

# Gutachten

## **Radarverträglichkeit im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens 7-82a (Bezirk Tempelhof-Schöneberg, Ortsteil Tempelhof)**

Auftraggeber (AG):

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen	<b>BERLIN</b>	
---	---------------	---

– Dresden, 03.08.2022 –



## **Umfang:**

Dieser Bericht umfasst 50 Seiten.

Dokumentenname: GfL\_Signaturgutachten\_THF\_3.6\_df030822



## **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 Schutzbereichgesetz (SchBerG) .....	9
1.2 Anordnung eines Schutzbereiches für die Luftverteidigungsanlage Berlin Tempelhof .....	9
2 Überblick über die zu betrachtende Anlage .....	11
2.1 Allgemeine Beschreibung des LVR THF .....	11
3 Analyse der Anlagenschutzbereiche und qualitative Analyse der Störwirkung .....	13
3.1 Anlagenschutzbereich des LVR THF .....	13
3.2 Qualitative Analyse der Störwirkung .....	13
3.2.1 Vorgehensweise .....	13
3.2.2 Ergebnisse der Sichtschattenanalyse .....	15
4 Methodik und Modellbildung .....	19
4.1 Betrachtungen zur Primärradarkomponente RRP-117 .....	19
4.1.1 Funktionelle Beeinträchtigung des Primärradars und spezielle Parametrisierung der Simulation .....	19
4.1.2 Fiktive Zieldarstellung und Streuwege .....	20
4.1.3 Berücksichtigung der Bebauungszustände .....	21
4.1.4 Untersuchungsszenarien .....	22
4.2 Betrachtung der Sekundärradarkomponente .....	23
4.2.1 Allgemeines .....	23
4.2.2 Entstehung von Spiegelzielen .....	24
4.2.3 Umsetzung .....	25
4.2.4 Methodenbeschreibung .....	26
5 Ergebnisse Störwirkungsanalyse .....	31
5.1 Primärradar – Feldstärkeänderung als Ergebnis der Simulation .....	31
5.1.1 Ergebnisse der Szenarien - zusammenfassende Darstellung .....	31
5.1.2 Ergebnisse der Szenarien – einzelne Elevationsschritte .....	32
5.2 Zusammenfassung Ergebnisse Primärradar .....	38
5.3 Zusammenfassung Ergebnisse Sekundärradar .....	39
5.4 Zusammenfassung Ergebnisse MSSR .....	43
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	45
6.1 Operationelle Bewertung und Analyse von Radardaten .....	45
6.2 Maßnahmen zur Dämpfung von Reflexionsfeldstärken .....	46
Abkürzungsverzeichnis .....	47
Abbildungsverzeichnis .....	48
Literatur- und Quellenverzeichnis .....	50



## Ausgangslage

Im Land Berlin im Bezirk Tempelhof-Schöneberg, Ortsteil Tempelhof, soll der Kernbereich um das bestehende Rathaus Tempelhof (Neue Mitte Tempelhof) städtebaulich neu geordnet werden. Hierzu wird durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen das Bebauungsplanverfahren 7-82a durchgeführt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

Zentrales Ziel der Planung ist es, am Tempelhofer Damm ein neues Bürger- und Kulturzentrum, das Kultur- und Bildungshaus (KuBi), planungsrechtlich zu ermöglichen. Hierfür soll nach gegenwärtigem Planungsstand das Gebäude eine maximale Höhe (OK) von bis zu 99 m ü. NHN – entsprechend ca. 56 m über Gelände – erreichen können.

Das Plangebiet des Bebauungsplans 7-82a befindet sich innerhalb des Schutzbereichs des Luftverteidigungsradars (LVR) Berlin Tempelhof (THF) der Bundeswehr (BW).

Dies führt dazu, dass im Rahmen des dem Bebauungsplanverfahrens nachgeordneten Baugenehmigungsverfahrens eine Genehmigung der *Wehrbereichsverwaltung Ost* auf Basis der konkreten Hochplanung einzuholen ist. Die Genehmigung ist grundsätzlich dann einzuholen, wenn im Schutzbereich, innerhalb der sog. Zone C bauliche oder andere Anlagen oder Vorrichtungen über oder unter der Erdoberfläche errichtet, geändert oder beseitigt werden sollen, sofern nicht die allgemeine Befreiung unter der Ziffer IV.2 der Anordnung des Schutzbereichs von der Einholung einer Genehmigung zutrifft (vgl. Kapitel 1). Die allgemeine Befreiung von der Genehmigung innerhalb der Zone C gilt nicht sofern die zu errichtenden Gebäude eine Höhe von 91,52 m ü. NHN überschreiten.

Die Bundeswehr hat im Rahmen der frühzeitigen Behördenbeteiligung zum Bebauungsplanentwurf 7-82a (Stand: 09.08.2021) am 01.09.2021 eine Stellungnahme abgegeben [1]. 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, dass mit einer zulässigen Höhe von bis zu 99 m ü. NHN ein künftiges Gebäude rund 6m in den Erfassungsbereichs der Radaranlage hineinragt.

Dieses Gutachtens soll daher eine Aussage zur Radarverträglichkeit des Bebauungsplanentwurfs 7-82a treffen, um die Belange der Landesverteidigung, sowie Sicherheit und Ordnung im Bebauungsplanverfahren 7-82a sachgerecht abwägen zu können und die Vollziehbarkeit der vorgesehenen Festsetzungen darzustellen.

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



Abbildung 1: Bebauungsplanentwurf 7-82a (Stand: 09.08.2021) [2]



Abbildung 2: Siegerentwurf - Teleinternetcafe - Architektur und Urbanismus / Treibhaus Landschaftsarchitekten [2]

# 1 Einführung in den Anlagenschutz

## 1.1 Schutzbereichsgesetz (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 (Schutzbereichsgesetz, SchBerG) [3] beschränkt. Dieses Gebiet wird gemäß § 2 SchBerG [3] 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 [3] 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 [4] (vgl. Abbildung 3). Bestandteile dieser Anordnung sind u. a. der Schutzbereichsplan und die Auflistung der betroffenen Grundstücke.

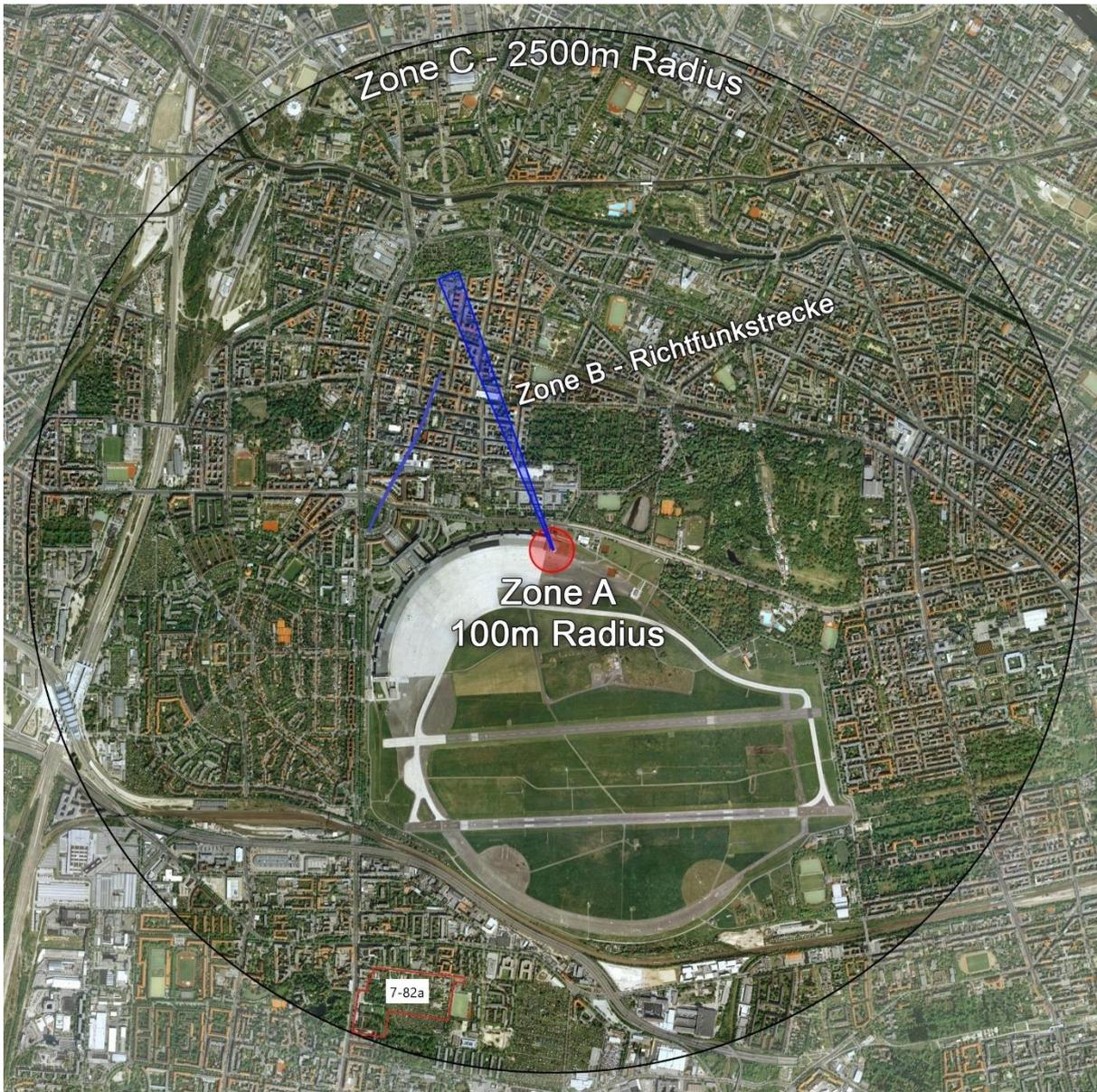


Abbildung 3: Schutzbereich LVR THF, Radius 2,5 km (Zone C)  
inkl. Bebauungsplanverfahren 7-82a [2]

## 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 4) [2, 5].

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 4: Radarturm des LVR THF [6]



## 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 1) 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 [2, 4] (vgl. auch Abbildung 3). Somit liegen alle künftig zulässigen und wesentlichen Gebäude lateral innerhalb des Schutzbereiches (vgl. Abbildung 5).

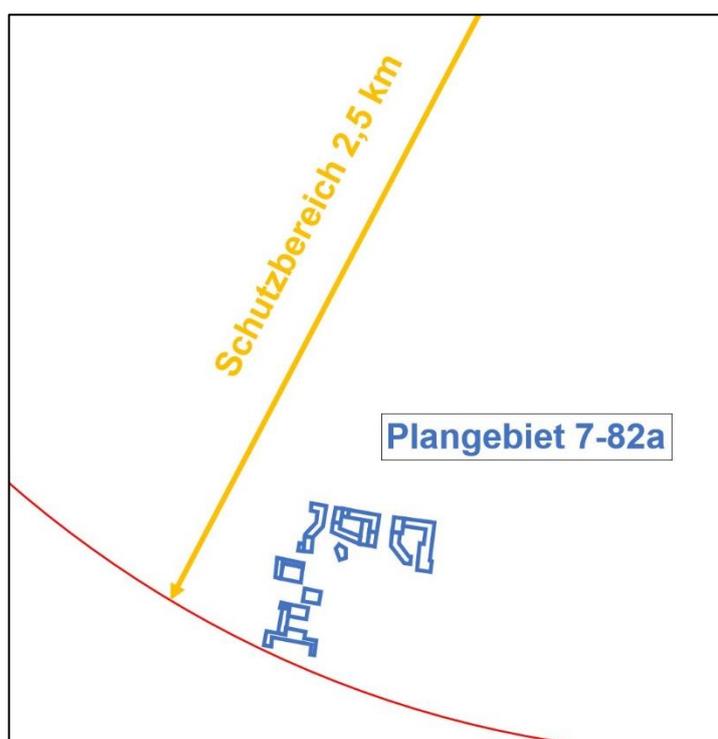


Abbildung 5: Wesentliche neu hinzukommende baulichen Anlagen gemäß Bebauungsplanverfahren 7-82a innerhalb des Schutzbereiches von 2,5 km

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. Zudem soll nach den vorgesehenen Festsetzungen des Bebauungsplanentwurfs 7-82a (Stand: 09.08.2021) künftig ein Gebäude (KuBi) zulässig sein, welches mit einer zulässigen Höhe von bis zu 99,0 m ü. NHN nicht unter die allgemeine Befreiung (bis 91,52 m ü. NHN) fällt.

### 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 zulässigen Gebäude des Bebauungsplanentwurfs 7-82a als auch jene vorgelagerte

Bestandsgebäude berücksichtigt, die im Strahlungsfeld des LVR THF liegen (vgl. Abbildung 7).

Mithilfe des bereitgestellten georeferenzierten Planentwurfs des Bebauungsplans 7-82a [2] wurden die künftigen Kubaturen innerhalb der festgelegten Baugrenzen modelliert. Aktuell liegen noch keine detaillierten Planungen zu Gebäuden- und Fassadengestaltungen vor. Insgesamt wurden 21 Kubaturen als 3D-Elemente berücksichtigt und durchnummeriert, wie nachfolgende Abbildung 6 zeigt.

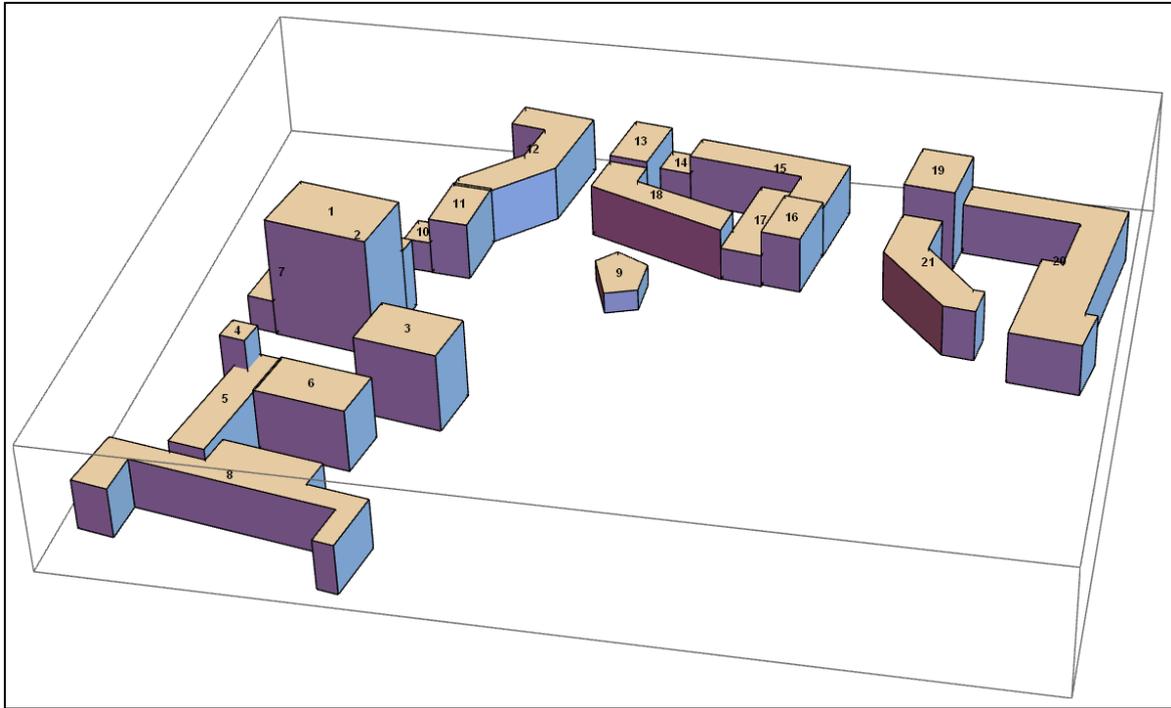


Abbildung 6: Kubaturen gemäß Bebauungsplanentwurf 7-82a

Die 3D-Gebäudemodelle der Bestandsobjekte liegen im Detaillierungsgrad LOD2 vor [7]. Es wurden keine Gebäude hinter dem Plangebiet erfasst, da diese im Bestand eine geringere Höhe aufweisen und damit eine vernachlässigbare Störwirkung auf die Funktion des Radars haben. Nachfolgende Abbildung 7 zeigt das Umgebungsmodell in Sichtachse des LVR THF.

