

Gutachten

Systemtechnisches Gutachten zum Bebauungsplanverfahren V-67a für das „Grundstück Rudolfstraße 18“ (Atrium) in Berlin hinsichtlich ASR und CNS-Systemen, LVR und von Funkmessstationen im Umfeld des Bauvorhabens sowie betroffener Richtfunkstrecken

Erarbeitet für: Rudolfstraße 18 Projektentwicklungs GmbH
c/o Atrium Development Group GmbH
Hardenbergstraße 27
10623 Berlin

Erarbeitet durch: NAVCOM Consult
Dr.-Ing. Gerhard Greving
Dipl.-Ing. W.-D. Biermann
Dipl.-Ing. R. Mundt
Ludwigsburger Str. 23
E-mail: navcom.consult@t-online.de
Internet: <https://www.navcom.de>
Tel.: +49 7144 862560
Fax: +49 7144 862561



NAVCOM
Consult
Dr.-Ing. Gerhard Greving
Ludwigsburger Str. 23 / D-71711 Steinheim
Tel. (+49) 7144 862560, Fax (+49) 7144 862561

Steinheim, 16.02.2026

BER_Atrium_Rudolfstr.18_CNS_LVR_RiFu_sb1.docx **Ausgabe 1**



0 Verzeichnisse; Vorwort

0.1 Vorwort zum Gutachten mit Bezug zur Sachverständigenordnung

Dieses Gutachten wurde von Dr.-Ing. Gerhard Greving als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Sachgebiet

„*Flugsicherungsanlagen, Navigations-, Lande- und Radarsysteme*“.

nach den bundeseinheitlichen Regeln zur Sachverständigenordnung (BGBI I S.202 v. 22.2.1991) verfasst.

Die Bestellung erfolgte durch die zuständige IHK-Stuttgart mit Datum v. 20.4.2006 nach den in der Sachverständigenordnung festgelegten Verfahren und Bestimmungen. Insbesondere erfolgte die Bestellung nach einem umfangreichen Begutachtungsverfahren.

In dieser Sachverständigenordnung werden in Abschnitt III die „Pflichten des öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen“ definiert

- §8 (1) ... Unabhängigkeit
- §8 (2) ... Weisungsfreiheit
- §8 (3) ... Gewissenhaftigkeit
Der Sachverständige hat seine Aufträge unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft, Technik und Erfahrung mit der Sorgfalt eines ordentlichen Sachverständigen zu erledigen. Die tatsächlichen Grundlagen seiner fachlichen Beurteilungen sind sorgfältig zu ermitteln und die Ergebnisse nachvollziehbar zu begründen. ...
- §8 (4) Unparteilichkeit
Der Sachverständige hat bei der Erbringung seiner Leistung stets darauf zu achten, dass er sich nicht der Besorgnis der Befangenheit aussetzt. Er hat bei der Vorbereitung und Erarbeitung seines Gutachtens strikte Neutralität zu wahren, muss die gestellten Aufgaben objektiv und unvoreingenommen beantworten.

Insbesondere darf der Sachverständige nicht

* Gutachten in eigener Sache oder für Objekte und Leistungen seines Dienstherrn oder Arbeitgebers erstatten.

* Gegenstände erwerben oder zum Erwerb vermitteln, eine Sanierung oder Regulierung der Objekte durchführen, über die er ein Gutachten erstellt hat, es sei denn, er erhält den entsprechenden Folgeauftrag nach Beendigung des Gutachtenauftrags und seine Glaubwürdigkeit wird durch die Übernahme dieser Tätigkeiten nicht in Frage gestellt.

Das folgende Gutachten entspricht in jeder Beziehung den Bestimmungen dieser Sachverständigenordnung.

Steinheim, den 16.02.2026



DOKUMENT-HISTORIE

Ausgabe	Datum	Kommentar
1	16.02.2026	Gutachten / Abschlussbericht

0.2 Inhaltsverzeichnis

	Seite
0 Verzeichnisse; Vorwort.....	2
0.1 Vorwort zum Gutachten mit Bezug zur Sachverständigenordnung	2
0.2 Inhaltsverzeichnis	4
0.3 Tabellenverzeichnis	5
0.4 Abbildungsverzeichnis.....	5
0.5 Abkürzungen.....	9
1 Projektbeschreibung und Aufgabenstellung	10
1.1 Allgemeine Projektbeschreibung	10
1.2 Aufgabenstellung und methodische Vorgehensweise	11
1.3 Das Bauvorhaben	12
2 Allgemeine Systemanalysen und Grundlagen	12
2.1 Hinweise, Referenzen	12
2.2 Standortproblematik des LVR THF in Berlin, Alternativstandorte.....	13
2.3 Qualitative Analyse der Radar-Reflexionen und Abschätzung.....	14
3 Theoretische und numerische Analyse LVR Tempelhof.....	14
3.1 Allgemeines	14
3.2 Szenario, topographische Analysen	15
3.3 Numerische Berechnungen	16
3.3.1 Radiale Abschätzung	16
3.3.2 Abschätzung in der Elevation	16
3.3.3 Azimutale Abschätzung	17
3.3.4 Fazit Abschätzung.....	18
3.4 Sekundärradar/IFF (MSSR 2000).....	18
3.5 Zusammenfassendes Ergebnis und Konsequenzen für das LVR THF	19
4 Theoretische und numerische Analyse zivile ATC-Radare	19
4.1 Allgemeines	19
4.2 Flugbetrieb; STANLY-Track.....	19
4.3 Numerische Simulationen MSSR BER Nord	20
4.3.1 Szenario, topographische Analysen	20
4.3.2 Streufeldstärken.....	20
4.4 Analysen MSSR BER Süd.....	21
4.5 Numerische Simulationen MSSR TXL Tegel	21
4.5.1 Szenario, topographische Analysen	21
4.5.2 Streufeldstärken.....	21
4.6 Zusammenfassendes Ergebnis und Konsequenzen für die Radare der DFS.....	22
4.7 MSSR; Monopuls-Winkelfehler (zivil, militärisch), Höhe.....	22
5 Richtfunk und Funkmesstationen der BNA	23
5.1 Allgemeine Beschreibung; Vorgehensweise	23
5.2 Funkmesstationen der BNA	25
5.3 Email E1 v. 19.12.2025.....	26
5.4 Email E2 v. 12.01.2026.....	29
5.5 Richtfunk Zusammenfassung; Ergebnisse.....	30
6 Planungsstand und Änderungen.....	30
7 Zusammenfassung und gutachterliche Empfehlungen.....	31
8 Tabellen.....	33
9 Bilder	34
10 Anhang A (ergänzende Bilder).....	65

11	Anhang B (Grundlagen)	86
11.1	Militärisches Radarsystem RRP-117/MSSR 2000	86
11.1.1	Geräte- und Systemeigenschaften	86
11.1.2	Strahlungsdiagramme	87
11.1.3	Tilt-Winkel	88
11.1.4	Spezifikationen, Schutzbereich	88
11.1.5	Redundanz, Radarverbund	89
11.1.6	Reichweitendefinition	89
11.1.7	Entdeckungswahrscheinlichkeit	91
11.1.8	Abschattung	92
11.2	Zivile ATC-Radare (PSR, MSSR) der DFS	93
11.2.1	Allgemeines	93
11.2.2	SSR-Empfängereigenschaften (Flugzeug-Transponder)	94
11.2.3	Spiegelziele, Störung	94
11.2.4	Bedeckungsraum	95
11.2.5	Redundanz, Radar-/Überwachungsdatenverarbeitungssystem (RDPS/SDPS) PHOENIX der DFS	96
11.3	Bemerkungen zur Verwendung des Radarrückstreuquerschnitts (RCS/RQS)	97
11.4	Numerische Methoden (Grundlagen)	98
11.5	Spezifikationen	99
11.6	Numerische Methoden (Grundlagen)	101
12	Literaturverzeichnis, Publikationen	102

0.3 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Liste von potentiell betroffenen Richtfunkbetreibern, Funkbetreiberauskunft der Bundesnetzagentur BNA v. 18.12.2025	24
Tabelle 2: Tabellarische Ergebnisse der Abfragen	25
Tabelle 3: Prüfgebiet (definiert durch die Punkte NW, SO) und Plangebiet Atrium	27
Tabelle 4: Koordinaten der Radaranlagen Tempelhof (THF, mil.), Tegel (TXL, DFS), ATCR ASR.S/N (DFS)	33
Tabelle 5: Koordinaten der Turmeckpunkte (Bauteil C), Boden 36,70 m ü NHN (siehe Bild 10)	33
Tabelle 6: Erdkrümmung, Höhe H	34
Tabelle 7: Beispiele für Sichtlinien (Line of Sight LOS), siehe Bild A - 27	34
Tabelle 8: Reichweitenreduzierung bei zusätzlichen Verlusten	93

0.4 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Bild 1: Bauvorhaben Rudolfstraße 18, betroffene Radare und CNS-Systeme	35
Bild 2: Karte Bauvorhaben Rudolfstraße 18, Eckpunkte P1-P2 für Prüfgebiet Richtfunkstrecken	36
Bild 3: Bebauungsplan V-67	36
Bild 4: Baugebiet Rudolfstraße 18/19	37
Bild 5: Fernansicht, Insert: Fassadenkonzept	37
Bild 6: Übersicht Baukörper; Planungsstand 13.02.26	38

Bild 7: Schnitte Atrium Hochhaus (Bauteil C) inkl. Westerweiterung um 3.5m (aus Daten 13.02.26).....	38
Bild 8: Fassadengestaltung Turm	39
Bild 9: Geschosshöhen (aus Datensatz 15.12.25).....	39
Bild 10: Koordinatenplan der Gebäudeeckpunkte Hochhaus (Bauteil C).....	40
Bild 11: WGS84-Koordinaten der Gebäudeeckpunkte	40
Bild 12: Vereinfachte 3D-Modellansicht des geplanten Hochhauses (Bauteil C) 168 m / 204.2 m ü NHN mit Ortsumgebung	41
Bild 13: Vereinfachtes 3D-Modell des geplanten Hochhauses (204.2 m üNHN) mit EDGE-Turm (178 m üNHN, finale Höhe ergänzt) und RAW-Turm (135.3 m üNHN)	41
Bild 14: Seitenansicht mit Hochhäusern Turm (Bauteil C), EDGE, RAW, STREAM.....	42
Bild 15: Szenario LVR THF mit Bauvorhaben und ESTREL Turm.....	42
Bild 16: Vereinfachtes numerisches 3D-Modell des Hochhauses (Bauteil C) mit der maximalen Höhe 168 m / 204.2 m ü NHN.....	43
Bild 17: Hochhäuser im Bereich des LVR THF	44
Bild 18: LVR THF, 3dB-Breite PSR in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet	45
Bild 19: LVR THF, 3dB-Breite PSR in Radarhöhe; Hochhaus	45
Bild 20: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 0°/1.35°, Elevation 0°/1.35°.....	46
Bild 21: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 0°, Elevation 0°	46
Bild 22: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35°, Elevation 0°	47
Bild 23: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35°, Elevation 1.35°	47
Bild 24: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°	48
Bild 25: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°	48
Bild 26: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°	49
Bild 27: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°	49
Bild 28: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°.....	50
Bild 29: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°.....	50
Bild 30: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°.....	51
Bild 31: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°.....	51
Bild 32: LVR THF, 3dB-Breite MSSR in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet.....	52
Bild 33: LVR THF, 3dB-Breite MSSR in Radarhöhe; Hochhaus.....	52
Bild 34: LVR THF, Aufsicht auf das Anstrahlungsszenario, Reflexionsrichtungen für MSSR ..	53
Bild 35: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 2000ft.....	54
Bild 36: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft.....	54
Bild 37: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 5000ft.....	55
Bild 38: EDDB, STANLY-Track, Anflüge 2025/11/14-16; MSSR, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Hauptreflexionsrichtungen.....	56

Bild 39: EDDB, STANLY-Track, Abflüge 2025/11/14-16; MSSR, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Hauptreflexionsrichtungen..... 56

Bild 40: BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus, Blick auf das Baugebiet 57

Bild 41: BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus; Nahbereich 57

Bild 42: BER MSSR Nord, Anstrahlungs und Reflexionsszenario 58

Bild 43: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft..... 59

Bild 44: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft..... 59

Bild 45: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft..... 60

Bild 46: MSSR TXL, Anstrahlungs- und Reflexionsszenario..... 61

Bild 47: MSSR TXL, 3dB-Breite in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet 62

Bild 48: MSSR TXL, Blick auf das Hochhaus, effektive Anstrahlbreite (Gebäudeecken), MSSR 3dB-Breite 62

Bild 49: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft... 63

Bild 50: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft... 63

Bild 51: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft... 64

Anhang

Bild A - 1: Ablaufdiagramm der integriert hybriden Systemsimulation (IHSS)..... 65

Bild A - 2: Radar PSR; Schematische Darstellung der Entstehung von Falschzielen..... 66

Bild A - 3: Radar MSSR; Schematische Darstellung der Entstehung von Falschzielen 66

Bild A - 4: Luftverteidigungsradar RRP117 (unten PSR, oben MSSR LVA), Daten aus „Radartutorial“..... 67

Bild A - 5: Luftverteidigungsradar LVR Tempelhof THF; Geometrie 67

Bild A - 6: Theoretische normiertes Antennendiagramme (pencil beam) des RRP-117..... 68

Bild A - 7: MSSR Antennendiagramme; Summe, Differenz, Omega..... 68

Bild A - 8: LVR, MSSR 2000, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt, Freiraum 69

Bild A - 9: ATC-Radar (ASR); MSSR-Antenne über PSR-Antenne 69

Bild A - 10: ATC-Radar (ASR), PSR, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt, Freiraum..... 70

Bild A - 11: ATC-Radar (ASR); MSSR, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt des Σ -Strahlungsdiagramms; Freiraum..... 70

Bild A - 12: Darstellung des Schutzbereichs von Luftverteidigungsradaren (z.B. LVR RRP117 (installiert auf Tempelhof)) gem. „Umdruck 51“ der BW v. 23.05.2008; neues Dokument A2.9500022.2I v. 31.12.2016 71

Bild A - 13: Aktueller Schutzbereich der BW für das LVR THF 72

Bild A - 14: Luftverteidigungsradare; Richtungskennzeichnung Baugebiet Atrium Rudolfstraße 18 73

Bild A - 15: LVR THF Tempelhof; Konzentrische Ringe 100km – 400km; Grenzreichweite 256NM (=463km)..... 74

Bild A - 16: Moderne ATC-Radar Signalverarbeitung 75

Bild A - 17: Modernes PSR; Beispiel für Clutter-Unterdrückung, funktionales Blockdiagramm 75

Bild A - 18: Schematische Skizze eines Radars, eines Streuers und eines Flugzeugs als Punktziel; Streumechanismus; verschiedene Querschnitte des Streu-Objekt /38/ 76

Bild A - 19: Schematische Skizze der Überlagerung des direkten Radarfelds und des gestreuten Felds in der Vorwärtsrichtung 76

Bild A - 20: AD 2 EDDB 3-1-3 2025-10-30, RWY 06L/06R, Standard Arrival Chart..... 77

Bild A - 21: AD 2 EDDB 5-7-22 2025-10-30, RWY 24R, Standard Departure Chart Instrument
 78

Bild A - 22: MVA im Bereich Berlin (EDDB)..... 79

Bild A - 23: Blick vom DFS ASR-S auf Frankfurt CityA – 23..... 80

Bild A - 24: PHOENIX Tracker-Aufbau mit den prinzipiellen Eingangssensoren Radaren,
 MLAT, ADS-B (Heidger, R; The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung
 GmbH, Version 5.0, 13.01.2014) 81

Bild A - 25: PHOENIX Sensor Positionen und Cluster, reduzierte Darstellung, u.a. orange:
 Long Range Radare (LLR; SREM oder MSSR), weiß: Airport Radare (ASR); (Heidger, R;
 The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 5.0, 13.01.2014)
 82

Bild A - 26: Fresnel-Zone 83

Bild A - 27: Radar Line-of-Sight (LoS)..... 83

Bild A - 28: BNA Formular Funkbetreiberauskunft; nicht vollständig..... 84

Bild A - 29: Prüfgebiet (definiert durch die Punkte NW, SO) und Plangebiet Atrium 85

Im Rahmen einer Worst-Case-Betrachtung wurde in der vorliegenden Untersuchung auch die ausnahmsweise Zulässigkeit eines Beherbergungsbetriebs gemäß § 4 Abs. 3 Nr. 1 BauNVO geprüft.

0.5 Abkürzungen

AIP	Aeronautical Information Publication
ASR	Airport Surveillance Radar
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
AWOG	All Weather Operations Group
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BER	Flughafen Berlin Brandenburg (IATA-Code)
BW	Bundeswehr
CFAR	Constant False Alarm Rate (Radar)
CNS	Communication, Navigation and Surveillance
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
ft	foot/feet (1ft=0.3048m)
GTD	Geometrical Theory of Diffraction (Geometrische Beugungstheorie; Numerische Methode zur Lösung elektromagnetischer Probleme)
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFF	Identification Friend or Foe (MSSR)
IFR	Instrument Flight Rules
IPO	Improved Physical Optics (Verbesserte/Erweiterte PO; moderne numerische Methode zur Lösung elektromagnetischer Probleme)
IHSS	Integrated Hybrid System Simulation (Simulationsmethode von NAVCOM Consult)
ISLS	Interrogation Path Side Lobe Suppression (SSR)
LVA	Large Vertical Aperture antenna (MSSR)
MoM	Method of Moments (Numerische Methode zur Lösung elektromagnetischer Probleme)
MRVA/MVA	Minimum (Radar) Vectoring Altitude
MRT	Multi Radar Tracker
MSL	Mean sea level
MSSR	Monopulse SSR
MTD	Moving Target Detection
MTL	Minimum triggering level
MTI	Moving Target Indication
NHN	Normalhöhennull
NM (nmi)	nautical mile(s) 1NM=1.852km
OK	Oberkante
PANS	Procedures for Air Navigation Services
PO	Physical Optics (Numerische Methode)
PoD	Probability of Detection
PSR	Primary Surveillance Radar
RWY	Runway
SARP	Standard And Recommended Practice
SMA	Surveillance Minimum Altitude
SNR	Signal Noise Ratio
SSR	Secondary Surveillance Radar
STC	Sensitivity Time Control
TAR	Terminal Area (surveillance) Radar
Tilt	Anhebungswinkel des Elevationsdiagramms (PSR, SSR)
Track	Mathematisch verarbeitete, bildliche Darstellung einer Flugzeugspur auf dem Radarbild aufgrund der Radar-Einzelmessungen
UTD	Uniform Theory of Diffraction (Erweiterung der GTD; Numerische Methode zur Lösung elektromagnetischer Probleme)
VFR	Visual Flight Rules

1 Projektbeschreibung und Aufgabenstellung

1.1 Allgemeine Projektbeschreibung

In Berlin im Ortsteil Rudolfskiez (Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg) nordöstlich des ehemaligen Flughafens Tempelhof soll auf dem Grundstück zwischen Rudolfstraße, Tamara-Danz-Straße und Ehrenbergstraße im Gebiet Warschauer Brücke (WAB) ein neues Quartier entstehen (Rudolfstraße 18, **Bild 4**). Die Vorhabenträgerin ist die ATRIUM Development Group GmbH.

Die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen hat am 10.12.2025 die Teilung des Bebauungsplans V-67 in die vorhabenbezogenen Bebauungspläne V-67a VE „Rudolfstraße 17-18“ und V-67b VE „Rudolfstraße 19“ beschlossen. Dieses Gutachten betrifft somit nur den Bebauungsplan V-67a.

In Stufe 1 wurde der städtebauliche Entwurf vom Büro Henning Larsen Architects (im Gutachten verwendete Daten) als Grundlage für die weitere architektonische Ausarbeitung in Stufe 2 und das Bebauungsplanverfahren ausgewählt. Geplant ist ein bis zu 7-geschossiges Sockelgebäude mit einem ca. 168 m hohen Hochhaus (**Bild 5, Bild 6, Bild 7**).

Es entstehen mit den bestehenden und geplanten Hochpunkten (EDGE-Tower 124 m / 178m ü NHN und dem geplanten Hochhausprojekt auf dem RAW-Gelände (Reichsbahnausbesserungswerk) 100 m / 135.3 m ü NHN) entlang der Bahntrasse ein Ensemble prägnanter Bauwerke. In der Nähe befindet sich noch der STREAM Tower (97.5 m / 127.5 m ü NHN, **Bild 13, Bild 14**). Alle diese Gebäude sind deutlich höher als das Radar Tempelhof (THF, 109.7/114.6 m ü NHN, **Bild A - 4**).

Ca. 3.7 km südlich von diesem Baugebiet befindet sich der ebenfalls sehr hohe Estrel Tower (176 m / 210 m üNHN, **Bild 15**). Im weiteren Stadtgebiet von Berlin existieren bereits hohe und auch höhere Gebäude (z.B. im Bereich Alexanderplatz oder das Kongress-Center mit 176 m Höhe in der Entfernung von etwa 4.2km zum LVR THF. **Bild 17** zeigt die Lagen von weiteren Hochhäusern im 5km-Radiusbereich außerhalb des 2.5km-LVR-Schutzbereichs (**Bild A - 13**), die alle z.T. deutlich höher sind als das LVR THF.

Der Baukomplex steht prinzipiell im Strahlungsfeld der bestehenden Systeme (**Bild 1**);

- Bundeswehr: Luftverteidigungsradar Tempelhof (LVR THF)
- Deutsche Flugsicherung GmbH DFS: Radarsysteme (ASR Tegel TXL, Flughafen BER ASR Nord und Süd) und CNS-Systeme (DVOR).

und kann unzulässige Störungen hervorrufen (siehe Kapitel 1.2). Gegebenenfalls ist die Beeinträchtigung von Richtfunkstrecken zu berücksichtigen.

Relevant bei diesen Betrachtungen ist das 168m hohe Hochhaus des Bauteils C. Aufgrund des formal noch nicht endgültigen Planungsstands (Status 13.02.2026) wird dieser als Worst Case als Kubatur mit planaren metallischen Fassaden für die numerischen Berechnungen angenommen.

Allgemeine Grundlagen zu den hier behandelten Systemen und Themen sind in Kapitel 11 zu finden, ebenso in Fachartikeln und Literatur (Kapitel 12).

1.2 Aufgabenstellung und methodische Vorgehensweise

Dieses Gutachten untersucht die Auswirkungen und Effekte des Bauvorhabens auf die betroffenen Navigations- und Radaranlagen sowie der Richtfunkstrecken.

Untersuchungsgegenstand sind die Auswirkungen auf

- das LVR Tempelhof THF (PSR, MSSR)
- das PSR/MSSR der DFS am Flughafen Tegel (EDDT, TXL)
Die ILS und DVOR am Flughafen Tegel sind abgeschaltet
- die PSR/MSSR Nord und Süd der DFS am Flughafen Berlin Brandenburg (IATA-Code: BER, ICAO-Code: EDDB).
- die ILS/DVOR der DFS am Flughafen Berlin Brandenburg (EDDB, BER).
A priori kann bereits gesagt werden, dass diese Systeme aufgrund ihrer Systemeigenschaften, Lage und Toleranzspezifikationen vom Bauvorhaben nicht betroffen sind. Es werden daher hierzu keine weiteren Untersuchungen durchgeführt.
- Richtfunkstrecken im Plangebiet (**Bild 2**)

Die PSR der DFS werden nicht betrachtet, da es für die DFS gegenüber dem Sekundärradar MSSR nur eine untergeordnete Rolle in der Luftraumüberwachung (ATC) spielt.

Dieses Gutachten der NAVCOM Consult behandelt das Szenario analytisch und gegebenenfalls mit numerischen "Worst Case"-Berechnungen, um zu ermitteln, ob überhaupt bzw. inwieweit die Radare/ILS/DVOR durch die Bebauung inakzeptabel gestört werden kann. Dies geschieht entsprechend der international bewährten Vorgehensweise und mit den Methoden der NAVCOM Consult (s.a. **Bild A - 1**) nach den Regeln der Sachverständigenordnung (siehe Kapitel 0.1). Gegebenenfalls sind entstörende Maßnahmen zu definieren.

Maßnahmen müssen ggf. an geplanten Gebäuden gem. den anwendbaren Paragraphen des Luftverkehrsgesetzes 18a und 19 für die zivilen CNS-Systeme durchgeführt werden, sofern diese Bauwerke die Funktion der Flugsicherungsanlagen „stören“. Bei Maßnahmen gilt immer „so wenig wie möglich / so viel wie nötig“. Zudem muss die tatsächliche Notwendigkeit und Wirksamkeit nachgewiesen werden.

Es ist im Luftverkehrsgesetz nicht definiert, was bei den jeweiligen Radar-Systemen „Störungen“ sind. Während diese bei den Navigations- und Landesystemen gem. ICAO Annex 10 Vol. I quantitativ wohl definiert sind, ist dies bei den ATC-Radaren (ICAO Annex 10 vol. IV) so nicht der Fall. Ob bestimmte Effekte überhaupt „Störungen“ sind, hängt häufig von einer subjektiven und nicht spezifizierten Beurteilung und z.B. von der Ausnutzung der tatsächlich vorhandenen Radareigenschaften im einzelnen Radar wie auch im Radarverbund (DFS Radar-/Überwachungsdatenverarbeitungssystem PHOENIX, s. Kapitel 11.2.5 ab.

Seitens der Bundeswehr (LVR THF) gibt es nur eingeschränkt zugängliche Spezifikationen (z.B. Schutzzonen gem. „Umdruck 51“ /67/ und besonderer reduzierter Schutzbereich in Berlin, **Bild A - 13**). Es werden grundsätzliche Untersuchungen durchgeführt, die anschaulich machen welche Effekte tolerierbar sind.

Für die Richtfunkstrecken werden gegebenenfalls vereinfachte Näherungen der Fresnelzonen-theorie (**Bild A - 26**) zur Hindernisfreiheit angegeben.

Hierbei ist generell zu beachten, dass es einen völlig effektfreien Zustand nicht gibt. Es ist gutachterlich zu beurteilen, inwieweit die „Effekte“ inakzeptable „Störungen“ sind.

Es wird zunächst nur der Beitrag des Objekts zum Gesamtszenario untersucht. Wenn dieser deutlich innerhalb der gültigen Spezifikationen (ICAO) liegt und in Relation zum Bestandszenario keine relevanten Effekte zu erwarten sind, sind keine weiteren Untersuchungen notwendig.

1.3 Das Bauvorhaben

Der Baubereich im Gebiet Warschauer Brücke (WAB) zeigt **Bild 4**, ein 3D-Modell einer Fernansicht **Bild 5**. Der Baukomplex besteht nutzungsbezogen (u.a. Wohnen, Gastronomie, Einzelhandel, Kultur) aus vier Haupteinzelbauteilen (**Bild 6**, **Bild 7**).

Relevant für dieses Gutachten ist das Hochhaus Bauteil C mit einer geplanten lokalen Höhe von 168m (**Bild 9**) mit einer Grundfläche von 36.5 m x 40 m (**Bild 16**). Der Sockelbereich bis OK 6. Obergeschoss (23.4 m / 60.1 m ü NN) ist hier nicht dargestellt). Die Koordinaten des Bauteils sind in **Bild 10** und **Bild 11** dargestellt.

Charakteristisch für das Hochhaus sind die zentralen Rückversätze im Zentrum der vier Fassadenseiten und die rückspringenden Fenster.

Entsprechend der derzeitigen Planung sind als Fassadenmaterialien (**Bild 8**) Muschelkalk, Keramik und Holzelemente vorgesehen. Die Fassade ist mit Absätzen und Lisenen strukturiert. Die Verglasung kann als Isolierverglasung mit Metallschicht angenommen werden. Diese ist elektrisch ideal reflektierend. Insgesamt erzeugt die Fassade durch die Strukturierung eine Dämpfung und Streuung der Reflexion, was sich in einer Reduzierung der Reflexionsmaxima gegenüber einer ebenen Platte auswirkt, aber kaum auf die Verschattungseffekte.

Für die Untersuchungen des elektrischen Feldverhaltens (Reflexion, Streuung) werden als Worst Case planare metallische Flächen angenommen (**Bild 16**).

2 Allgemeine Systemanalysen und Grundlagen

2.1 Hinweise, Referenzen

Die Grundlagen und Beschreibungen der hier behandelten Radar-Systeme sind im Anhang in Kapitel 11 zusammengefasst, ebenso Spezifikationen und Rahmenbedingungen sowie Vorgehensweise und Methoden von NAVCOM Consult zur Bearbeitung der gegebenen Aufgabenstellung. Die dortigen Inhalte sind auch Grundlage und Bestandteil der gutachterlichen Aussagen und Ergebnisse. Es sei zu den vorliegenden Themen auch auf die Literatur und Publikationen verwiesen (Kapitel 12).

Folgende relevanten Radar-System- und Auswerteparameter werden berücksichtigt:

- dreidimensionales PSR/MSSR Strahlungsdiagramm
- Feldstärke im Raum über Boden am Beobachtungsort; Bezug Transponder-MTL (MSSR) plus Verluste

- ggf. MSSR-Monopulswinkel (Winkelfehler)

Bei allen erforderlichen numerischen Berechnungen (siehe **Bild A - 1**) ist der Erdboden (Dielektrizitätszahl $\epsilon_r=10$ und Leitfähigkeit $\sigma=0.01$ S/m) gegebenenfalls berücksichtigt.

2.2 Standortproblematik des LVR THF in Berlin, Alternativstandorte

Das LVR auf dem Flughafen Tempelhof steht funktional sehr ungünstig mitten im Stadtgebiet von Berlin – im früheren isolierten Westteil der Stadt Berlin. Das LVR-THF wurde auf dem dort bestehenden Radarturm der amerikanischen Streitkräfte nach der Wiedervereinigung aufgebaut und wird jetzt von der Bundeswehr betrieben.

Mit der lokalen LVR-THF-Höhe im Bereich von nur 64m (=109müNN; Bodenhöhe ca. 45m, **Bild A - 5**) wird die Bauinfrastruktur in Bezug auf Hochbauten im Zentrum der Hauptstadt Berlin grundsätzlich stark behindert. Alternativen sollten für diesen LVR-Standort überlegt werden.

Um die Stadtentwicklung nicht zu behindern, wird gutachterlich angemerkt, dieses LVR auch aus radartechnischen Gründen zu verlagern. Denn je höher ein LVR aufgebaut wird, desto früher d.h. weiter entfernt kann das LVR tief-fliegende Flugzeuge und Flugkörper wie z.B. ARM-Raketen oder Drohnen entdecken. Die Erdkrümmung (**Tabelle 6**) spielt hier eine wesentliche Rolle. **Tabelle 7** zeigt, dass für das LVR mit 64m Höhe ein 100m hoch fliegendes Objekt erst entdeckt werden kann, wenn es bereits 74 km nah ist.

Wenn man im Stadtgebiet bleiben möchte, so bieten sich z.B. folgende 4 Alternativen an:

1. Der vom jetzigen Standort ca. 11km weiter nordwestlich von LVR THF gelegene Teufelsberg (Grunewald) bietet sich geradezu an. Auf dem Teufelsberg war bereits vor der Wiedervereinigung die Aufklärungs- und Abhorchstation der Alliierten bzw. der US-Amerikaner. Der Teufelsberg hat eine Bodenhöhe von ca. 112 m üNN, also ca. 67 m höher als der jetzige Standort Tempelhof. Mit einem z.B. 40 m bis 50 m hohem Radarturm wäre man bereits in einer vorteilhaften Höhe im Bereich 155 m üNN, um die problematische Bausituation in Berlin nachhaltig zu entschärfen. Ein weiterer Vorteil dieses Standortes wäre die noch vorhandene, aber im Zerfall befindliche Basisinfrastruktur durch die frühere militärische (amerikanisch/britische) Nutzung.
2. Großer Müggelberg in Köpenick (116müNN; 71m höher als der jetzige Standort; 18km südöstlich vom LVR THF)
3. Arkenberge in Pankow (120.7müNN; ca.75m höher als der jetzige Standort; ca. 17km nördlich vom LVR THF)
4. Ahrensfelder Berge in Marzahn-Hellersdorf (114.5 m üNN; ca.70m höher als der jetzige Standort; ca. 14km nordöstlich vom LVR THF)

Es sollte grundsätzlich auch bautechnisch kein Hindernis darstellen, wenn diese Erhebungen teilweise Schuttberge aus dem Zweiten Weltkrieg sind, wie man z.B. an der zwischenzeitigen Nutzung des Teufelsbergs sehen kann.

2.3 Qualitative Analyse der Radar-Reflexionen und Abschattung

Die Reflexionseffekte (z.B. Falschziele, Rückreflexionen als „Clutter“) eines Gebäudes auf ein Radar werden wesentlich durch die Geometrien und Größen zueinander bestimmt. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Entfernung zwischen dem Radar und den Streuobjekten.

Grundsätzlich gelten diese Überlegungen für das militärische Radar und die zivilen Radare. In optischer Betrachtungsweise ergibt sich:

Fall 1: Radarantenne höher als das Gebäude inkl. Erdkrümmung

- Unterfall 1: Bodenreflexion voll wirksam: volle Anstrahlung eingehend, Überlagerung der direkten Anstrahlung mit der Bodenreflexion
Bodenreflexion ausgehend voll wirksam: volle Reflexion
Maximale Reflexion
- Unterfall 2: Eingehende Bodenreflexion unterdrückt durch Bebauung und/oder Bewuchs:
Max. Anstrahlung und Reflexion -6dB
Ausgehende Bodenreflexion ebenfalls unterdrückt: keine relevante Gesamt-Reflexion (<<-12dB)

Fall 2: Radarantenne niedriger als das Gebäude inkl. Erdkrümmung

- Unterfall 1: Bodenreflexion eingehend voll wirksam: volle Reflexion und direkte Anstrahlung
Bodenreflexion ausgehend voll wirksam: maximale Reflexion
- Unterfall 2: Eingehende Bodenreflexion unterdrückt: Direkte Reflexion durch höheren Gebäudeanteil; unterer Gebäudeteil -6dB; 3D Simulation je nach Szenario
Ausgehende Bodenreflexion unterdrückt -6dB: Direkte Reflexion durch höheren Gebäudeanteil verbleibt: 3D-Simulation je nach Szenario

Für das vorliegenden Bauvorhabens trifft für das hier relevante Hochhaus (**Bild 12**) „Fall 2“ für das LVR THF zu (z.B. **Bild A - 5**), ebenso für die ASR TXL und Nord und Süd am Flughafen BER.

Abschattungen werden maßgeblich durch die Silhouette eines Objektes bestimmt Form und Material haben hierbei keinen relevanten Einfluss (Kapitel 11.1.8). Das bedeutet, dass auch ideal absorbierende Fassaden praktisch keinen Einfluss auf die Verschattung haben.

3 Theoretische und numerische Analyse LVR Tempelhof

3.1 Allgemeines

Das Radar-Sytem ist das RRP-117 mit einer kollozierten LVA MSSR-Antenne (**Bild A - 4**). Grundlagen hierzu und für die Beurteilung sind den folgenden Kapiteln zu entnehmen:

- 11.1.1 Geräte- und Systemeigenschaften
- 11.1.2 Strahlungsdiagramme
- 11.1.3 Tilt-Winkel
- 11.1.4 Spezifikationen, Schutzbereich

- 11.1.5 Redundanz, Radarverbund
- 11.1.6 Reichweitendefinition
- 11.1.7 Abschattung

Die Strahlkeulen der LVR-Antenne (Kapitel 11.1.2) wie sie sich aus der Apertur der Antennen (PSR, MSSR) ergeben sind Quelle der im Folgenden beschriebenen Berechnungen. Der Tilt-Winkel 1.35° (Kapitel 11.1.3) entspricht der Halbwertsbreite des Elevationsdiagramms. Eine Anhebung des Elevationsdiagramms bewirkt eine Reduzierung der Bodeneffekte. Die Berechnungen werden mit flachem Boden durchgeführt, wobei die lokalen Höhendifferenzen (Radar-Objekt) berücksichtigt werden (s.a. **Tabelle 4**).

Mit dem LVR THF wird der Luftraum bis zu einer theoretischen Entfernung von 256 NM (463 km) um dieses und das jeweilige Radar herum überwacht. Diese Grenzreichweite wird jedoch wegen der Erdkrümmung und der operativen L-Band-Frequenzen nur bei großen Höhen (>10km) erreicht.

Es wird ein „Luftlagebild“ für den überwachten Luftraum für alle erfassbaren Flugobjekte erstellt, der das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland und weit darüber hinaus umfasst. Dieses Luftlagebild wird auf der Basis der zusammengeführten Daten aller 18 Luftverteidigungsradare (**Bild A - 13, Bild A - 15**) erstellt. Es ist unmittelbar erkennbar, dass die LVR wegen der großen Reichweiten besonders für größere Höhen eine hochgradige Redundanz darstellen, die einen Ausgleich potentieller Verschattungen durch Gebäude oder auch Falsch- oder Mehrfachziele im Umfeld von Berlin ganz sicher ermöglichen.

