehrsgesetz
<b>LVA</b>	Large Vertical Aperture (Antenna)
<b>LVR</b>	Luftverteidigungsradar
<b>MLFMM</b>	Multilevel Fast Multipole Method (Variante der Vollwellensimulation)
<b>MoM</b>	Momentenmethode (Vollwellensimulation)
<b>MSSR</b>	Monopulse Secondary Surveillance Radar (Höhere Zielgenauigkeit im Azimut)
<b>MTL</b>	Minimum Trigger Level
<b>NHN</b>	Normalhöhennull
<b>NM</b>	Nautische Meile (1 NM = 1,852 km)
<b>PO</b>	Physikalische Optik
<b>PSR</b>	Primary Surveillance Radar (Primärradar)
<b>RCS</b>	Radar Cross Section
<b>RRP</b>	Remote Radar Post
<b>SSR</b>	Secondary Surveillance Radar (Sekundärradar)
<b>THF</b>	Berlin Tempelhof (ehemaliger Flughafen)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungsfeld Britzer Damm - Flächenabgrenzung [1].....	7
Abbildung 2: Entwicklungsfeld Britzer Damm Flächenplanung Variante 3 [4].....	8
Abbildung 3: Entwicklungsfeld Britzer Damm Flächenplanung Variante 0 [5].....	8
Abbildung 4: Schutzbereich LVR THF, Radius 2,5 km (Zone C, rot) inkl. Bebauungsplanverfahren Entwicklungsfeld Britzer Damm (blau) .....	9
Abbildung 5: Radarturm des LVR THF [9].....	10
Abbildung 6: Umgebungsmodell (LOD2) in Sichtachse des LVR THF (geplante Gebäude rot markiert) inkl. analysierter Azimutbereich im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4) .....	12
Abbildung 7: Sichtschattenanalyse in Sichtachse des LVR THF .....	13
Abbildung 8: Ergebnis der Sichtschattenanalyse auf Basis der Kubaturen der gepanten Gebäude .....	13
Abbildung 9: Strahlwege vom Radar THF über Bebauung zum fiktiven Ziel und zurück.....	16
Abbildung 10: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Bestand).....	17
Abbildung 11: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Planung).....	17
Abbildung 12: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Bestand) .....	18
Abbildung 13: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Planung) .....	18
Abbildung 14: Störungsfall: Unerkannte Abfrage des Transponders über reflektierendes Objekt .....	20
Abbildung 15: Beispiel eines Fassadenmodells mit Fenstern und Vorsprüngen .....	21
Abbildung 16: Horizontal- (Summen-) und Vertikaldiagramm einer MSSR-LVA-Antenne.....	22
Abbildung 17: Ausrichtung des MSSR auf die Mitte der höchsten Gebäude .....	23
Abbildung 18: Halbkugel als Oberfläche für die Darstellung von Streufeldstärken im Raum	24
Abbildung 19: Perspektiven „rückseitig“ und „oben“ .....	24
Abbildung 20: Empfangspegeländerung - Szenario 0 bei der Frequenz 1.215 MHz.....	27
Abbildung 21: Empfangspegeländerung - Szenarien 1 bis 5 bei der Frequenz 1.215 MHz .	28
Abbildung 22: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 91 m ü. NHN (1.215 MHz) .....	29
Abbildung 23: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 91 m ü. NHN (1.400 MHz) .....	29
Abbildung 24: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe um 6 m (1.215 MHz).....	30
Abbildung 25: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe um 6 m (1.400 MHz).....	30
Abbildung 26: Streufeldstärken auf 1.030 MHz in der Perspektive „südwest“ .....	32
Abbildung 27: Streufeldstärken in der Perspektive „ost“ .....	32
Abbildung 28: Streufeldstärken in der Perspektive „oben“ .....	33
Abbildung 29: Gestreute Pegel im Worst-Case-Szenario, sphärische Koordinaten .....	34
Abbildung 30: Pegelunterschiede der Streufeldstärke zwischen dem Szenario 0 und dem Bestandszustand.....	34
Abbildung 31: Verlauf der Richtfunkstrecke des Betreibers LAN-COM-East [17] .....	38

## Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literaturverzeichnis

- [1] RIAS/GEWOBAG PROJEKTENTWICKLUNG BRITZER DAMM GMBH: *Entwicklungsfeld Britzer Damm*. URL <https://entwicklungsfeld-britzer-damm.de>
- [2] BUNDESAMT FÜR INFRASTRUKTUR, UMWELTSCHUTZ UND DIENSTLEISTUNGEN DER BUNDESWEHR: *Anforderung einer Stellungnahme als Träger öffentlicher Belange, Bebauungsplanentwurf 8-98 in Berlin Neu Kölln*. Bonn, 26.01.2023
- [3] GESELLSCHAFT FÜR LUFTVERKEHRSFORSCHUNG MBH (GFL): *Radarverträglichkeit im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens 7-82a (Bezirk Tempelhof-Schöneberg, Ortsteil Tempelhof)*. Dresden, 03.08.2022
- [4] VIIVA ARCHITEKTEN: *Projekt Britzer Damm 176 - Lageplan Masterplan V03*. Berlin, 24.04.2023
- [5] VIIVA ARCHITEKTEN: *Projekt Britzer Damm 176 - Lageplan Masterplan V00*. Berlin, 24.04.2023
- [6] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ / BUNDESAMT FÜR JUSTIZ: *Schutzbereichgesetz in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 54-2, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 13. Mai 2015 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist : SchBerG*. Berlin, Neugefasst durch Bek. v. 13.05.2015
- [7] SENATSVERWALTUNG FÜR INNERES UND SPORT (Berlin): *Amtsblatt für Berlin : A 1262 A*. 58. Jahrgang, ABl. Nr. 11. Berlin, 07.03.2008 (ISSN 0943–9064)
- [8] DIPL. ING. (FH) CHRISTIAN WOLFF: *Mathematische, physikalische und technische Erläuterungen über die Radartechnologie*. URL [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) – Überprüfungsdatum 01.10.2023
- [9] DEWIKI.DE: *Wiki-Artikel Sammlung : Radarsystem RRP 117*. URL [https://dewiki.de/Lexikon/RRP\\_117](https://dewiki.de/Lexikon/RRP_117) – Überprüfungsdatum 01.10.2023
- [10] BERLINONLINE STADTPORTAL GMBH & CO. KG: *3D-Gebäudemodelle im Level of Detail 2 (LoD 2)*. URL <https://daten.berlin.de/datensaetze/3d-geb%C3%A4udemodelle-im-level-detail-2-lod-2-wms>. – Aktualisierungsdatum: 01.03.2019 – Überprüfungsdatum 22.06.2022
- [11] DR. THORSTEN SCHRADER, PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB): *WERAN : Wechselwirkung Windenergieanlagen und Radar/Navigation*. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Braunschweig, 21.12.2018
- [12] NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO) - NATO STANDARDIZATION OFFICE (NSO): *Technical Characteristics of the IFF Mk XIIA System Part I-III* (in Kraft getr. am 23. 5. 2016) (2016-05-23)
- [13] EUROCAE: *EUROCAE ED 73F - Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Secondary Surveillance Radar Mode S Transponders : Revision F of ED-73*. 21.12.2020
- [14] J.BREDEMEYER, J.RITTER, H.GARBE: *Antenna installed performance of a flight inspection aircraft, International Symposium on Precision Approach and Landing*. Konferenzbeitrag ISPA 2004. München, 06.10.2004
- [15] HEINRICH WOLFGANG, Eckertz Beowulf: *Richtfunktechnik*. 1988 (ISBN: 3768520870)
- [16] BUNDESNETZAGENTUR (Valeriy Nagel): *Geschäftszeichen 6144 – 8-98/04, Betreiber von Richtfunkstrecken*. Bezirksamt Neukölln (Klaudia Humm) (Adressat)

- [17] MARVIN RUDOLPH; Marvin Rudolph (Mitarb.): *Richtfunknetz der LAN-COM-East GmbH*.  
04.01.2024
- [18] DEUTSCHLANDRADIO (Stefan Weinand): *RIAS - Gelände - Entwicklung -  
Richtfunkstrecken - Deutschlandradio*. RIAS/Gewobag Projektentwicklung Britzer Damm  
GmbH (Christian Landmann) (Adressat)