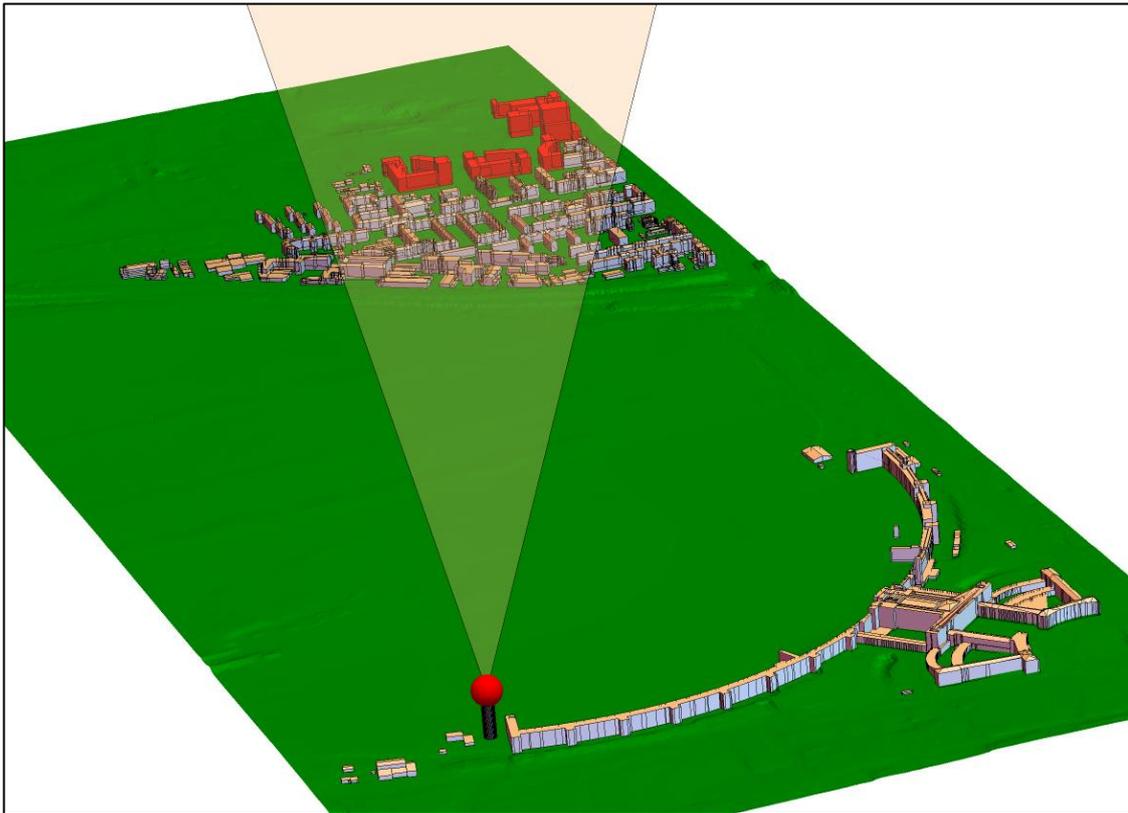


Abbildung 7: Umgebungsmodell (LOD2) in Sichtachse des LVR THF (geplante Gebäude rot markiert) inkl. analysierter Azimutbereich im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4)

Mithilfe des erstellten Umgebungsmodells um das LVR THF inkl. der künftig zulässigen Gebäude (rot markiert in Abbildung 7) 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 das geplante KuBi (Gebäude Nr. 1) aufgrund seiner zulässigen Höhe von bis zu 99 m ü. NHN bei tiefen Elevationen in die Line-of-sight der Radaranlage hineinragt, wie die nachfolgende Abbildung 8 veranschaulicht.

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

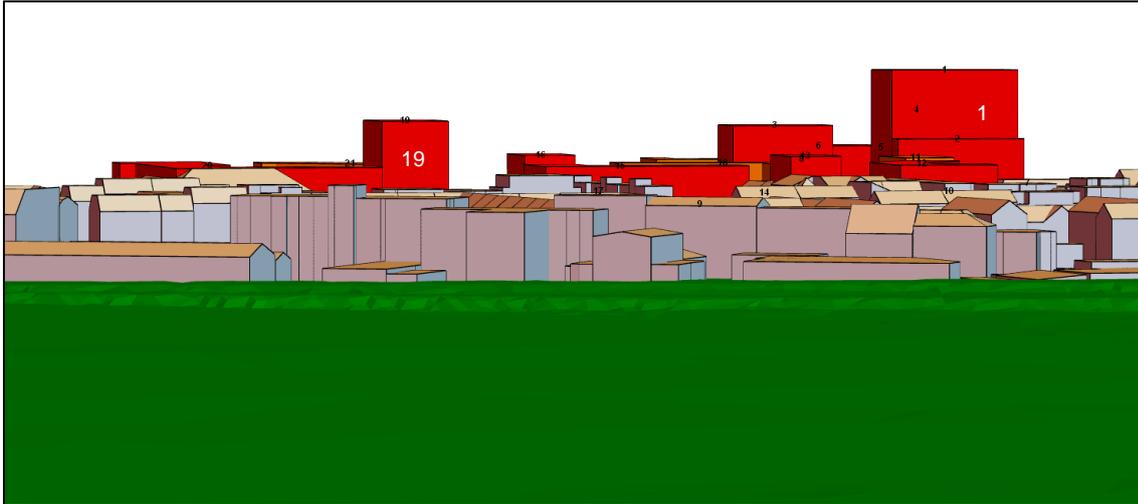


Abbildung 8: Sichtschatenanalyse in Sichtachse des LVR THF

Ebenso fällt Gebäude Nr. 19 (siehe Abbildung 6 und Abbildung 8) mit einer zulässigen Höhe von bis zu 83,5 m ü. NHN auf: Es liegt zwar unterhalb der kritischen Höhe von 91,52 m ü. NHN (gemäß der Definition der Schutzbereichsbehörde [2]), jedoch überragt es die umliegende Bebauung deutlich und kann ggf. Störpotenziale induzieren.

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt das detaillierte Ergebnis der Sichtschatenanalyse (Abschattungseffekte) für alle hier wesentlichen Gebäude des Bebauungsplanentwurfs 7-82a.

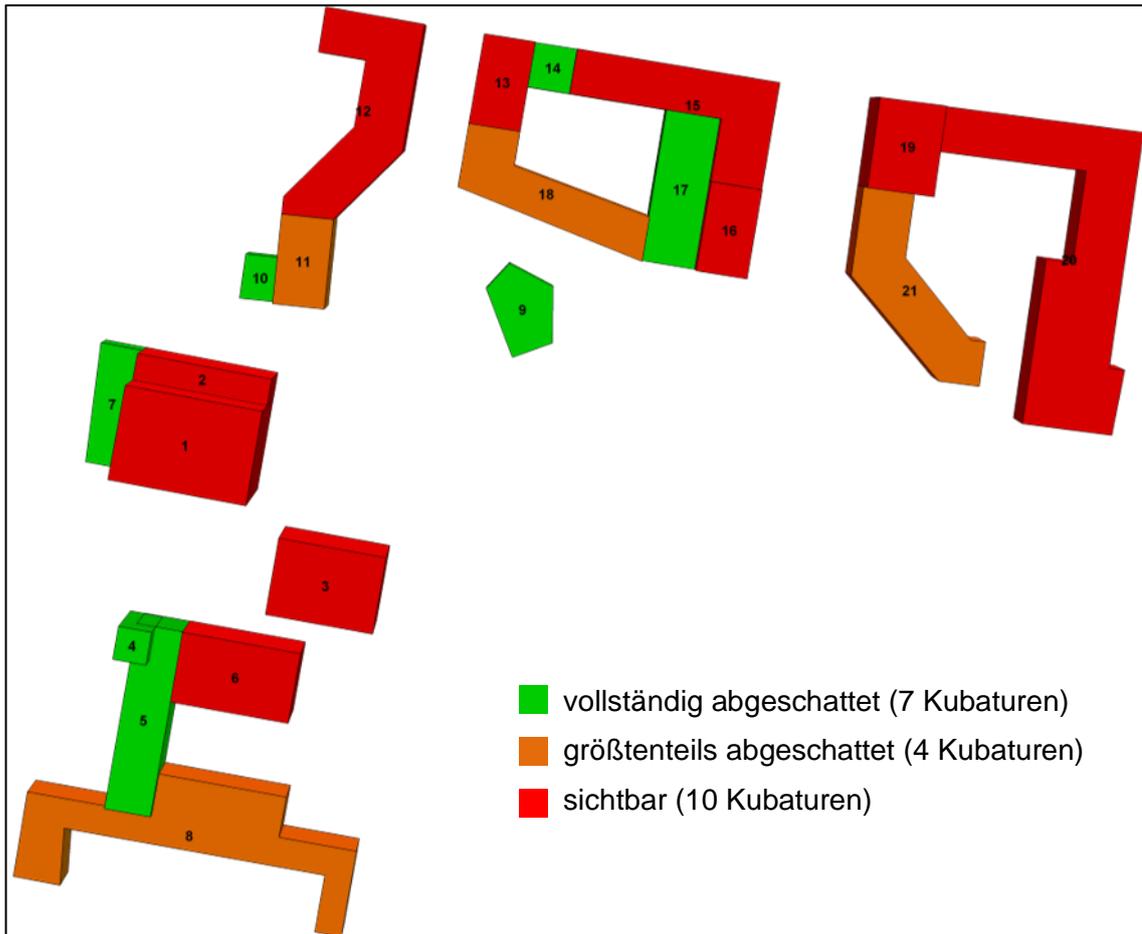


Abbildung 9: Ergebnis der Sichtschattenanalyse auf Basis der Kubaturen der zulässigen Gebäude

Auch wenn nur das zukünftige KuBi die kritische Höhe von 91,52 m ü. NHN [2] überschreitet, ist festzustellen, dass sich weitere künftige Objekte des Plangebietes 7-82a im Sichtfeld des LVR THF befinden. Diese werden ergänzend im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4 und Kapitel 5) berücksichtigt.



## 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 Planungsgebietes 7-82a (vgl. Abbildung 7) 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 [8] sind den Gutachtern nähere Details zur Signalerzeugung und auch zu vertikalen und horizontalen Strahlbreiten der Antenne des RRP-117 bekannt, die in den vorliegenden Simulationen zur Nachbildung der monostatischen Sende- und Empfangsantenne verwendet

---

<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

werden. Das nachgebildete Strahlungsfeld führt in diesen Simulationen Strahlschwenkungen in Elevationen von  $-0,5^\circ$  bis  $+2,0^\circ$  sowie im Azimutbereich von  $193^\circ$  bis  $207^\circ$  zu geografisch Nord über der künftig zulässigen Bebauung aus, um den relevanten Bereich (Bestand und Planung) möglichst umfänglich abzudecken. Der Einfluss des Erdbodens wird aufgrund der schmalen vertikalen Strahlbreite unter  $3^\circ$  vernachlässigt. Zu tiefe Elevationseinstellungen am Radar führen dazu, dass es zu einer Überlagerung der Bodenreflexionen aus unmittelbarer Nähe des Radars mit der Hauptstrahlrichtung kommt. Das „Phased Array“ und damit die elektronische, vertikale Strahlschwenkung verliert bei starker Neigung nach unten und damit der Anstrahlung des Erdbodens seine Steuerungsmöglichkeit für die Strahlbündelung im elektromagnetischen Fernfeld. Dies führt gerade bei der horizontalen Polarisation zu einer unerwünschten Erzeugung unkontrollierbarer Maxima und Minima im Vertikaldiagramm der Antenne, bei der die Minima die operationelle Reichweite des Systems höhenabhängig erheblich einschränken können.

#### 4.1.2 Fiktive Zieldarstellung und Streuewege

Für das installierte Radar stellt die vorgesehene Planung in seiner mittelbaren Nähe eine Veränderung dar. Eine derartige Veränderung in unmittelbarer Nähe zum Radar kann die Wellenausbreitung erheblich beeinflussen. Es ist daher in der elektromagnetischen Simulation ein Vergleich der Empfangspegel im Radar für den Betrachtungsfall „Bestand“ mit dem Fall „Planung“ gemäß Bebauungsplanentwurf 7-82a durchzuführen.

Die Sendesignale des Radars werden über dessen Antenne auf dem Hinweg über die vorhandene sowie künftig zulässige Bebauung zum Ziel gestrahlt bzw. gestreut, was der Fachbegriff *Forward Scatter* kennzeichnet. Beim monostatischen Radar wird ein Teil der am Ziel reflektierten Energie auf dem Rückweg zur Anlage gestreut (*Backward Scatter*). Diese Strahlwege sind in Abbildung 10 für den vorliegenden Fall um das LVR THF abgebildet. Das fiktive Ziel weist einen Radarrückstreuquerschnitt (engl. Radar Cross Section, RCS) von  $4\text{ m}^2$  auf und befindet sich in 250 NM Entfernung<sup>3</sup>.