Die potentielle Verschattungszone für das LVR THF geht in Richtung NO (**Bild A - 13**) in Polnisches Gebiet. Die beiden LVR Cölpin und Döbern (**Bild A - 13**) liegen nur in einer Entfernung von etwa 112 km bzw. 126 km zum LVR THF (4/3 Erdkrümmung im Bereich 800 m), wodurch im Bereich Berlin auch bei relativ niedrigeren Höhen bereits mindestens eine Dreifach-Redundanz gegeben ist, für größere Höhen mindestens eine Sechsfach-Redundanz. Die LVR-Radare sind zu einem Verbundnetzwerk zur Erstellung des 3D-Lagebilds durch Datenfusion „zusammengeschaltet“. Eventuelle Verringerungen der Grenz-Reichweiten durch Restabschattungen in großer Entfernung hinter den höheren Gebäuden bei den Maximalreichweiten werden dadurch hoch-wirksam kompensiert. Hierbei ist zu beachten, dass auch Radardaten der DFS mit eingebunden werden.

3.2 Szenario, topographische Analysen

Das **Bild 18** und **Bild 19** zeigen eine 3D-Ansicht des Szenarios. Hier ist zusätzlich die 3dB-Breite des Primärradars eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die 3dB-Breite des PSR (255 m) sehr viel größer ist, als die betroffene Baufläche. Die nahen Hochhäuser (EDGE, STREAM, RAW) werden hiervon nicht erfasst.

Das Radar ist niedriger als das Hochhaus. Dies gilt auch für das MSSR (**Bild 32, Bild 33**). Die 4/3-Erdkrümmung im Abstand von 4.3 km beträgt nur 1.1 m und ist vernachlässigbar.

Das Bauvorhaben liegt außerhalb des speziellen Schutzbereichs für das LVR THF mit dem Radius von 2500m (allgemein 5000m) für LVR-Radare der Bundeswehr. (**Bild A - 12, Bild A - 13**).

3.3 Numerische Berechnungen

3.3.1 Radiale Abschattung

Die folgenden Bilder zeigen den Radialverlauf der Feldstärken mit und ohne das Hochhaus sowie mit und ohne Boden (Freiraum) bei verschiedenen Tilt-Winkeln (siehe hierzu auch Kapitel 11.1.8). Die Freiraumberechnungen dienen nur als Referenz zur Verdeutlichung der Bodeneffekte. Die Entfernung des Hochhauses zum LVR ist eingezeichnet:

Summarisch:

- **Bild 20:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt $0^\circ/1.35^\circ$, Elevation $0^\circ/1.35^\circ$

Extrahierte Einzelergebnisse:

- **Bild 21:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 0° , Elevation 0°
- **Bild 22:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35° , Elevation 0°
- **Bild 23:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35° , Elevation 1.35°

Das elektrische Feld erholt sich mit der Entfernung nicht vollständig. Es verbleibt auch ein Rest der Abschattung in sehr großer Entfernung im Bereich bis 10 dB als „Worst Case“ zum ungestörten Fall bei Tilt-Winkel 0° (=Radarhöhe) und zum Boden parallelem Verlauf in Höhe des Radars. Es ergeben sich formale „Über-/Unterreichweiten“ bezogen auf das ideale Freiraumdiagramm.

Hier muss man aber das reale Bodenverhalten mit der starken Aufzipfelung im Nahbereich einbeziehen. Hierdurch ergeben sich Feldstärkereduzierungen mit sehr viel größeren relativen Werten, insbesondere wenn man den Bezug zum nicht realistischen Freiraumverhalten betrachtet. Ein formaler Bezug auf das ideale Freiraumverhalten ist daher technisch nicht operationell sinnvoll.

Der größere Tilt-Winkel 1.35° bei dem die 3dB-Breite des Elevationsdiagramms den Boden schneidet bewirkt eine geringere Aufzipfelung, da der Boden weniger angestrahlt wird. Hierdurch gibt es eine geringere Oszillation bezüglich des Freiraums. Es ergeben sich Effekte über dem Boden bis etwa Turmhöhe. Die Turmhöhe ist ca. 1.26° höher als das Radar

Zudem wird zur Definition der Grenzreichweite ein formaler Bezug auf die Detektierbarkeit einer Fläche von 1m^2 (RCS = 23.7dB bei 1300MHz , Radarquerschnitt) vorgenommen. Eine Fläche von 1.8m^2 erzeugt schon ein um 5dB größeres RCS. Andererseits können kleinere äquivalente Flächen als 1m^2 erst bei sehr viel kürzeren Entfernungen als diese formale Grenzreichweite entdeckt werden ($0.5\text{m}^2 \rightarrow -6\text{dB}$).

3.3.2 Abschattung in der Elevation

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, ergeben sich starke Aufzipfelungen des Elevationsdiagramms über dem (glatten) Erdboden mit den angegebenen Materialparametern, was in den folgenden Bildern deutlich zu erkennen ist. Die Feldstärken sind relativ zum ungestörten Freiraum

in 35 km (Interessensgebietsgrenze BW, **Bild A - 12**) und 70 km Entfernung mit Elevationsbezug zum Boden dargestellt. Die Anstrahlung erfolgt auf die Mitte des Gebäudes (Azimut 0°)

- **Bild 24:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°
- **Bild 25:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°
- **Bild 26:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°
- **Bild 27:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°

Über die Entfernung ändern sich im Wesentlichen nur die absoluten Feldstärken, die relativen Feldstärken bleiben hier annähernd gleich. Auch der Einfluss des angehobenen Tilt-Winkels mit effektreduzierender Wirkung des Bodens ist deutlich zu erkennen. Es ergeben sich formale „Über-/Unterreichweiten“ bezogen auf das ideale Freiraumdiagramm. Der Abschattungsbereich in der Elevation ist deutlich zu erkennen. Bezüglich Abschattung hat der Tiltwinkel keine großen Auswirkungen, da die Strahlkeule des Radars das Objekt noch voll erfasst.

Ein interpretatorischer Bezug nur auf das Freiraumverhalten, das nur einen angenäherten Mittelwert darstellt, ist daher operationell fragwürdig.

3.3.3 Azimutale Abschattung

In den folgenden Bildern ist das azimutale Abschattungsverhalten dargestellt (siehe hierzu auch Kapitel 11.1.8). Die Feldstärken sind relativ zum ungestörten Freiraum in 35 km und 70 km Entfernung dargestellt. Die Anstrahlung erfolgt auf die Mitte des Hochhauses (Azimut rel. 0°), der winkelmäßig eingetragen ist. Die Winkelbreite des Hochhausturms ist ebenfalls dargestellt.

- **Bild 28:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°
- **Bild 29:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°
- **Bild 30:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°
- **Bild 31:** LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°

Beim azimutalen Verhalten der Abschattung zeigen sich die bekannten W/V-förmigen Verläufe im nahen azimutalen Winkelbereich um die Anstrahlrichtung (azimutaler Abschattungsbereich). Es ergeben sich azimutal „Über-/Unterreichweiten“ in Abhängigkeit von der Höhe in Bezug auf das ungestörte Azimutdiagramm entsprechend wie bei der Elevation.

Die 3dB-Breite des Azimutdiagramms ist sehr viel größer als die Effektbreite, was die operationelle Wirksamkeit der Effekte reduziert. Der abschattende Effekt des Turms liegt im Wesentlichen in der Winkelbreite des Turms.

Das relative azimutale Verhalten ist im Freiraum und über Boden gleich. Die Absolutwerte ändern sich aber mit der Höhe und der Entfernung entsprechend den Elevationsdiagrammen.

3.3.4 Fazit Abschattung

Nur wenn sich das echogebende Radar-Ziel auf einem Radialkurs befindet, der genau auf der Radar-Sichtlinie ZIEL - RADAR liegt, wird die Reichweitenminderung des Echos voll wirksam. Zu berücksichtigen ist aber, dass die Reichweitenminderung sich nur in der Radar-Richtung zum verschattenden Objekt und bei niedrigen Höhen ergibt. Bei Flügen/Objekten, die den Verschattungssektor queren, wird die eventuelle Ortungslücke durch das Trackingverfahren geschlossen. Nur bei exakten Radialflügen im Verschattungssektor kann es im Extremfall zu leichten Beeinträchtigungen kommen, die durch redundante benachbarte Radare aufgefangen werden.

Für die Abschattungsrechnungen wurde ein voll-metallisiertes Kubaturmodell verwendet. Andere Materialien – ja selbst hochwirksames Absorbermaterial – ändern bei gegebener Höhe des Objekts nichts Grundsätzliches an der „Abschattung“.

Relevante Auswirkungen durch das Hochhaus auf das Luftlagebild sind insbesondere mit Einbeziehung der LVR-Redundanz (Kapitel 11.1.5) nicht zu erwarten.

3.4 Sekundärradar/IFF (MSSR 2000)

Grundlagen zum MSSR sind in Kapitel 11.2 dargestellt. In **Bild 32** und **Bild 33** ist zu erkennen, dass die 3dB-Breite winkelmäßig viel breiter ist als die projizierte Turmbreite des Hochhauses. **Bild 34** zeigt die prinzipiellen Reflexionsrichtungen der Fassaden und die Line der Orte möglicher Spiegelziele. Ein Spiegelziel befindet sich immer in der entsprechenden Wegentfernung mit der Reflexion in der Anstrahlrichtung **hinter** dem reflektierenden Objekt.

Das MSSR (**Bild A - 4**) ist hier nur wirksam bei Flugobjekten, die einen SSR-Transponder an Bord haben und diesen ordnungsgemäß nutzen. Bei anderen Flugobjekten können diese im 3D-Raum nur mit dem 3D-Primärradar des LVR detektiert werden. Die IFF-Funktion kann dann für diese Flugobjekte nicht direkt genutzt werden.

Ein Spiegelziel befindet sich immer in der entsprechenden (größeren) Wegentfernung mit der Reflexion in der Anstrahlrichtung **hinter** dem reflektierenden Objekt.

Bei den Berechnungen wird eine Senderleistung von 1.5kW zugrunde gelegt. Dies ergibt mit den vorhandenen internen Systemverlusten eine Sendeleistung vom 400W.

Bild A - 8 zeigt das Strahlungsdiagramm der MSSR/IFF-Antenne (**Bild A - 4**). Die Kosekans-Elevationscharakteristik schneidet den Boden beim -6dB-Punkt des Diagramms. Dies entspricht bei vergleichbarem Aufbau dem Diagramm der zivilen MSSR-Antenne (**Bild A - 11**). Die Funktionsweise ist gleich. Dies betrifft auch die radarinternen Entstörmaßnahmen.

Die folgenden Bilder zeigen die Streufeldstärken der Reflexion in verschiedenen Höhen im effektrelevantesten Nahbereich bis 40km. Hierbei wird für das Hochhaus (**Bild 16**) die 3D-mäßige Gestaltung der Fassaden als Worst-Case Berechnung mit einer ebenen metallischen Fassade berücksichtigt.

- **Bild 35:** LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 2000ft

- **Bild 36:** LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft
- **Bild 37:** LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 5000ft

Es ist zu erkennen, dass der Turm entsprechend der Fassadenausrichtungen durch ihre räumliche Anordnung in verschiedene Richtungen reflektiert.

Die formalen Überschreitungen des MTL sind räumlich klein. Es ist aber unwahrscheinlich, dass es zu relevanten Spiegelzielen oder gar Falschspuren kommt, da dies durch die hochwirksamen radarinternen SSR Entstöralgorithmien verhindert wird (siehe hierzu auch Kapitel 11.2.3). Zudem wirken die Redundanz im MILRADNET und die Priorität des 3D-PSR.

Durch die reale Strukturierung der Fassaden reduzieren sich die maximalen Feldstärken durch Diffusion gegenüber dem Worst Case, was die Entstehung von Spiegelzielen noch weiter unwahrscheinlicher macht.

3.5 Zusammenfassendes Ergebnis und Konsequenzen für das LVR THF

Aufgrund der radarsystemtechnischen und physikalischen Zusammenhänge sind Spiegelziele (**Bild A - 2**) bei einem Primärradar wie dem RRP-117 extrem unwahrscheinlich, ebenso für das MSSR/IFF.

Die gutachterlichen Untersuchungen haben ergeben, dass eine Störung des operationellen Betriebs durch das geplante Hochhaus auch angesichts der Vielzahl von vergleichbaren Hochhäusern in ähnlicher Entfernung im Berliner Szenario mit dem reduzierten Schutzbereich von 2.5km sehr unwahrscheinlich ist.

4 Theoretische und numerische Analyse zivile ATC-Radare

4.1 Allgemeines

Die physikalischen und operationellen Grundlagen zu den zivilen ATC-Radaren der DFS sind in Kapitel 11.2 zu finden.

4.2 Flugbetrieb; STANLY-Track

Der reale Flugbetrieb im Bereich des Flughafens Berlin Brandenburg BER ist in **Bild 38** und **Bild 39** mit den ausgewerteten SSR-Daten (STANLY TRACK) im gegebenen Zeitraum dargestellt. Die Hauptreflexionsrichtungen bezüglich des Hochhauses und des MSSR TXL und MSSR-N sind ebenfalls eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Flugzeuge im Reflexionskreuzungsbereich in der Regel deutlich höher sind als 3000 ft. Beim Abflug erreichen die Flugzeuge sehr schnell größere Höhen. In allen Bereichen gilt die MVA (**Bild A - 22**)

Die folgenden in der AIP veröffentlichten Bilder zeigen Beispiele für vorgeschriebene Anflugrouten.

- **Bild A - 20:** AD 2 EDDB 3-1-3 2025-10-30, RWY 06L/06R, Standard Arrival Chart
- **Bild A - 21:** AD 2 EDDB 5-7-22 2025-10-30, RWY 24R, Standard Departure Chart Instrument

Bis auf die direkten Anflugrichtungen (Sinkflug zur Landung) liegen die Mindesthöhen bei 4000ft und 5000ft in größerer Entfernung.

4.3 Numerische Simulationen MSSR BER Nord

4.3.1 Szenario, topographische Analysen

Dieses Radar besteht nur aus einem 3D-MSSR (s.a. **Bild A - 9**) in einer absoluten Höhe von 106.6 m ü NHN (62.4m lokal) in einer Entfernung von 14.15 km zum Turm Rudolfstraße 18. Dieser Abstand liegt innerhalb des maximalen Prüfbereichs für ein ASR gemäß ICAO EUR Doc015 (15 km; Appendix 3, Table 4). Die 4/3-Erdkrümmung von ca. 11.8m ist vernachlässigbar.

Die folgenden Bilder zeigen 3D-Ansichten des Szenarios:

- **Bild 40:** BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus, Blick auf das Baugebiet
- **Bild 41:** BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus; Nahbereich
- **Bild 42:** BER MSSR Nord, Anstrahlungs und Reflexionsszenario

Es ist zu erkennen, dass die 3dB-Breite des MSSR-Diagramms (581 m) sehr viel breiter ist als die Fassaden des Hochhauses. Die benachbarten Hochhäuser werden miterfasst. Der Hochhausturm ist höher als das Radar.

4.3.2 Streufeldstärken

Es wird in diesem Gutachten unter Verwendung von Angaben der DFS von 570W eingestellter Senderleistung für das MSSR ausgegangen. Mit den konservativ angenommenen Gesamt-Verlusten ergibt sich eine effektive Puls-Sendeleistung (Strahlungsleistung) für das MSSR von 140W.

Die folgenden Bilder zeigen Beispiele für Feldstärkeberechnungen (s.a. Kapitel 11.6)

- **Bild 43:** BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft
- **Bild 44:** BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft
- **Bild 45:** BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft

Bereits für niedrige Höhen der MVA (**Bild A - 22**) ist die Entstehung von angezeigten Spiegelzielen höchst unwahrscheinlich, da die Feldstärken unterhalb des MTL liegen und/oder die Abfragesequenz in Zusammenhang mit der Flugzeuggeschwindigkeit keine Flugspur erzeugt. Zudem sind hier auch die beschriebenen Entstörmaßnahmen (Kapitel 11.2.3, 11.2.5) voll wirksam.

Durch reale Strukturierung der Fassaden reduzieren sich die maximalen Feldstärken durch Diffusion gegenüber dem „Worst Case“, was die Entstehung von Spiegelzielen noch weiter unwahrscheinlicher macht.

4.4 Analysen MSSR BER Süd

Dieses Radar besteht aus einem kollozierten S-Band 2D PSR und einem 3D-MSSR (**Bild A - 9**) in einer Entfernung von 18.1 km zum Turm Rudolfstraße 18 (4/3-Erdkrümmung 19.3 m). Dieser Abstand ist deutlich größer als der maximale Prüfbereich für ein ASR gemäß ICAO EUR Doc015 (15 km; Appendix 3, Table 4). Das MSSR hat eine absolute Höhe von 78.4 m ü NHN (34.7m lokal).

Das Szenario ist vergleichbar mit dem des ASR-Nord. Hinzukommt, dass das Radar 4km weiter vom Turm entfernt ist. Dieses Szenario ist hierdurch unkritischer, als für das ASR-Nord. Insofern sind auch hier keine Spiegelziele zu erwarten. Numerische Berechnungen sind nicht notwendig.

4.5 Numerische Simulationen MSSR TXL Tegel

4.5.1 Szenario, topographische Analysen

Das ASR TXL am stillgelegten Flughafen Tegel bestehend aus einem 2D-PSR und einem 3D-MSSR wird nach aktueller Auskunft der DFS noch bis mindestens 2030 weiterbetrieben.

Dieses ATC-Radar steht in einer Entfernung von etwa 13.3 km zum Hochhausturm Rudolfstraße 18. Das MSSR hat eine absolute Höhe von 78.5 m ü NHN (44.8m lokal). Die 4/3-Erdkrümmung von ca. 10.4 m ist vernachlässigbar.

Die folgenden Bilder zeigen 3D-Ansichten des Szenarios:

- **Bild 46:** MSSR TXL, Anstrahlungs- und Reflexionsszenario
- **Bild 47:** MSSR TXL, 3dB-Breite in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet
- **Bild 48:** MSSR TXL, Blick auf das Hochhaus, effektive Anstrahlbreite (Gebäudeecken), MSSR 3dB-Breite .

Es ist zu erkennen, dass die 3dB-Breite des MSSR-Diagramms (548 m) sehr viel breiter ist als die projizierten Fassaden des Hochhauses. Der Hochhausturm ist höher als das Radar. Im Anstrahlbereich (**Bild 48**) stehen Gebäude, die auch höher als das Radar sind. Insbesondere der EDGE-Turm verdeckt das Hochhaus weitgehend.

4.5.2 Streufeldstärken

Es wird in diesem Gutachten unter Verwendung von Angaben der DFS von 570W eingestellter Senderleistung für das MSSR ausgegangen. Mit den konservativ angenommenen Gesamtverlusten ergibt sich eine effektive Puls-Sendeleistung (Strahlungsleistung) für das MSSR von 140W.

Die folgenden Bilder zeigen Beispiele für Feldstärkeberechnungen des freistehenden Gebäudes (s.a. Kapitel 11.6)

- **Bild 49:** MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft
- **Bild 50:** MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft
- **Bild 51:** MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft

Es ergeben sich aufgrund der Fassadenausrichtungen zwei Hauptreflexionsrichtungen. Die Streufeldstärken liegen auch in niedrigen Höhen deutlich unterhalb des MTL, insbesondere wenn man noch die abschattend wirkenden Gebäude berücksichtigt.

4.6 Zusammenfassendes Ergebniss und Konsequenzen für die Radare der DFS

Die gutachterlichen Untersuchungen haben ergeben, dass eine Störung des operationellen Betriebs durch Entstehung von Spiegelzielen und damit von Flugspuren durch das Hochhaus Rudolfstraße 18 in der Entfernung von >13km im Berliner Szenario höchst unwahrscheinlich ist. Zusätzliche entstörende Maßnahmen sind nicht notwendig.

4.7 MSSR; Monopuls-Winkelfehler (zivil, militärisch), Höhe

Die MSSR-Sekundärradare ermitteln neben der Entfernung des mit einem Transponder ausgestatteten Flugzeugs auch den Azimutwinkel mittels der Signalverarbeitung des Summen- und Differenz-Empfangsdiagramms (**Bild A - 7**).

Die mit dem Baro gemessene Höhe des Flugzeugs wird mit dem rückgesandten Datentelegramm übertragen und kann inhaltsmäßig durch Mehrwegeausbreitung (Multipath) nicht beeinflusst werden. Dies gilt für die zivilen und militärischen MSSR.

Für das militärische LVR-THF hat das 3D-PSR Priorität, so dass ein potentieller Winkelfehler für das MSSR/IFF praktisch irrelevant ist und nicht weiter untersucht wird.

Für die zivilen MSSR der DFS stehen die MSSR in Mindestentfernungen von etwa 13km zum Atrium-Hochhaus. Im deutlich gravierenderen Hochhausszenario im Bereich des Flughafens Frankfurt Main (**Bild A - 23**) treten keine operationell relevanten Monopulswinkelfehler (azimutale Lokalisierung des Flugzeugs mit Transponder) auf. Analog zu diesem Szenario ist im Berliner Szenario das Entstehen von relevanten Monopulswinkelfehlern sehr unwahrscheinlich, die deshalb auch weiter nicht untersucht werden.

5 Richtfunk und Funkmesstationen der BNA

5.1 Allgemeine Beschreibung; Vorgehensweise

Durch die Umsetzung des Bebauungsplans V-67 mit dem 168 m hohen Hochhaus können Richtfunkverbindungen betroffen und gestört sein.

Bei der Planung von Hochhäusern ist zu überprüfen, ob **existierende** Richtfunkstrecken über das Baugebiet des Bebauungsplans V-67 (**Bild 3**) führen und diese gegebenenfalls negative inakzeptable Effekte auf diese Richtfunkstrecken haben können.

Hierfür muss zunächst die zuständige Bundesnetzagentur (BNA) über das „Formular Funkbetreiber Auskunft“ (**Bild A - 28**) um Auskunft über evtl. betroffene Richtfunkbetreiber angeschrieben werden.

Die BNA antwortete mit der Mail bzw. dem Schreiben v. 18.12.25 (siehe **Tabelle 1**). Die von der BNA als „derzeit nicht verfügbar“ gekennzeichneten Email-Adressen wurden hilfsweise über das Internet beschafft.

Die von der BNA gelisteten 7 Richtfunkbetreiber wurden von NAVCOM Consult mit der Mail v. 19.12.25 mit 2 Anlagen angeschrieben. – siehe hiernach.

Es wurde in Anlage 1 (**Bild A - 29**, s.a. **Bild 2**) der Prüfbereich zur Abfrage der Betroffenheit definiert. In Anlage 2 wurden für den Fall der Betroffenheit technische Parameter definiert, mit deren Hilfe ggf. eine gutachterliche Untersuchung erarbeitet werden soll.

Es wurde ferner eine Frist bis zum 09.01.2026 gesetzt, bis zu der die angeschriebene Organisation eine potentielle (Nicht-)Betroffenheit erklären sollte.

Es wurde in der Abfrage-Mail v. 19.12.25 auch definiert, dass NAVCOM Consult eine Nicht-Betroffenheit der jeweiligen angefragten Organisation annehmen würde, wenn keine inhaltliche Erklärung der Betroffenheit bis zum Fristsetzungstermin erhalten würde.

Tabelle 2 zeigt in Spalte 3, dass nur 3 der 7 Betreiber durch eine E-Mail mit der Erklärung der Nicht-Betroffenheit geantwortet haben.

Für die restlichen 4 von 7 Betreibern wurde aufgrund der Fristsetzung bis zum 09.01.2026 angenommen, dass diese Betreiber nicht betroffen sind.

Trotzdem wurden mit der Mail v. 12.01.26 diese 4 Betreiber nochmals angeschrieben mit dem Hinweis auf die geschlossene und angenommene Nicht-Betroffenheit.

Eingangsnummer:	0783201
Plangebiet:	WAB BV Rudolfstraße 17, 18, Ehrenbergstraße 15 Berlin

Betreiber Richtfunk:

Betreiber	Straße	Hausnr.	PLZ	Ort	E-Mail	
AIRDATA AG	Friedrich-List-Straße	40	70771	Leinfelden-Echterdingen	derzeit nicht verfügbar	A
Axel Springer SE	Axel-Springer-Straße	65	10969	Berlin	derzeit nicht verfügbar	B
BroadNet Deutschland GmbH	Rudi-Conin-Straße	5a	50829	Köln	DL-FREQUENZZUT EILUNGEN@BROADNET.DE	C
MDI Limbach Berlin GmbH	Aroser Allee	84	13407	Berlin	derzeit nicht verfügbar	D
Telefónica Germany GmbH & Co. OHG	Georg-Brauchle-Ring	50	80992	München	o2-MW-BlmSchG@telefonica.com	E
Vodafone GmbH	Ferdinand-Braun-Platz	1	40549	Düsseldorf	Richtfunk. Auskunft@Vodafone.com	F
WBM Wohnungsbaugesellschaft Berlin-Mitte mit beschränkter Haftung	Dircksenstraße	38	10178	Berlin	derzeit nicht verfügbar	G

Tabelle 1: Liste von potentiell betroffenen Richtfunkbetreibern, Funkbetreiberauskunft der Bundesnetzagentur BNA v. 18.12.2025

Falls Simulationen der potentiellen Beeinflussung von Richtfunkstrecken notwendig sein sollten, erfolgen diese in der angebotenen Methodik mittels 3 D-Modellierung der Objekte und 3D-Simulation der Feldbeeinflussung unter Berücksichtigung der tatsächlich installierten Antennen und nicht nur über simple Fresnelzonnennäherungen und dem Abstand der Objekte von der geometrischen Verbindungslinie der jeweiligen Richtfunkstrecke. Wegen des 3D-Charakters des „Übertragungskanal“ (als Näherung räumliches Ellipsoid der ersten Fresnelzone) kann nicht nur der Turm sondern es können auch die niedrigeren Gebäude im Plangebiet zu Problemen mit den Richtfunkstrecken wegen zu kleiner vertikaler Abstände zur geometrischen Richtfunkstrecke führen.

Typisch führt die Näherungstheorie der Fresnelzonen zu größeren Restriktionen als die 3D-Feldberechnung, da z.B. die tatsächlichen wichtigen Richt-Antennen auf beiden Seiten der Punkt-zu-Punkt-Verbindung wie auch die Streueigenschaften der Objekte nicht berücksichtigt werden. Typisch sind die Richtfunkantennen aber Parabolantennen mit hoher Richtwirkung bzw. hoher Bündelung, die gegebenenfalls Gebäude horizontal oder vertikal hinreichend ausblenden können.

Es wurden die in **Tabelle 2** per E-Mail abgefragten Informationen erhalten. Hierbei wurden den Betreibern Antwortfristen gesetzt. Wurde bis zu diesem Zeitpunkt keine Antwort erhalten, wird angenommen, dass der Betreiber nicht betroffen ist.

Org.	Erste Abfrage/ Email	Antwort	Betroffen?	2. Info/Mail E2	Reaktion am
A	19.12.2025 E1	22.12.25	→ nein	---	---
B	19.12.2025 E1	keine	→ nein	12.01.2026	12.01.2026
C	19.12.2025 E1	06.01.26.	→ nein	---	---
D	19.12.2025 E1	keine	→ nein	12.01.2026	12.01.2026
E	19.12.2025 E1	keine	→ nein	12.01.2026	14.01.2026.
F	19.12.2025 E1	12.01.26	→ nein	---	---
G	19.12.2025 E1	keine	→ nein	12.01.2026	12.01.2026

Erläuterungen:

E1: Email v. 19.12.2025

E2: Email v. 12.01.2026

→ nein : Aufgrund der Email E1 und Fristsetzung wird keine „Betroffenheit“ angenommen.

Tabelle 2: Tabellarische Ergebnisse der Abfragen

5.2 Funkmessstationen der BNA

In dem Schreiben der BNA v. 18.12.2025 wurde seitens der BNA selbst erklärt, dass keine Funkmessstationen betroffen sind.

Es sind deshalb keine diesbezüglichen Untersuchungen notwendig.

5.3 Email E1 v. 19.12.2025

19.12.2025

Betr.: Anfrage nach einer potentiell betroffenen Richtfunkstrecke in Berlin

Projekt: Neubau des Atrium-Baukomplexes in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg
(Plangebiet: Rudolphstr. 17/18; Ehrenbergstr. 15)

Sehr geehrte Damen/Herren,

die Firma NAVCOM Consult ist von der Fa. KVL / Realace beauftragt, ein Gutachten hinsichtlich potentieller Störungen für CNS-Systeme und für Richtfunkverbindungen durch den Neubau des Atrium-Baukomplexes in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg zu erarbeiten.

Hierfür muss die Existenz solcher ggf. betroffener RiFu-Verbindungen bekannt sein und ggf. dann technische Einzelheiten bekannt sein.

Die Bundesnetzagentur hat mittels der Funkbetreiberauskunft durch die Fa. Realace mit Schreiben vom 18.12.2025 (Nr. 0783201) die (Email-)Adressen ggf. betroffener Richtfunkbetreiber mitgeteilt mit der Maßgabe, diese RiFu-Betreiber für Details direkt anzusprechen.

Sie erhalten hiermit in der Anlage:

1. Die Koordinaten des Prüfbereichs zur Prüfung einer potentiellen Betroffenheit.
2. Falls betroffen gem. 1 : Eine Liste mit technischen Fragen als Basis für das technische Gutachten.

Sie werden hiermit gebeten, die obigen Punkte innerhalb von 2 Wochen spätestens aber bis zum 09.01.2026 zu beantworten. Erhält der Gutachter innerhalb dieser Frist keine Antwort, wird im Gutachten für die Genehmigungsbehörden angenommen, dass die angeschriebene Organisation hinsichtlich Ihrer Richtfunkverbindungen durch das Bauvorhaben in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg nicht betroffen ist.

Sie werden weiter gebeten, den Empfang dieser Anfrage kurz per Rück-Email zu bestätigen.

Vielen Dank - Mit freundlichen Grüßen

Dr.-Ing. Gerhard Greving
Dipl.-Ing. Wolf-Dieter Biermann
NAVCOM Consult
Ludwigsburgerstr. 23
D-71711 Steinheim adM
Tel.: 07144 862560
navcom.consult@t-online.de
<http://www.navcom.de>

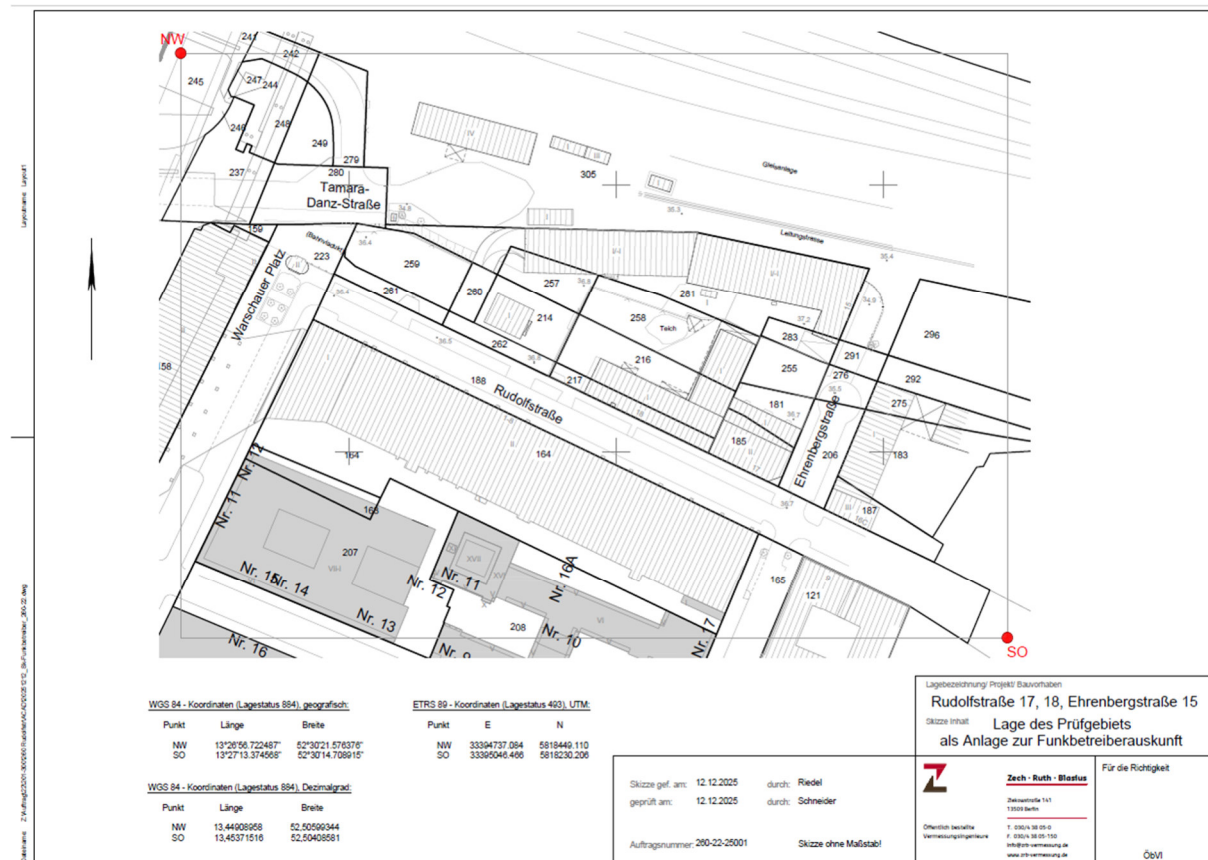
Anlagen

Zwei Anlagen zur Email E1 v. 19.12.2025

Dr.-Ing. Gerhard Greving, NAVCOM Consult
Ludwigsburgerstr. 23, 71711 Steinheim;
Tel.: 07144 862560

19.12.2025

1. Lage des Baugebiets an der Rudolphstrasse mit Koordinaten P1/NW, P2/SO in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg für das RiFu-Prüfgebiet



P1/NW (52°30'21,58"N 13°26'56.72"E) und .
P2/SO (52°30'14.71"N 13°27'13.38"E)
Maximalhöhe des zentralen Hochhaus-Turms:
168m über Grund (=204.5müNN)

Tabelle 3: Prüfgebiet (definiert durch die Punkte NW, SO) und Plangebiet Atrium

Dr.-Ing. Gerhard Greving, NAVCOM Consult
Ludwigsburgerstr. 23, 71711 Steinheim;
Tel.: 07144 862560

19.12.2025

2. Liste der bei den Richtfunkbetreibern abgefragten Daten

Digitale xy-Koordinaten (WGS84 oder Gauss-Krüger) der beiden Endstellen, deren zugehörige (jeweilige) Richtfunkstrecke das Plangebiet kreuzt.

Das rechteckige Prüfgebiet ist durch die digitalen-Koordinaten WGS84

P1 / NW (52°30'21.58"N 13°26'56.72"E) und .

P2 / SO (52°30'14.709"N 13°27'13.38"E)

definiert.

1. Absolute Höhen (in müNN oder müNHN) der beiden Antennen an den Endstellen der (jeweiligen) betroffenen Richtfunkstrecke
2. Betriebsfrequenz der (jeweiligen) Richtfunkstrecke
3. Betriebsart (analog, digital) und Modulationsart und Bandbreite
4. Durchmesser der Apertur der Antennen an beiden Endstellen
5. Polarisierung
6. Existierendes Linkmargin bzw. eingestellte Schwundreserve (z.B. 20dB)

5.4 Email E2 v. 12.01.2026

Steinheim, den 12.01.2026

Betr.: Anfrage nach einer potentiell betroffenen Richtfunkstrecke in Berlin

Projekt: Neubau des Atrium-Baukomplexes in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg
(Plangebiet: Rudolphstr. 17/18; Ehrenbergstr. 15)

Sehr geehrte Damen/Herren,

am 19.12.2025 wurden Sie von der Fa. NAVCOM Consult per Email mit 2 Anhängen (Definition des Prüfbereichs; Liste mit technischen Fragen) angeschrieben (siehe die Email hiernach), ob ihre Organisation von dem oben genannten Bauvorhaben für Richtfunkverbindungen betroffen ist.

Es wurde eine Frist zur Reaktion bis zum 09.01.2026 gesetzt. Es wurde in der Email definiert, dass **eine Nicht-Betroffenheit angenommen** wird, wenn bis zum 09.01.2026 keine Reaktion erfolgen würde.

Da von ihrer Organisation bis zum heutigen Tag (12.01.2026) keine Reaktion erfolgte, informieren wir Sie hiermit explizit und formell, dass in dem Gutachten der NAVCOM Consult für Richtfunkverbindungen im Baubereich angenommen wird, dass ihre Organisation in dem Baubereich keine betroffenen Richtfunkverbindungen betreibt.

Mit freundlichen Grüßen

Dr.-Ing. Gerhard Greving
Dipl.-Ing. Wolf-Dieter Biermann
NAVCOM Consult
Ludwigsburgerstr. 23
D-71711 Steinheim adM
Tel.: 07144 862560
navcom.consult@t-online.de
<http://www.navcom.de>

5.5 Richtfunk Zusammenfassung; Ergebnisse

Die Auswertung der Abfragen an die 7 Richtfunkbetreiber und deren Antworten bzw. ausbleibenden Antworten ergibt, dass im Baubereich des Atrium-Baukomplexes keine Richtfunkstrecken verlaufen, die durch das Atrium-Hochhaus (Bauteil C) betroffen sein könnten und ggf. gestört sein könnten.

Potentielle verspätete Antworten der verbleibenden 4 von 7 Betreiber wurden bis zum Erstelldatum dieses Gutachtens beobachtet.

Tatsächlich wurde keine verspätete Antwort erhalten, so dass abschließend angenommen wird, dass keine Richtfunkstrecke von diesem ATRIUM-Baukomplex betroffen ist.

6 Planungsstand und Änderungen

Der erste Datensatz für den geplanten ATRIUM-Baukomplex wurde am 15.12.2025 für die Erstellung des Gutachtens zur Verfügung gestellt. Ein repräsentatives 3D-Kubatur-Modell wurde (als „worst-case“, voll metallisch) definiert, theoretisch untersucht und systematische Feldberechnungen wurden für dieses Modell durchgeführt und gutachterlich bewertet.

Die Architekten (“Henning Larsen GmbH“) haben am 13.02.2026 Änderungen definiert und Daten für eine angepasste gutachterliche Bewertung zur Verfügung gestellt (siehe z.B. **Bild 6**, **Bild 7**).

Die Westfassade wird um 3.5m erweitert (**Bild 6**) und die Dachaufbauten sind detaillierter dargestellt (**Bild 7**). Dadurch ist die maximale Höhe formal von 167.5m auf 168m vergrößert. Diese beiden Änderungen werden aufgrund von theoretischen Überlegungen in Relation zu den untersuchten und bewerteten Gebäude- und Systemparametern – insbesondere die Verschattung und Reichweitenreduktionswirkung für das LVR THF – gutachterlich als nicht entscheidend bewertet.

Sollten allerdings relevante weitere Änderungen der Hochhaus-Kubatur definiert werden (z.B. deutliche Erhöhungen und deutliche Vergrößerungen der Horizontalabmessungen im Meterbereich) ist eine angepasste gutachterliche Bewertung erforderlich.

Aufgrund der „worst-case“-Untersuchungen wirken Detailänderungen an den Fassaden des Hochhauses grundsätzlich verbessernd und erfordern keine gutachterlichen Neubewertungen.

Die zusammenfassenden gutachterlichen Bewertungen (Kapitel 7) können damit auch für die leicht geänderte Variante des Hochhauses (Stand 13.02.2026) angewendet werden.

7 Zusammenfassung und gutachterliche Empfehlungen

In Berlin im Ortsteil Rudolfskiez (Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg) nordöstlich des ehemaligen Flughafens Tempelhof soll auf dem Grundstück zwischen Rudolfstraße, Tamara-Danz-Straße und Ehrenbergstraße im Gebiet Warschauer Brücke (WAB) ein neues Quartier entstehen. Für dieses Gutachten relevant ist der Bebauungsplan V-67a VE „Rudolfstraße 17-18“. Die Vorhabenträgerin ist die ATRIUM Development Group GmbH.

In Stufe 1 wurde der städtebauliche Entwurf vom Büro Henning Larsen Architects (im Gutachten verwendete Daten) als Grundlage für die weitere architektonische Ausarbeitung in Stufe 2 und das Bebauungsverfahren ausgewählt. Geplant ist ein bis zu 7-geschossiges Sockelgebäude (Höhe 25.5m =62.5mNHN) mit einem ca. 168 m (204.2 m ü NHN) hohen Hochhaus.

Aufgrund der Bauhöhen und der umgebenden Bebauung ist letztlich nur das Hochhaus (Bauteil C) als relevant zu betrachtendes Bauwerk zu identifizieren.

In diesem Szenario gegebenenfalls relevant betroffen sind folgende Systeme :

- Luftverteidigungsradar LVR THF der BW auf dem ehemaligen Flughafen Tempelhof mit einem 3D PSR Primärradar RRP117 und einem kollozierten 3D MSSR LVA Sekundärradar; Entfernung ca. 4.3km.
- ATC-Radare der DFS am den Flughäfen EDDT Tegel (ASR bestehend aus PSR, MSSR, Entfernung 4,5 km) und EDDB Berlin Brandenburg (Radare ASR-Süd bestehend aus PSR und MSSR und MSSR Nord); Entfernungen ca. 14.15 km und 18.1 km.
- Richtfunkstrecken und Funkmessstationen der BNA .

Untersuchungsmethodik

Auf der Basis der verfügbaren Planungsdaten (Status 13.02.2026) wurde ein glattes metallisches 3D-worst-case-Kubaturmodell des Hochhauses für die Feldberechnungen erarbeitet. Die überlagerten Felder wurden systematisch für die betroffenen Radare für verschiedene Szenarien (Freiraum, mit Turm, mit Boden) für verschiedene Parameter (Elevation, Azimut, radial; verschiedene Höhen und Entfernungen) mittels der IHSS-Methodik nach dem Stand der Technik berechnet.

Ergebnis und Konsequenzen für das LVR THF

Das Baugebiet liegt nordwestlich im sogenannten „Interessensgebiet“ außerhalb des speziellen militärischen Schutzbereiches für das LVR THF von 2.5 km. Im Interessensgebiet existieren weitere teils deutlich höhere und horizontal ausgedehntere Gebäude (z.B. Estrel-Hotel (Höhe 211 m ü NHN, Entfernung ca. 4.1 km) und EDGE-Turm (Höhe 178 m ü NHN, Entfernung 4.2 km) in der Nähe des geplanten Hochhauses.

Die gutachterlichen Untersuchungen der systematisch berechneten Felder haben ergeben, dass eine Störung des redundanten operationellen Betriebs durch das Hochhaus unter Berücksichtigung des Radar-netzes MILRADNET sehr unwahrscheinlich ist. Zusätzliche entstörende Maßnahmen sind nicht notwendig.

Es wird generell auf die Standortproblematik des LVR THF im Stadtgebiet Berlins verwiesen.

Ergebnis und Konsequenzen für die Radare der DFS:

Die gutachterlichen Untersuchungen haben ergeben, dass eine Störung des operationellen Betriebs durch Entstehung von Spiegelzielen und ggf. von Falschspuren und relevanten Monopuls-Winkelfehlern durch das Hochhaus in der großen Entfernung und in dem gegebenen Hochhaus-Szenario in Berlin sehr unwahrscheinlich ist. Zusätzliche entstörende Maßnahmen sind nicht notwendig.

Ergebnis und Konsequenzen für die Richtfunkstrecken

Es wurden sieben von der BNA genannte und potentiell betroffene Richtfunkbetreiber abgefragt, ob durch das Bauvorhaben operationelle Richtfunkverbindungen betroffen sind. Dies haben drei schriftlich verneint. Da von den anderen vier Betreibern innerhalb der Fristsetzung keine Antwort erhalten wurde, wird angenommen, dass auch diese nicht betroffen sind.

Auch eine Erinnerungs-Email wurde von den 4 zunächst nicht-reagierenden Richtfunkbetreibern bis zum heutigen Tag nicht beantwortet.

Funkmessstationen der BNA sind nicht betroffen.

Gesamtergebnis

Nach gutachterlichem Ergebnis kann dieses ATRIUM-Bauvorhaben mit dem 168m hohen Hochhaus ohne zusätzliche Maßnahmen entsprechend der Planung gebaut werden.

Steinheim, den 16.02.2026



8 Tabellen

UTM			
Geb.	X	Y	H / m ü NHN
THF	33391300,25	5815926,25	PSR: 109,7 MSSR: 114,6 Boden: 45.3
TXL	33383356,60	5825116,13	PSR: 75,5 MSSR: 78,5 Boden: 33.7
ASR-S	33400380,30	5801064,12	PSR: 75,4 MSSR: 78,4 Boden: 43.7
ASR-N	33398443,15	5804660,13	PSR: -- MSSR: 106,9 Boden: 44.5

Tabelle 4: Koordinaten der Radaranlagen Tempelhof (THF, mil.), Tegel (TXL, DFS), ATCR ASR.S/N (DFS)

UTM (Lagestatus 100)			
Geb.	X	Y	H / m ü NHN
LII/-II 1	33394881,04	5818382,82	204,20
LII/-II 2	33394914,02	5818381,97	204,20
LII/-II 3	33394912,99	5818342,00	204,20
LII/-II 4	33394880,01	5818342,84	204,20

Tabelle 5: Koordinaten der Turmeckpunkte (Bauteil C), Boden 36,70 m ü NHN (siehe **Bild 10**)

Bogenlänge /km	Erdradius 6370 km		4/3 Erdradius 8493km	
	H/m	H/ft	H/m	H/ft
0	0	0	0	0
10	8	26	6	19
20	31	103	24	77
30	71	232	53	174
40	126	412	94	309
50	196	644	147	483
60	283	927	212	695
70	385	1262	288	946
80	502	1648	377	1236
90	636	2086	477	1564
100	785	2575	589	1931
150	1766	5796	1324	4345
200	3141	10305	2354	7725
250	4909	16106	3679	12069
300	7071	23198	5297	17377
350	9627	31586	7208	23650
450	15928	52257	11913	39084

Tabelle 6: Erdkrümmung, Höhe H

H1/m	H2 /m	H2/ ft	d1/km	d2/km	LOS/km
64	100	328	33	41	74
64	300	984	33	71	104
64	1000	3281	33	130	163
64	2000	6562	33	184	217
64	5000	16404	33	291	325
64	10000	32808	33	412	445
110	100	328	43	41	84
110	300	984	43	71	115
110	1000	3281	43	130	174
110	2000	6562	43	184	228
110	5000	16404	43	291	335
110	10000	32808	43	412	455

Tabelle 7: Beispiele für Sichtlinien (Line of Sight LOS), siehe **Bild A - 27**

9 Bilder

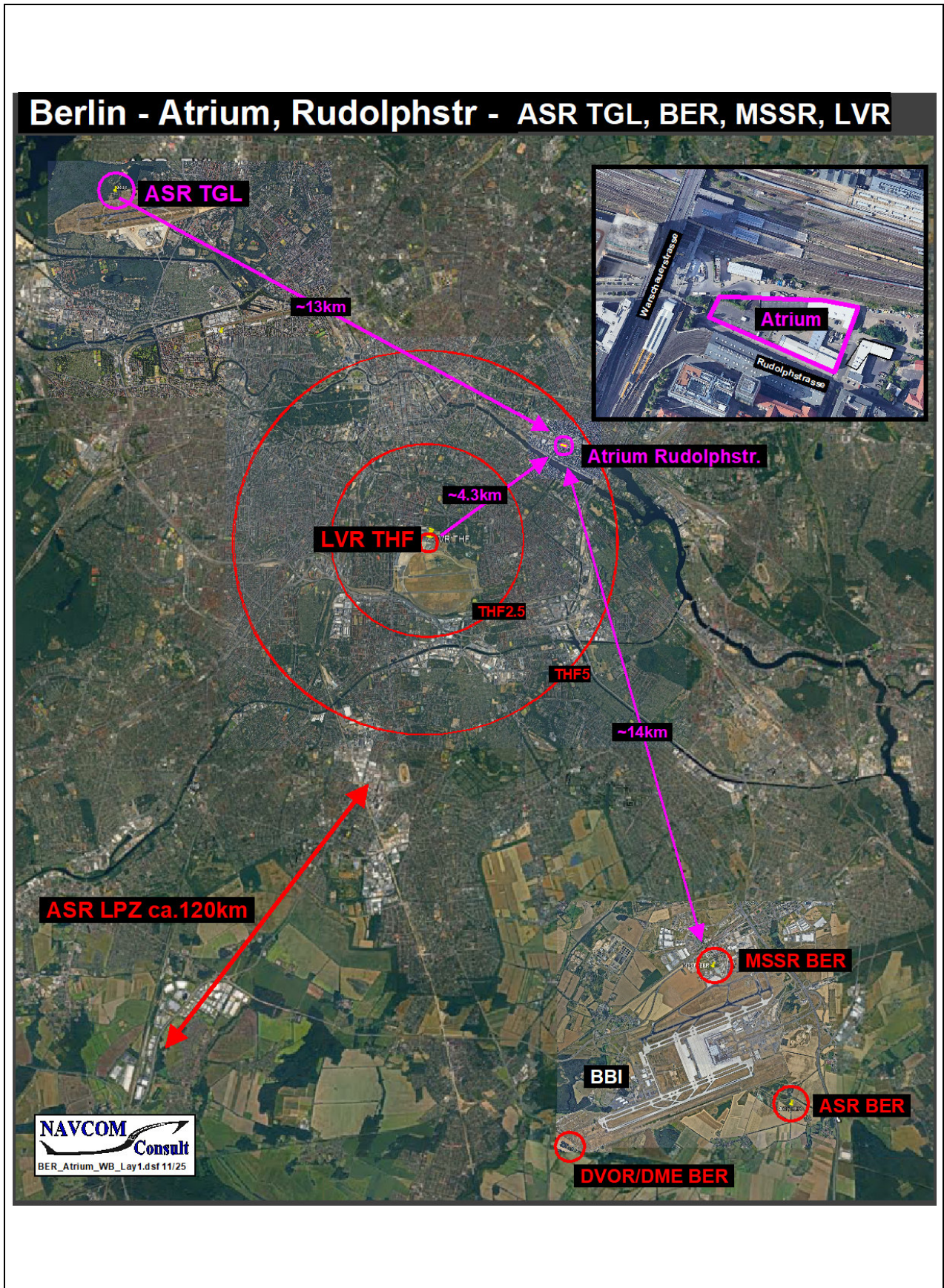


Bild 1: Bauvorhaben Rudolfstraße 18, betroffene Radare und CNS-Systeme

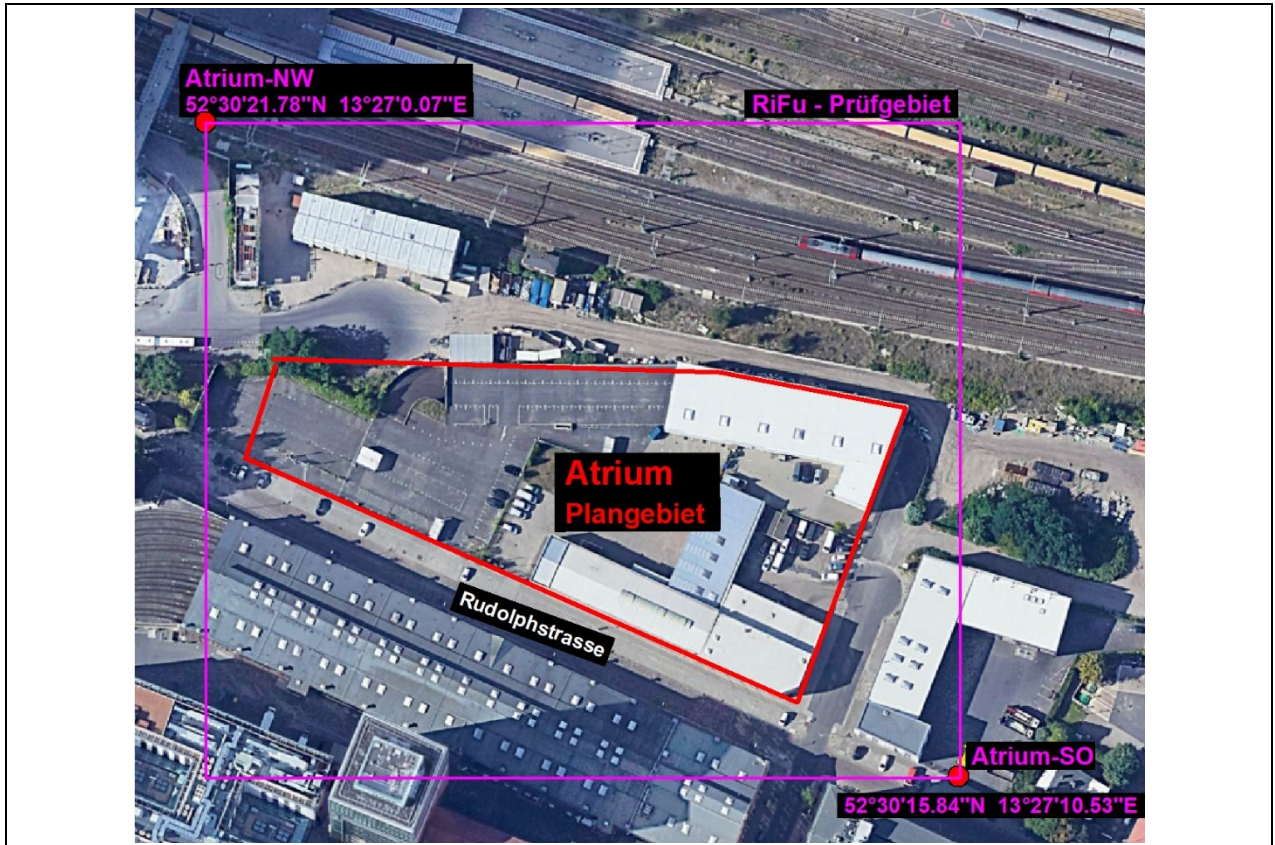


Bild 2: Karte Bauvorhaben Rudolfstraße 18, Eckpunkte P1-P2 für Prüfgebiet Richtfunkstrecken

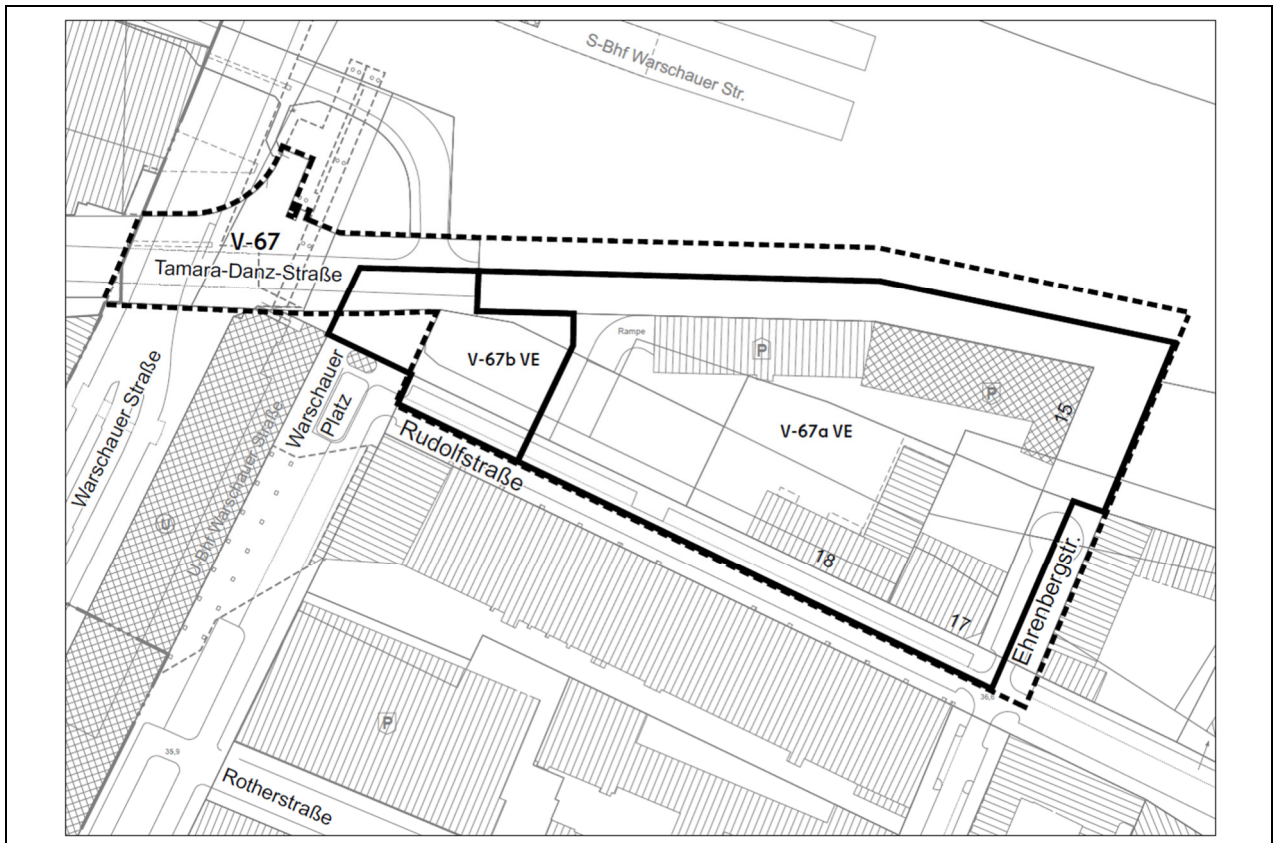


Bild 3: Bebauungsplan V-67

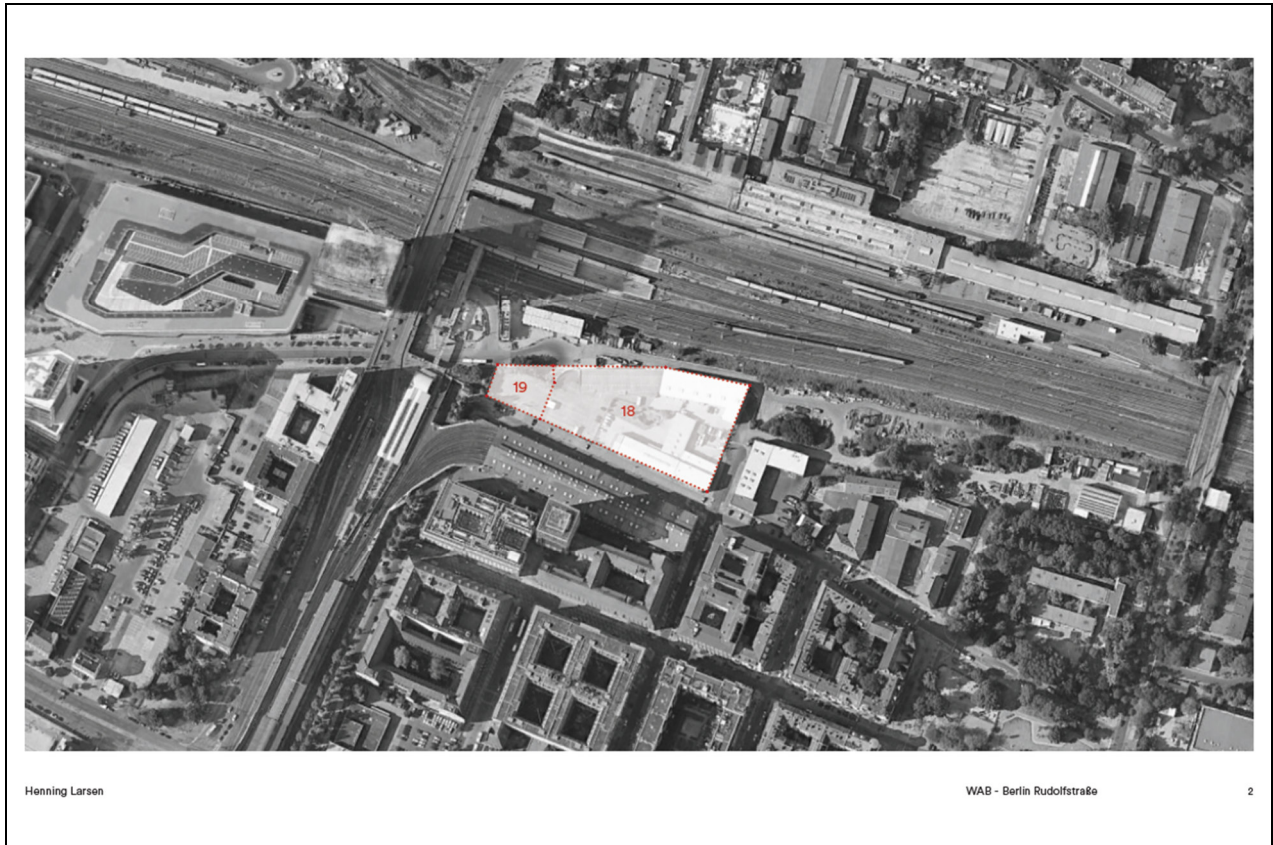


Bild 4: Baugebiet Rudolfstraße 18/19

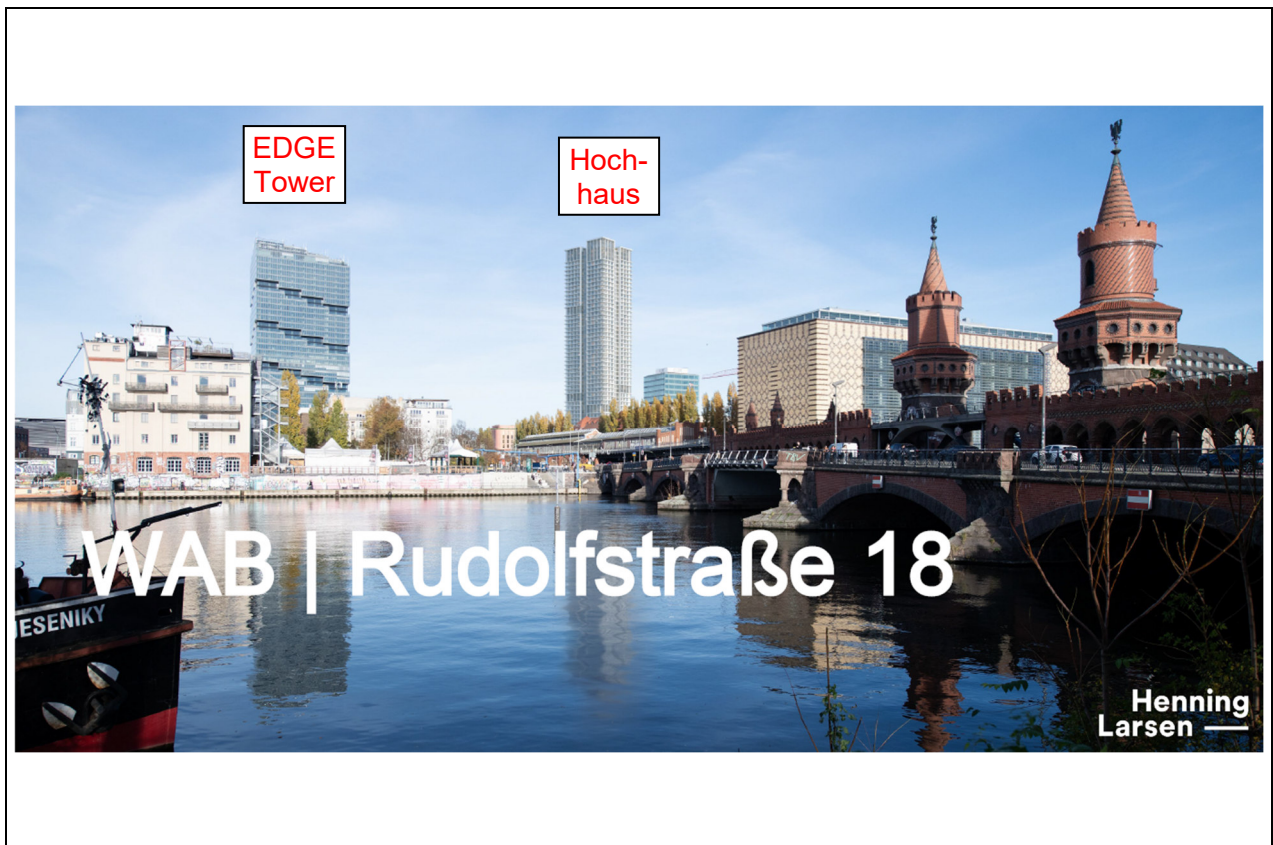


Bild 5: Fernansicht, Insert: Fassadenkonzept

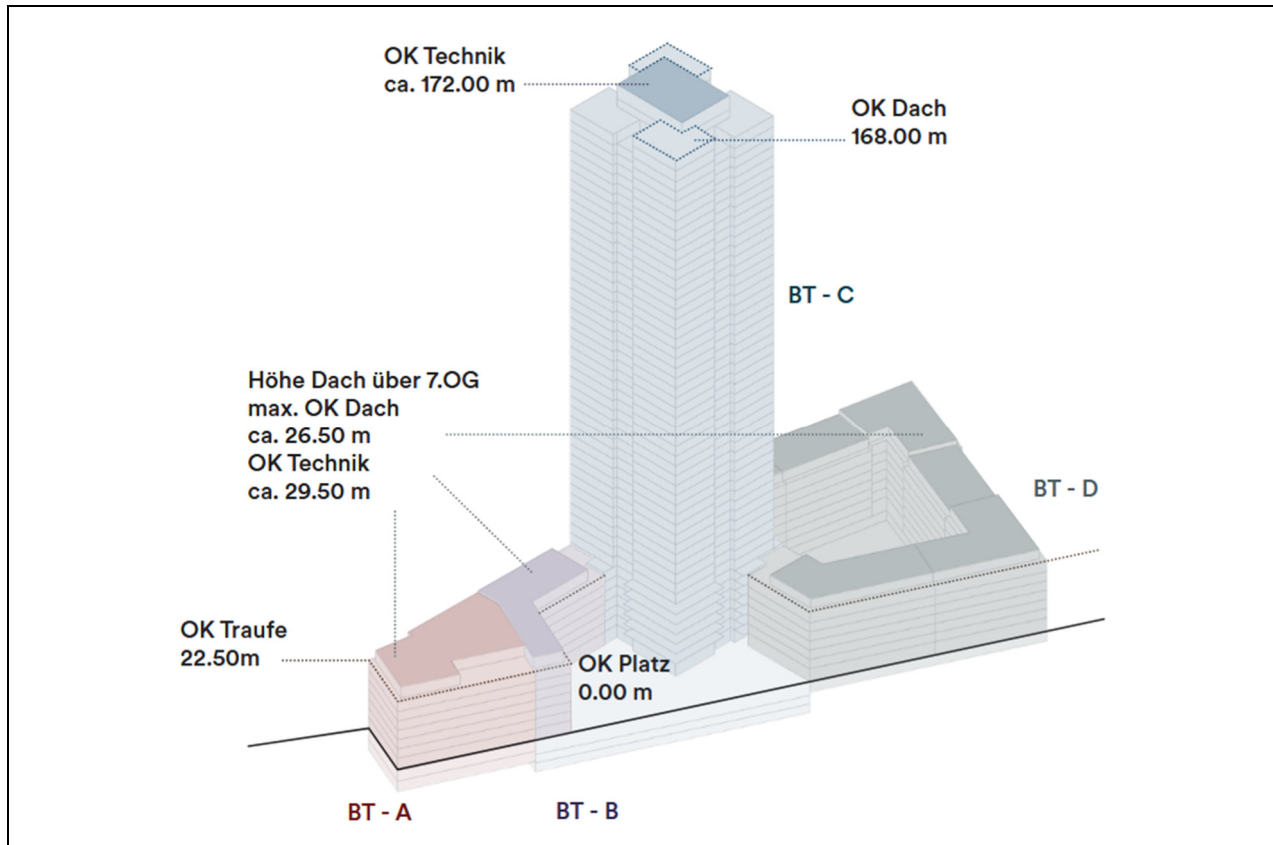


Bild 6: Übersicht Baukörper; Planungsstand 13.02.26

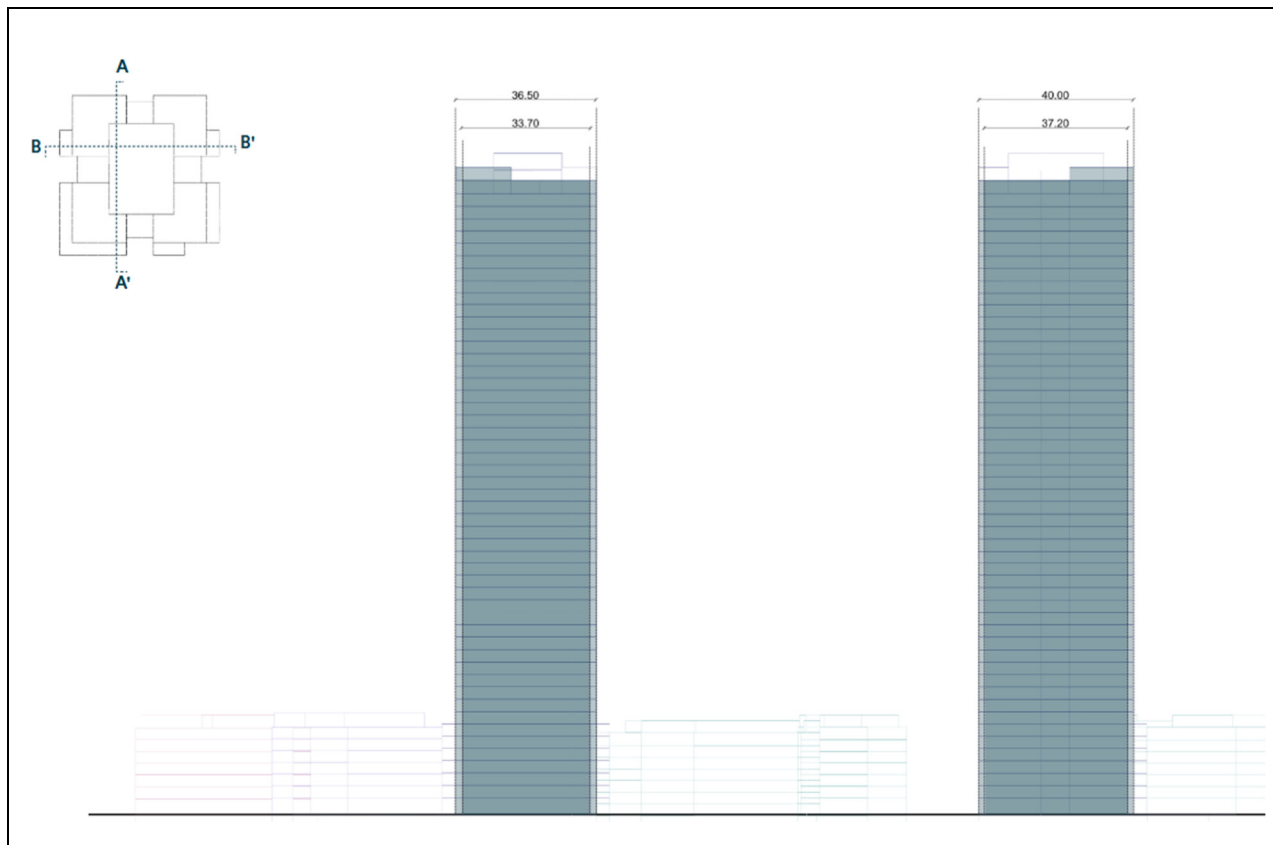


Bild 7: Schnitte Atrium Hochhaus (Bauteil C) inkl. Westerweiterung um 3.5m (aus Daten 13.02.26)