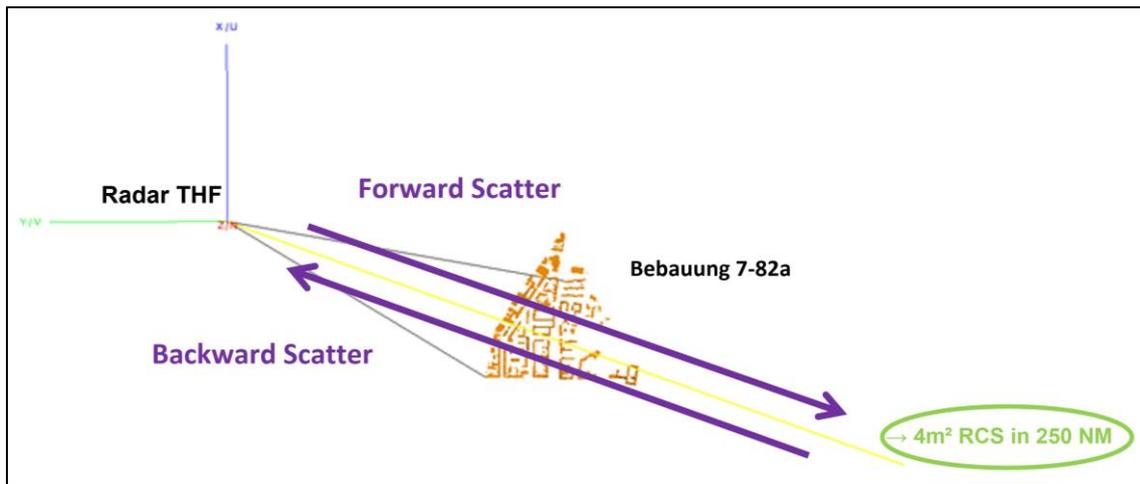


Abbildung 10: Strahlwege vom Radar THF über Bebauung zum fiktiven Ziel und zurück

In der Simulation tastet nun das Radar den Luftraum zweidimensional in definierten Schritten im Azimut und der Elevation über dem Plangebiet gemäß dem Kapitel 4.1.1 festgelegten Bereich ab. Das Ziel wird in seiner Entfernung jeweils angepasst an die aktuelle Position der Ausrichtung der Radarantenne platziert.

<sup>3</sup> Die Entfernung und Größe des Objektes entspricht einer typischen Situation für die Nutzung des Radars.

### 4.1.3 Berücksichtigung der Bauzustände

Wie in Kapitel 4.1.2 erläutert, werden die zwei Szenarien a) „Bestand“ und b) „Planung“ in das CAD-Modell implementiert, um die jeweiligen elektromagnetischen Feldsimulationen durchzuführen. Die 3D-Ansichten der Szenarien a) und b) sind für die beiden Signalwege *Forward Scatter* und *Backward Scatter* in den nachfolgenden Abbildung 11 bis Abbildung 14 veranschaulicht.

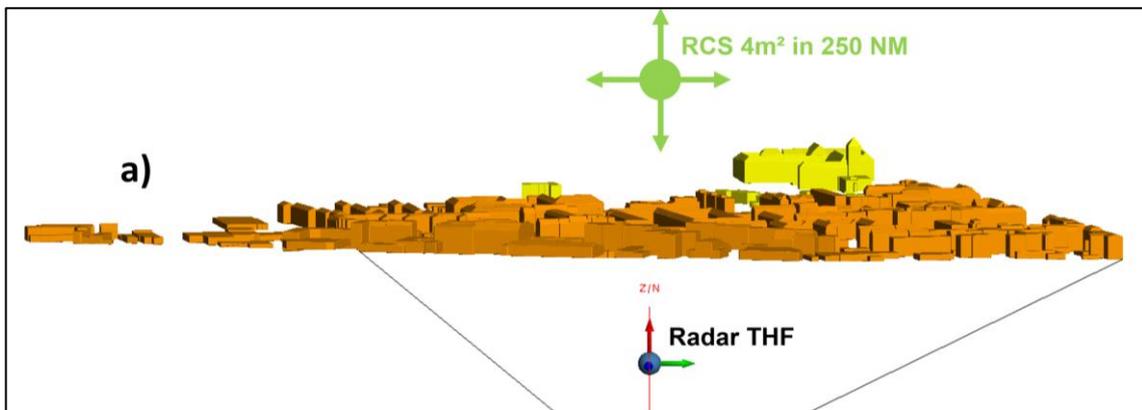


Abbildung 11: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Bestand)

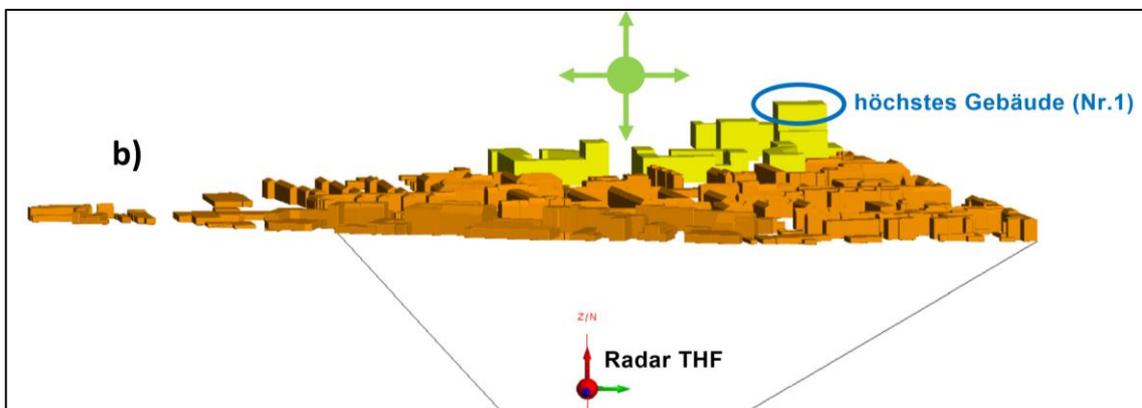


Abbildung 12: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Planung)

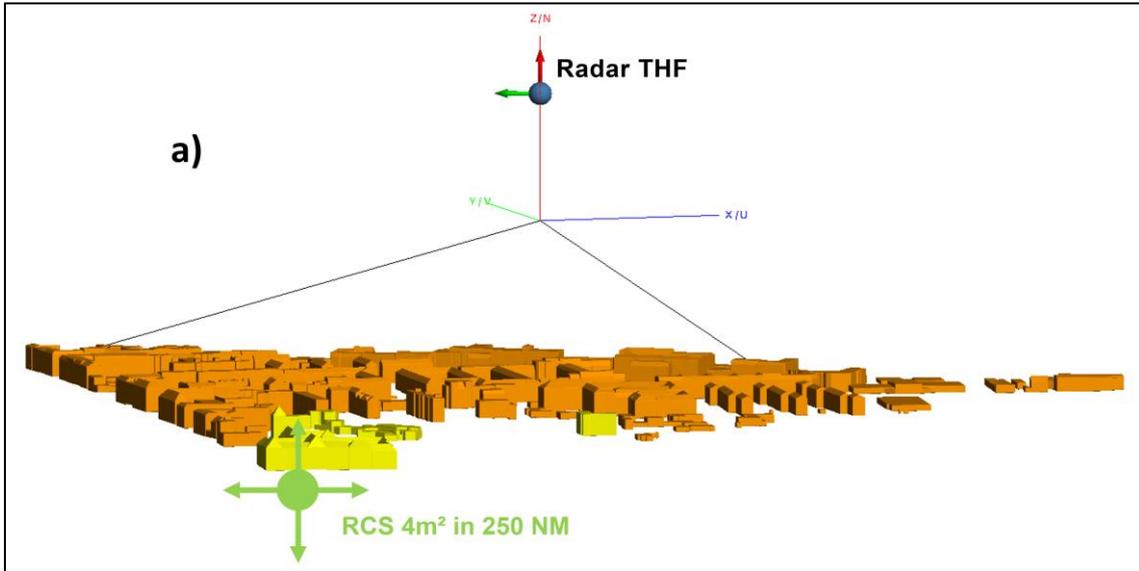


Abbildung 13: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Bestand)

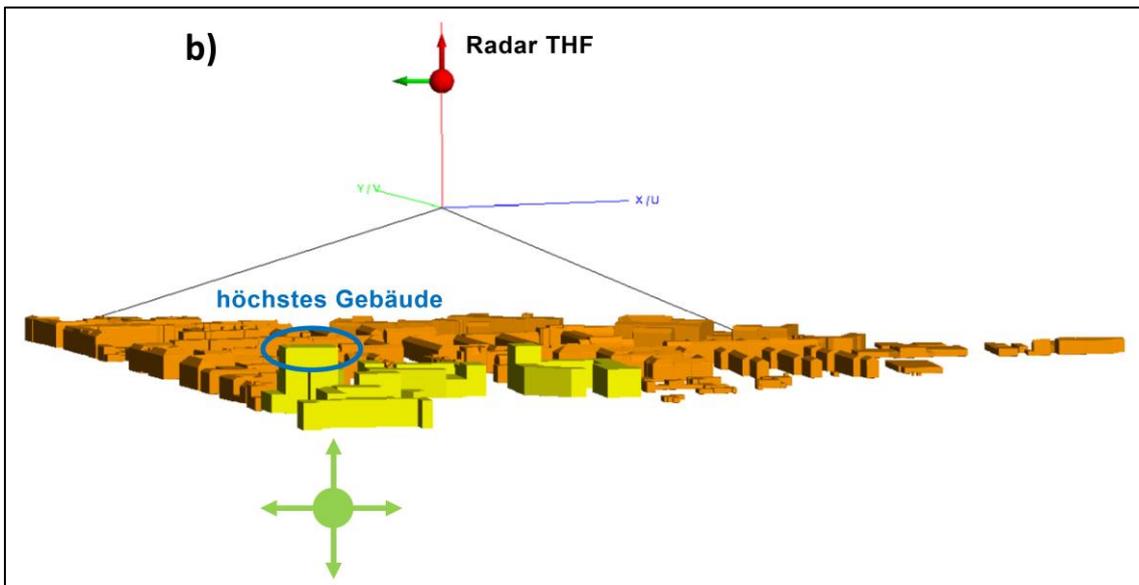


Abbildung 14: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Planung)

Visuell gut erkennbar ist, dass die angestrahlte Fläche bzw. die Verschattung durch die neue zulässige Bebauung im Plangebiet größer wird. 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 zulässige Gebäude im Planungsfall *b*) ist gemäß Übersicht in Abbildung 9 das KuBi (Nr. 1). Es befindet sich mit ca. 2.350 m am Rand des angeordneten Schutzbereichs des LVR THF (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 7).

#### 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: BPlan 7-82a 09.08.2021) erfolgen. In Abstimmung mit dem AG wurde festgelegt, dass bei Feststellung möglicher Störwirkungen weitere Untersuchungsszenarien (hier Anpassung der Höhe bzw. Verkleinerung des Volumens/Fläche oberhalb der Höhe von 91,5 m ü. NHN)

erfolgen sollen, 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:

- 0: Simulation der Bauwerke in voller Höhe und Volumen,
- 1: Bauhöhe des höchsten Gebäudes sei 93 m ü. NHN statt 99 m ü. NHN<sup>4</sup>,
- 2: Bauhöhe des höchsten Gebäudes sei 95 m ü. NHN statt 99 m ü. NHN,
- 3: Grundfläche des Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN sei 50 % der zulässigen Fläche,
- 4: Grundfläche des Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN sei 66 % der zulässigen Fläche,
- 5: Bauhöhe des höchsten Gebäudes sei 91,5 m statt 99 m ü. NHN.

## 4.2 Betrachtung der Sekundärradarkomponente

### 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. Damit handelt es sich quasi um einen Datalink. 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 azimuthalen 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 [10] 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)

---

<sup>4</sup> Bei Szenario 1 ragt ein künftig zulässiges Gebäude nicht in den Erfassungsbereich der LVR THF hinein, siehe auch Stellungnahme der Bundeswehr gemäß [1]. In einer ergänzenden Stellungnahme der Bundeswehr vom 07.06.2022 [9] wird ausgeführt: Insofern die vorhergesehene Bebauung nicht in den Erfassungsbereich der LVR THF hineinragt, kann davon ausgegangen werden, dass auch keine Beeinträchtigung der benannten Verteidigungsanlage erfolgt.

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, 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 15 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.

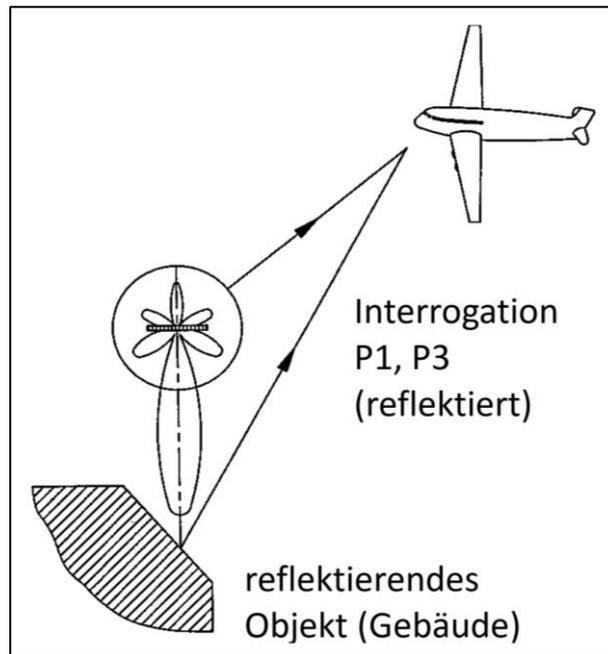


Abbildung 15: Störungsfall: Unerkannte Abfrage des Transponders über reflektierendes Objekt

#### 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 und C (Mark XA) auf.

#### 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**

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 Wort-Case-Betrachtung dar. Dies bewirkt eine Fokussierung der reflektierten Strahlung in bestimmte Richtungen.

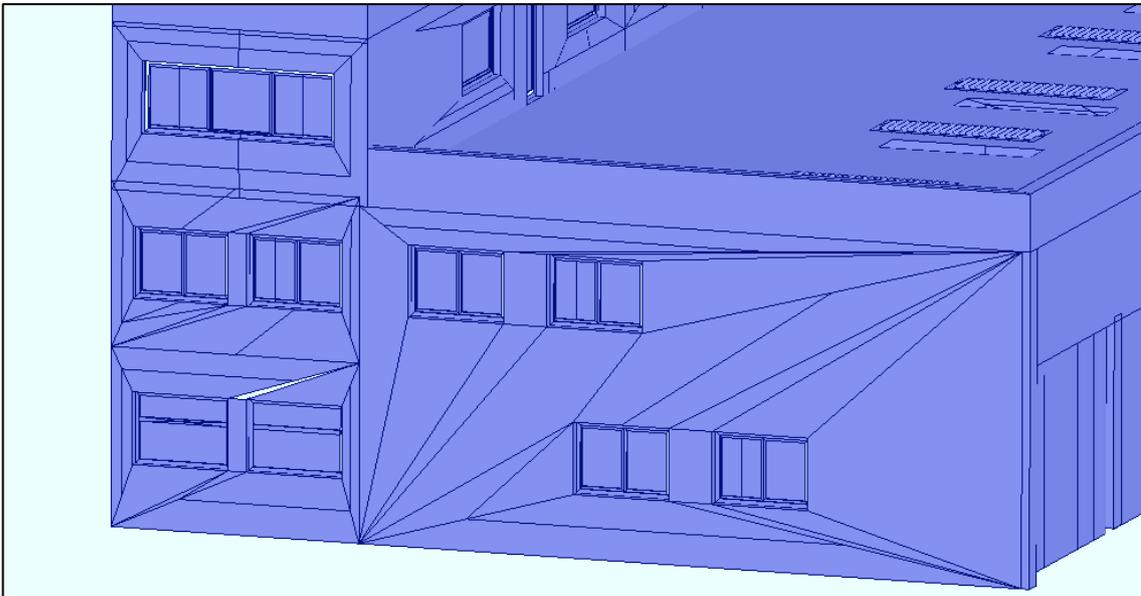


Abbildung 16: Beispiel eines Fassadenmodells mit Fenstern und Vorsprüngen

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 6.2). 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 16, 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 Sendeenergie 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 17 dargestellt.