Bild 8: Fassadengestaltung Turm

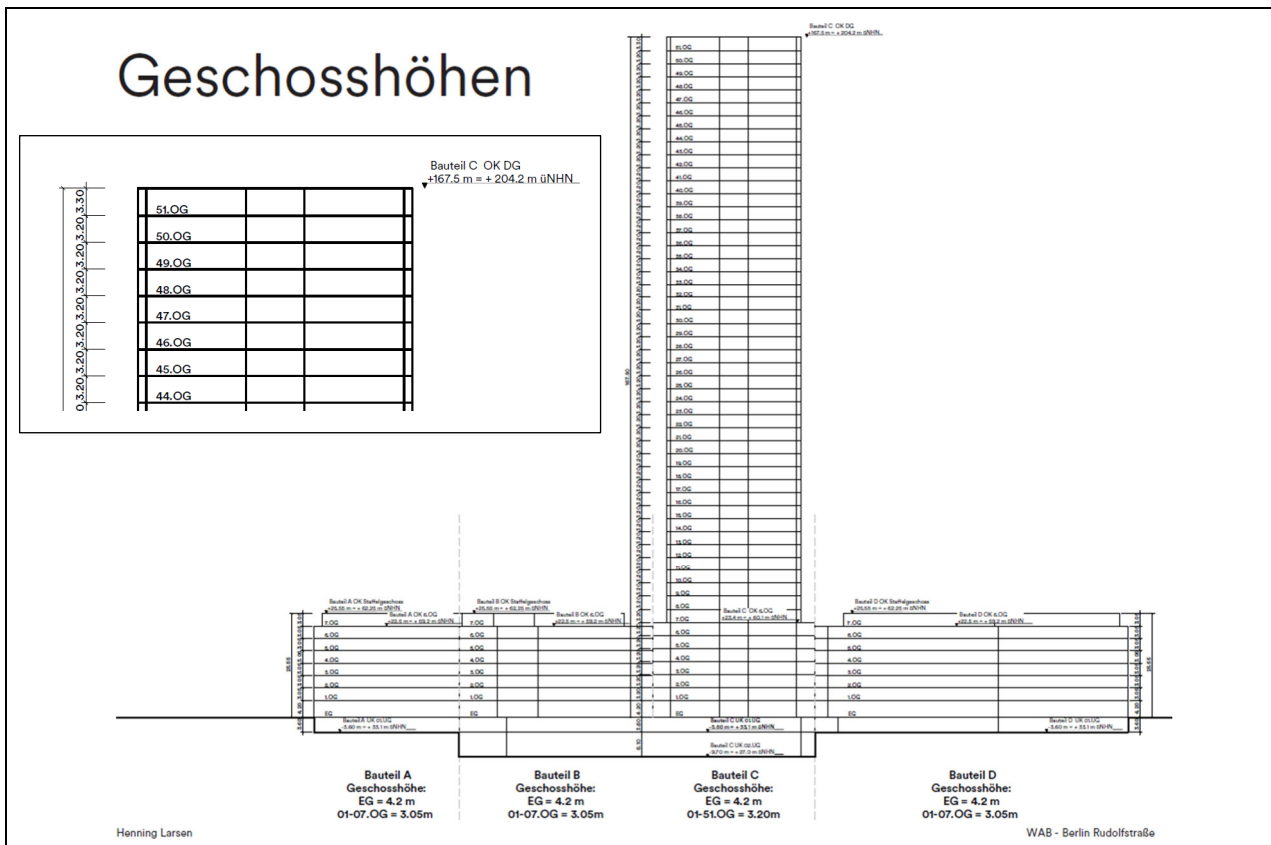


Bild 9: Geschosshöhen (aus Datensatz 15.12.25)

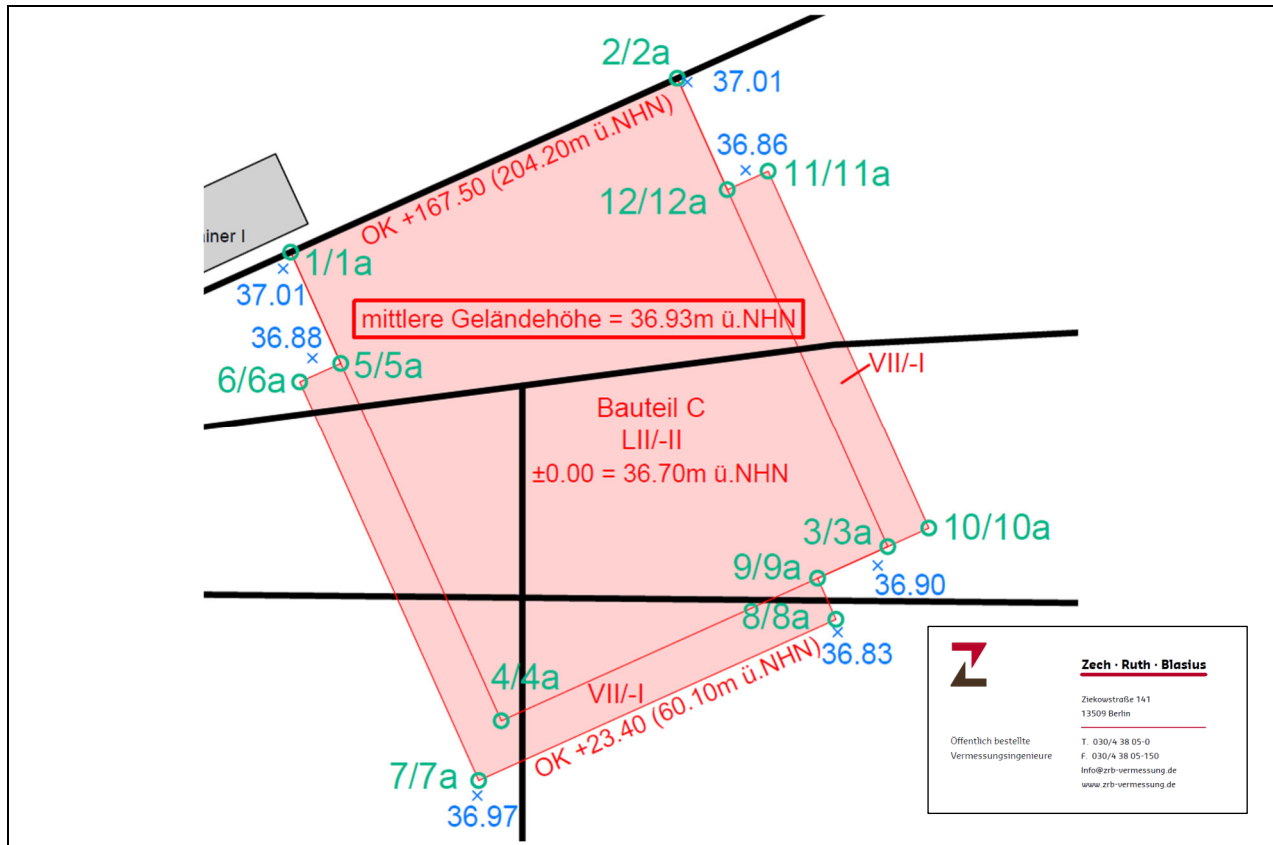


Bild 10: Koordinatenplan der Gebäudeeckpunkte Hochhaus (Bauteil C)

WGS 84 - Koordinaten (Lagestatus 884 sexagesimal), geografisch:

Punkt	Länge	Breite	Höhe in m ü.NHN
1 / 1a	13°27' 04.464084"	52°30' 19.549955"	204.20 / 37.01
2 / 2a	13°27' 06.213626"	52°30' 19.545526"	204.20 / 37.01
3 / 3a	13°27' 06.204823"	52°30' 18.251484"	204.20 / 36.90
4 / 4a	13°27' 04.455242"	52°30' 18.255912"	204.20 / 36.97
5 / 5a	13°27' 04.461809"	52°30' 19.242463"	60.10 / 36.88
6 / 6a	13°27' 04.276246"	52°30' 19.242964"	60.10 / 36.88
7 / 7a	13°27' 04.268753"	52°30' 18.143000"	60.10 / 36.97
8 / 8a	13°27' 05.885789"	52°30' 18.138926"	60.10 / 36.83
9 / 9a	13°27' 05.886559"	52°30' 18.252125"	60.10 / 36.90
10 / 10a	13°27' 06.390173"	52°30' 18.250864"	60.10 / 36.90
11 / 11a	13°27' 06.396911"	52°30' 19.237564"	60.10 / 36.86
12 / 12a	13°27' 06.211348"	52°30' 19.238034"	60.10 / 36.86

Bild 11: WGS84-Koordinaten der Gebäudeeckpunkte

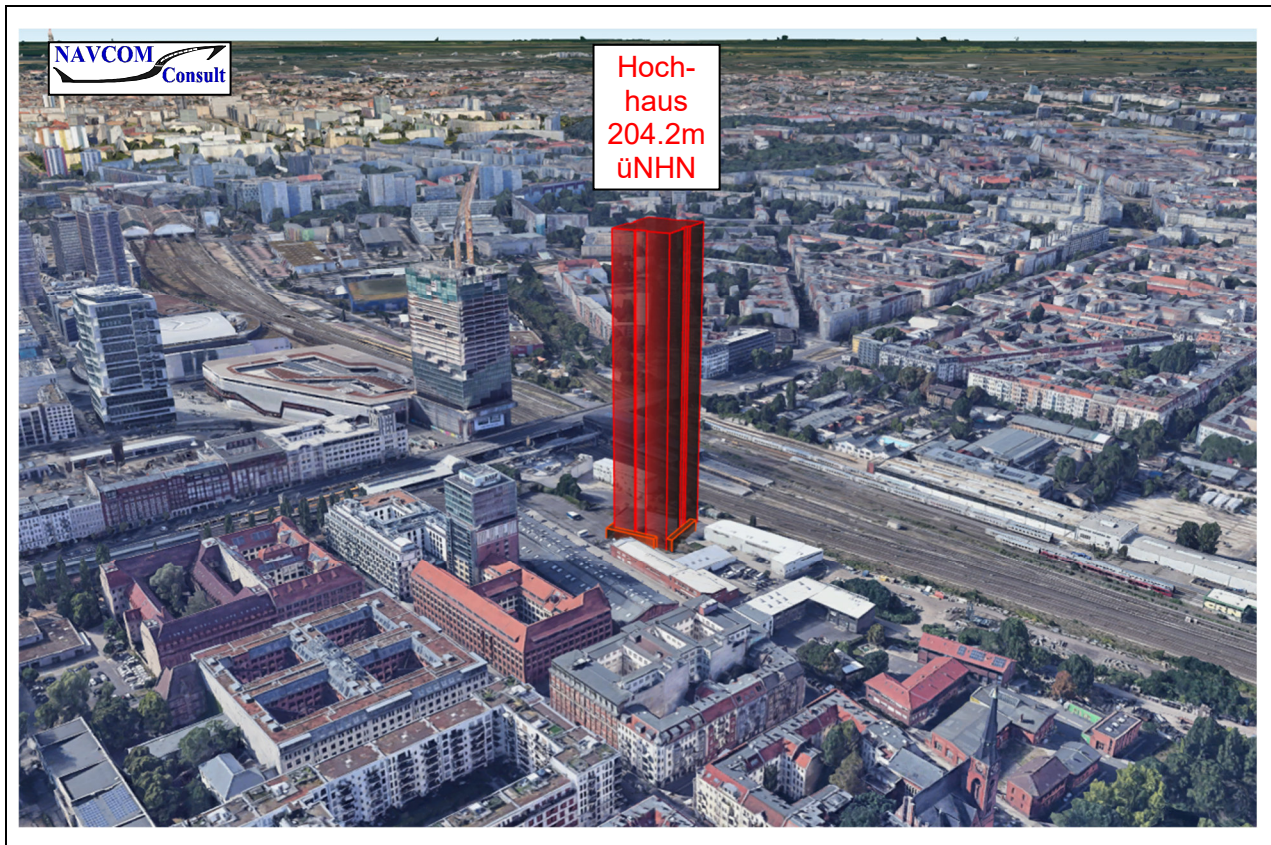


Bild 12: Vereinfachte 3D-Modellansicht des geplanten Hochhauses (Bauteil C) 168 m / 204.2 m ü NHN mit Ortsumgebung

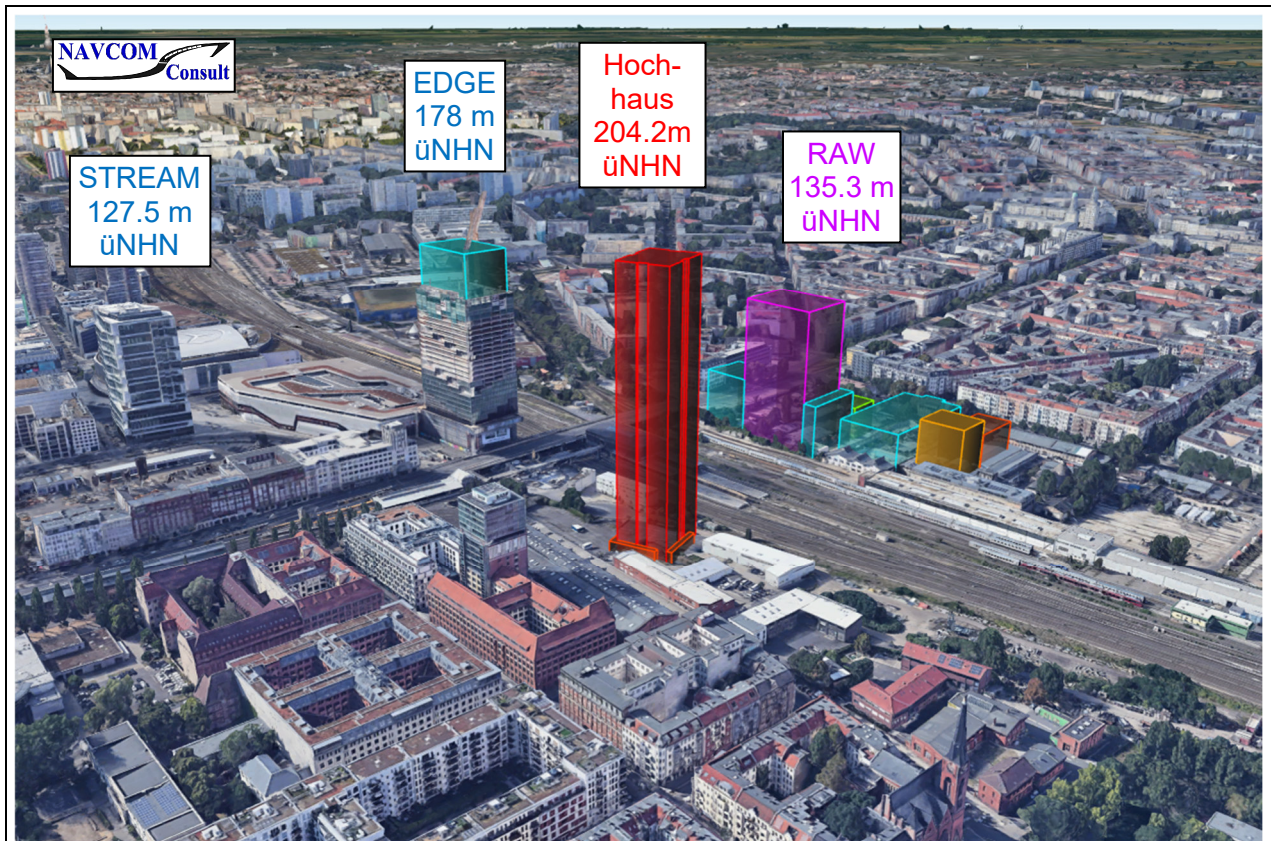


Bild 13: Vereinfachtes 3D-Modell des geplanten Hochhauses (204.2 m üNHN) mit EDGE-Turm (178 m üNHN, finale Höhe ergänzt) und RAW-Turm (135.3 m üNHN)

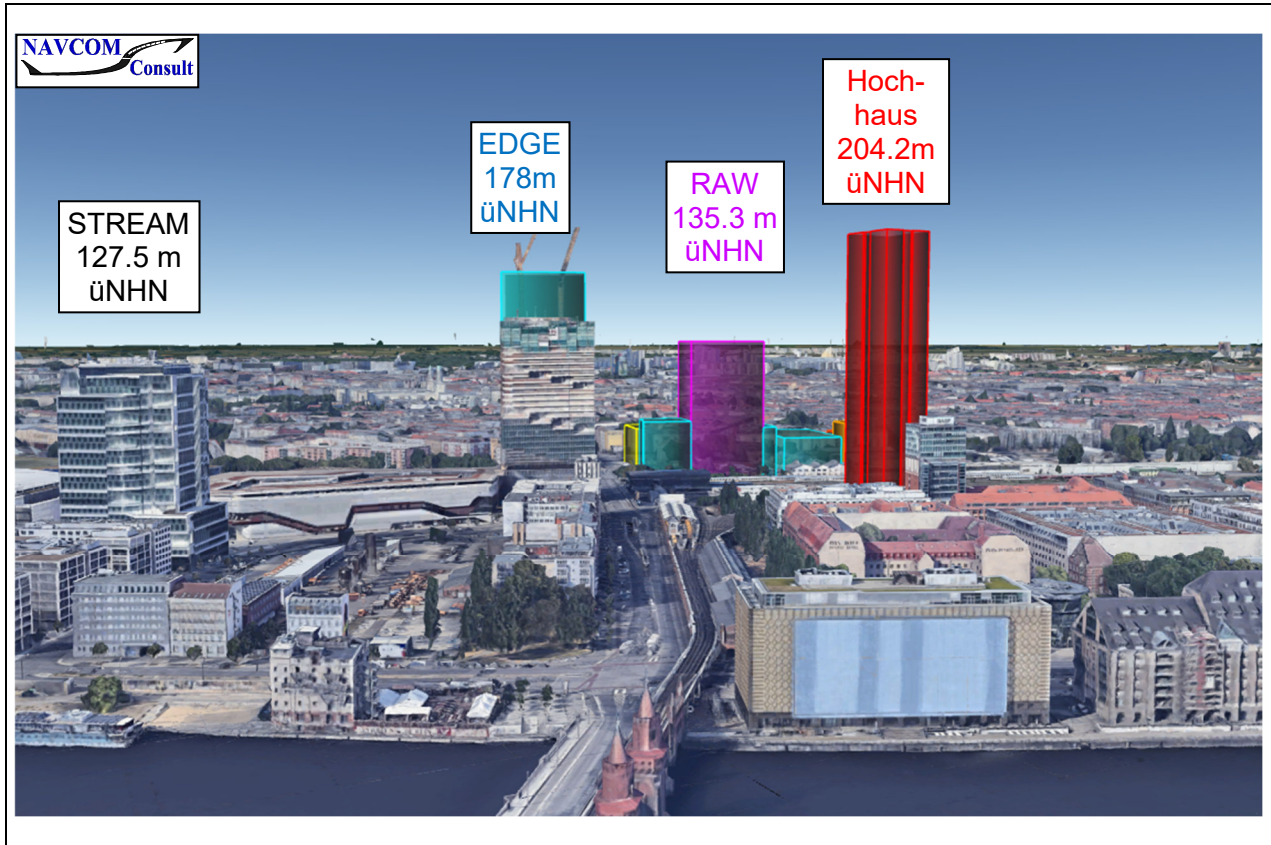


Bild 14: Seitenansicht mit Hochhäusern Turm (Bauteil C), EDGE, RAW, STREAM

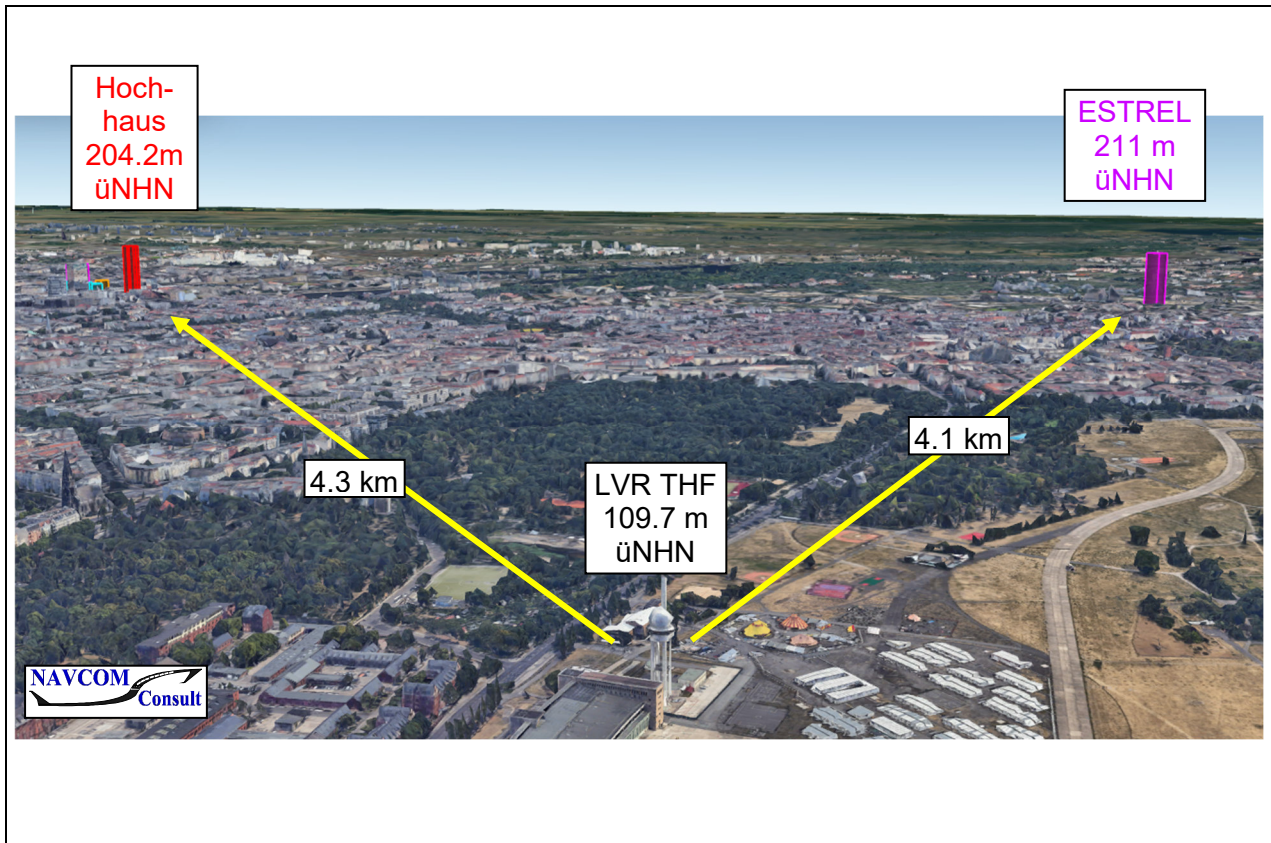


Bild 15: Szenario LVR THF mit Bauvorhaben und ESTREL Turm

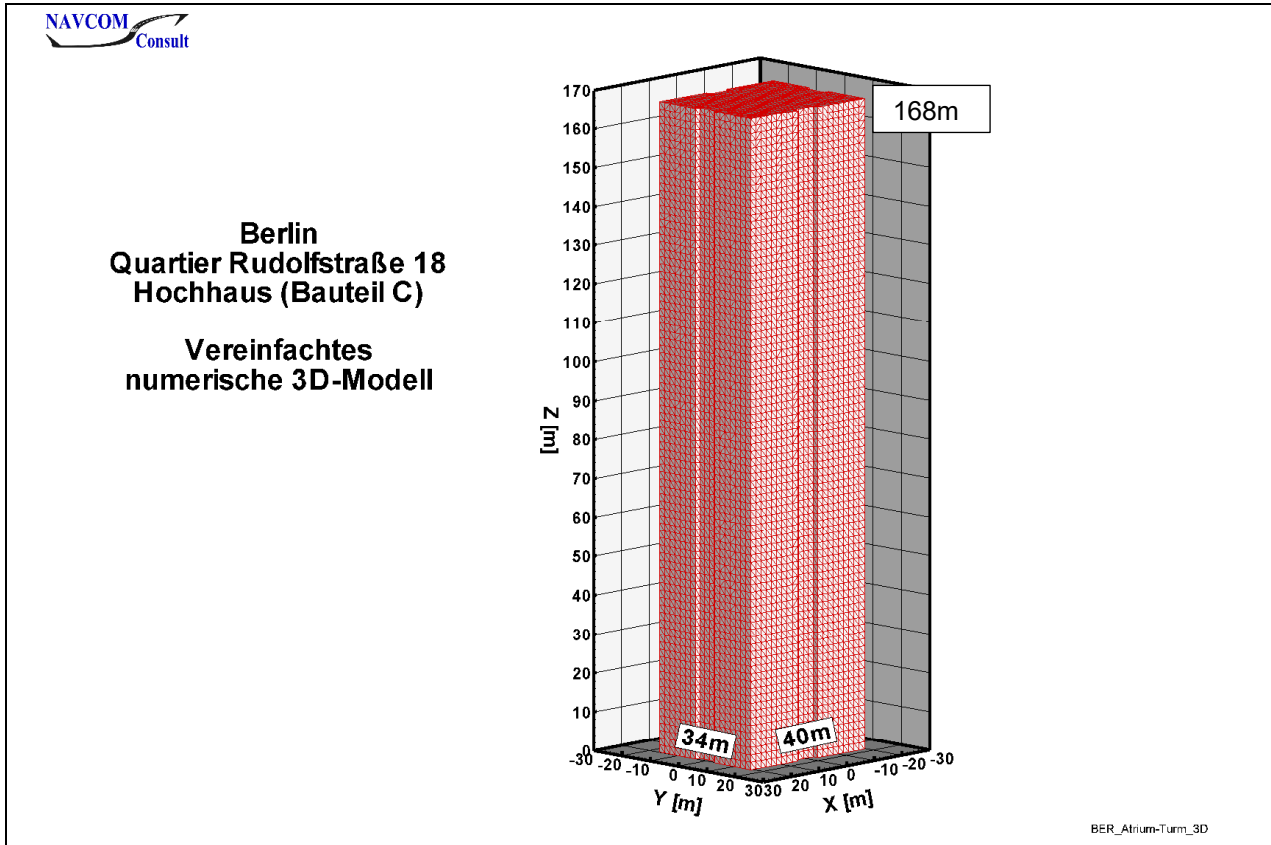


Bild 16: Vereinfachtes numerisches 3D-Modell des Hochhauses (Bauteil C) mit der maximalen Höhe 168 m / 204.2 m ü NHN

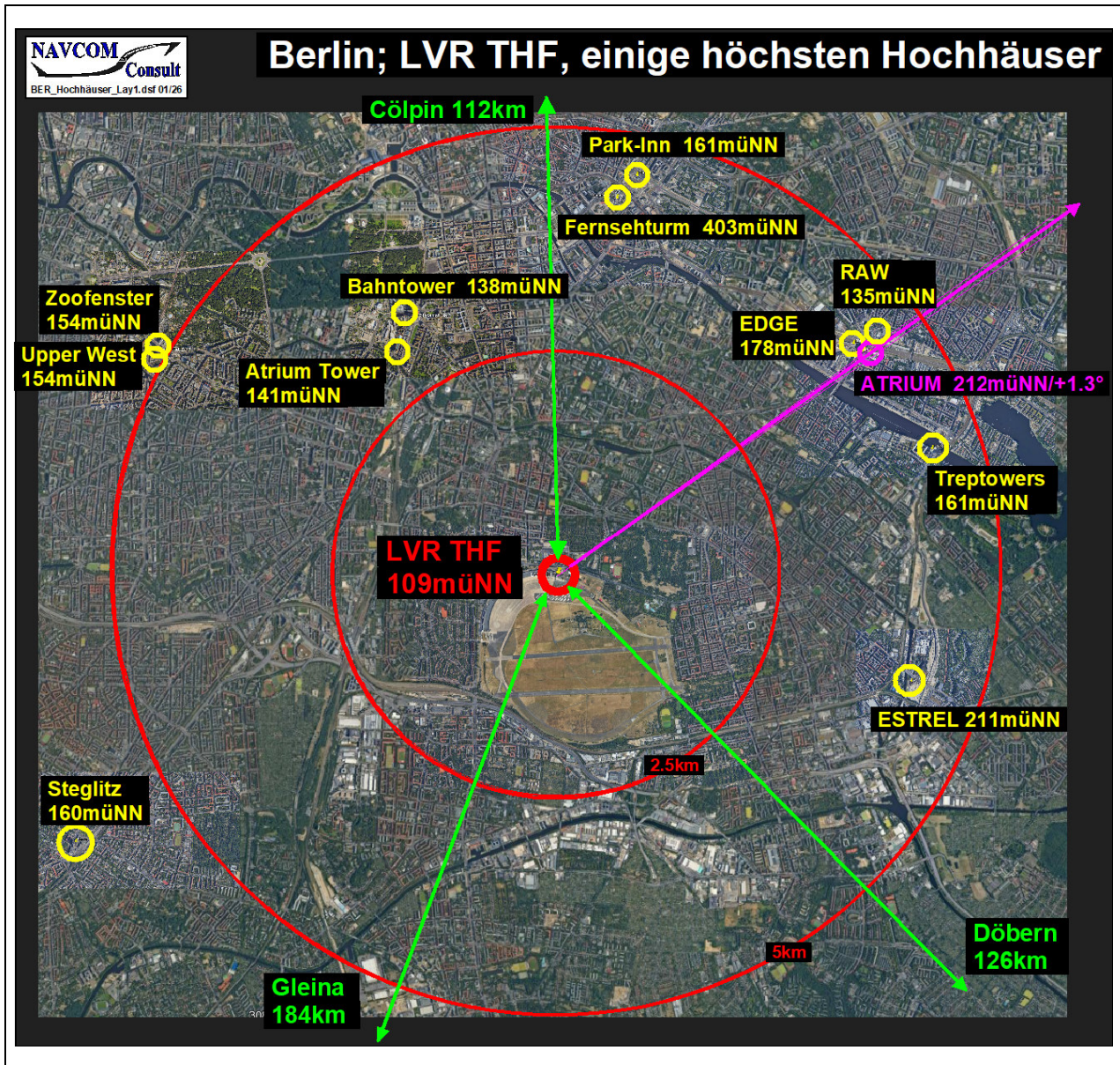


Bild 17: Hochhäuser im Bereich des LVR THF

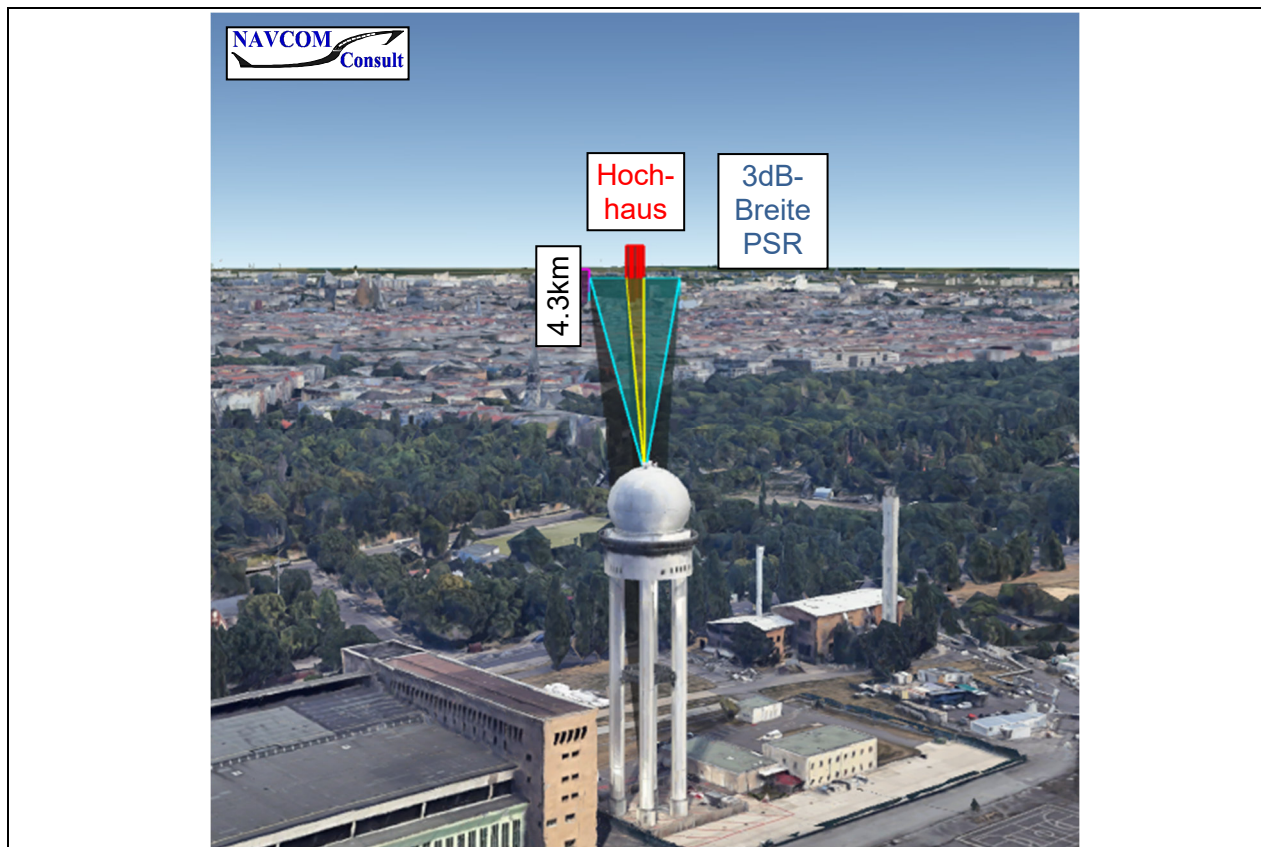


Bild 18: LVR THF, 3dB-Breite PSR in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet

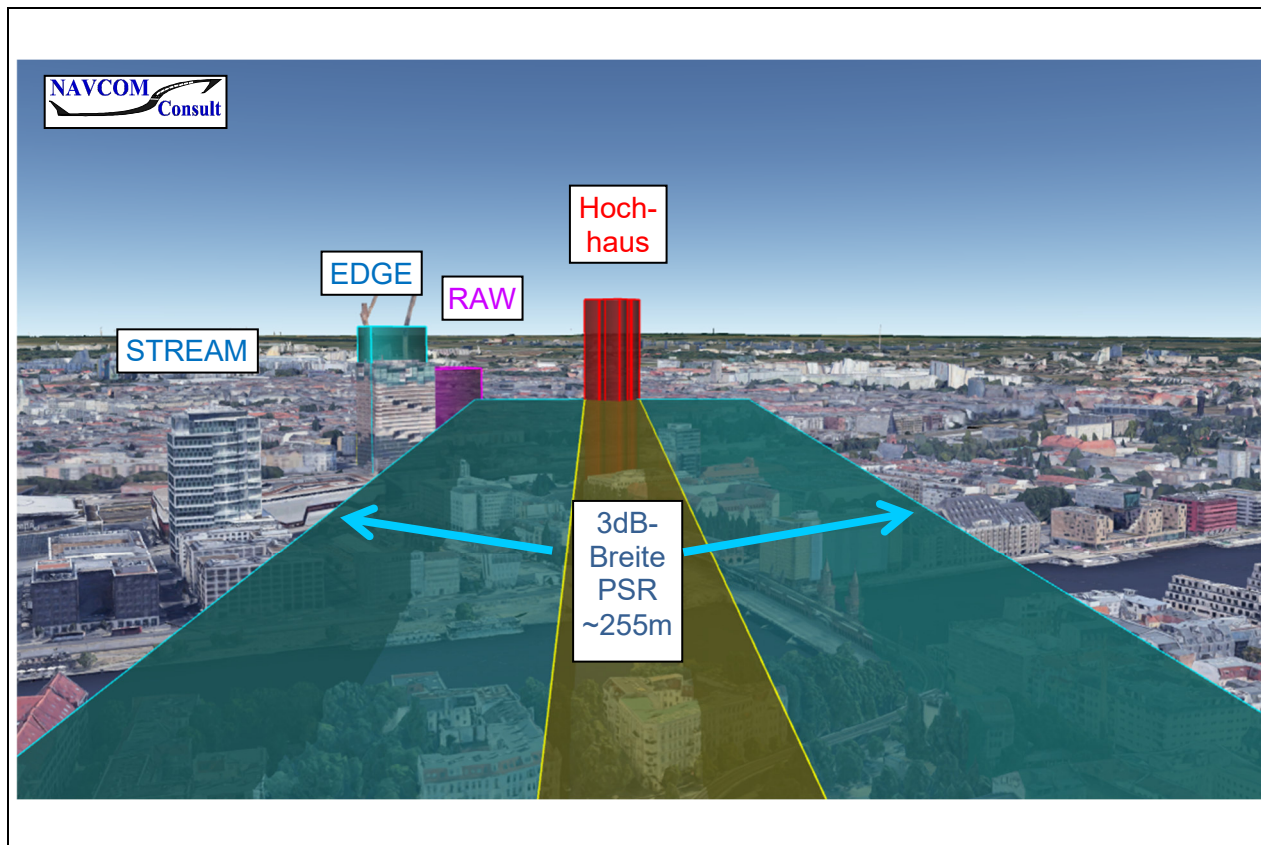


Bild 19: LVR THF, 3dB-Breite PSR in Radarhöhe; Hochhaus

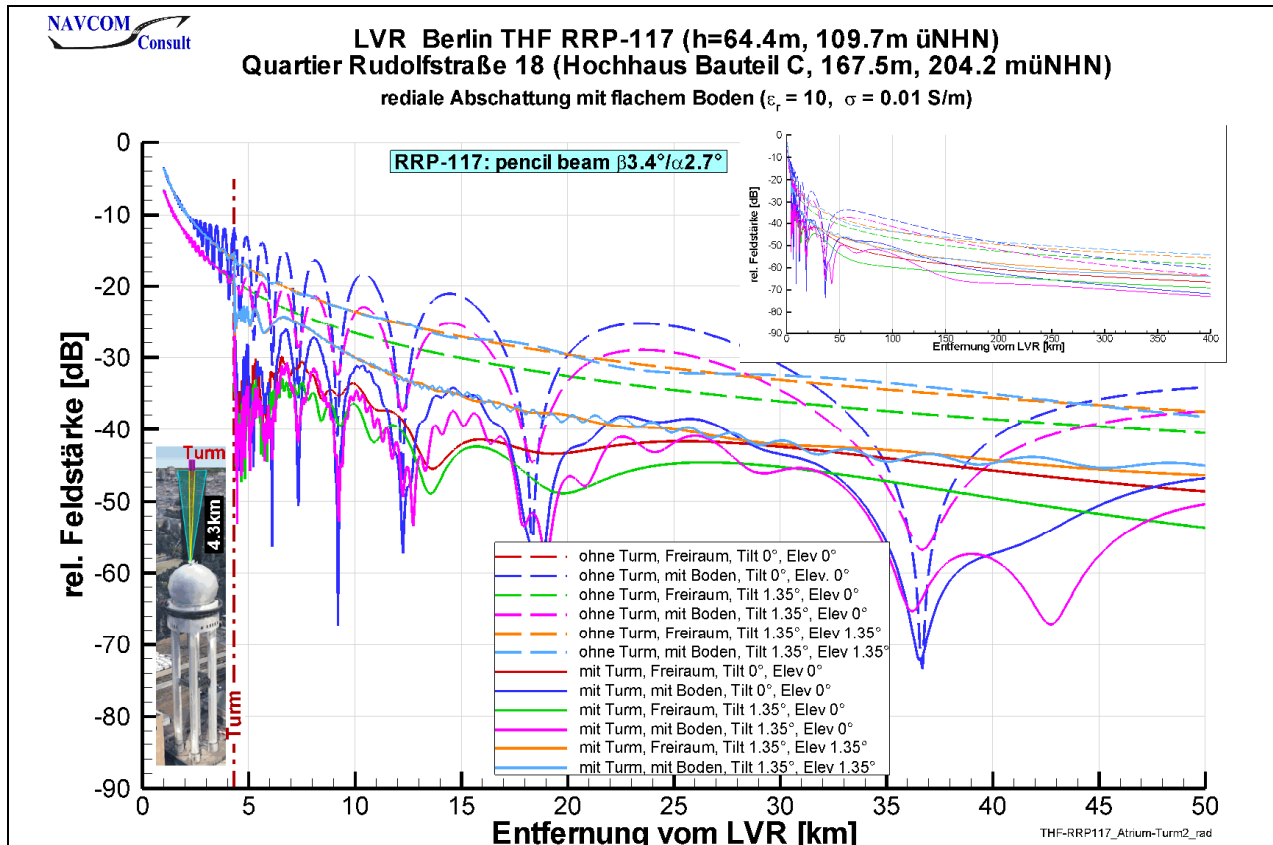


Bild 20: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 0°/1.35°, Elevation 0°/1.35°