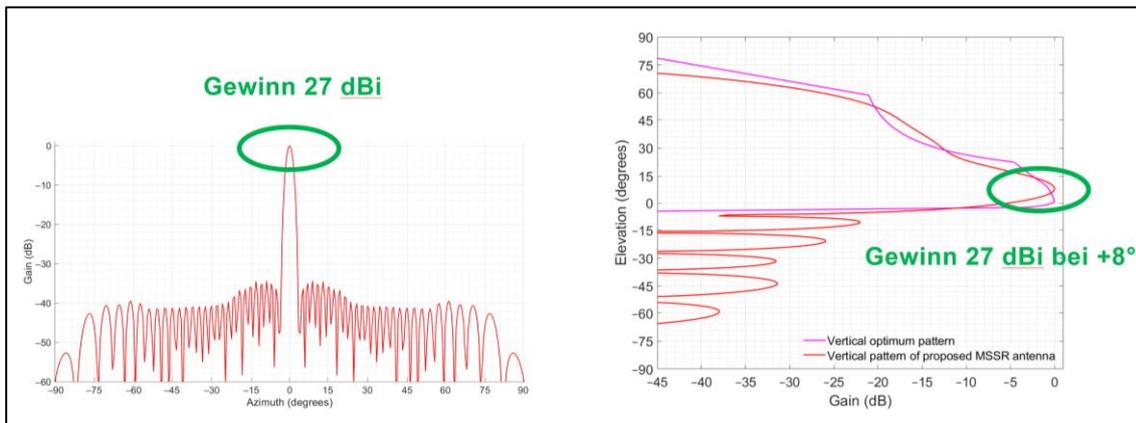


Abbildung 17: Horizontal- (Summen-) und Vertikaldiagramm einer MSSR-LVA-Antenne

Eine Strahlungsquelle mit diesen Eigenschaften wird in der elektromagnetischen Simulation nachgebildet und beleuchtet die Bebauung mit den Objekten in gemäß Abbildung 7.

Für den MSSR-Teil des LVR THF werden weiterhin folgende technische Daten angesetzt, die aus öffentlich zugänglichen Quellen [5] 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.

**Darstellung des ungünstigsten Falls von Spiegelzielen**

Für die Berechnung der Streufeldstärken wird die Annahme getroffen, dass das vertikale Strahlungsmaximum der LVA-Antenne sowie ihre Drehrichtung gemäß nachfolgender Abbildung 18 auf die Mitte der Fassade des größten Gebäudes Nr. 1 zeigt.

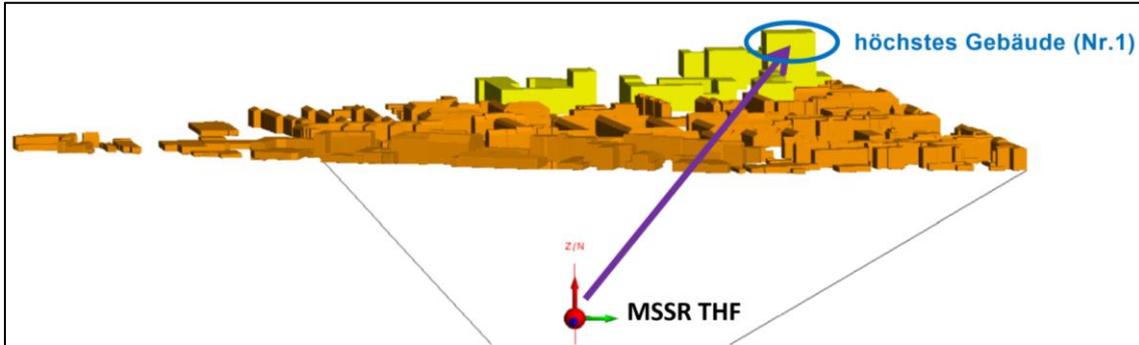


Abbildung 18: Ausrichtung des MSSR auf die größte Spiegelfläche

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 abgeleitete Größen hieraus ermittelbar sind. Im ersten Iterationsschritt bietet sich die Oberfläche einer Halbkugel mit einem Radius von 1 km an, die über das Plangebiet gestellt wird, wie es nachfolgende Abbildung 19 in der Ansicht „frontal“ anschaulich darstellt.

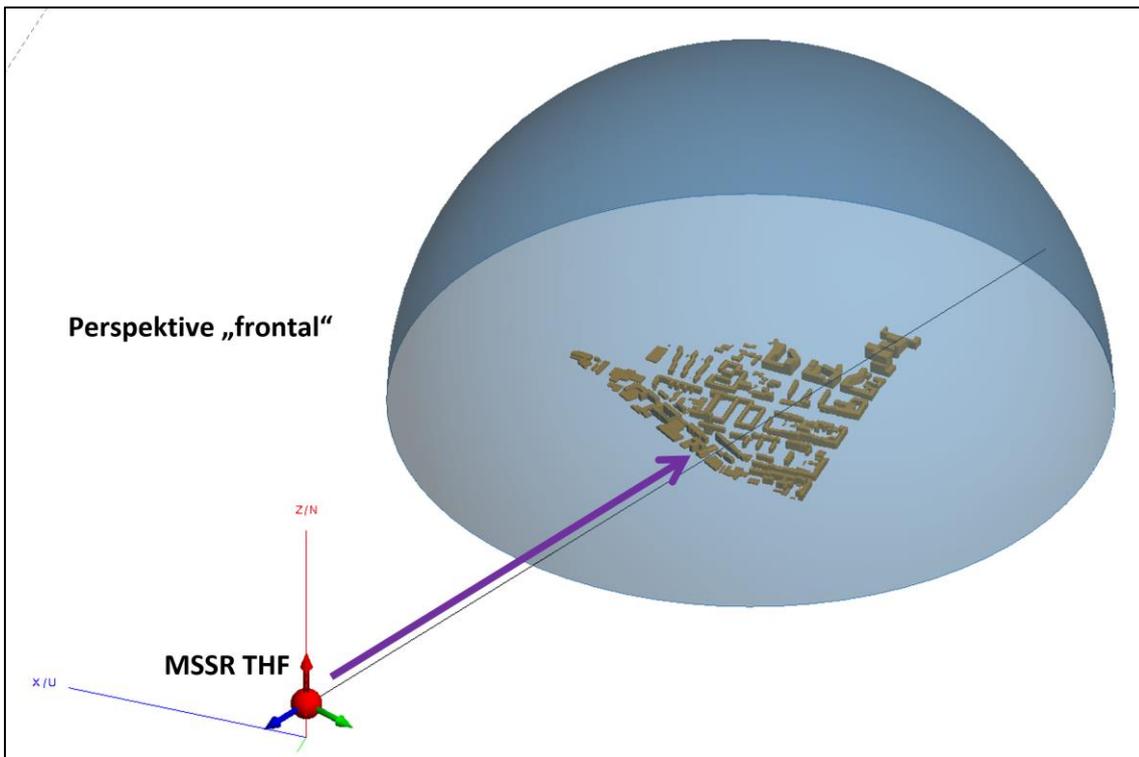


Abbildung 19: Halbkugel als Oberfläche für die Darstellung von Streufeldstärken im Raum

Nachfolgende Abbildung 20 zeigt zwei weitere Ansichten aus den Perspektiven „rückseitig“ und „oben“.

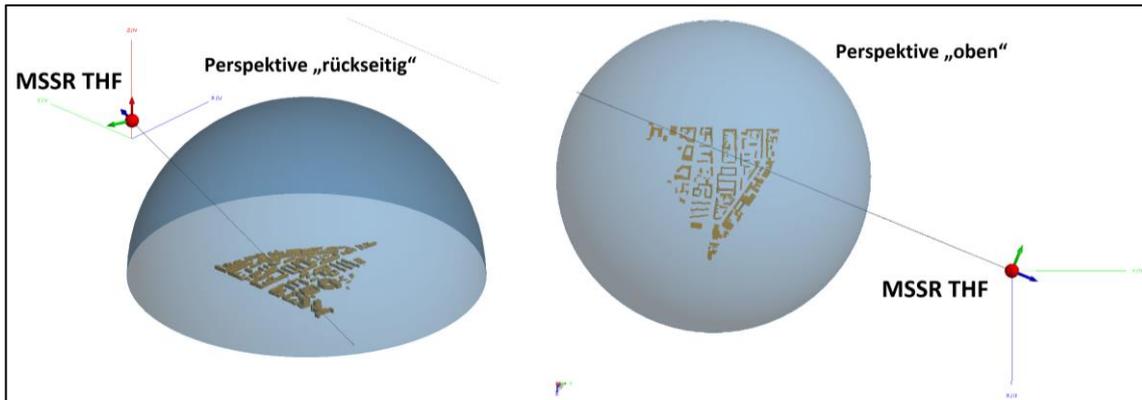


Abbildung 20: Perspektiven „rückseitig“ und „oben“

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 [11] 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 [12]. 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  $193^\circ$  bis  $207^\circ$ , während die Ordinatenachse Elevationen von  $-0,5^\circ$  bis  $+2,0^\circ$  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 azimutalen Strahlschwenkung auf der unteren Grenzfrequenz 1.215 MHz dargestellt. Gut erkennbar ist, dass im Winkelbereich von ca.  $202^\circ$  bis  $203^\circ$  der Einfluss des höchsten Gebäudes Nr. 1 sichtbar wird, bei dem hier die größten Verschattungseffekte von über 10 dB bei Elevationen erst deutlich unter  $0^\circ$  auftreten, wie die nachfolgende Abbildung 21 zeigt.

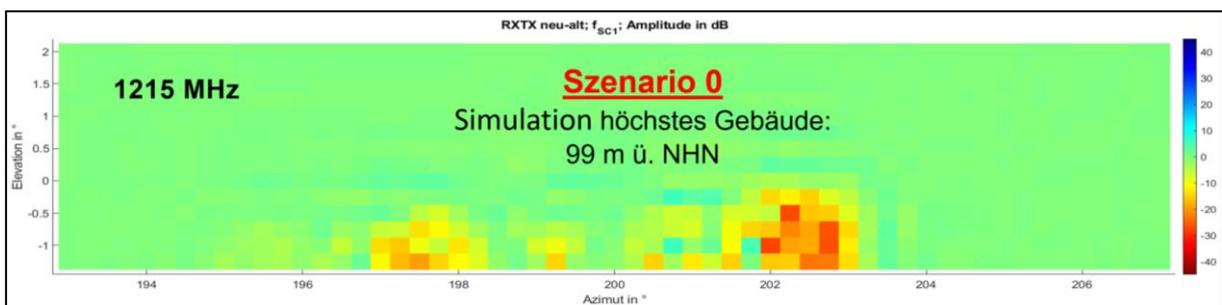


Abbildung 21: Empfangspegeländerung - Szenario 0 bei der Frequenz 1.215 MHz

Die weiteren Szenarien konzentrieren sich auf die Modifikationen des Gebäudes Nr. 1 und umfassen daher nur den schmalen Azimutbereich von  $201^\circ$  bis  $203,5^\circ$ . Anhand der Szenarien 1, 2 und 5 zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Feldstärkeminderung gegenüber der vollen Bauhöhe weiter abnimmt. Die Besonderheit der Szenarien 3 und 4 liegt darin, dass die oberen beiden Geschosse ab 91,5 m in ihrer Grundfläche auf 50 % bzw. 66 % reduziert werden. Auch dies hat eine geringere Feldstärkeminderung zur Folge. Die Ergebnisse der Szenarien 1 bis 5 sind in der nachfolgenden Abbildung 22 veranschaulicht.

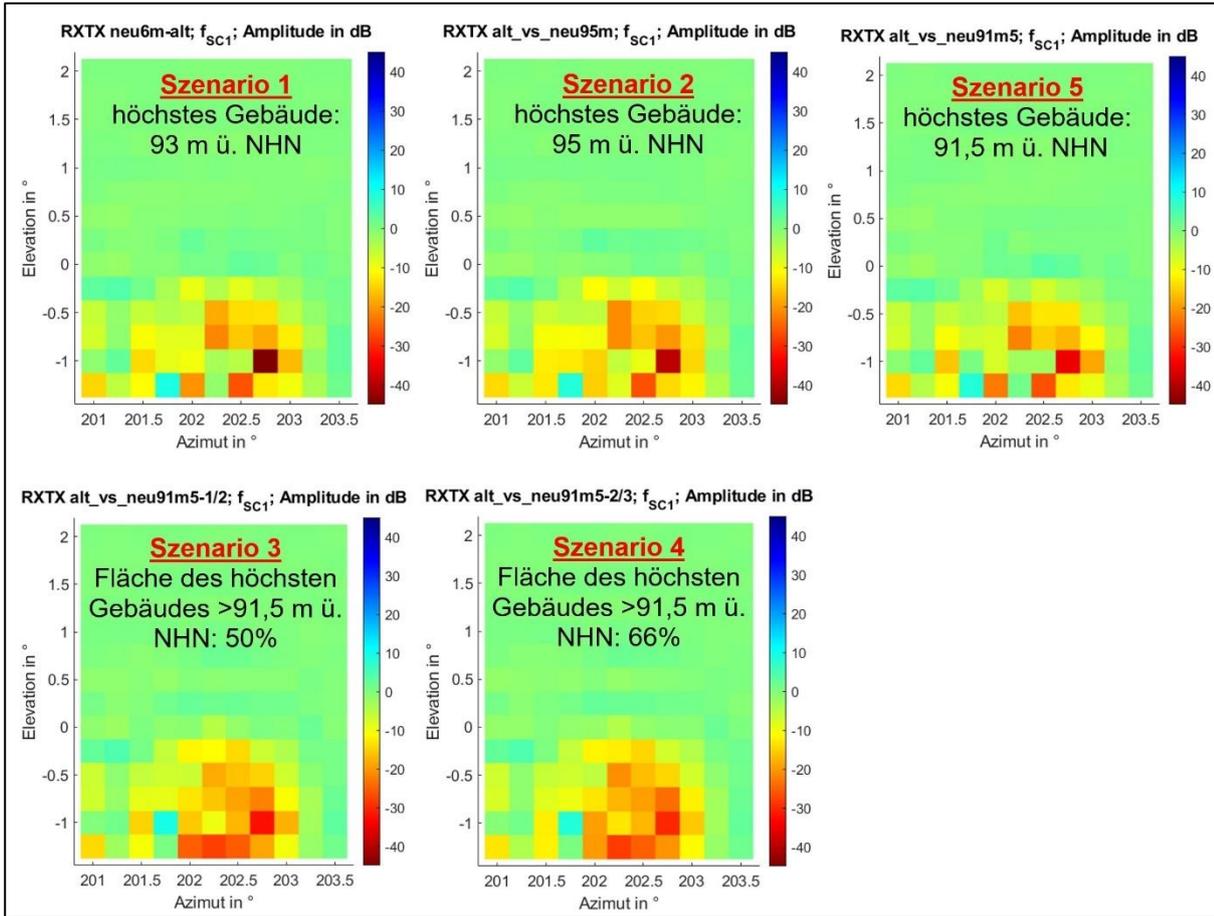


Abbildung 22: Empfangspegeländerung - Szenarien 1 bis 5 bei der Frequenz 1.215 MHz

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 nicht hinreichend berücksichtigt werden kann<sup>5</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 Elevationsschritt von  $-0,5^\circ$  bis  $+2,0^\circ$  in Schrittweite  $0,25^\circ$  als Einzeldiagramme über dem betrachteten Azimutwinkelbereich von  $193^\circ$  bis  $207^\circ$  (Abszissenachse) für alle Szenarien gemäß Kapitel 4.1.3 ausgeführt. Die Ordinatensachse 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>5</sup> Hierzu wäre die detaillierte Modellierung der Erdoberfläche erforderlich, was nicht Bestandteil der Simulation war.