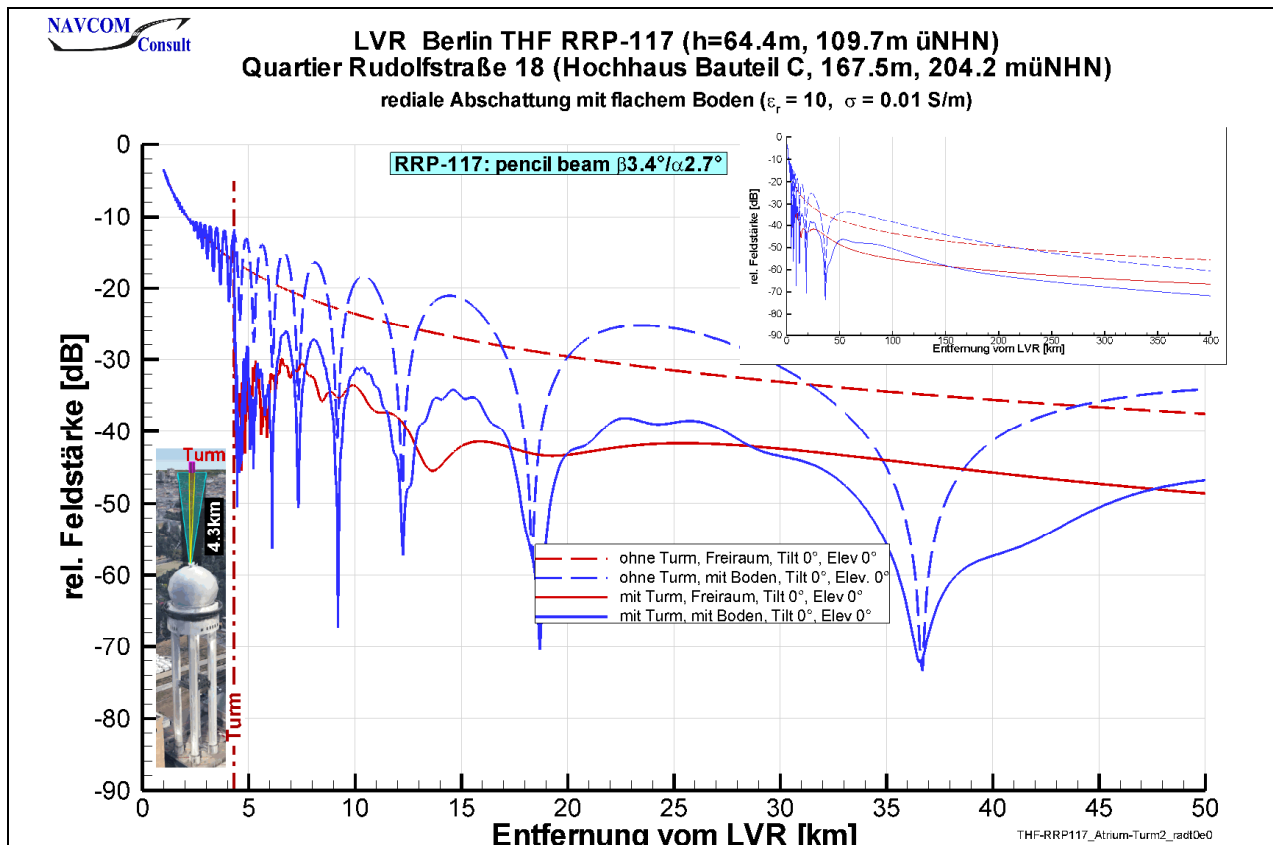


Bild 21: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 0°, Elevation 0°

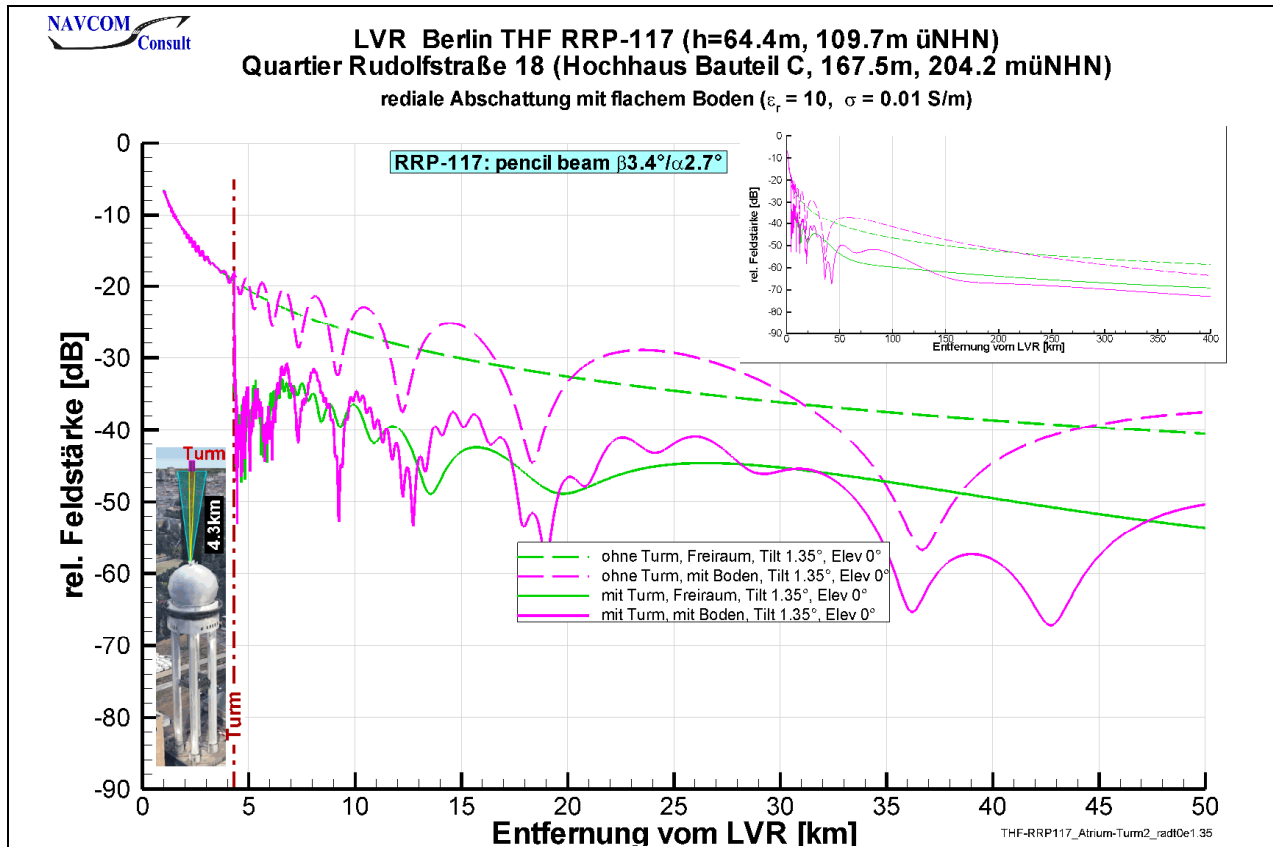


Bild 22: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35°, Elevation 0°

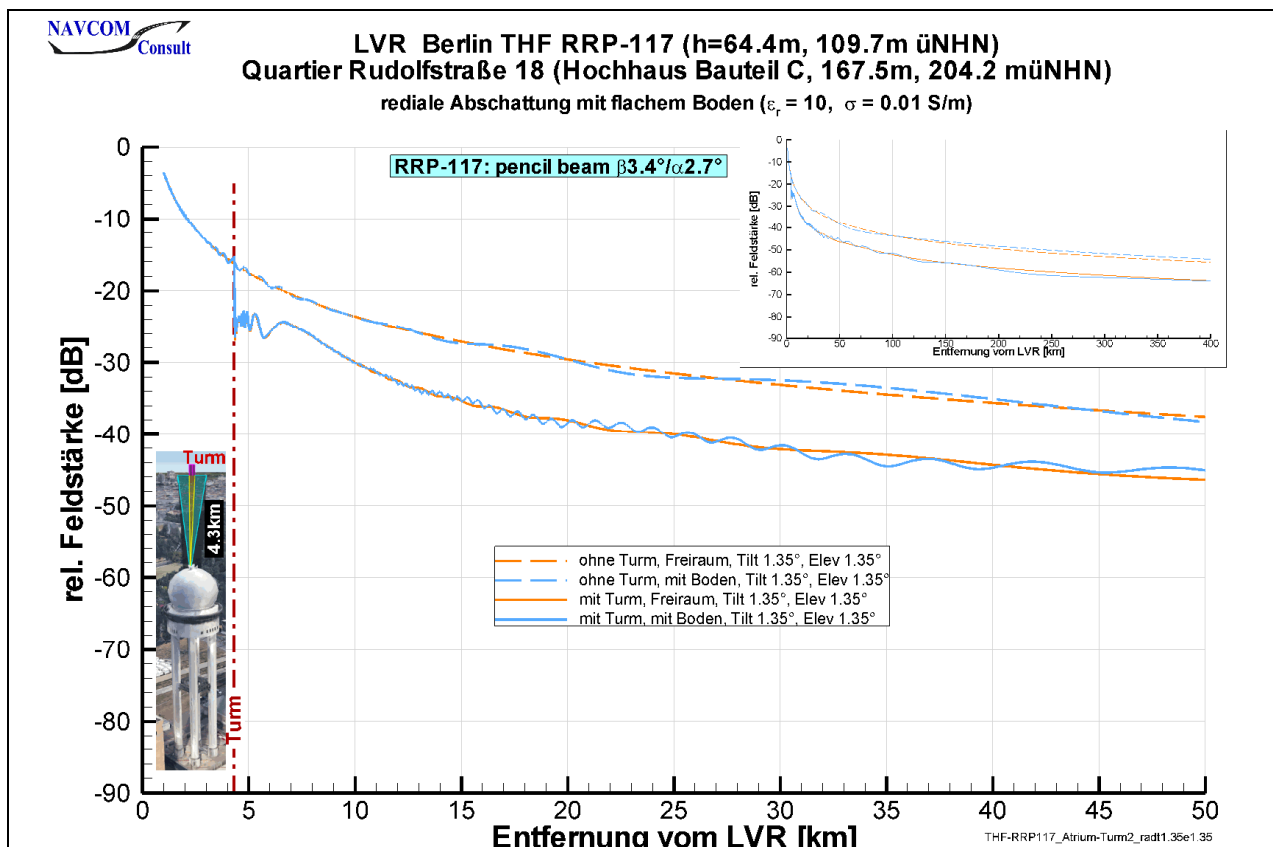


Bild 23: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), radiale Feldstärke; PSR Tilt 1.35°, Elevation 1.35°

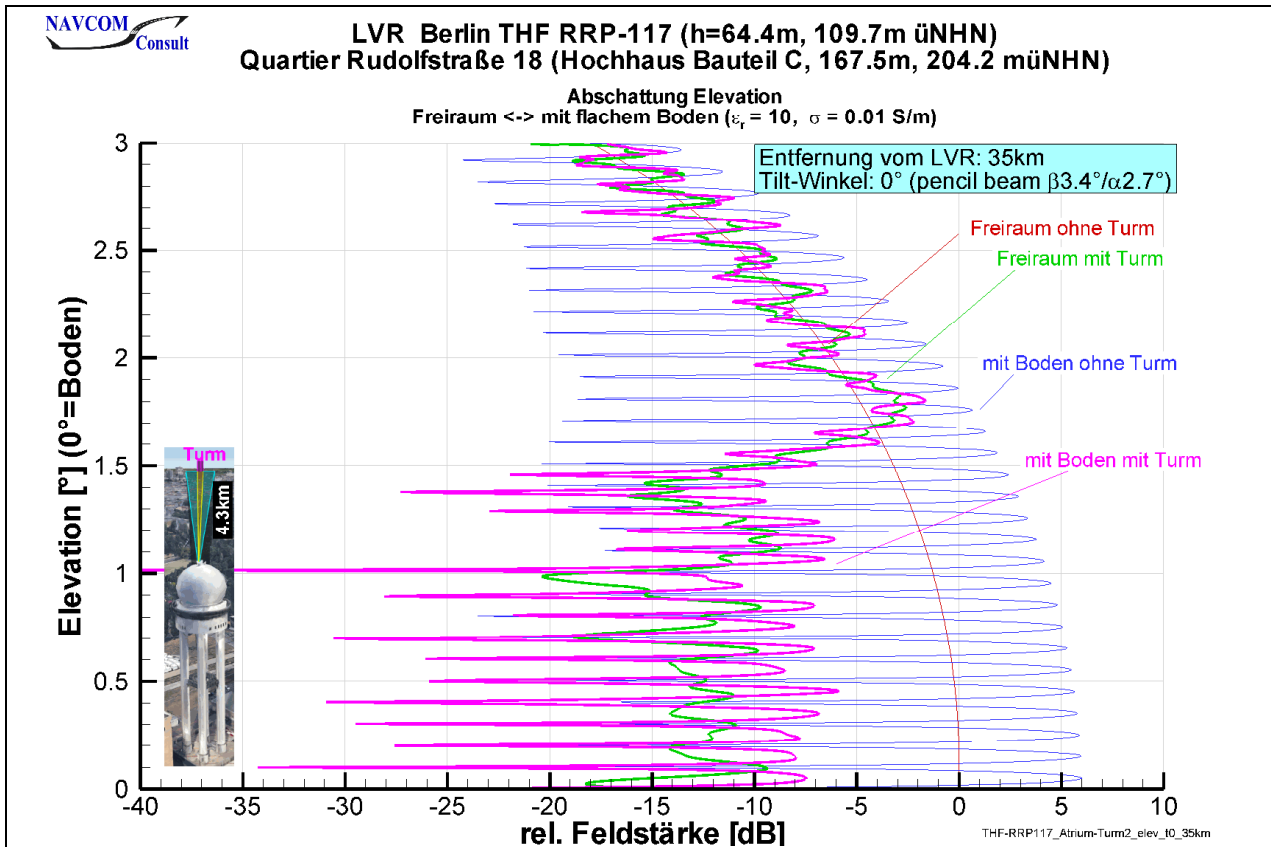


Bild 24: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°

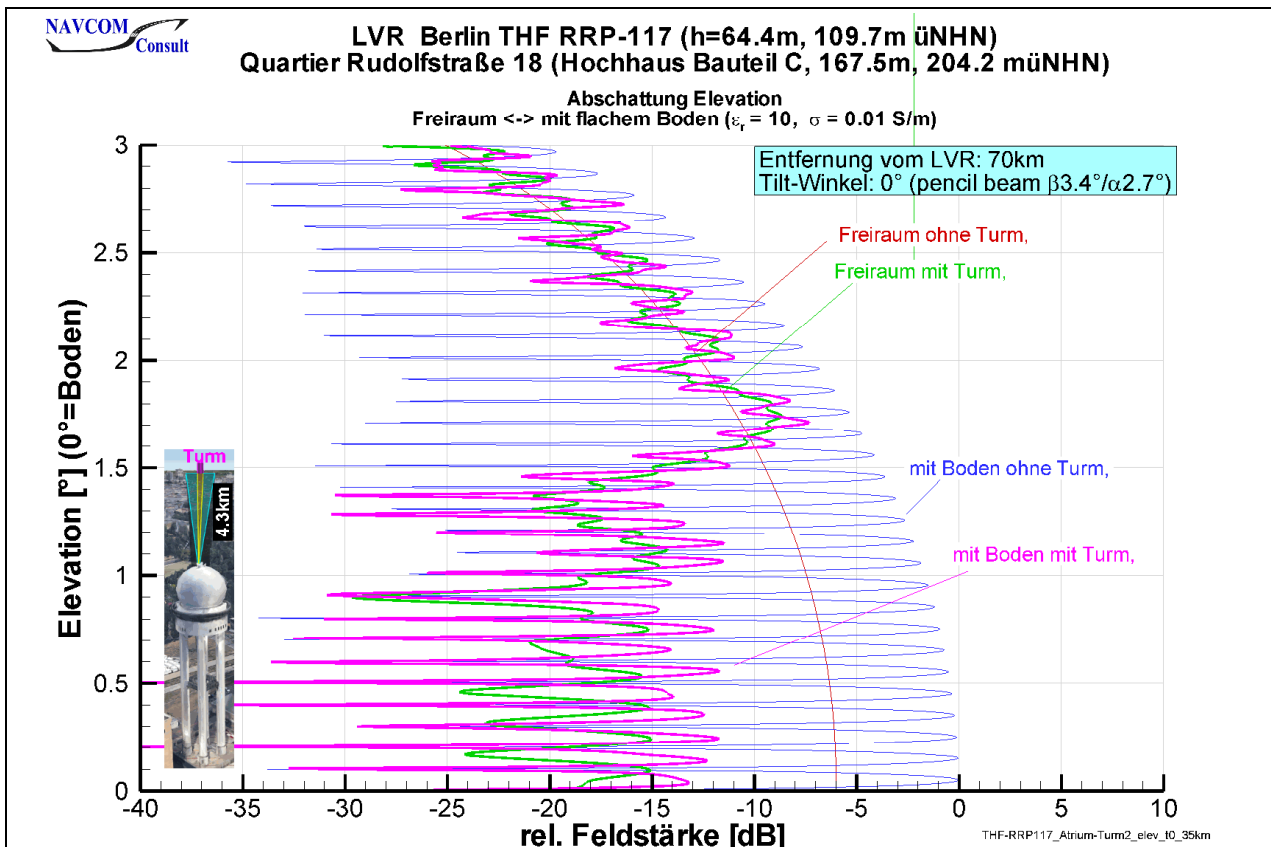


Bild 25: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°

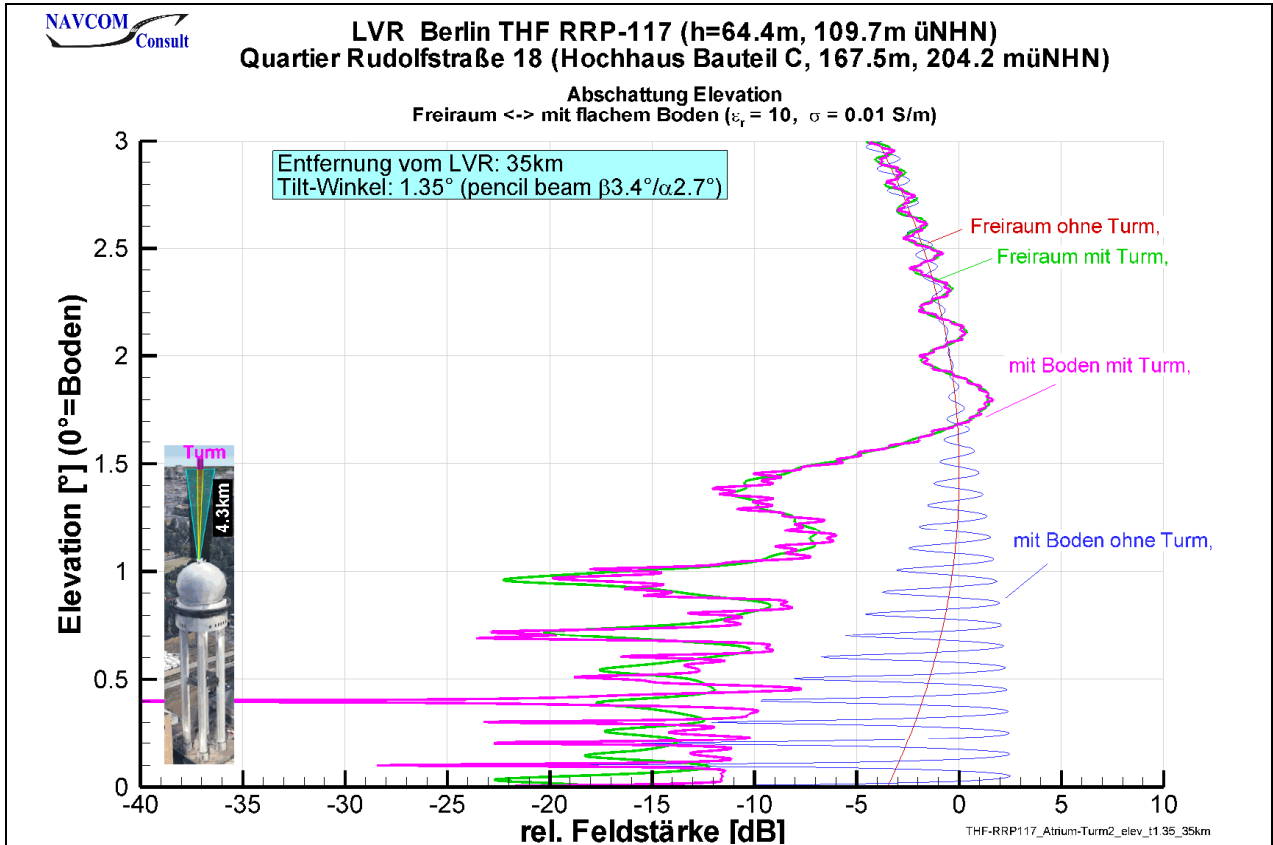


Bild 26: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°

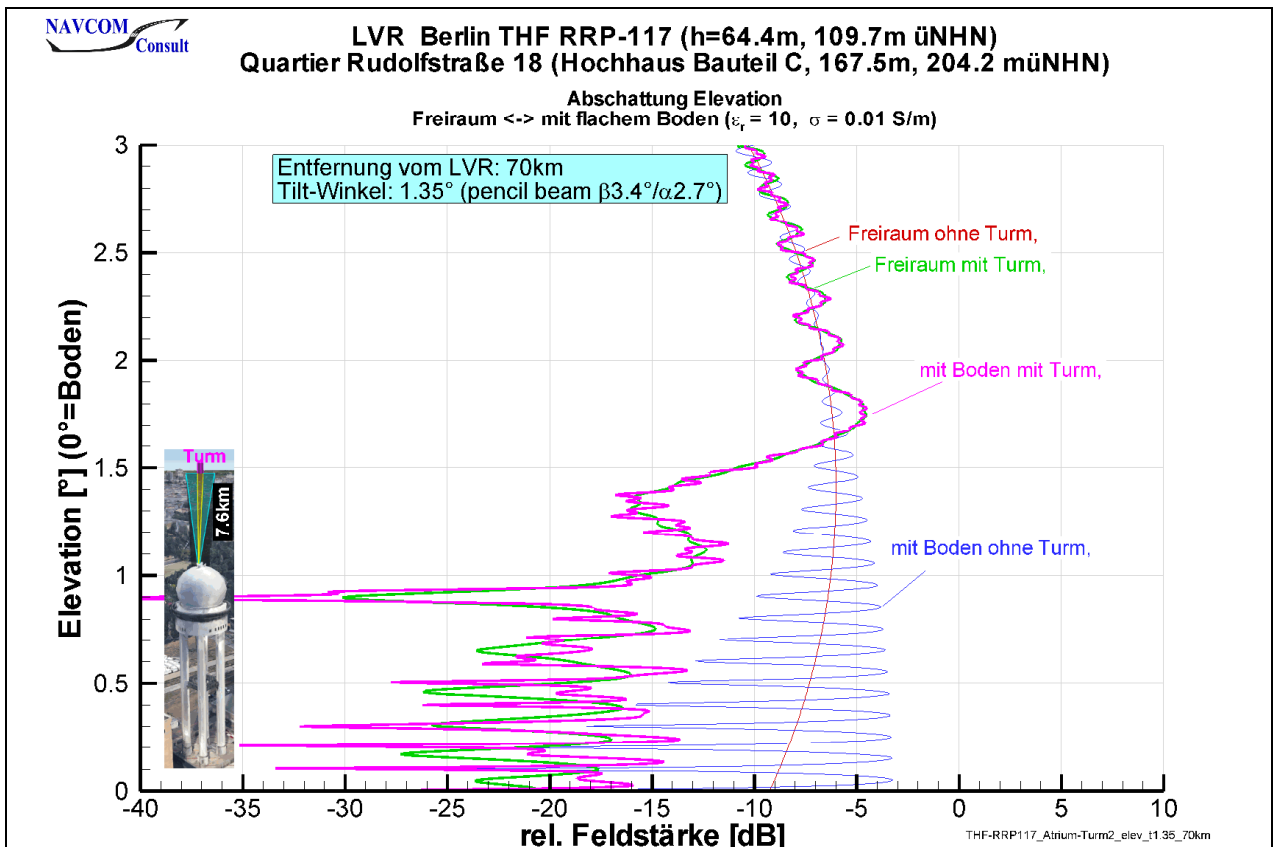


Bild 27: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Elevation, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°

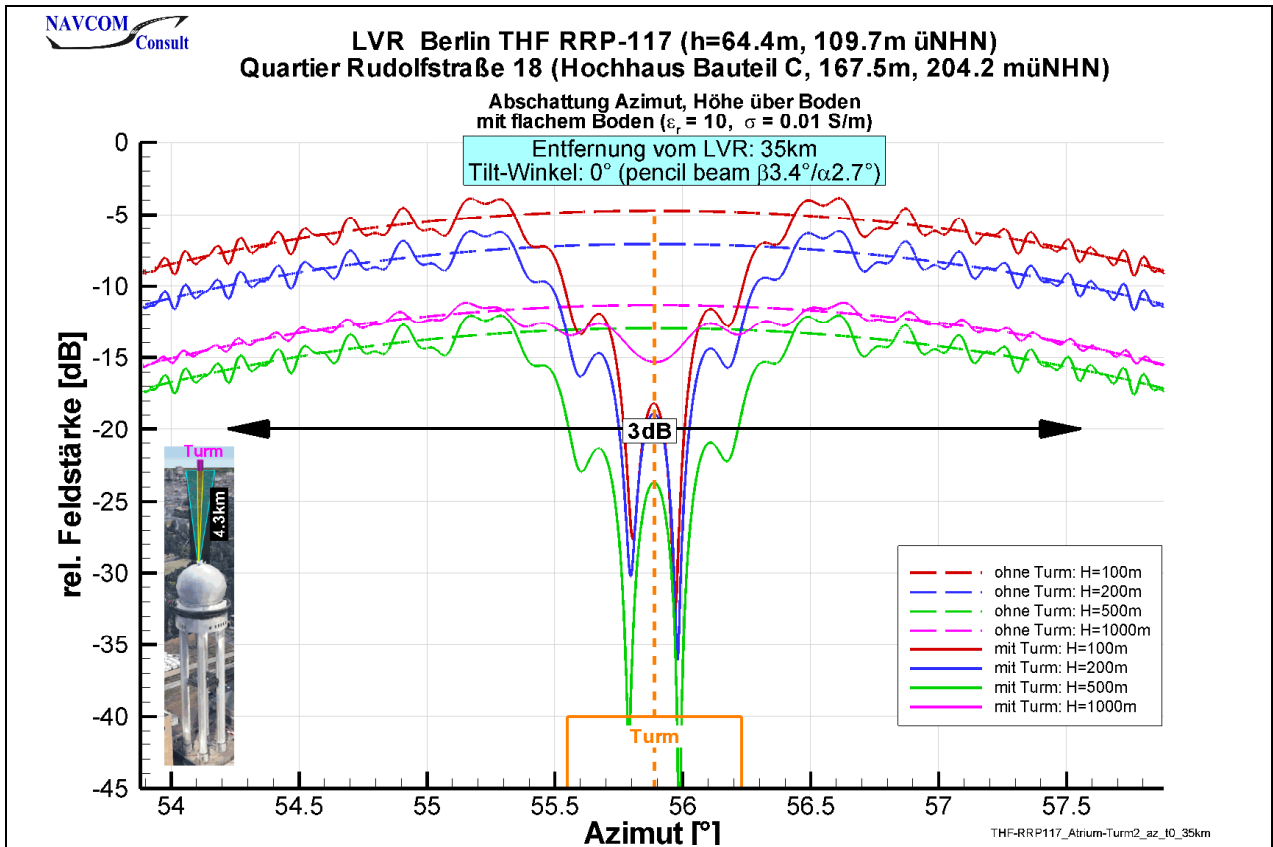


Bild 28: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 0°

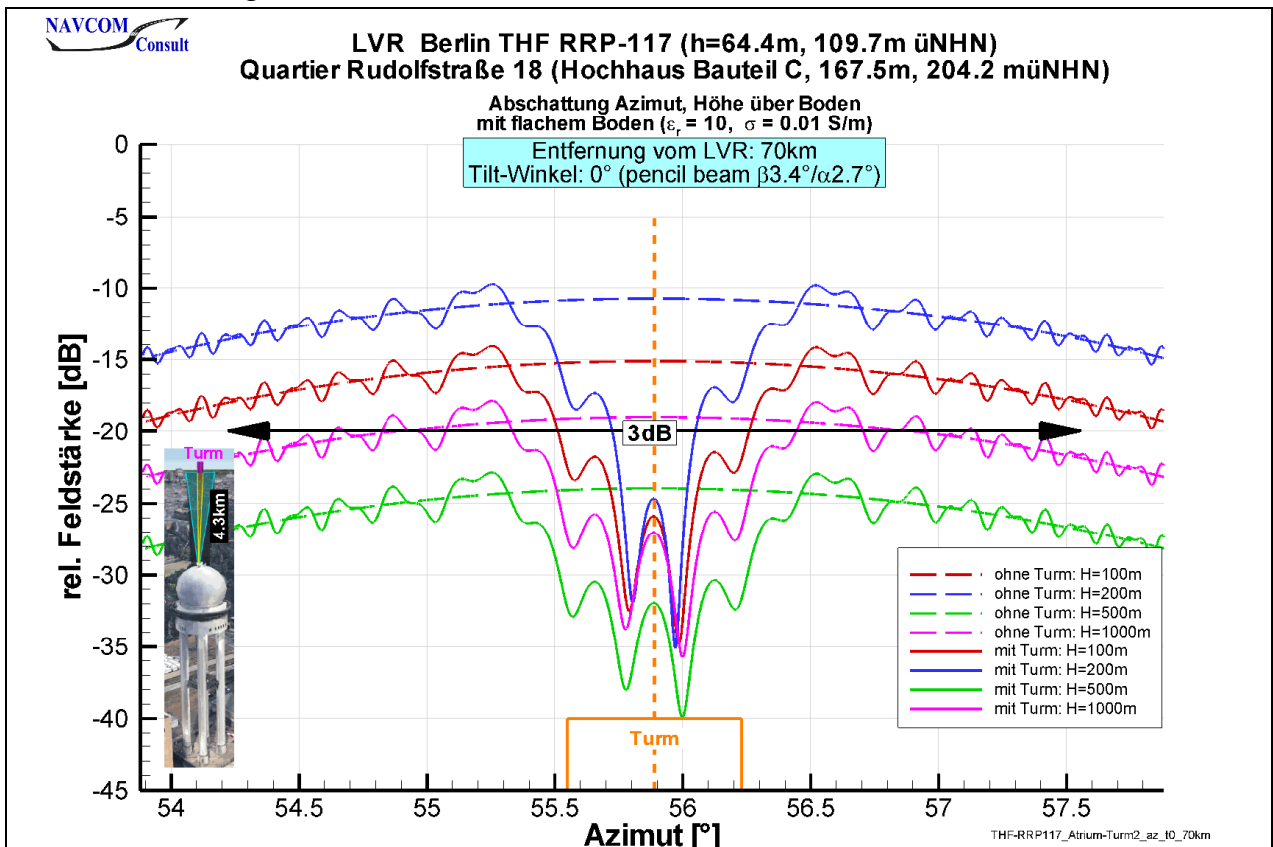


Bild 29: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 0°

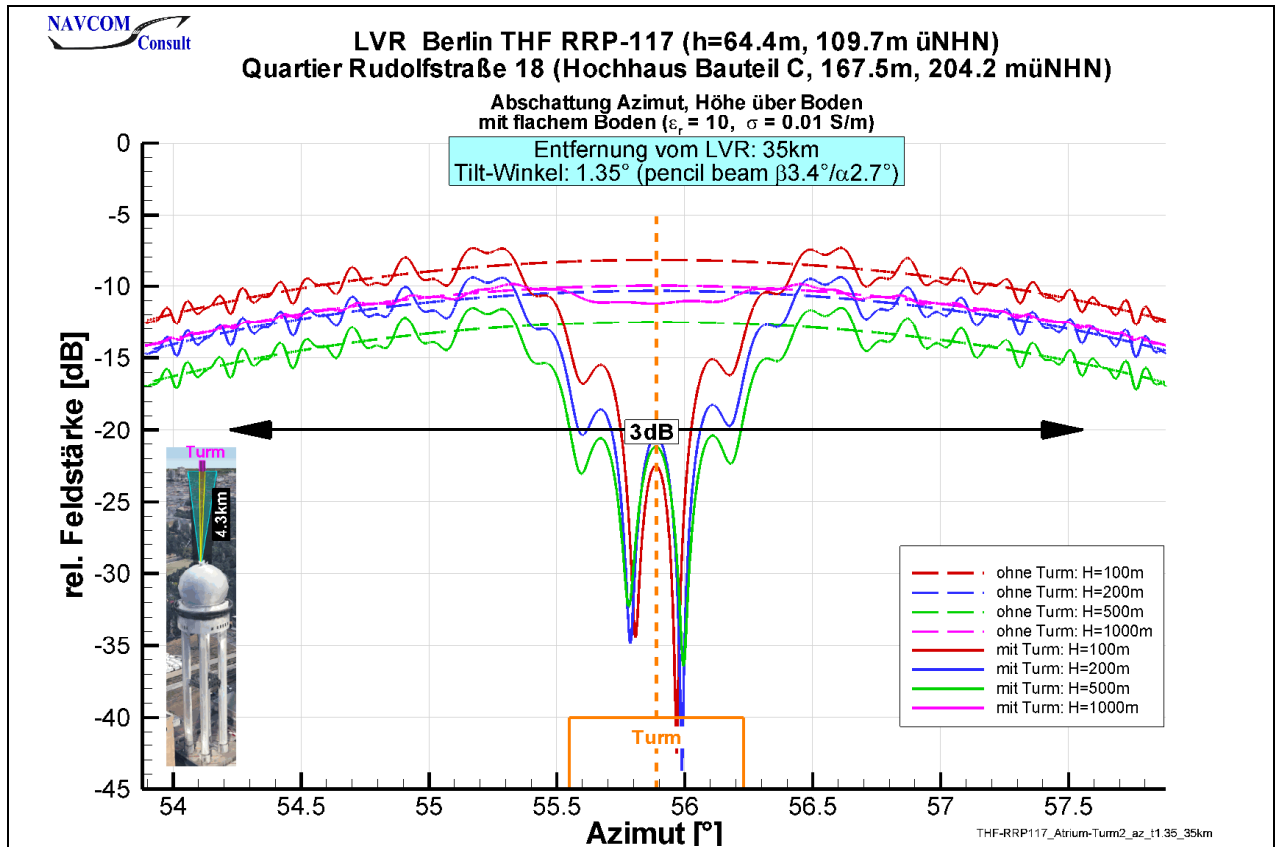


Bild 30: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 35km; PSR Tilt 1.35°

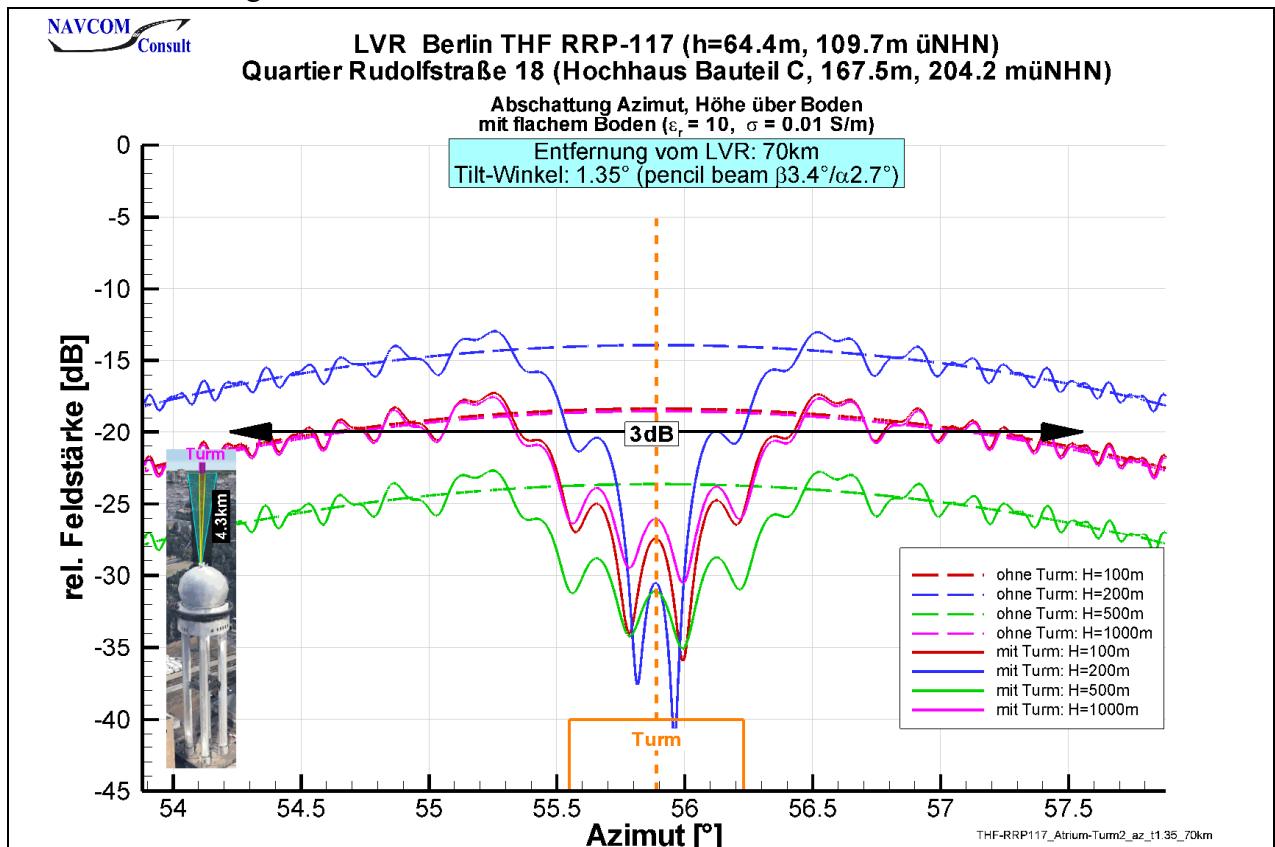


Bild 31: LVR-THF, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Feldstärke Azimut, verschiedene Höhen, Entfernung 70km; PSR Tilt 1.35°

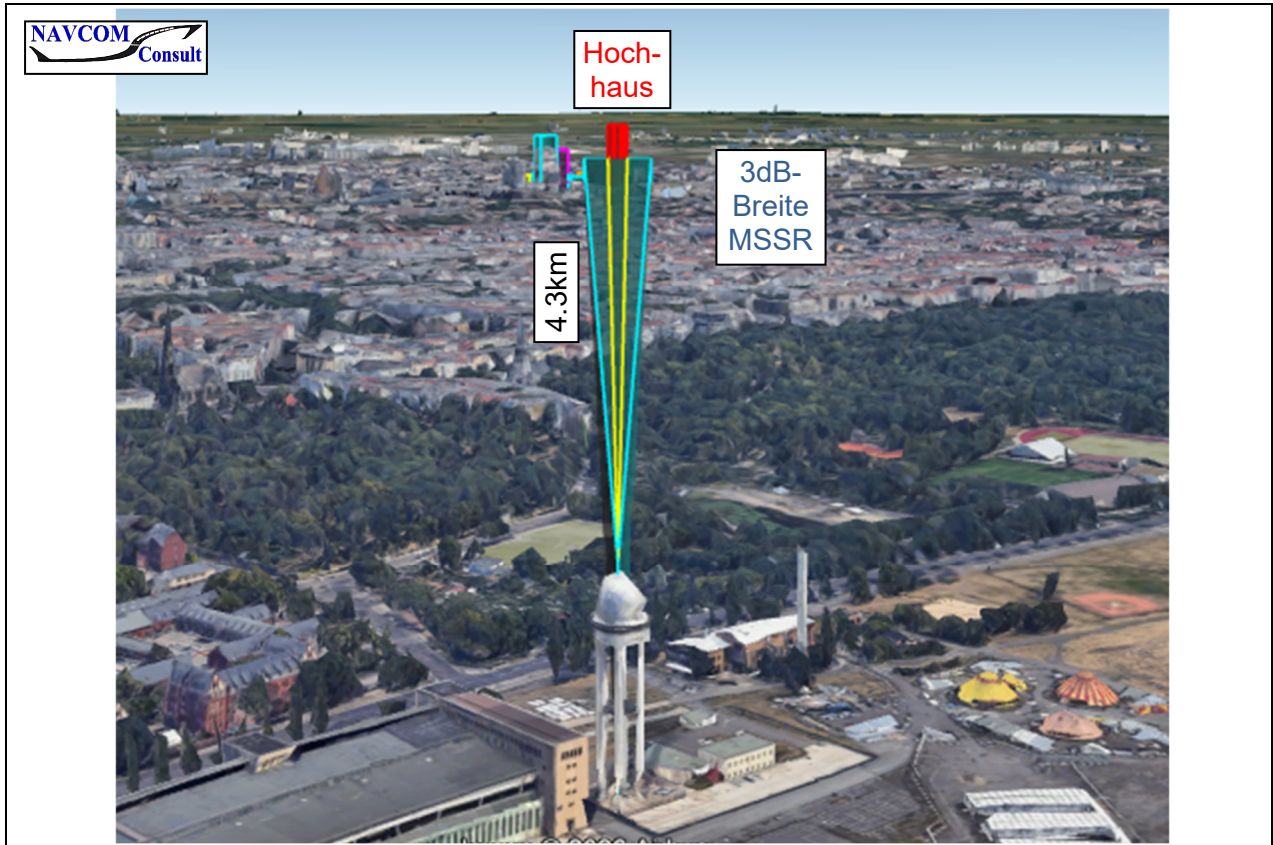


Bild 32: LVR THF, 3dB-Breite MSSR in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet

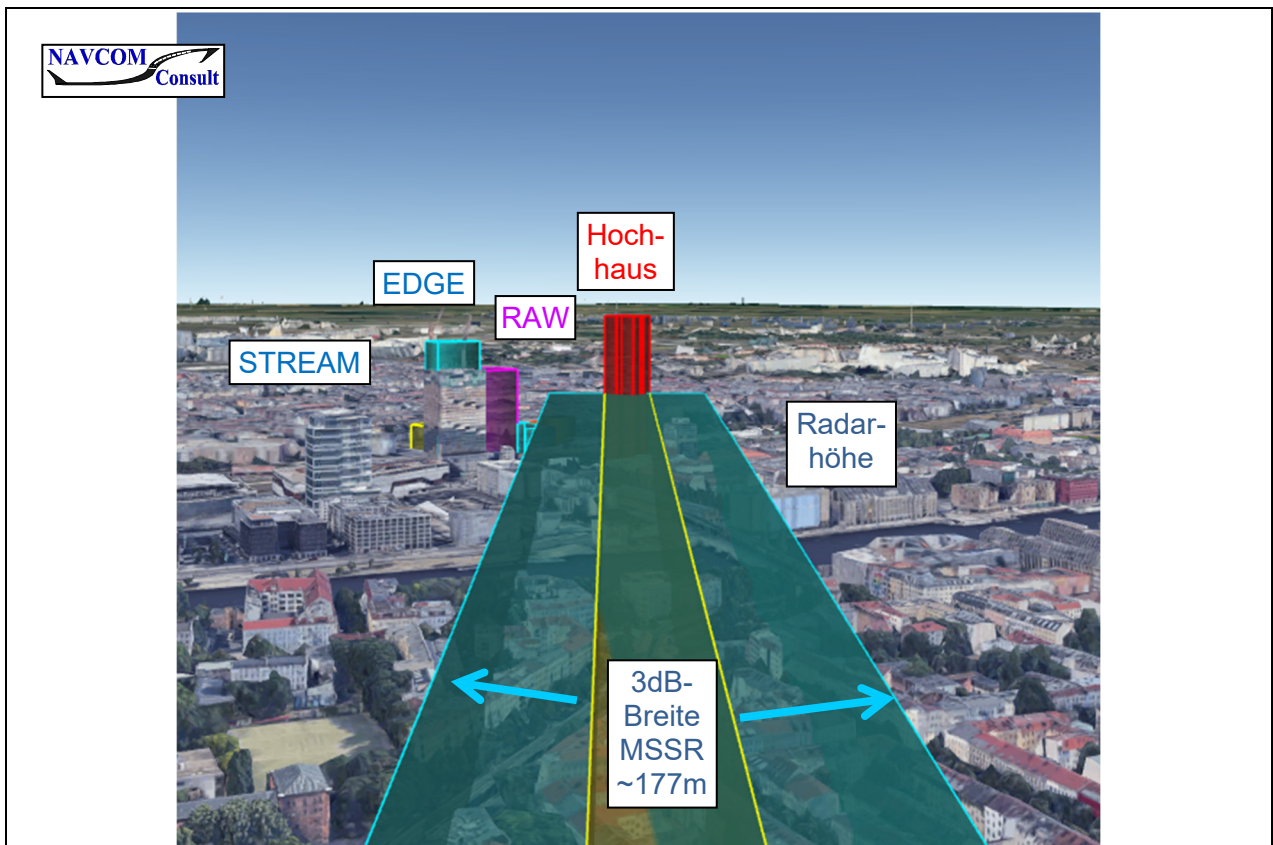


Bild 33: LVR THF, 3dB-Breite MSSR in Radarhöhe; Hochhaus

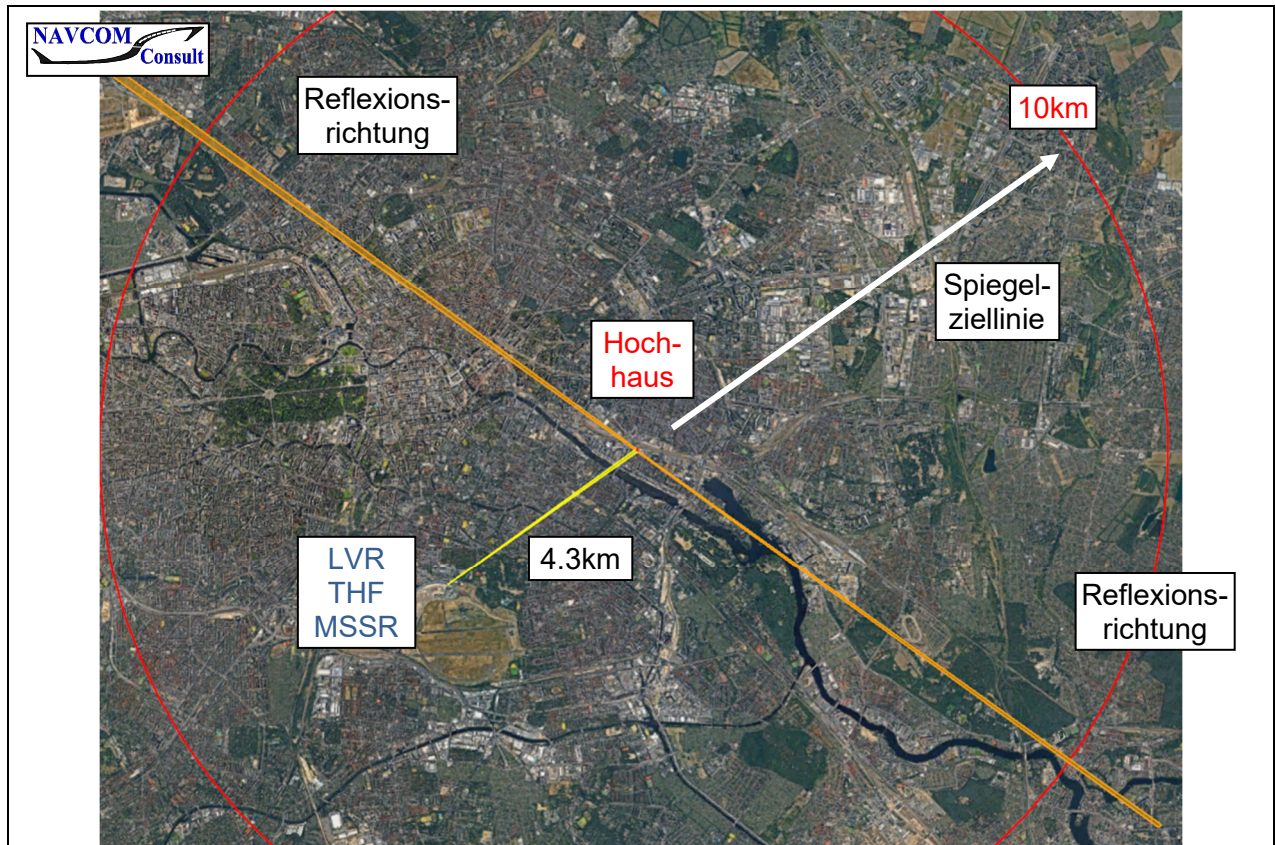


Bild 34: LVR THF, Aufsicht auf das Anstrahlungsszenario, Reflexionsrichtungen für MSSR

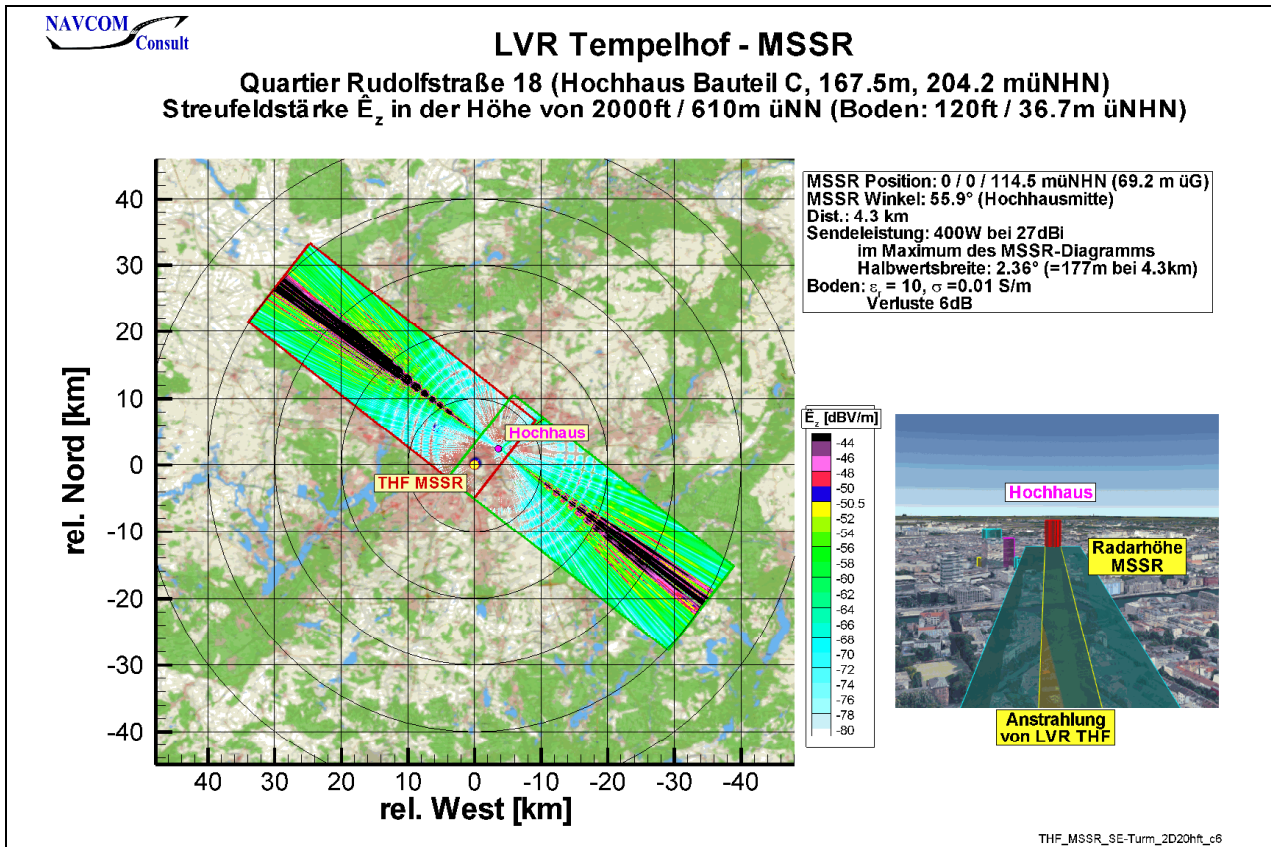


Bild 35: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 2000ft

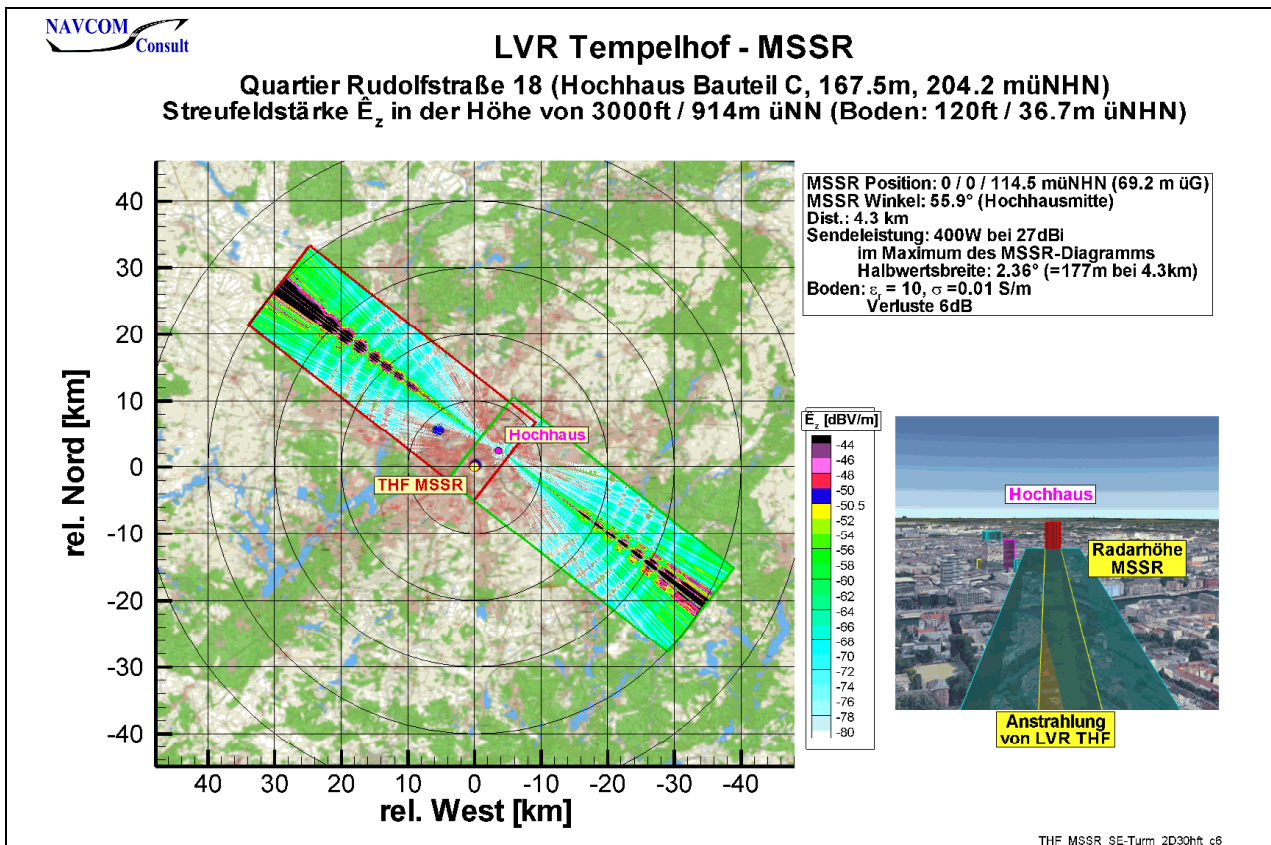


Bild 36: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft

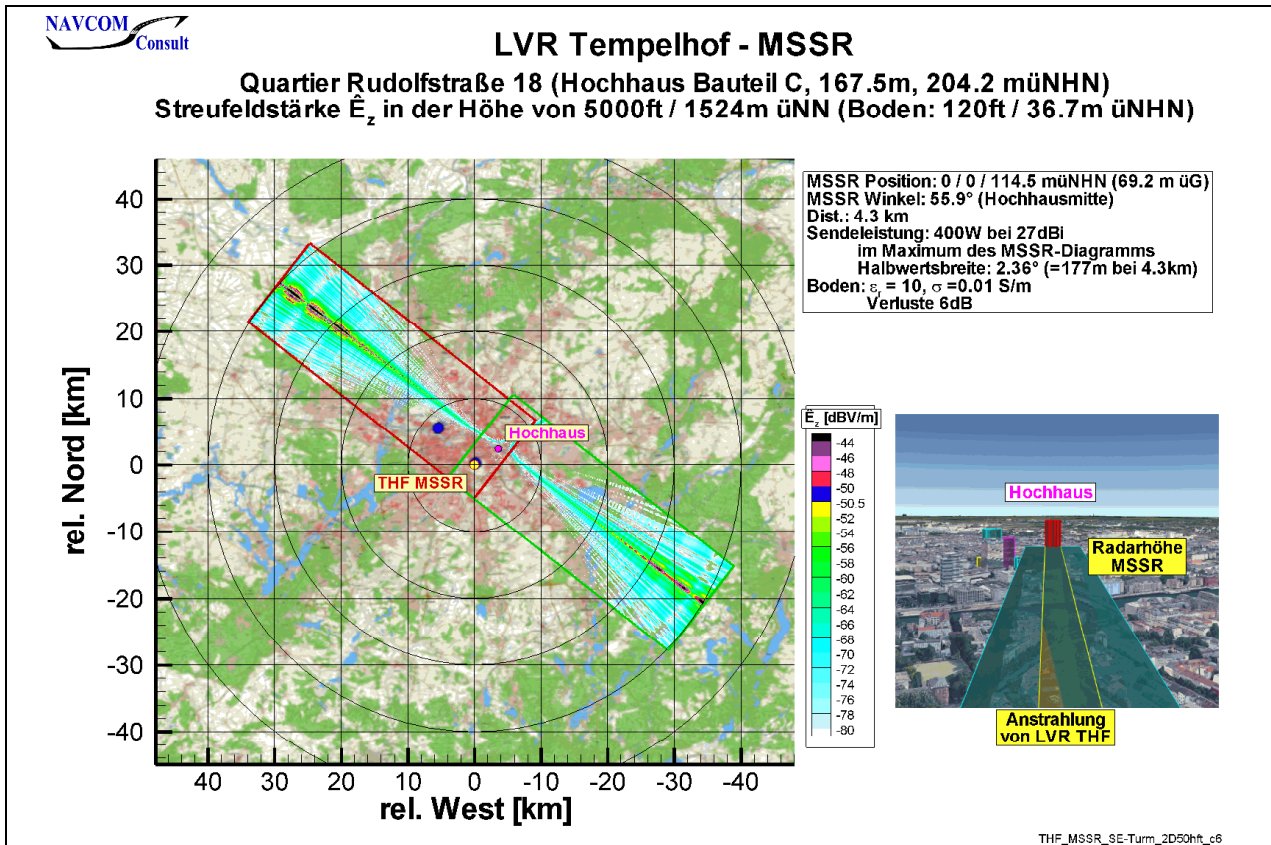


Bild 37: LVR THF, MSSR; Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärken in Höhe 5000ft

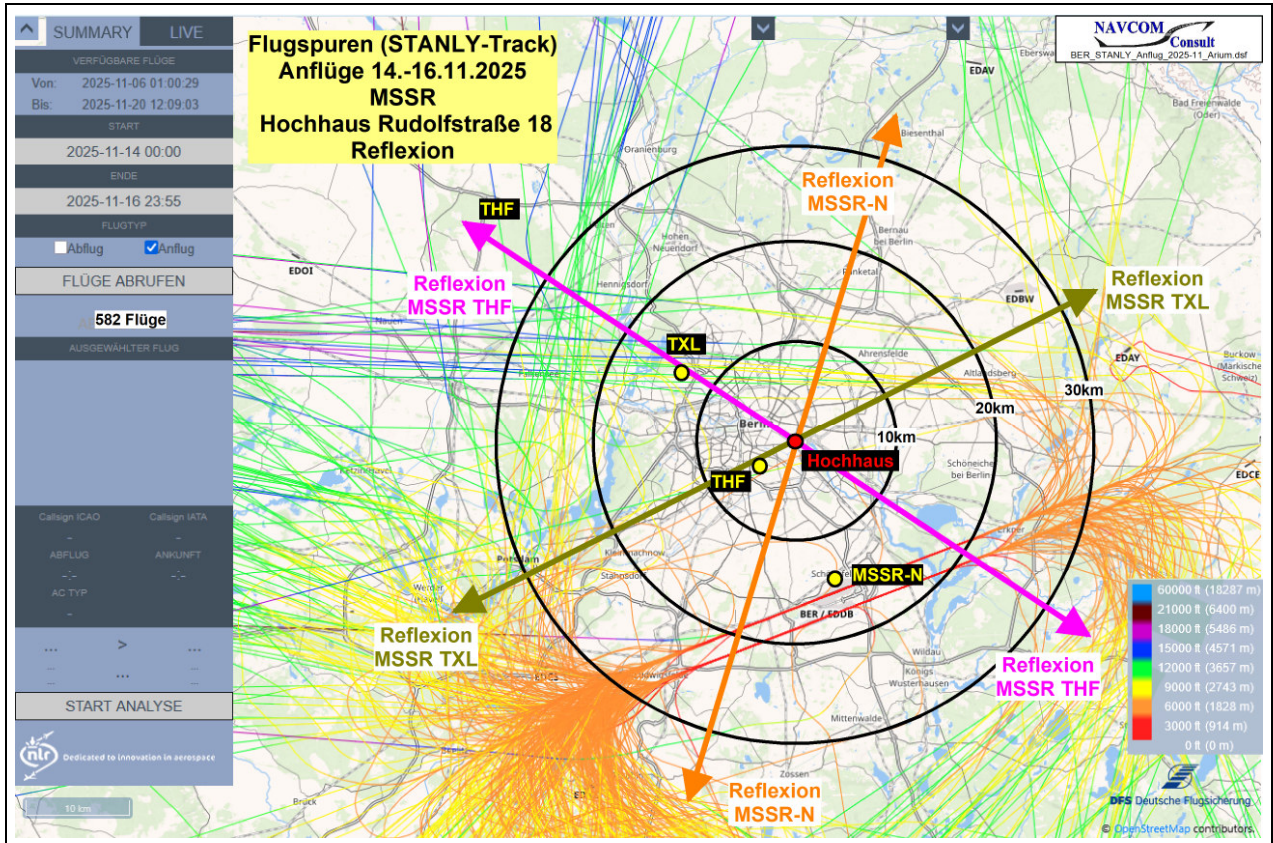


Bild 38: EDDB, STANLY-Track, Anflüge 2025/11/14-16; MSSR, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Hauptreflexionsrichtungen

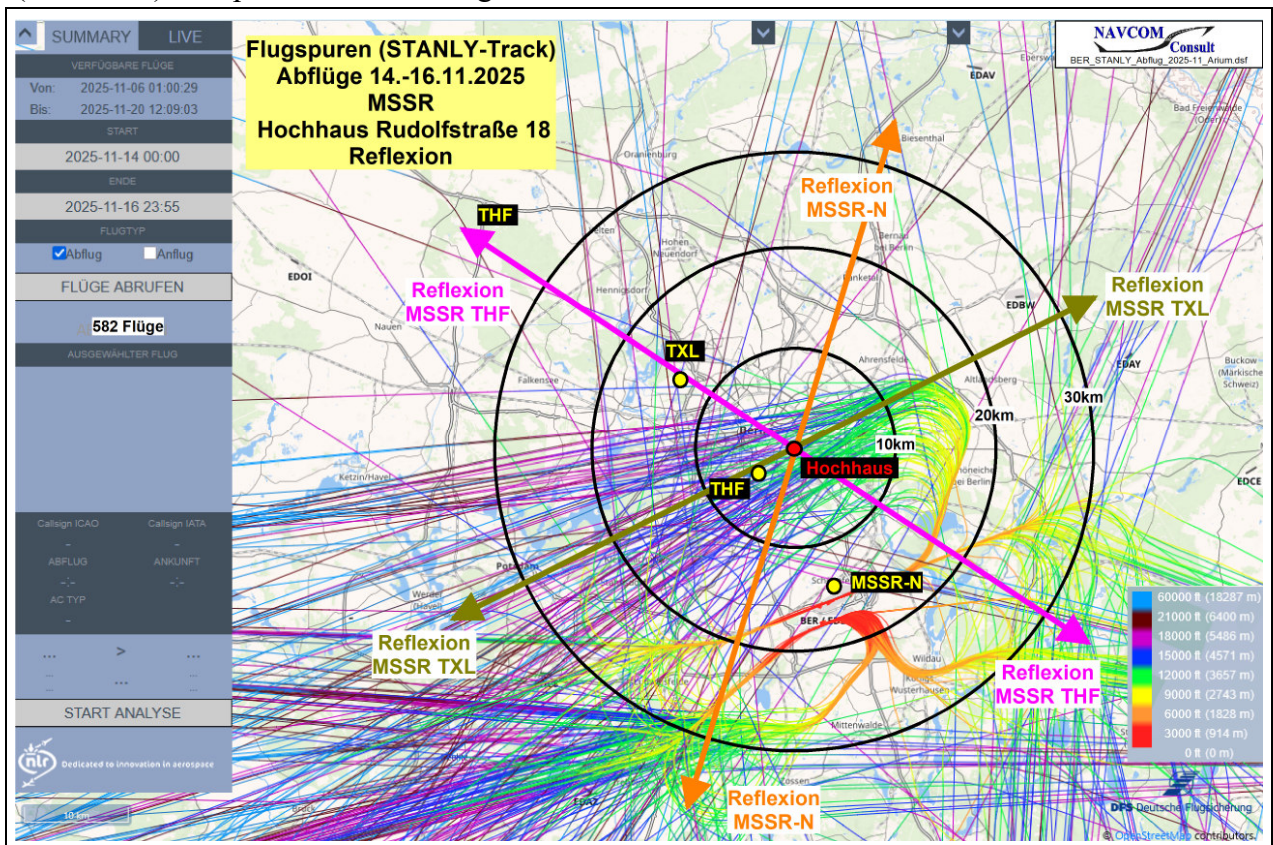


Bild 39: EDDB, STANLY-Track, Abflüge 2025/11/14-16; MSSR, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Hauptreflexionsrichtungen

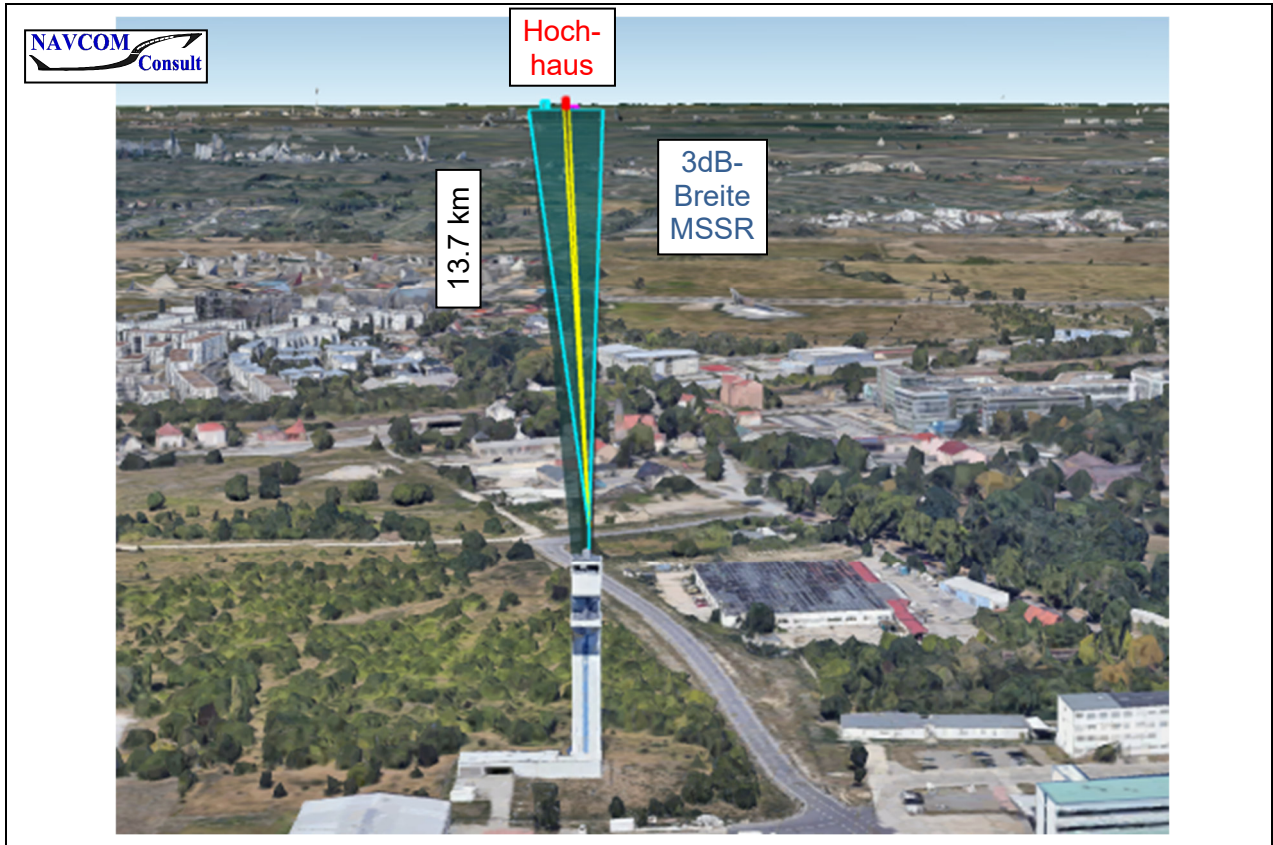


Bild 40: BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus, Blick auf das Baugebiet