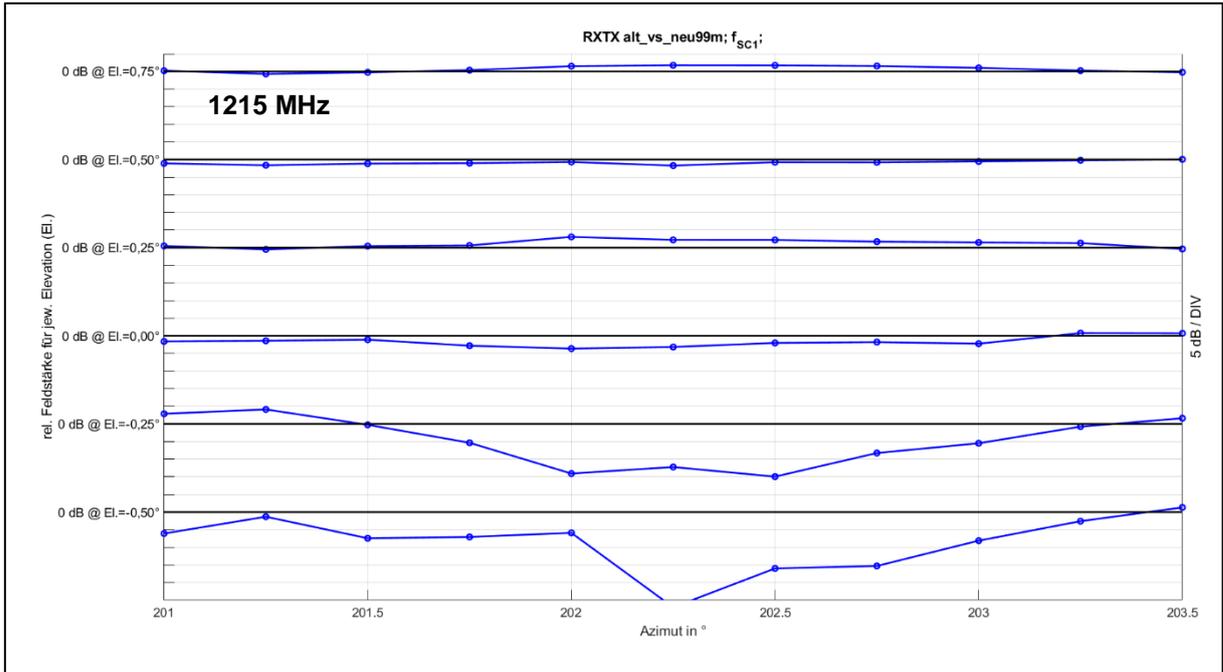


Abbildung 23: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 99 m ü. NHN (1.215 MHz)

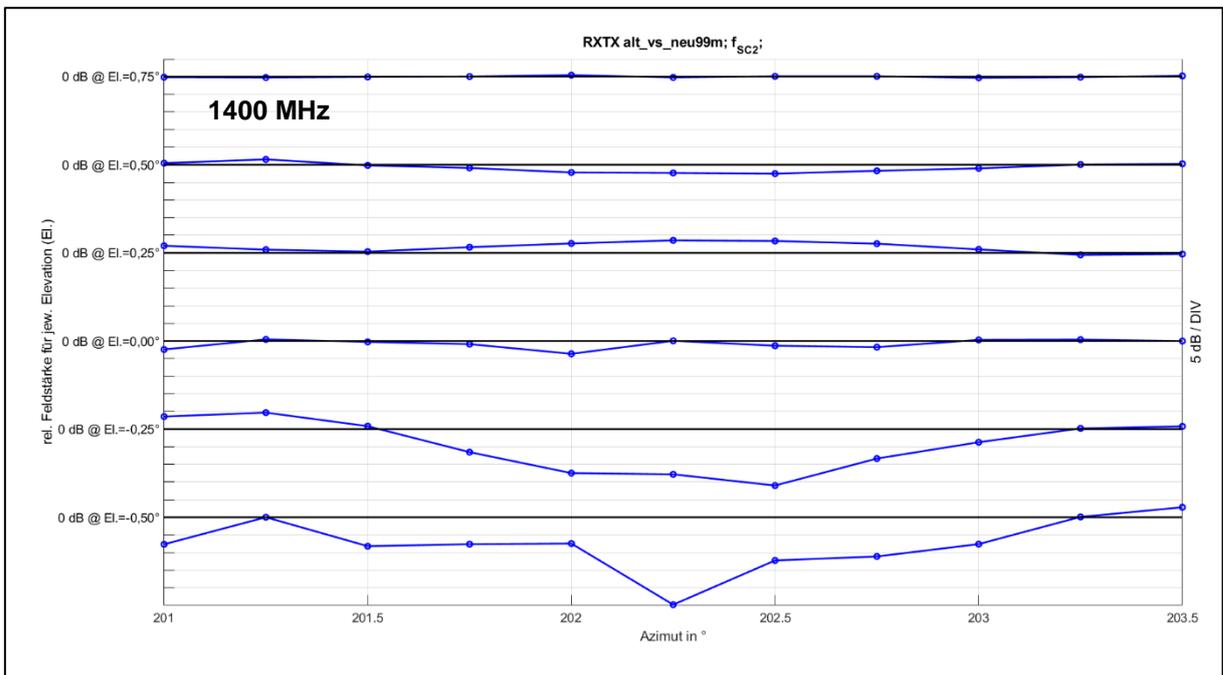


Abbildung 24: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 99 m ü. NHN (1.400 MHz)

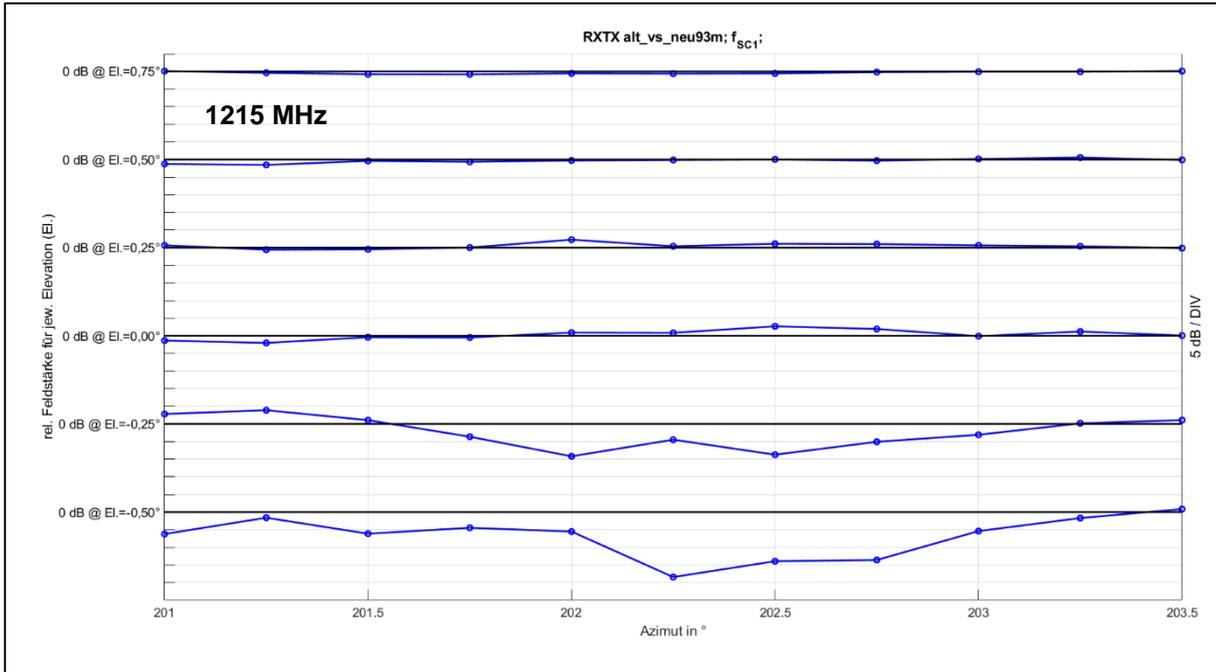


Abbildung 25: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 93 m ü. NHN (1.215 MHz)

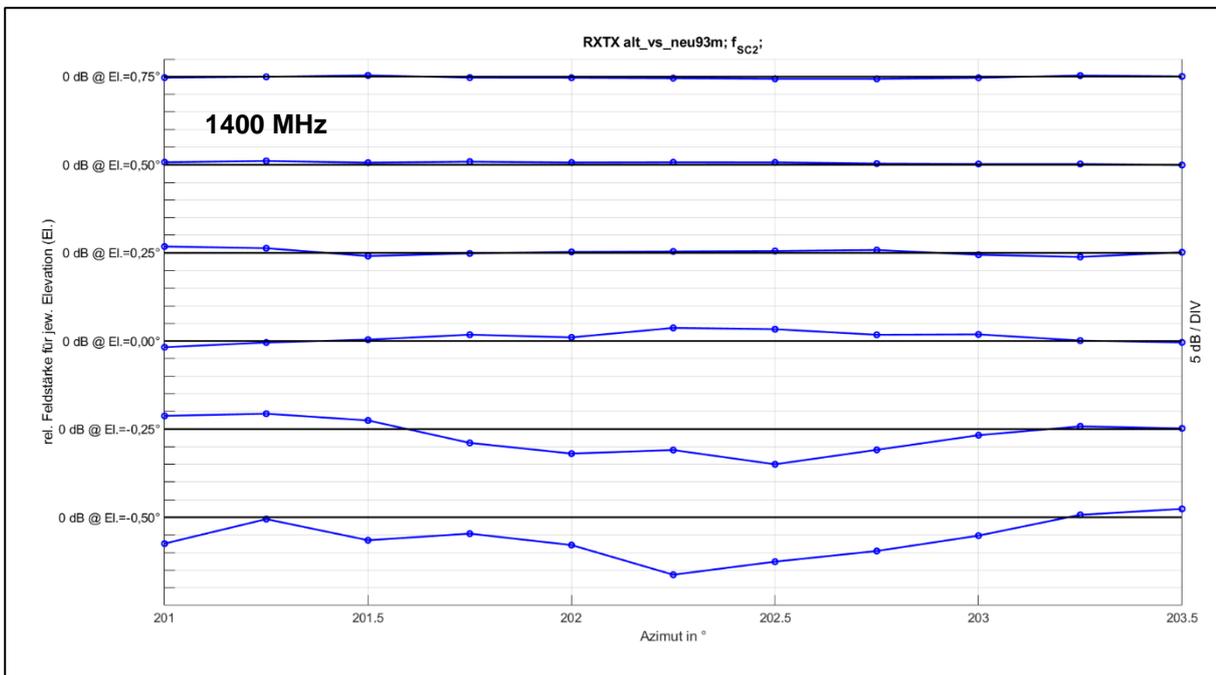


Abbildung 26: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 93 m ü. NHN (1.400 MHz)

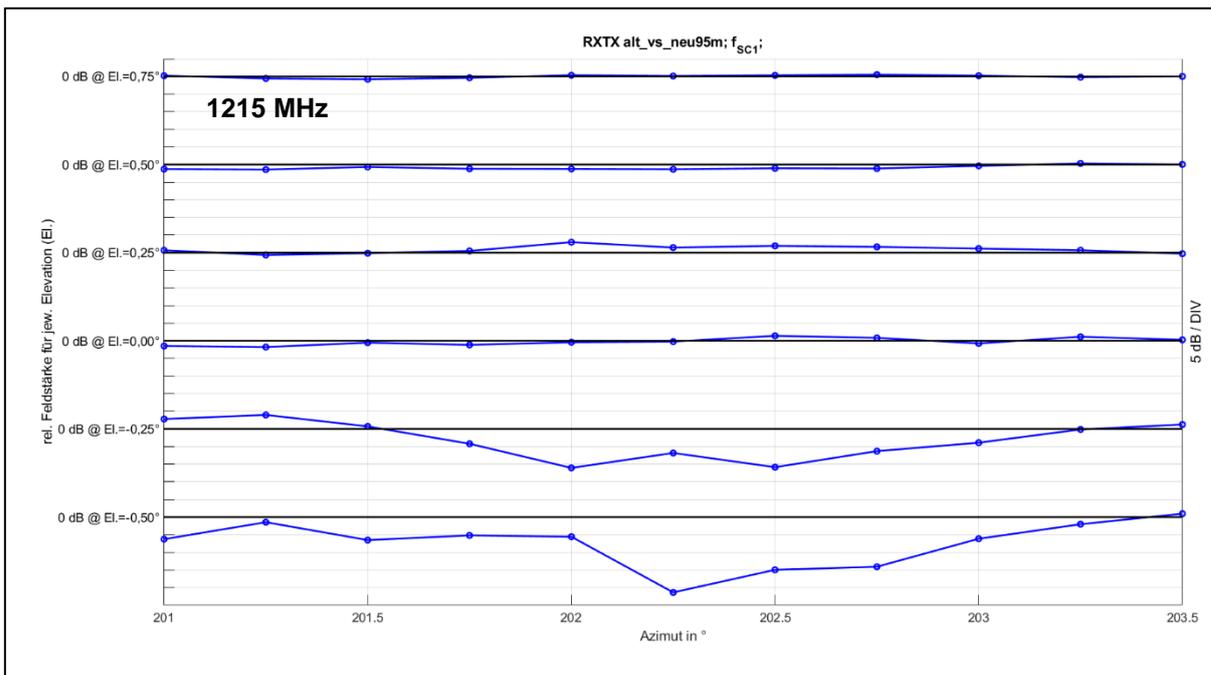


Abbildung 27: Szenario 2 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 95 m ü. NHN (1.215 MHz)