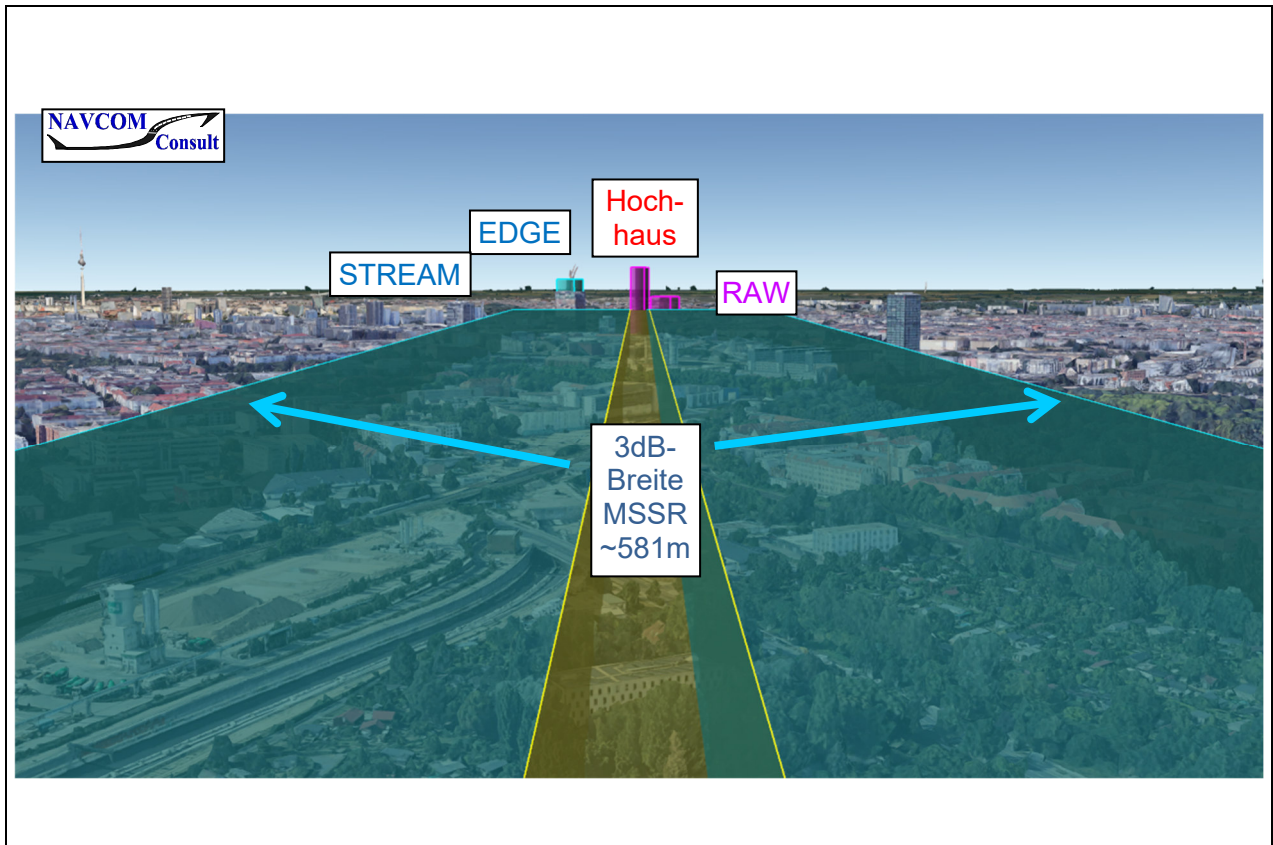


Bild 41: BER MSSR-N, 3dB-Breite in Radarhöhe; Hochhaus; Nahbereich

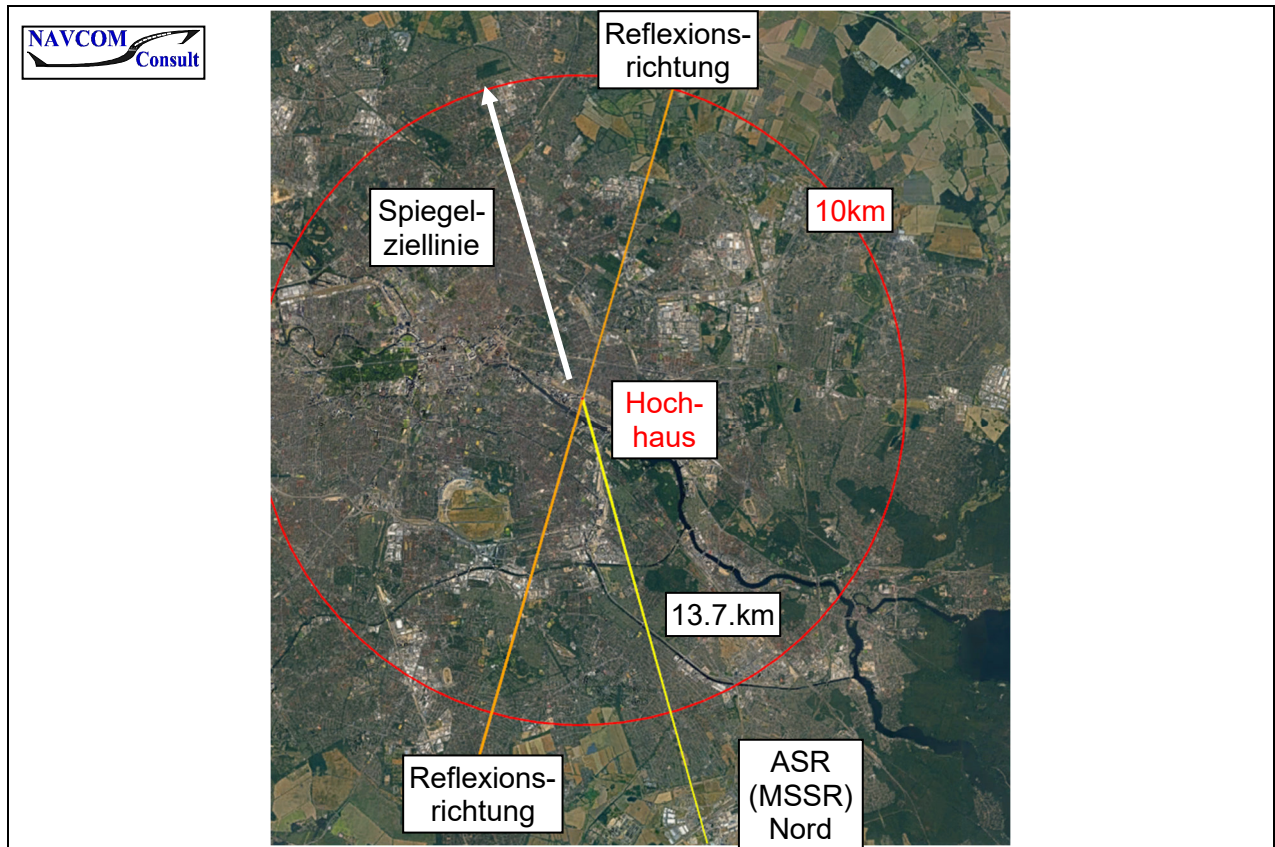


Bild 42: BER MSSR Nord, Anstrahlungs und Reflexionsszenario

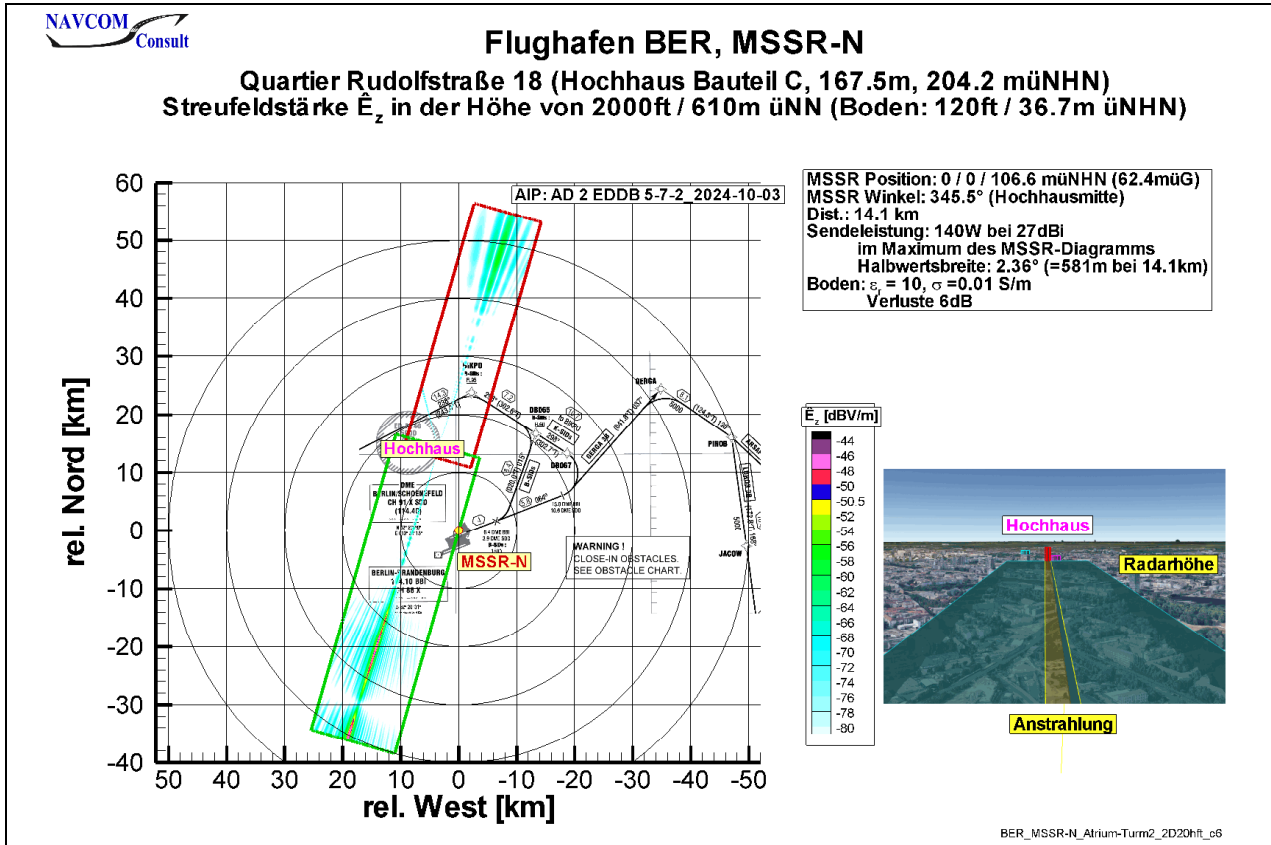


Bild 43: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft

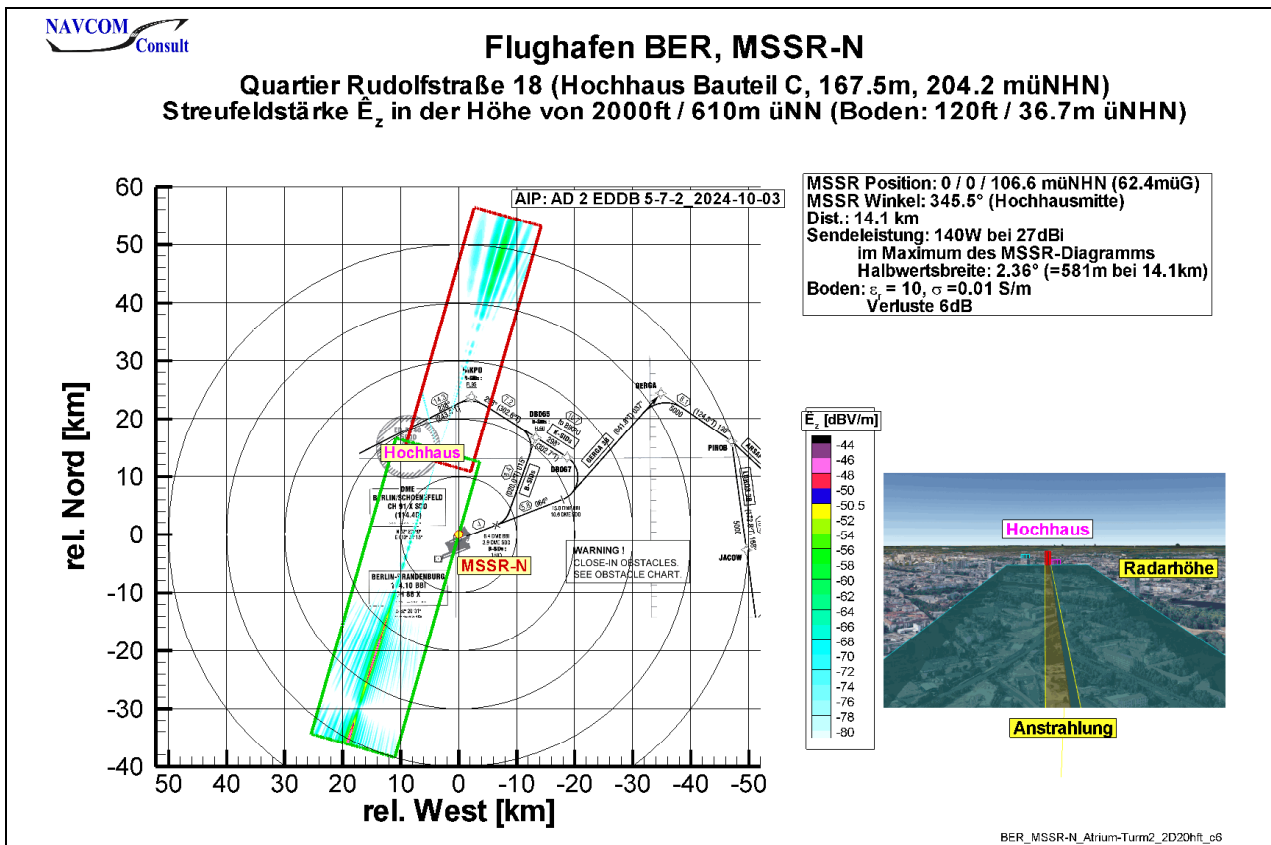


Bild 44: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft

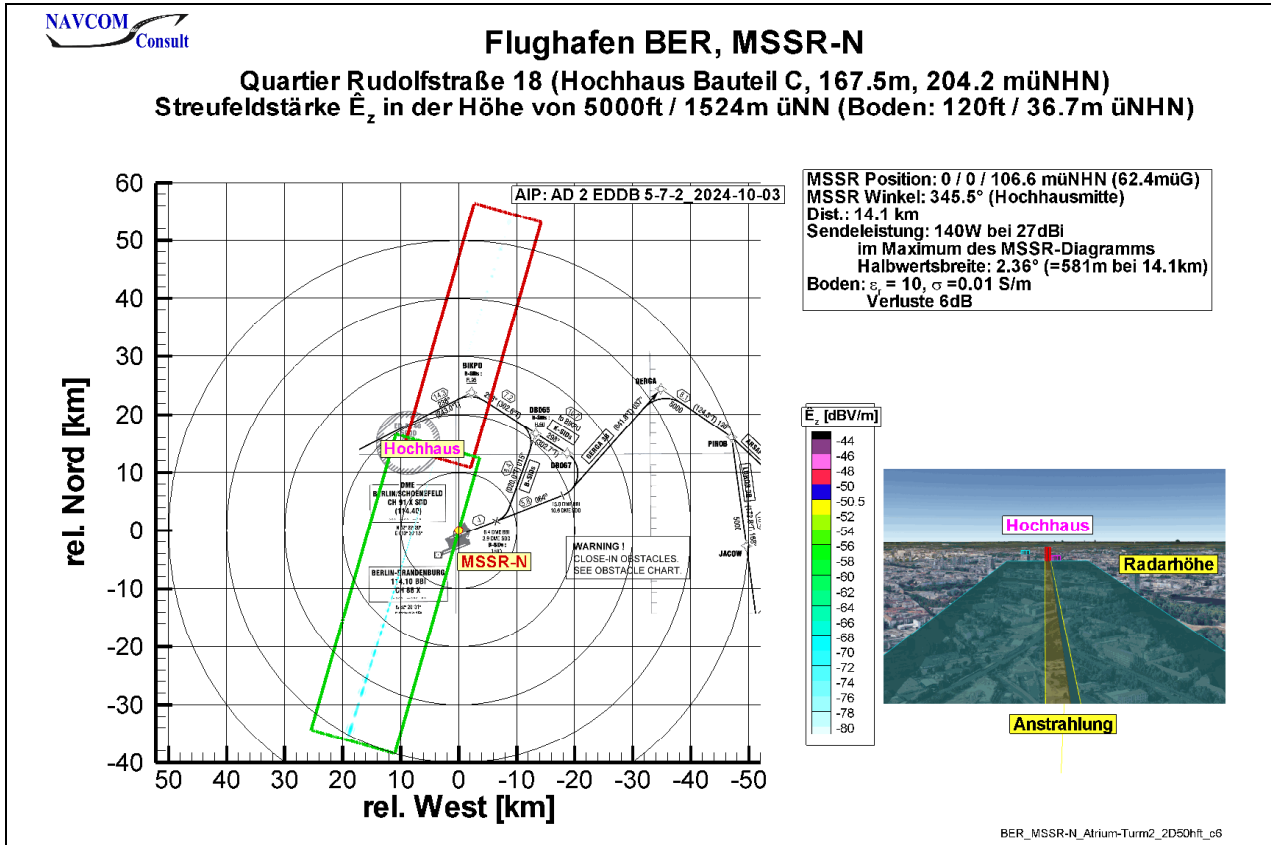


Bild 45: BER MSSR-Nord, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft

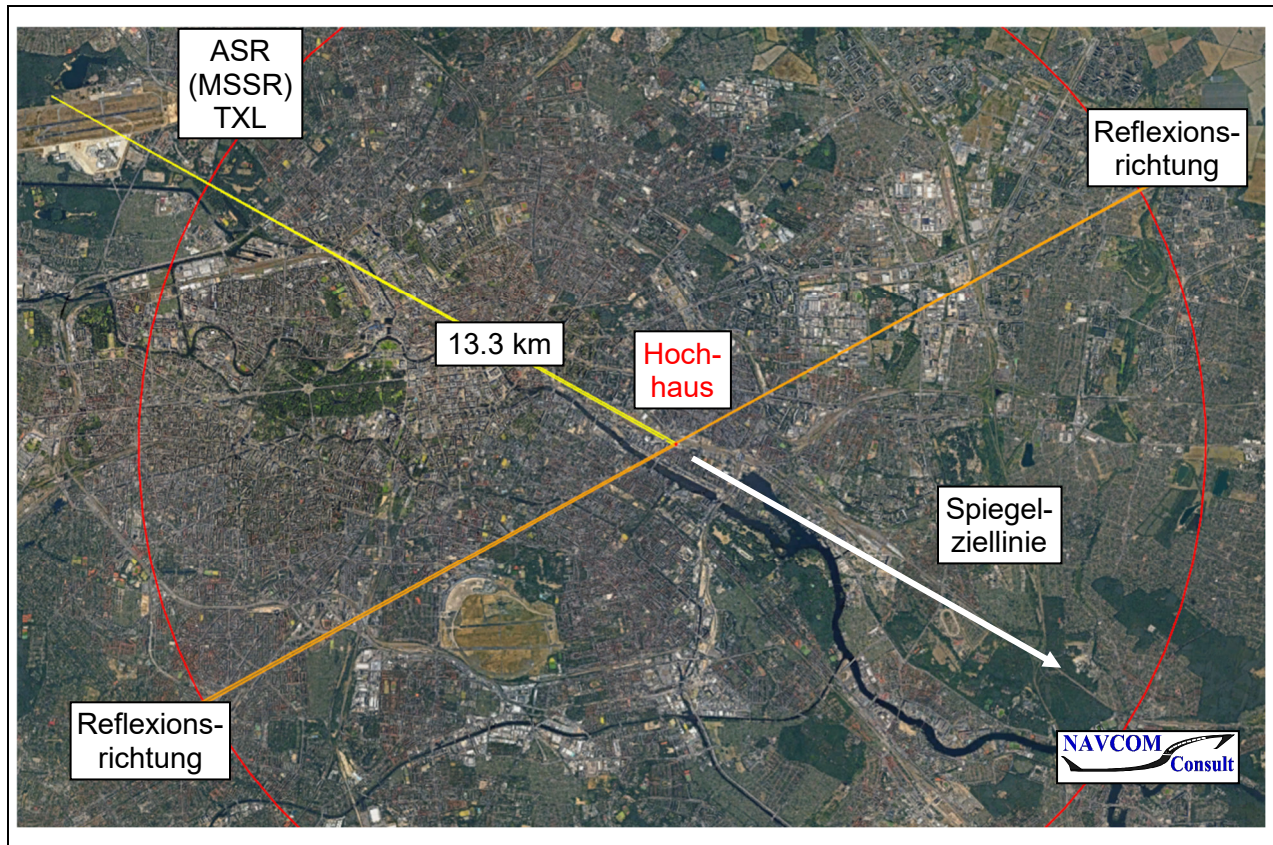


Bild 46: MSSR TXL, Anstrahlungs- und Reflexionsszenario

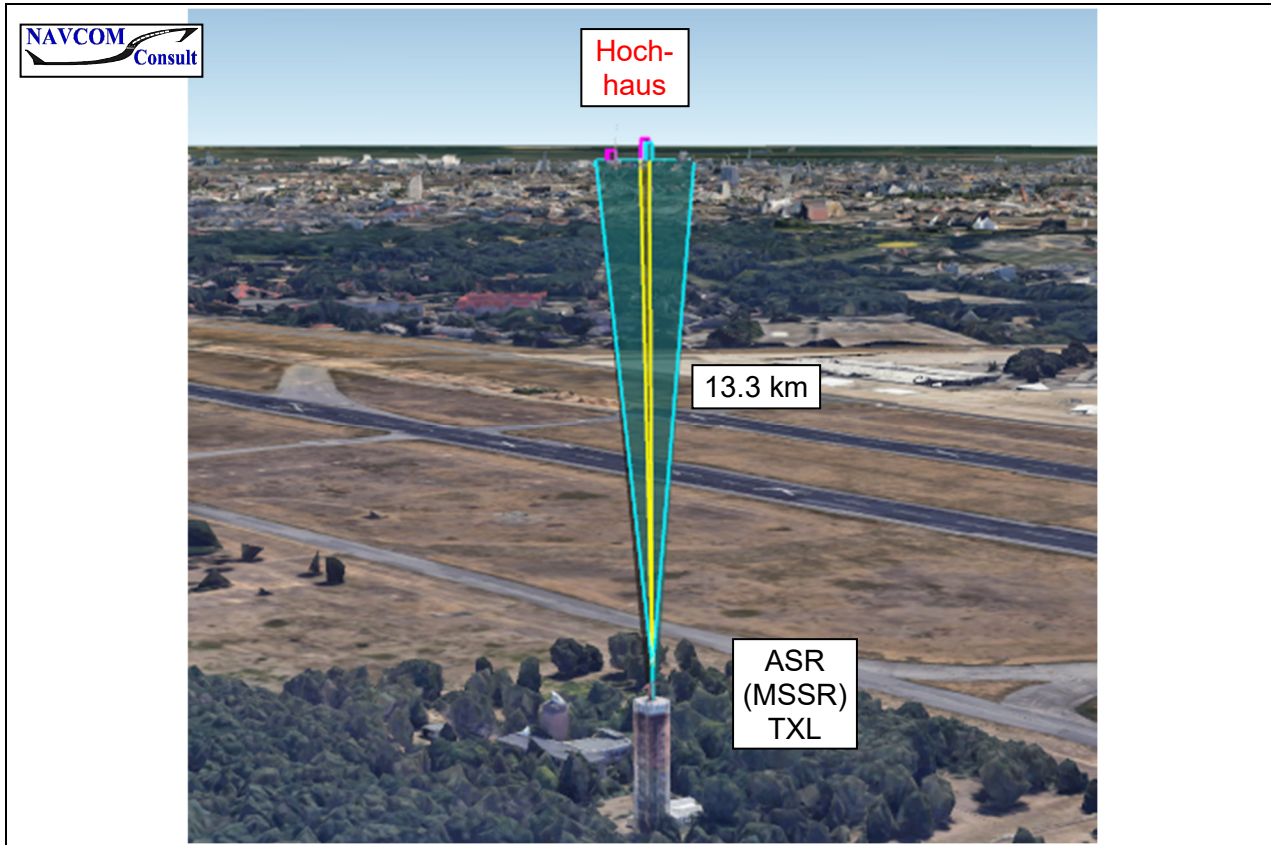


Bild 47: MSSR TXL, 3dB-Breite in Radarhöhe; Blick auf das Baugebiet

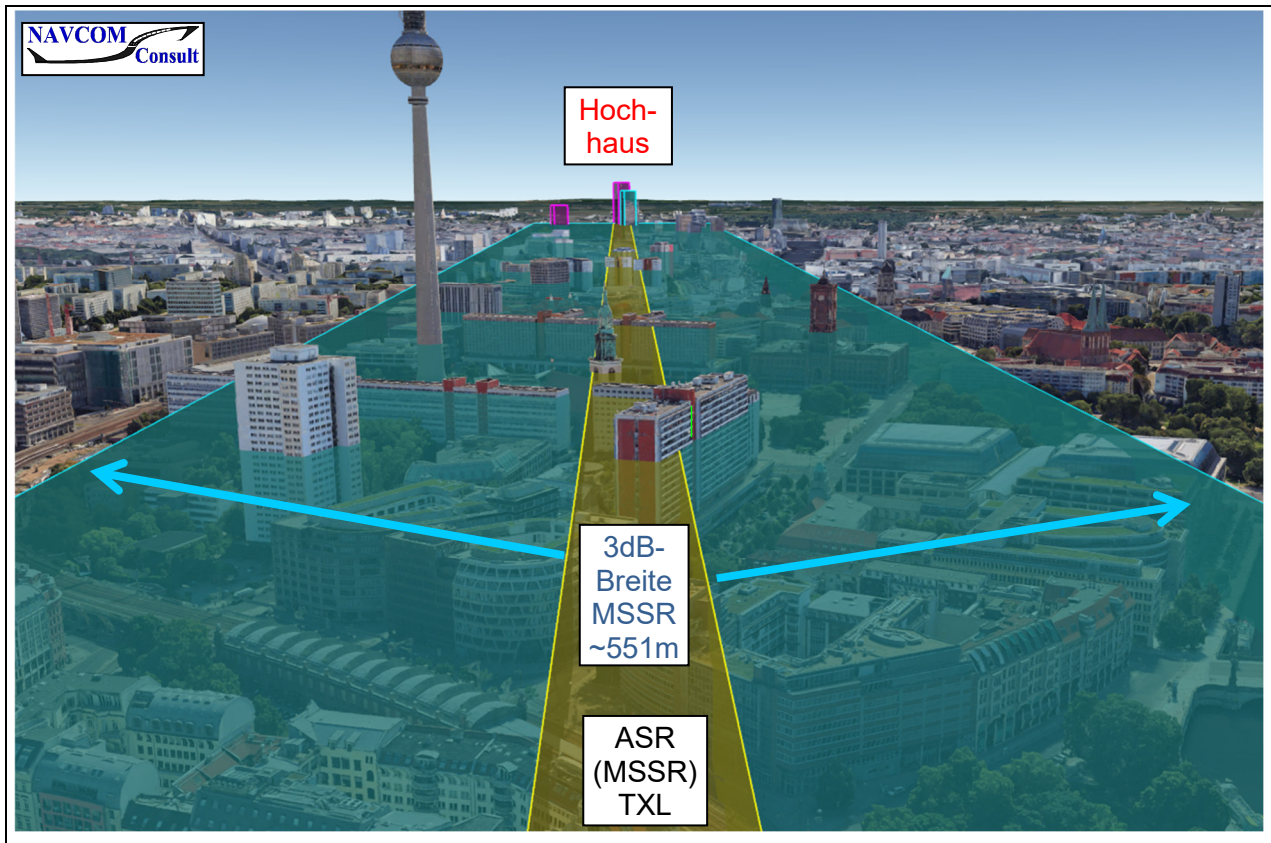


Bild 48: MSSR TXL, Blick auf das Hochhaus, effektive Anstrahlbreite (Gebäudedecken), MSSR 3dB-Breite

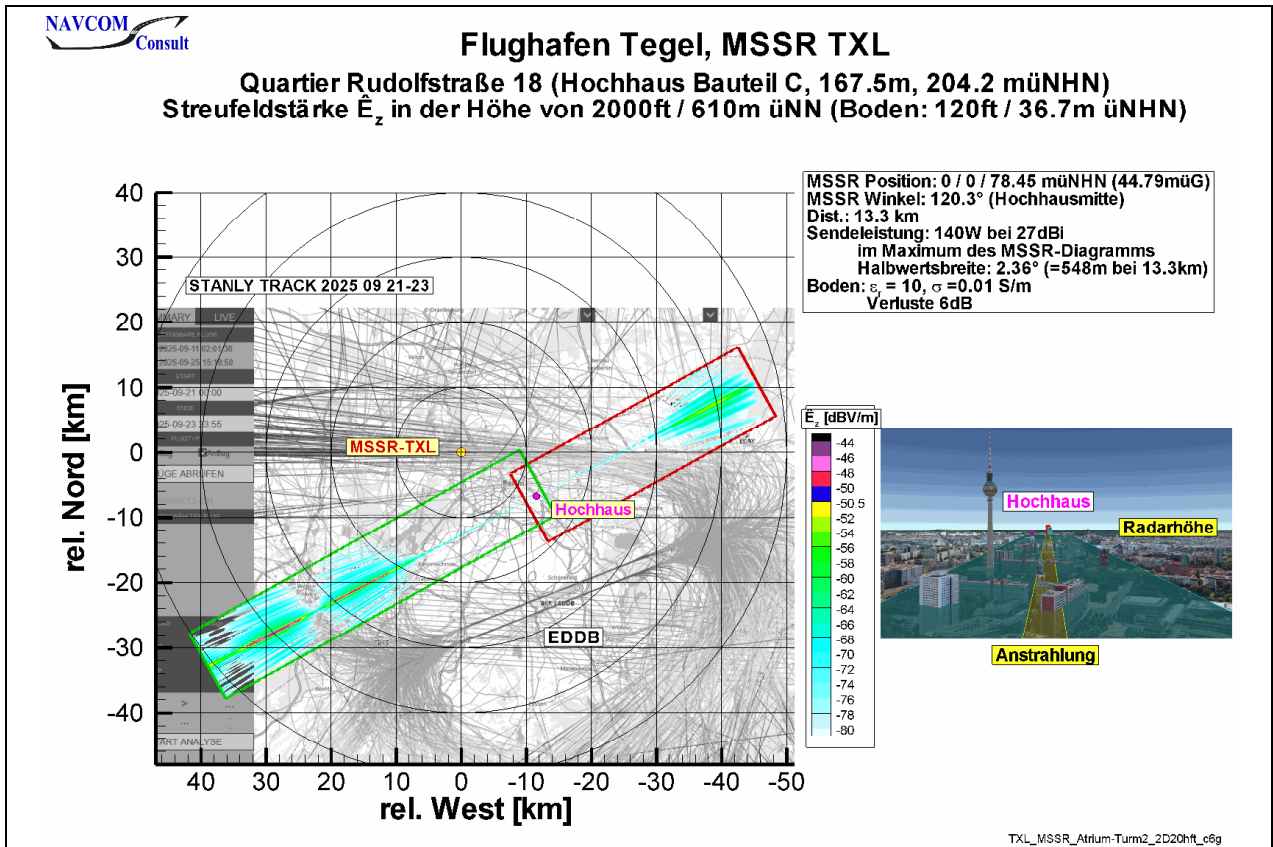


Bild 49: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 2000ft

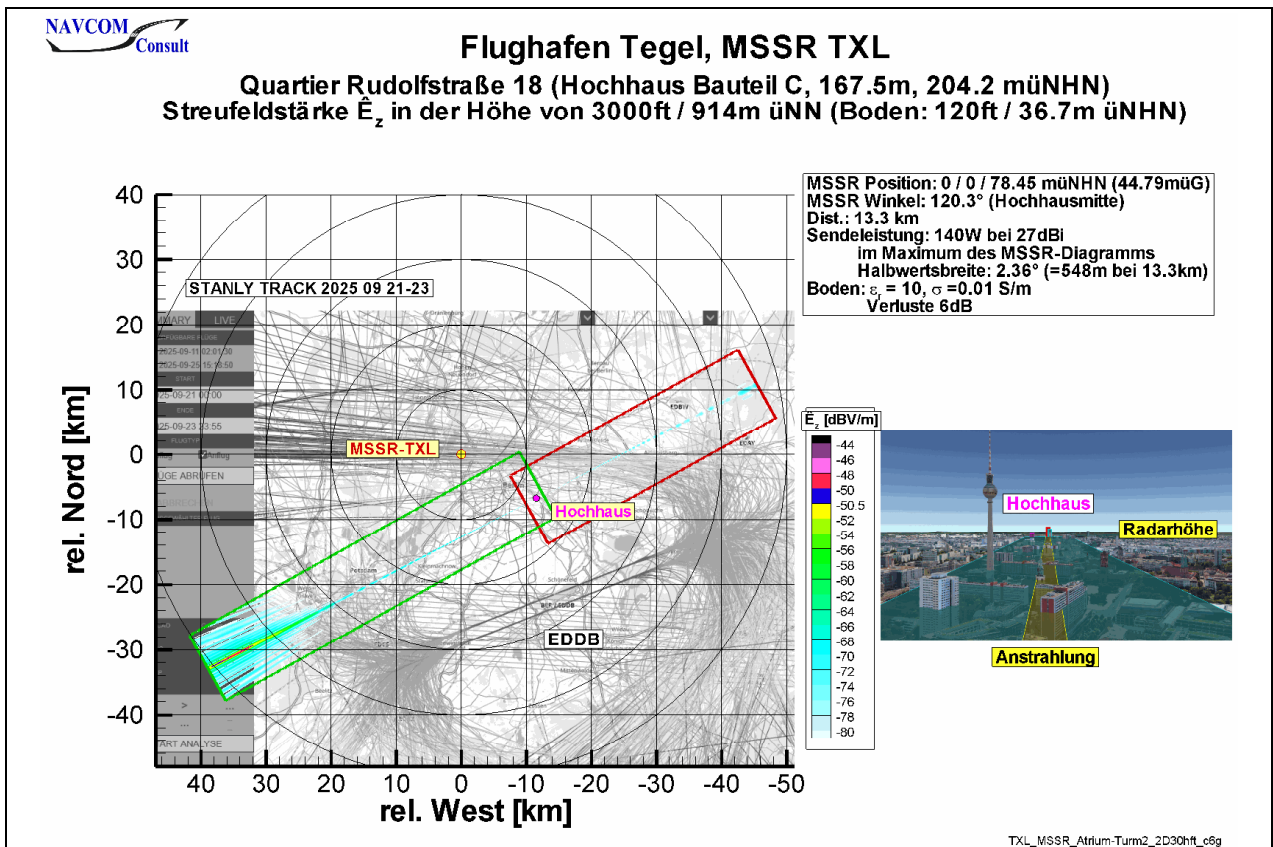


Bild 50: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 3000ft

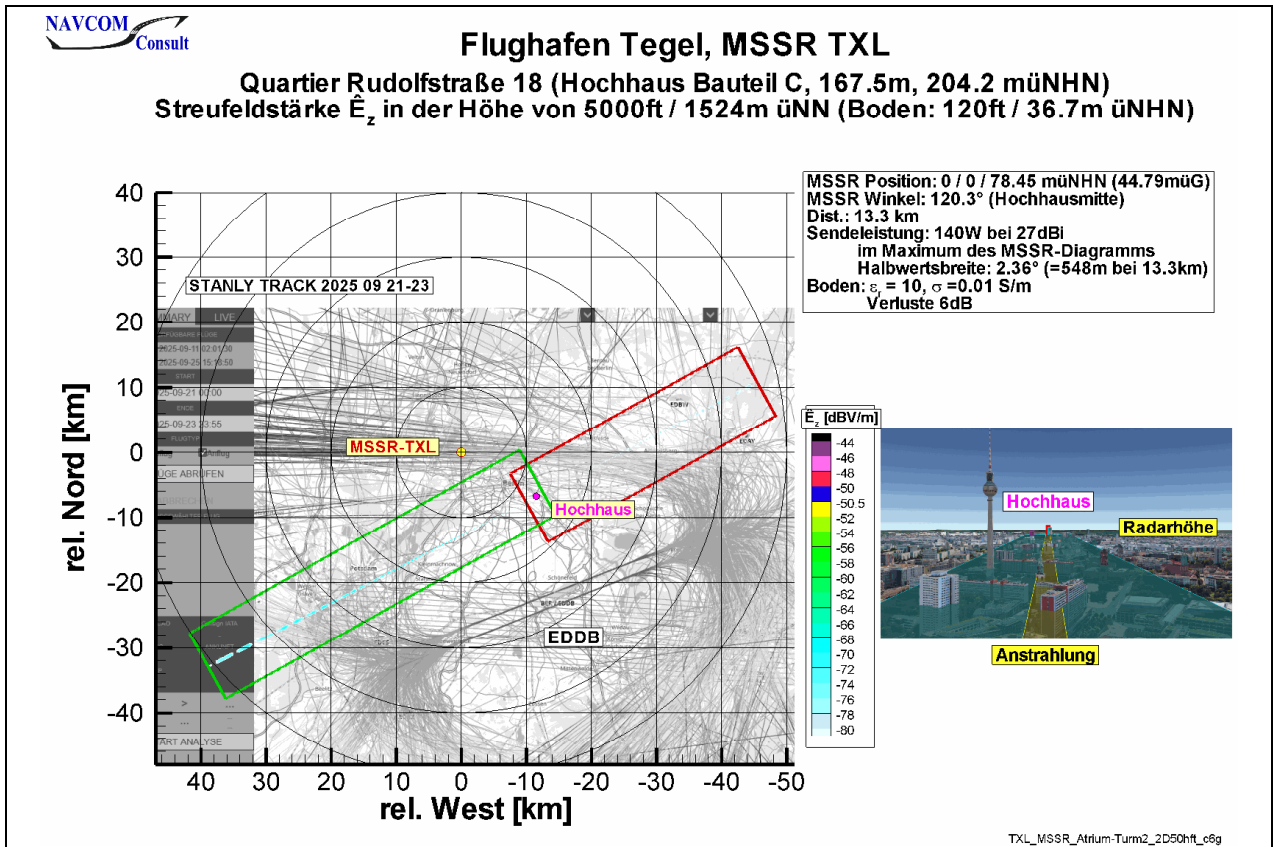


Bild 51: MSSR TXL, Quartier Rudolfstraße 18 (Hochhaus), Streufeldstärke in Höhe 5000ft