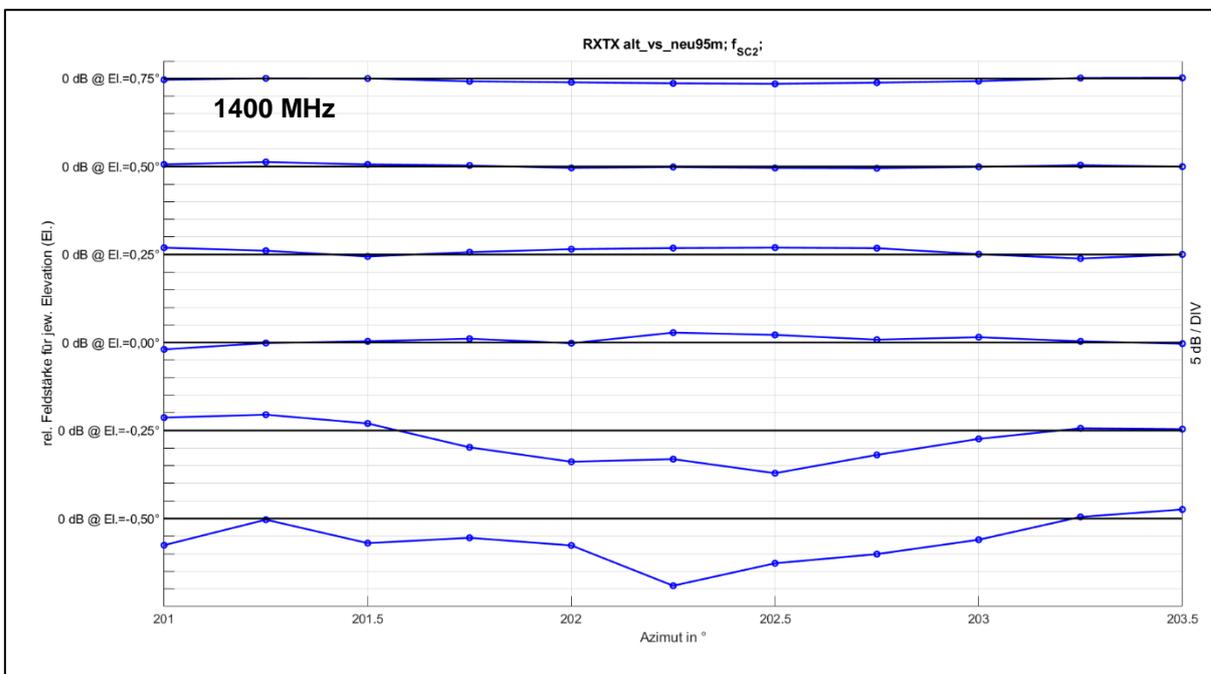


Abbildung 28: Szenario 2 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 95 m ü. NHN (1.400 MHz)

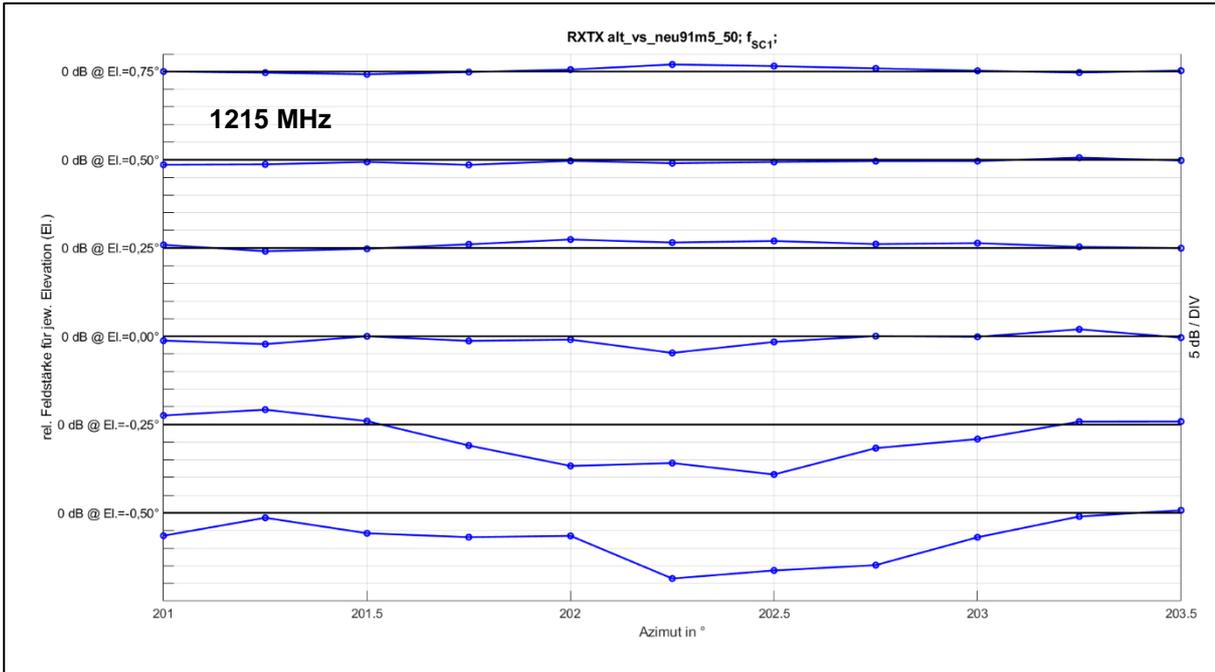


Abbildung 29: Szenario 3 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 50 % (1.215 MHz)

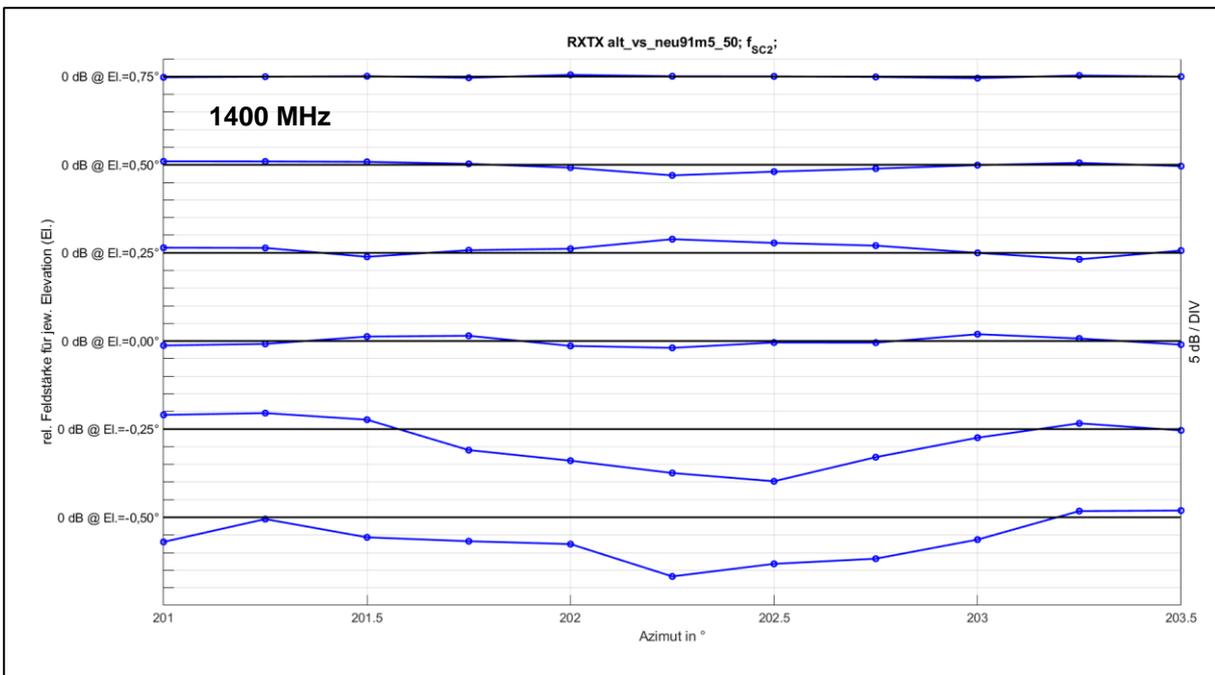


Abbildung 30: Szenario 3 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 50 % (1.400 MHz)

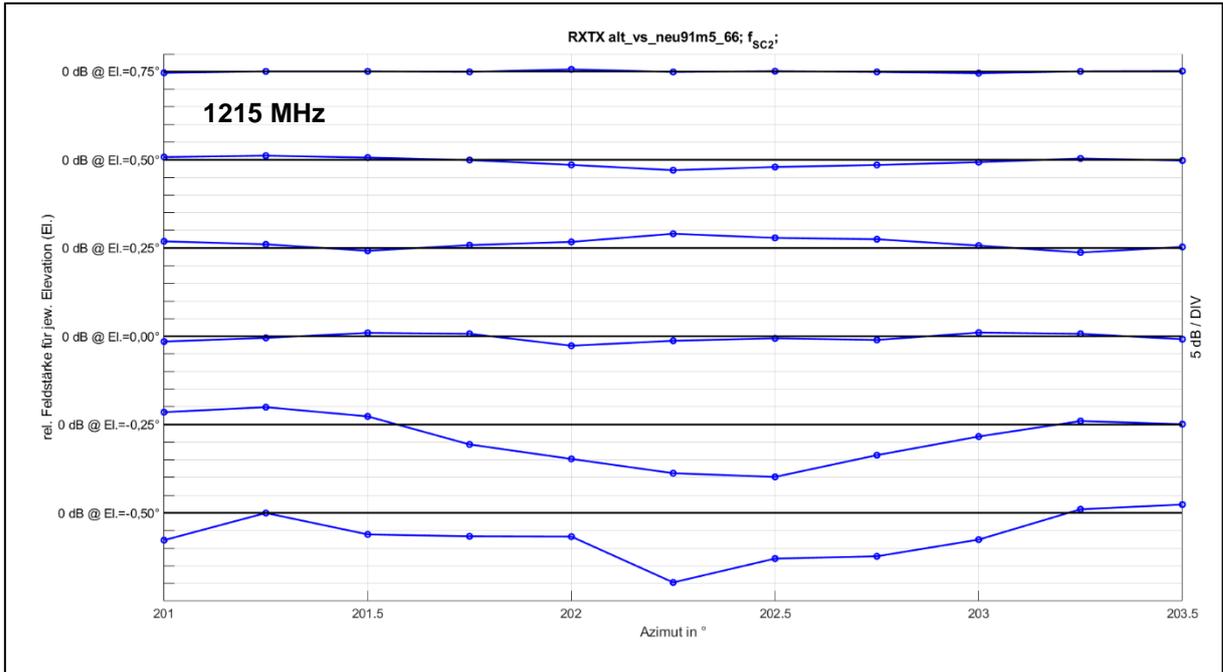


Abbildung 31: Szenario 4 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 66 % (1.215 MHz)

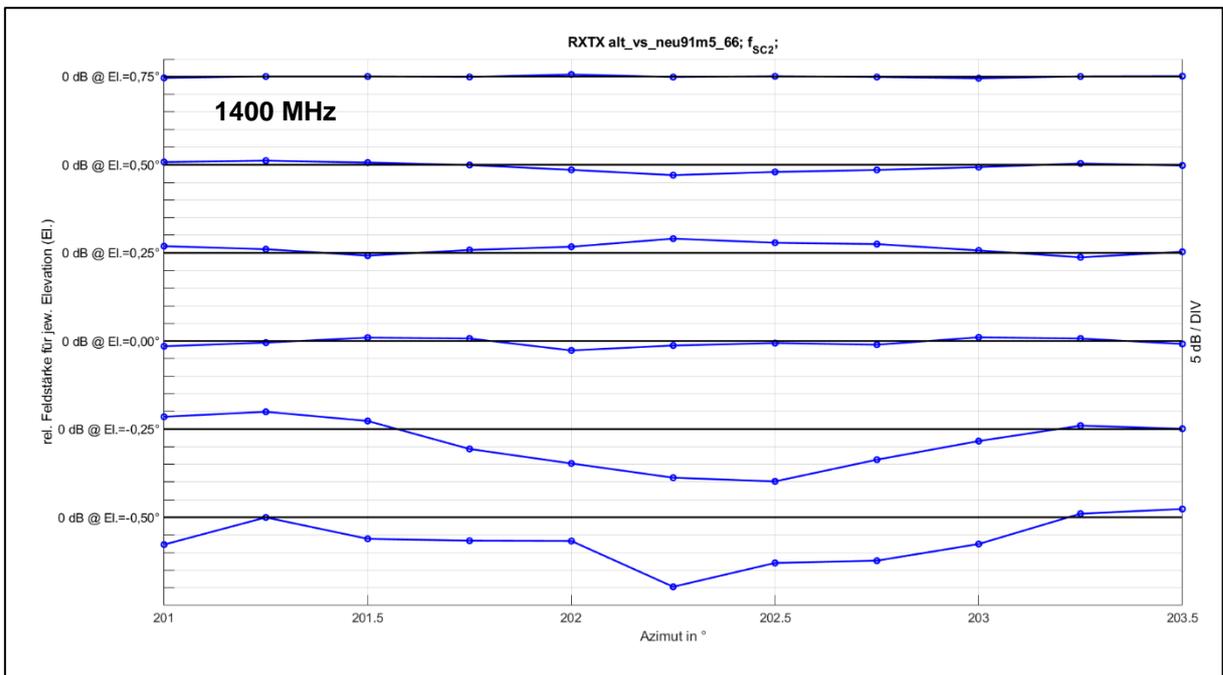


Abbildung 32: Szenario 4 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 66 % (1.400 MHz)

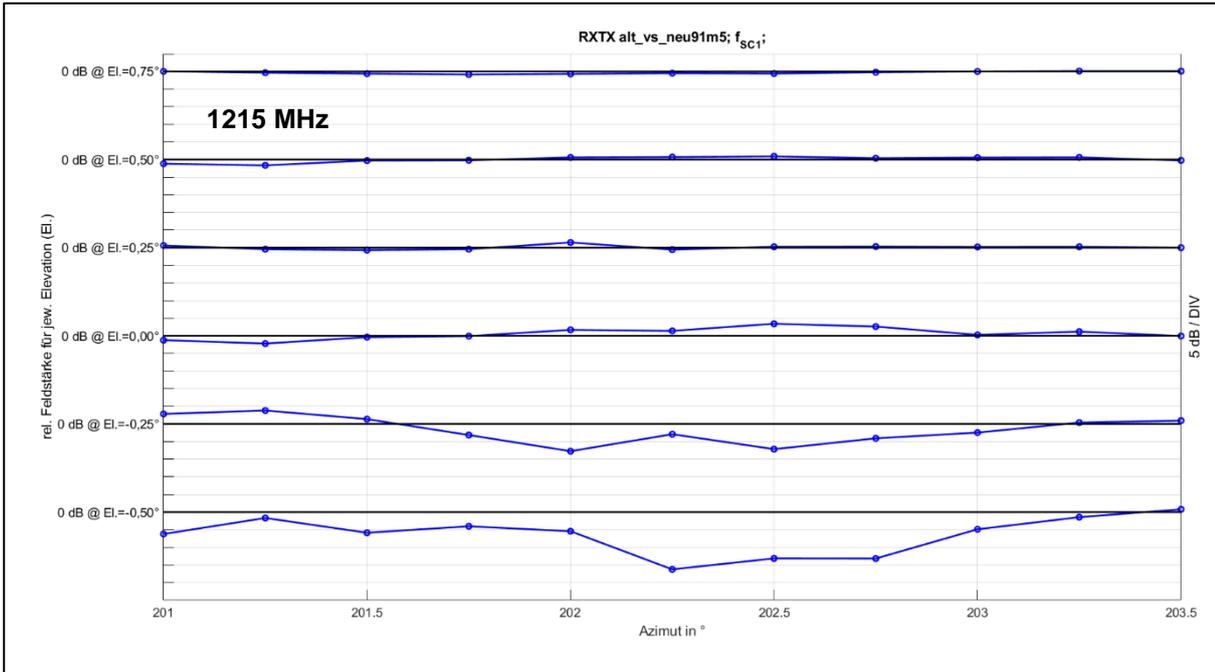


Abbildung 33: Szenario 5 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 91,5 m ü. NHN (1.215 MHz)

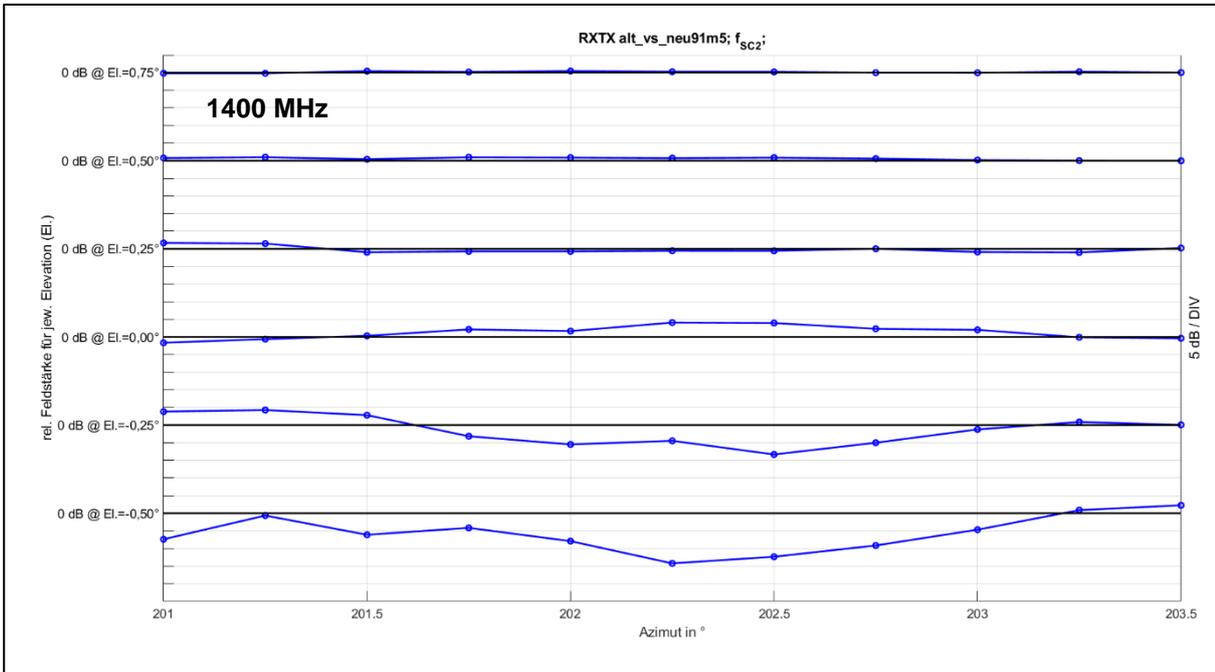


Abbildung 34: Szenario 5 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 91,5 m ü. NHN (1.400 MHz)

## 5.2 Zusammenfassung Ergebnisse Primärradar

In Bezug auf das Primärradar ist festzustellen, dass bei einer Elevation des Radars von 0° und mehr im Azimutwinkelbereich des Plangebietes keine wesentlichen Empfangspegelveränderungen gegenüber der Bestandsbebauung gegeben sind. Die simulativ berechneten Empfangspegelveränderungen treten vornehmlich in direkter

Winkelnähe im Bereich des höchsten Gebäudes Nr. 1 bei 99 m ü. NHN auf. Teilweise sind Feldstärkeüberhöhungen durch konstruktive Überlagerung des direkten Signals mit Reflexionen an den Dächern der Gebäude festzustellen. Hier muss jedoch berücksichtigt 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 kritischen Azimutbereich von  $201^\circ$  bis  $203,5^\circ$  im Einflussbereich des höchsten Gebäudes Einschränkungen des Empfangspegels. Die untersuchten Szenarien gemäß Kapitel 4.1.4 zeigen hier die Szenarien 1, 2 und 5 mit einer deutlichen Absenkung der zulässigen Bauhöhe zu den geringsten Einschränkungen des Empfangspegels führen, diese jedoch auch hier weiterhin festzustellen sind. Eine Reduktion der Grundfläche des Gebäudes oberhalb von 91,5 m ü. NHN (Szenarien 3 und 4) führt lediglich zu geringfügigen Verbesserungen im Vergleich zu Szenario 0 (vgl. Kapitel 5.1.1).

### 5.3 Zusammenfassung Ergebnisse Sekundärradar

In den drei genannten Perspektiven „frontal“, „rückseitig“ und „oben“ (vgl. Kapitel 4.2.4) sind im Folgenden 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 an der Fassade der zulässigen höchsten Bebauung (Gebäude Nr. 1: 99 m ü. NHN), da diese Reflexionen in Gegenrichtung des Radars (vgl. dazu Abbildung 7) nicht in die Bestandsbebauung abgelenkt werden und auch oberhalb der Höhe des Flughafengebäudes Tempelhof erscheinen (vgl. Abbildung 35, Frontalperspektive der Streupegel).

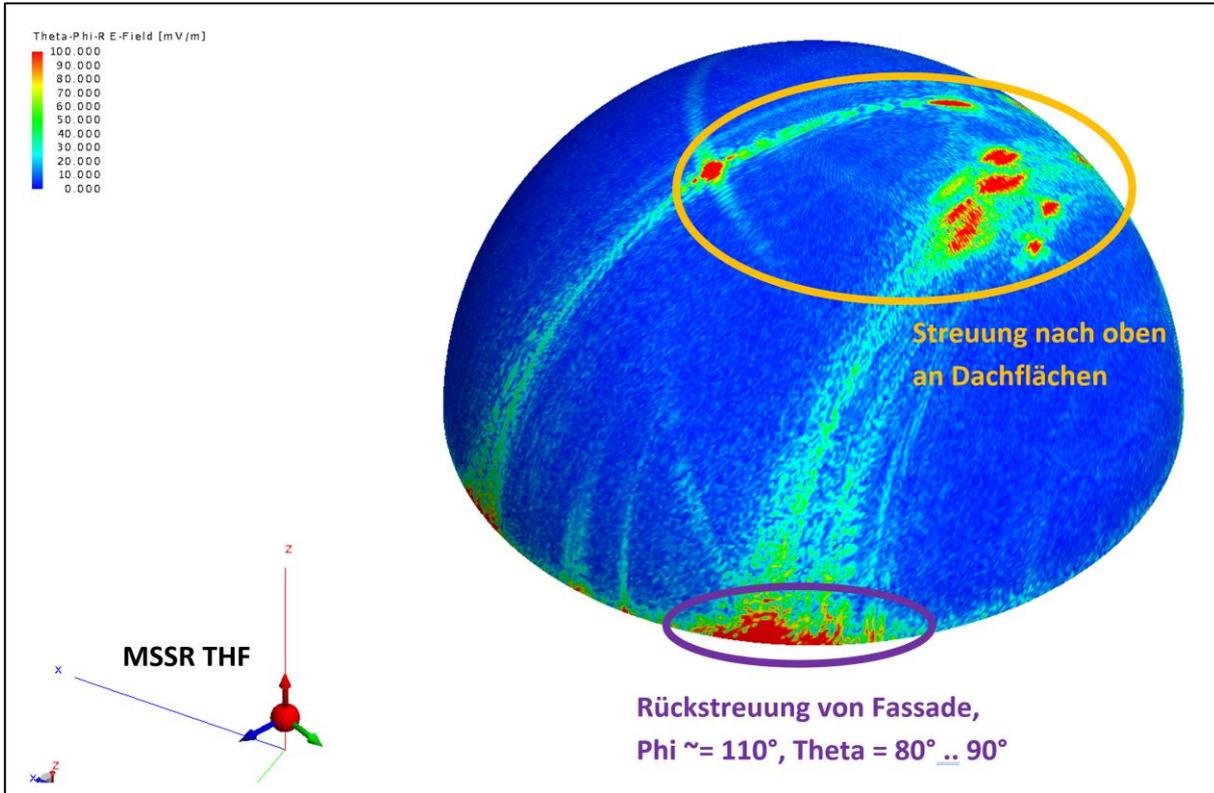


Abbildung 35: Streufeldstärken auf 1.030 MHz in der Perspektive „frontal“

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 mit Dachaufbauten und Gründächern geringer und weniger fokussiert ausfallen werden. Diffuse Dachaufbauten und Dachbegrünung werden das Signal stärker streuen und damit die Wahrscheinlichkeit der MTL-Überschreitung mindern.

In der rückseitigen Perspektive nach Abbildung 36 zeigen die Simulationen starke Streufelder durch Reflexionen an Dächern und an Seitenteilen der Gebäude.

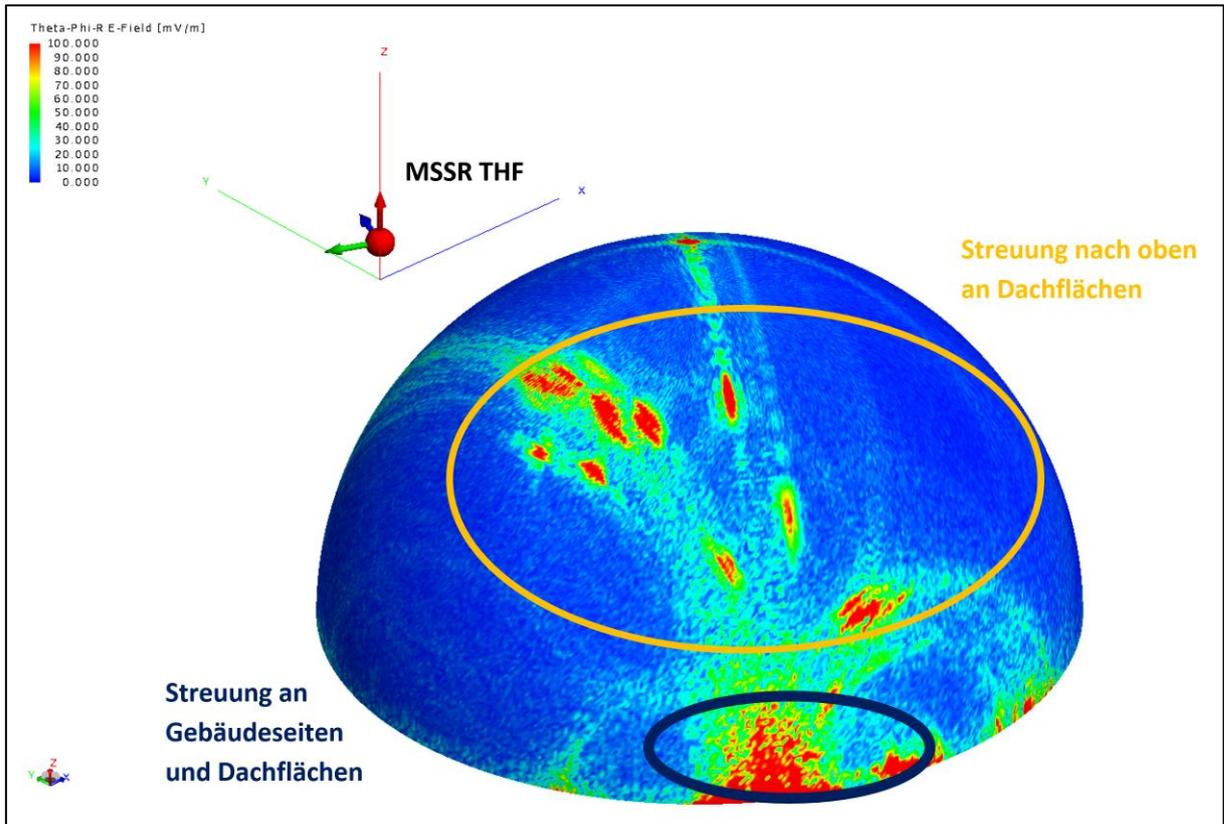


Abbildung 36: Streufeldstärken in der Perspektive „rückseitig“

Da gemäß Abbildung 20 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 37 rücken die nach oben strahlenden Reflexionen näher in den Fokus.

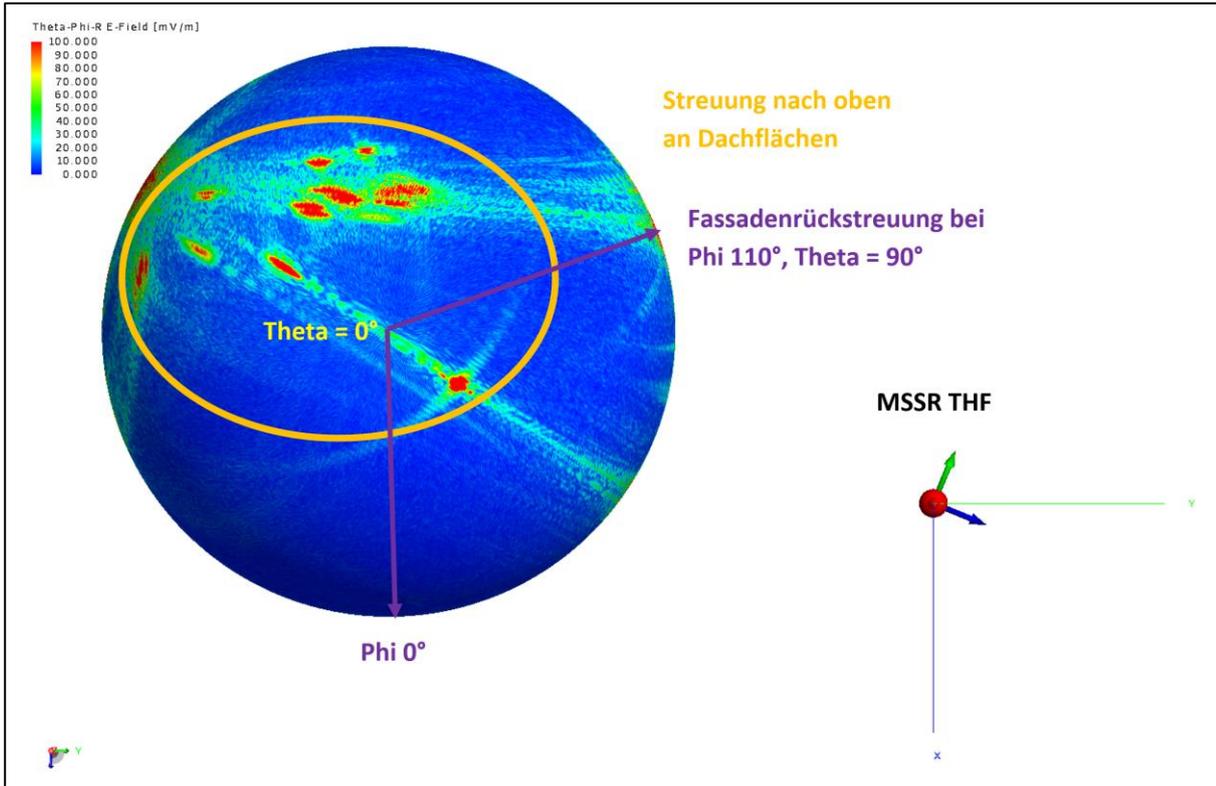


Abbildung 37: Streufeldstärken in der Perspektive „oben“

Im kartesischen Diagramm der nachfolgenden Abbildung 38 sind nun die abgeleiteten Empfangspegel der Streuung gemäß der Skala (rechts) als Farbwerte über den sphärischen Koordinaten Phi und Theta vom Kugelmittelpunkt aufgetragen.

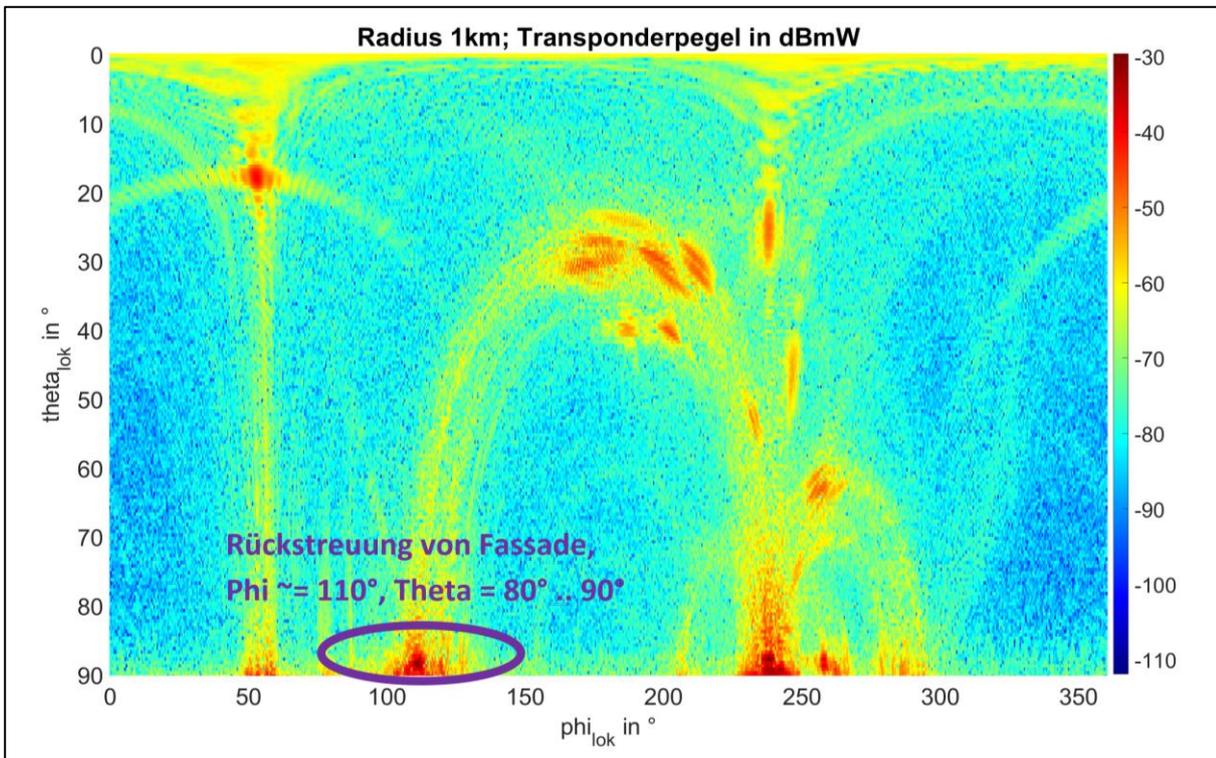


Abbildung 38: Gestreute Pegel im Worst-Case-Szenario, sphärische Koordinaten

Die stärkste Rückstreuung der Fassade über das LVR THF und das Flughafengebäude Tempelhof hinweg liegt bei einem Winkel Phi von etwa  $110^\circ$  (siehe dazu auch Abbildung 35 sowie Abbildung 37). Bei einem Winkel Theta von  $86^\circ$  auf der Kugel wäre die zu erwartende Rückstreuung bei etwa 70 m über Grund.

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<sup>6</sup>. Ohne weitere Kenntnisse der Rückstreueigenschaften der Bestandsgebäude sowie deren möglicher Neigung wird demzufolge durch die einfachen Baukörper eine sehr große Rückstreuläche gebildet<sup>7</sup>.

## 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.

---

<sup>6</sup> Die Festsetzungen des Bebauungsplans 7-82a verpflichten dazu, dass 70% der Dachflächen zu begrünen sind. Dachbegrünung wird im Regelfall dazu führen, dass die Streuung diffuser ist.

<sup>7</sup> Dieser Effekt würde sich abmildern, wenn die detaillierten Fassaden der Bestandsgebäude in die Simulation integriert werden würden.



## 6 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 7-82a zu erwarten sind. Weiterhin sind Simulationen für die Sekundärradarkomponente durchgeführt worden, um kritische Raumpunkte der stärksten Reflexionen zu finden und diese quantitativ zu bewerten.

Es ist festzustellen, dass in Bezug auf das Primärradar bei einer Elevation des Radars von 0° 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° Elevation ergeben sich im kritischen Azimutbereich von 201° bis 203,5° im Einflussbereich der höchsten Gebäude jedoch Einschränkungen des Empfangspegels (vgl. Kapitel 5.2). Die untersuchten Szenarien gemäß Kapitel 4.1.4 zeigen hier die Szenarien 1, 2 und 5 mit einer deutlichen Absenkung der zulässigen Bauhöhe zu den geringsten Einschränkungen des Empfangspegels führen, diese jedoch auch hier weiterhin festzustellen sind. Eine Reduktion der Grundfläche des Gebäudes oberhalb von 91,5 m ü. NHN (Szenarien 3 und 4) führt lediglich zu geringfügigen Verbesserungen im Vergleich zu Szenario 0 (vgl. Kapitel 5.1.1). Zusammenfassend zeigt sich demnach, dass eine Reduktion der Höhe über die gesamte Fläche deutlichere Effekte für eine Minimierung von Störwirkungen erzielt als eine reine Flächenreduktion oberhalb von 91,5 m ü. NHN.

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 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 (vgl. Kapitel 5.3 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 6.2 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. Hierzu sind den Gutachtern aber keine weiteren Informationen vom Betreiber der Anlage zur Verfügung gestellt worden.

### 6.1 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 17 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.

## 6.2 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.

Dämpfungmaßnahmen 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 des höchsten Gebäudes Nr. 1 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.

## 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: Bebauungsplanentwurf 7-82a (Stand: 09.08.2021) [2].....	8
Abbildung 2: Siegerentwurf - Teleinternetcafe - Architektur und Urbanismus / Treibhaus Landschaftsarchitekten [2] .....	8
Abbildung 3: Schutzbereich LVR THF, Radius 2,5 km (Zone C) inkl. Bebauungsplanverfahren 7-82a [2].....	10
Abbildung 4: Radarturm des LVR THF [6].....	11
Abbildung 5: Wesentliche neu hinzukommende baulichen Anlagen gemäß Bebauungsplanverfahren 7-82a innerhalb des Schutzbereiches von 2,5 km.	13
Abbildung 6: Kubaturen gemäß Bebauungsplanentwurf 7-82a .....	14
Abbildung 7: Umgebungsmodell (LOD2) in Sichtachse des LVR THF (geplante Gebäude rot markiert) inkl. analysierter Azimutbereich im Rahmen der Störwirkungsanalyse (vgl. Kapitel 4).....	15
Abbildung 8: Sichtschatenanalyse in Sichtachse des LVR THF .....	16
Abbildung 9: Ergebnis der Sichtschatenanalyse auf Basis der Kubaturen der zulässigen Gebäude .....	17
Abbildung 10: Strahlwege vom Radar THF über Bebauung zum fiktiven Ziel und zurück ....	20
Abbildung 11: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Bestand).....	21
Abbildung 12: Forward Scatter – Sicht von Radar über Gebäude zum Ziel (Planung).....	21
Abbildung 13: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Bestand) .....	22
Abbildung 14: Backward Scatter – Sicht von Ziel über Gebäude zum Radar (Planung) .....	22
Abbildung 15: Störungsfall: Unerkannte Abfrage des Transponders über reflektierendes Objekt .....	24
Abbildung 16: Beispiel eines Fassadenmodells mit Fenstern und Vorsprüngen .....	25
Abbildung 17: Horizontal- (Summen-) und Vertikaldiagramm einer MSSR-LVA-Antenne.....	26
Abbildung 18: Ausrichtung des MSSR auf die größte Spiegelfläche.....	28
Abbildung 19: Halbkugel als Oberfläche für die Darstellung von Streufeldstärken im Raum	28
Abbildung 20: Perspektiven „rückseitig“ und „oben“ .....	29
Abbildung 21: Empfangspegeländerung - Szenario 0 bei der Frequenz 1.215 MHz .....	31
Abbildung 22: Empfangspegeländerung - Szenarien 1 bis 5 bei der Frequenz 1.215 MHz .	32
Abbildung 23: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 99 m ü. NHN (1.215 MHz) .....	33
Abbildung 24: Szenario 0 – höchstes Gebäude mit voller Bauhöhe 99 m ü. NHN (1.400 MHz) .....	33
Abbildung 25: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 93 m ü. NHN (1.215 MHz) .....	34
Abbildung 26: Szenario 1 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 93 m ü. NHN (1.400 MHz) .....	34
Abbildung 27: Szenario 2 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 95 m ü. NHN (1.215 MHz) .....	35
Abbildung 28: Szenario 2 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 95 m ü. NHN (1.400 MHz) .....	35
Abbildung 29: Szenario 3 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 50 % (1.215 MHz) .....	36
Abbildung 30: Szenario 3 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 50 % (1.400 MHz) .....	36
Abbildung 31: Szenario 4 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 66 % (1.215 MHz) .....	37
Abbildung 32: Szenario 4 – Grundfläche des höchsten Gebäudes oberhalb 91,5 m ü. NHN reduziert auf 66 % (1.400 MHz) .....	37
Abbildung 33: Szenario 5 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 91,5 m ü. NHN (1.215 MHz) .....	38

Abbildung 34: Szenario 5 – höchstes Gebäude mit red. Bauhöhe 91,5 m ü. NHN (1.400 MHz).....38

Abbildung 35: Streufeldstärken auf 1.030 MHz in der Perspektive „frontal“ .....40

Abbildung 36: Streufeldstärken in der Perspektive „rückseitig“ .....41

Abbildung 37: Streufeldstärken in der Perspektive „oben“ .....42

Abbildung 38: Gestreute Pegel im Worst-Case-Szenario, sphärische Koordinaten.....42

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] BUNDESAMT FÜR INFRASTRUKTUR, UMWELTSCHUTZ UND DIENSTLEISTUNGEN DER BUNDESWEHR: *Stellungnahme der Bundeswehr - Frühzeitige Behördenbeteiligung zum Bebauungsplanverfahren 7-82a OT Tempelhof*. Bonn, 01.09.2021
- [2] SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND WOHNEN (BERLIN), REFERAT II W - WOHNUNGSBAUPROJEKTE – ÄUßERE STADT: *Eingangsdaten inkl. Ausschreibungs- und Planungsunterlagen zum Bebauungsplanverfahren 7-82a*. Berlin, 05.11.2021
- [3] 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
- [4] SENATSVERWALTUNG FÜR INNERES UND SPORT (Berlin): *Amtsblatt für Berlin : A 1262 A*. 58. Jahrgang, ABl. Nr. 11. Berlin, 07.03.2008 (ISSN 0943–9064)
- [5] DIPL. ING. (FH) CHRISTIAN WOLFF: *Mathematische, physikalische und technische Erläuterungen über die Radartechnologie*. URL [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) – Überprüfungsdatum 22.06.2022
- [6] DEWIKI.DE: *Wiki-Artikel Sammlung : Radarsystem RRP 117*. URL [https://dewiki.de/Lexikon/RRP\\_117](https://dewiki.de/Lexikon/RRP_117) – Überprüfungsdatum 22.06.2022
- [7] 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
- [8] DR. THORSTEN SCHRADER, PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB): *WERAN : Wechselwirkung Windenergieanlagen und Radar/Navigation*. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Braunschweig, 21.12.2018
- [9] BUNDESAMT FÜR INFRASTRUKTUR, UMWELTSCHUTZ UND DIENSTLEISTUNGEN DER BUNDESWEHR: *Stellungnahme: Frühzeitige Behördenbeteiligung zum Bebauungsplanverfahren 7-82a OT Tempelhof - Gesprächswunsch zum Gutachten bzw. der bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse*. Bonn, 07.06.2022
- [10] 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)
- [11] EUROCAE: *EUROCAE ED 73F - Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Secondary Surveillance Radar Mode S Transponders : Revision F of ED-73*. 21.12.2020
- [12] J.BREDEMEYER, J.RITTER, H.GARBE: *International Symposium on Precision Approach and Landing*. Konferenzbeitrag ISPA 2004. München, 06.10.2004