10 Anhang A (ergänzende Bilder)

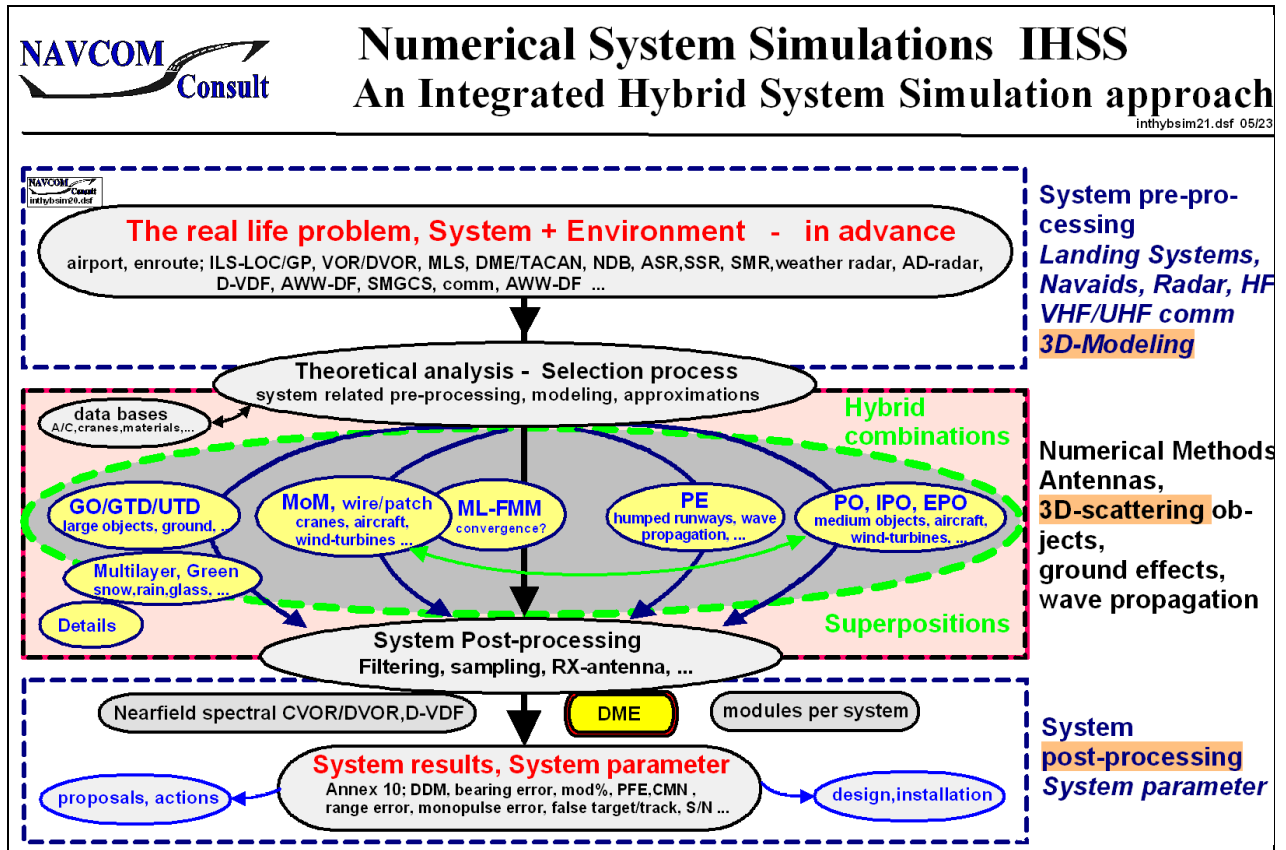


Bild A - 1: Ablaufdiagramm der integriert hybriden Systemsimulation (IHSS)

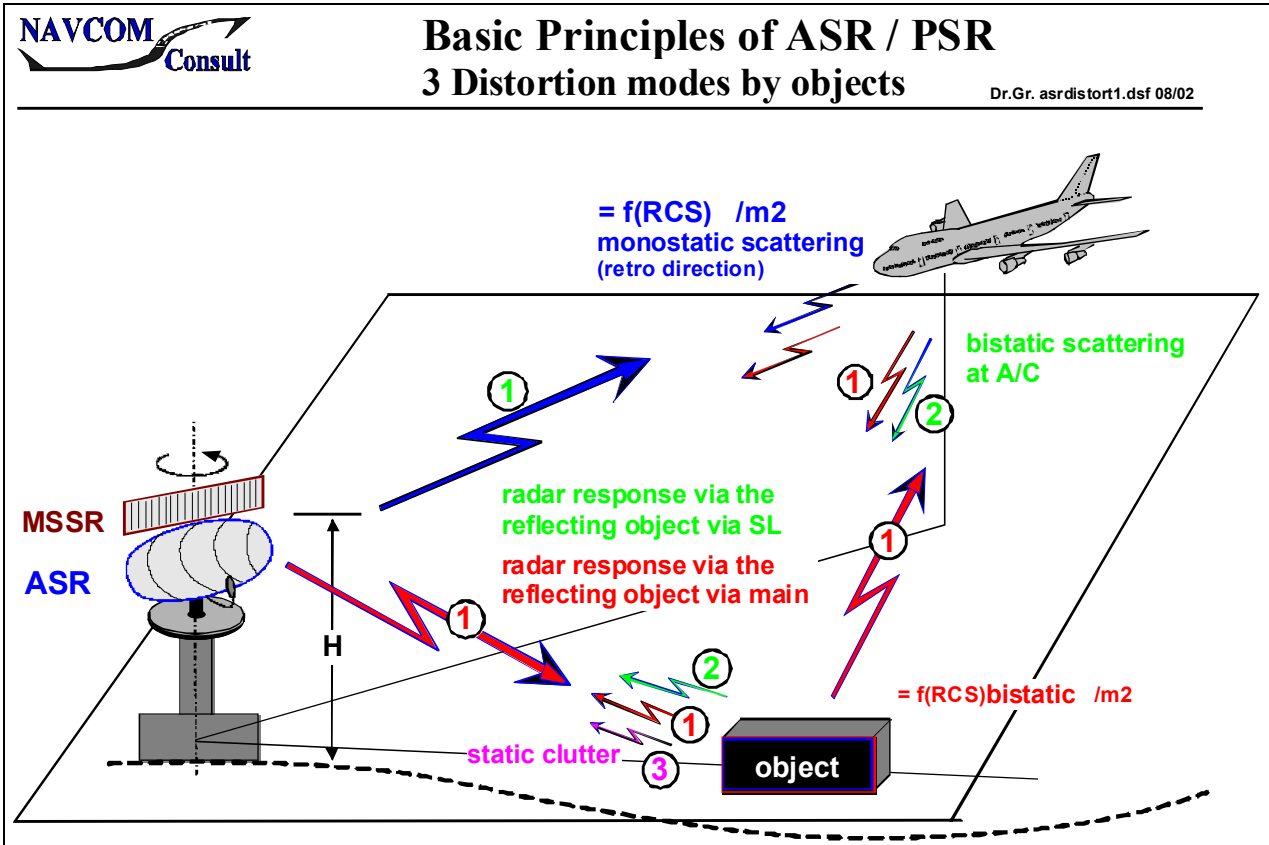


Bild A - 2: Radar PSR; Schematische Darstellung der Entstehung von Falschzielen

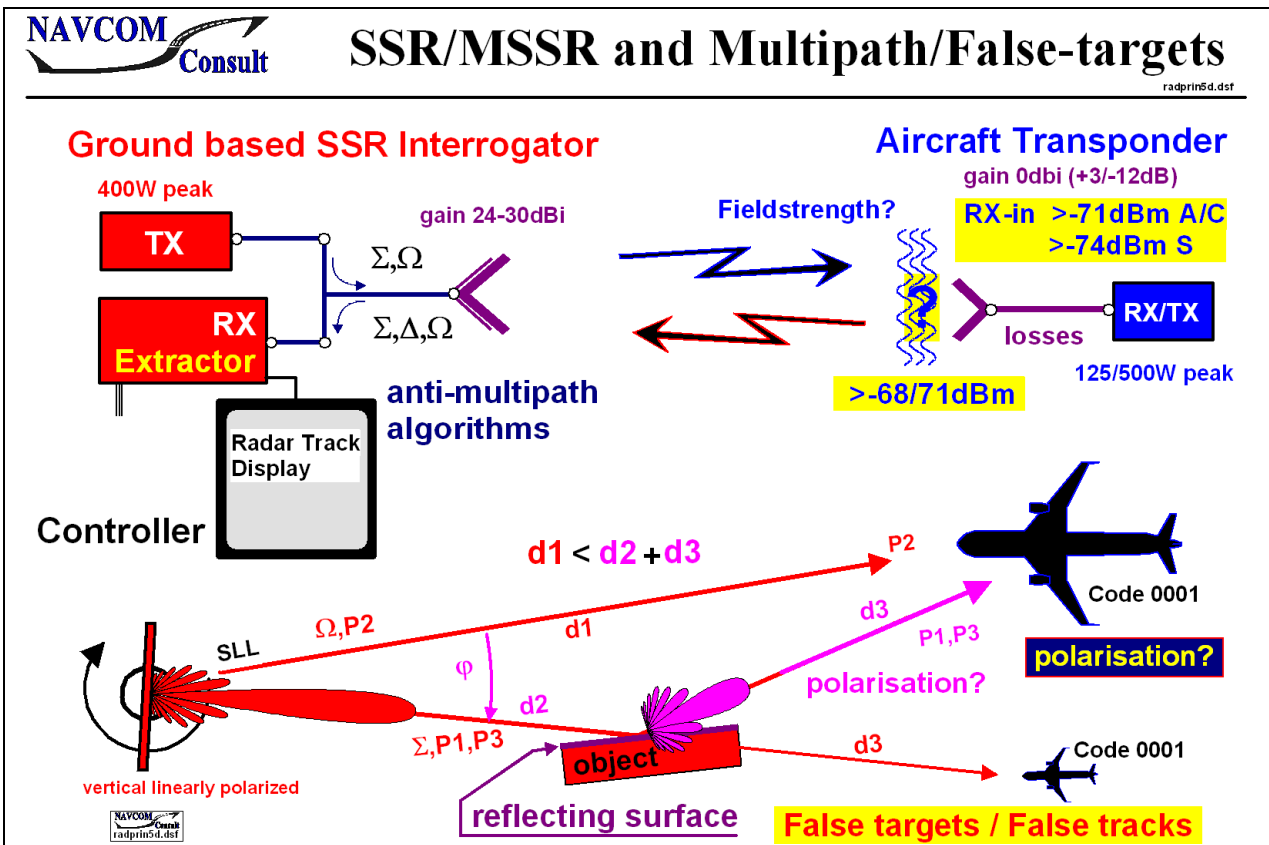


Bild A - 3: Radar MSSR; Schematische Darstellung der Entstehung von Falschzielen

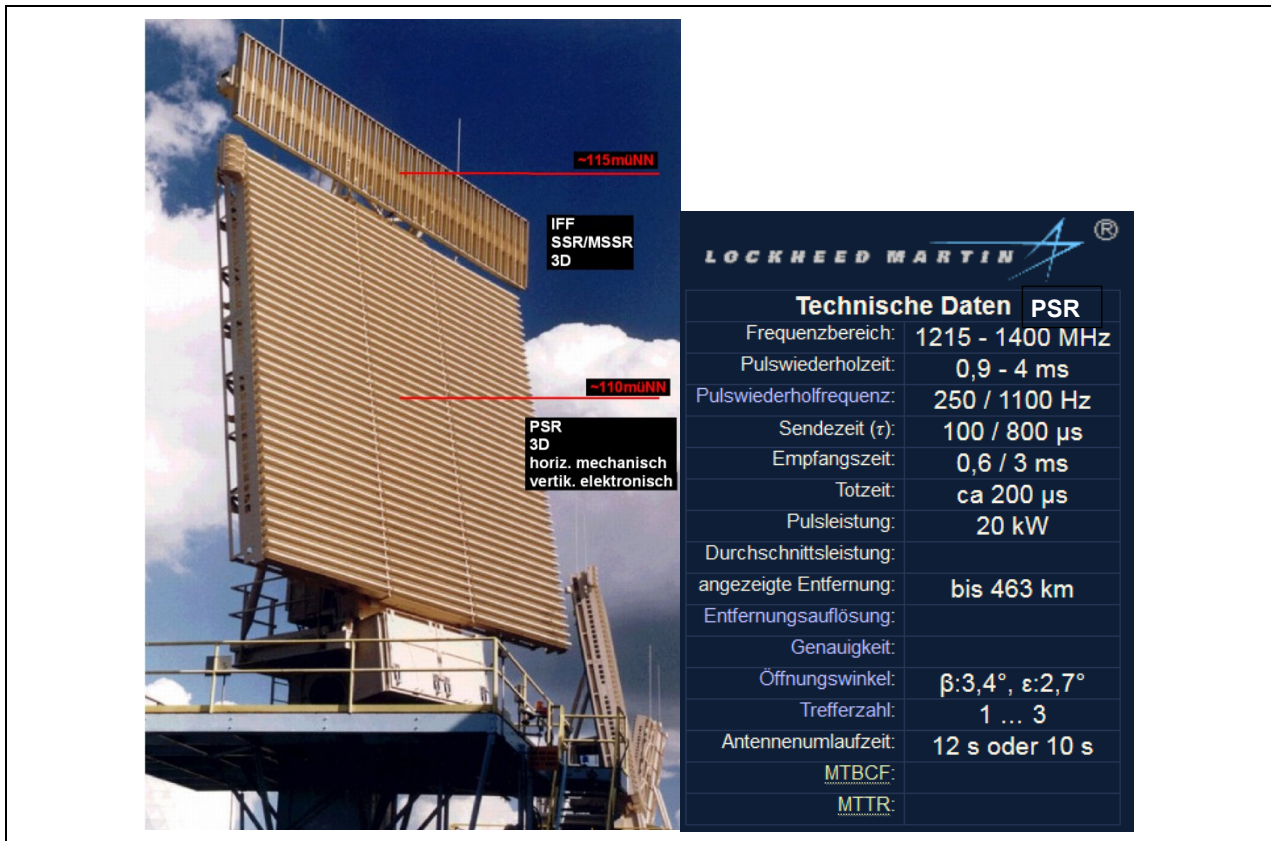


Bild A - 4: Luftverteidigungsradar RRP117 (unten PSR, oben MSSR LVA), Daten aus „Radartutorial“

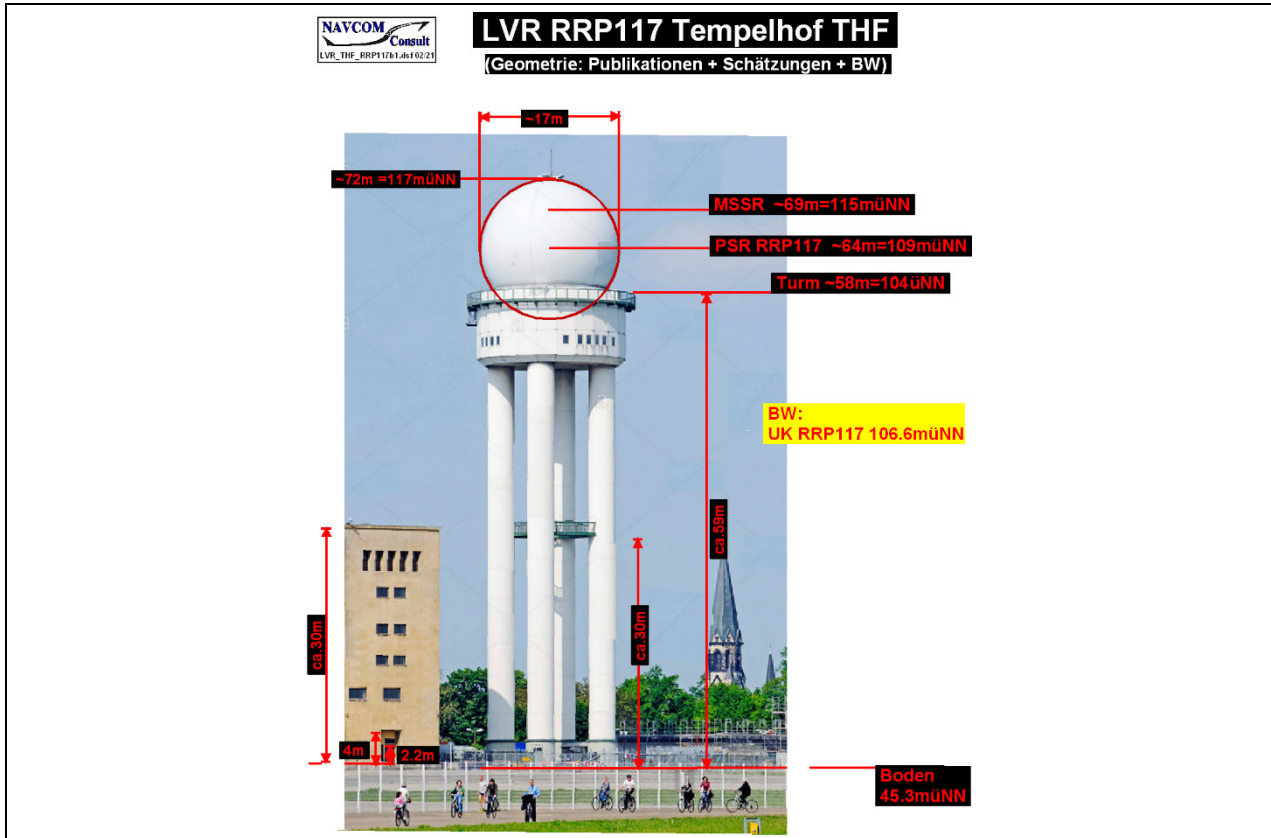


Bild A - 5: Luftverteidigungsradar LVR Tempelhof THF; Geometrie

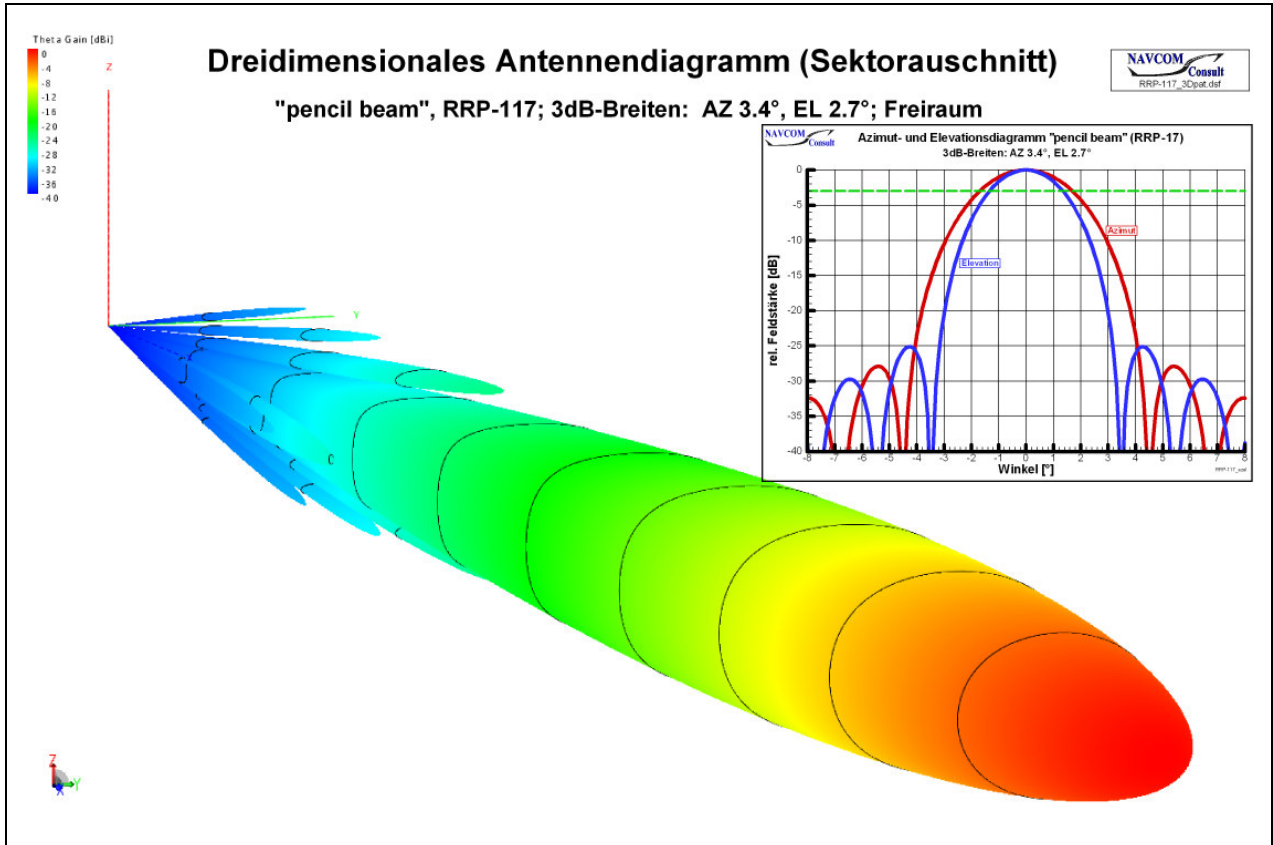


Bild A - 6: Theoretische normiertes Antennendiagramme (pencil beam) des RRP-117

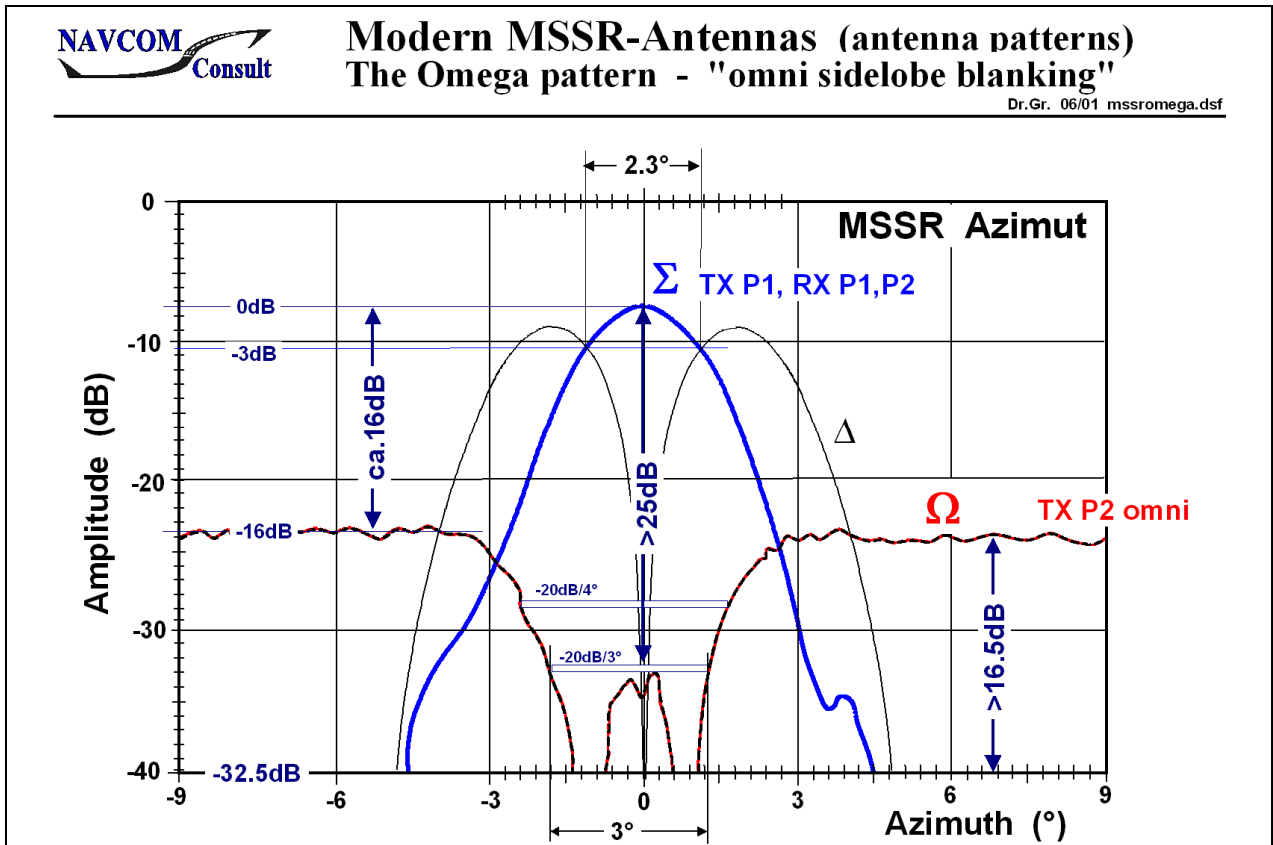


Bild A - 7: MSSR Antennendiagramme; Summe, Differenz, Omega

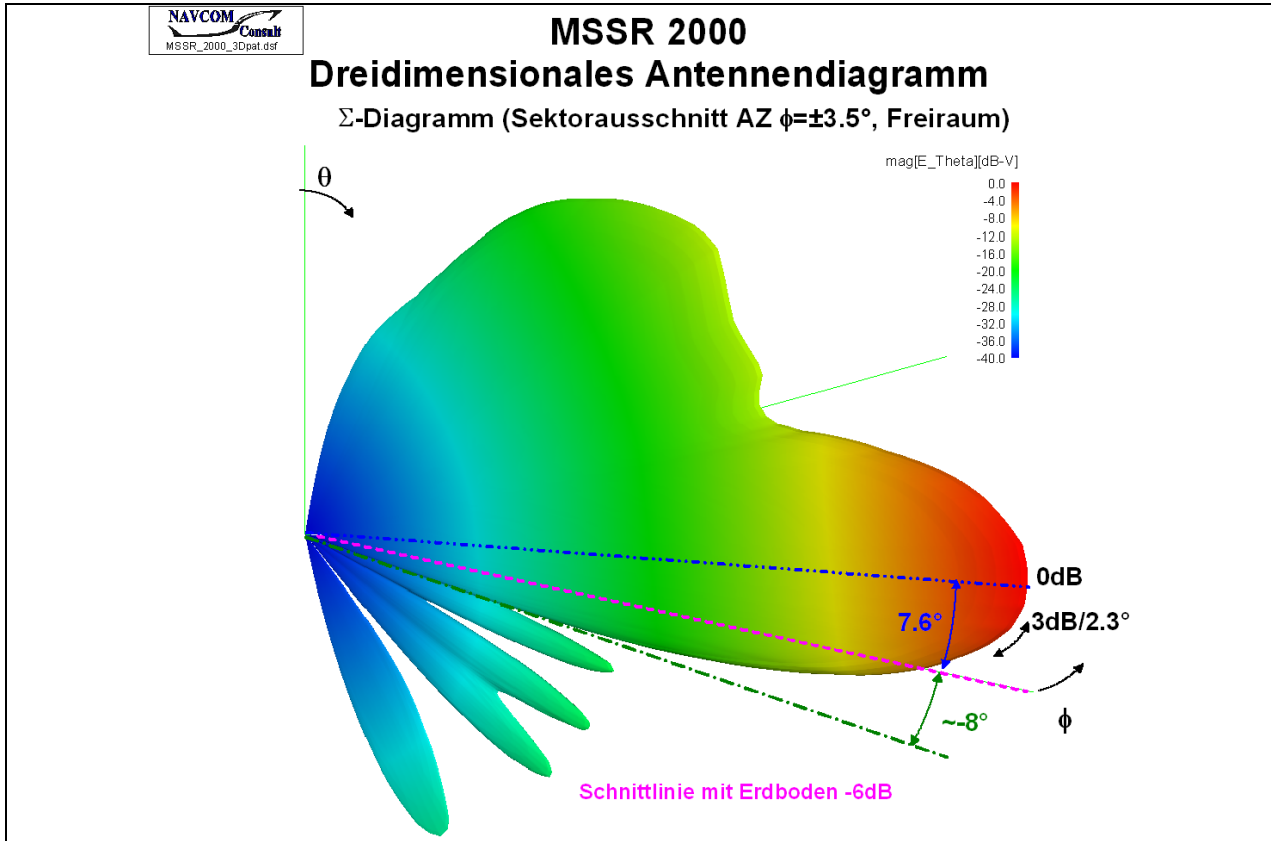


Bild A - 8: LVR, MSSR 2000, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt, Freiraum

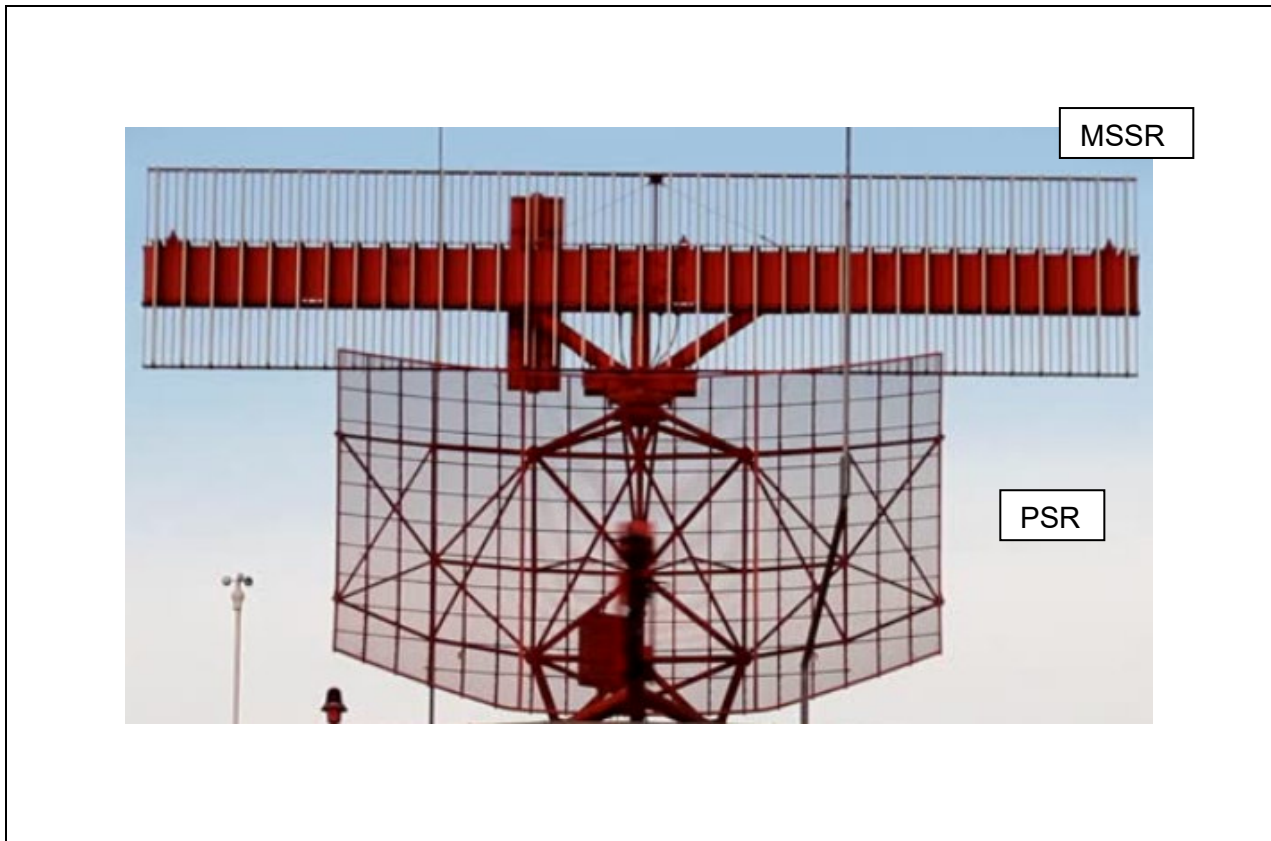


Bild A - 9: ATC-Radar (ASR); MSSR-Antenne über PSR-Antenne

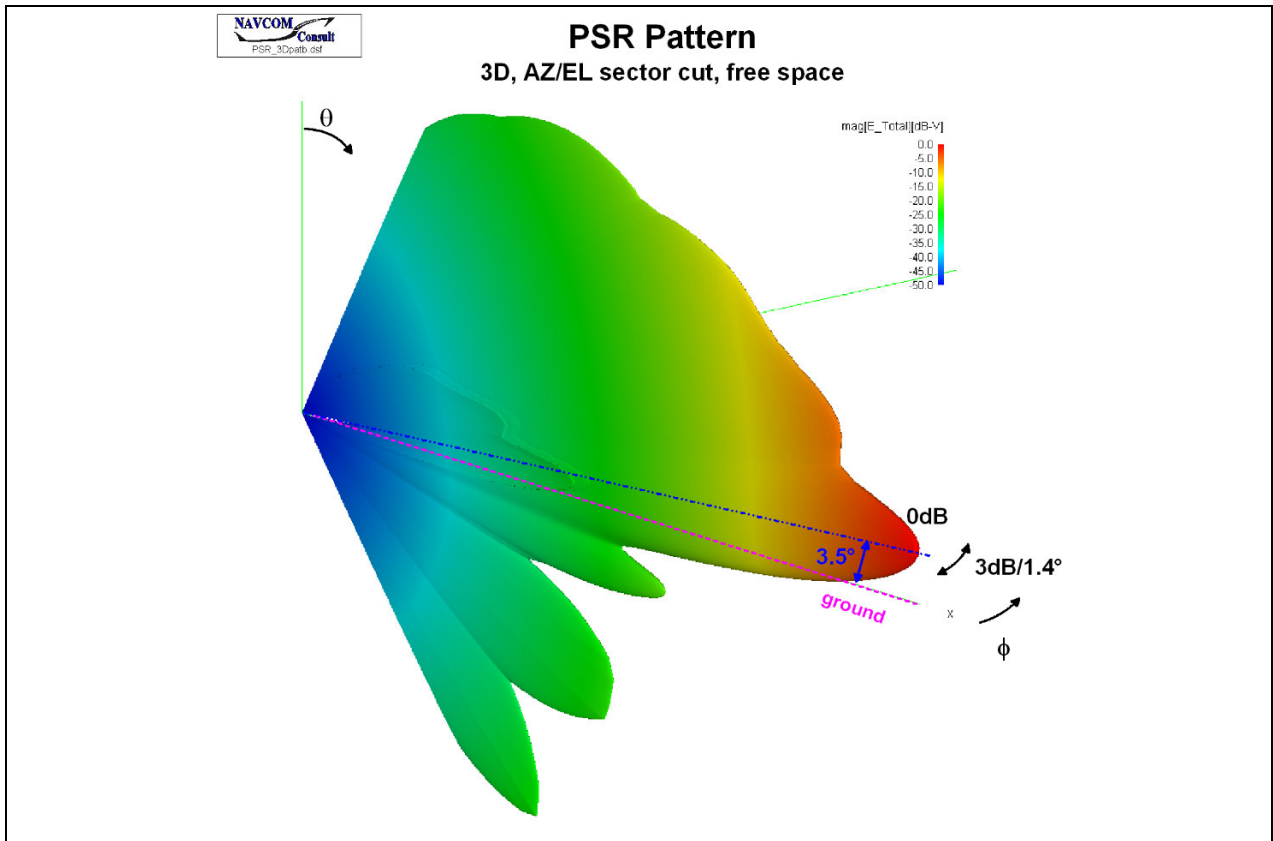


Bild A - 10: ATC-Radar (ASR), PSR, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt, Freiraum

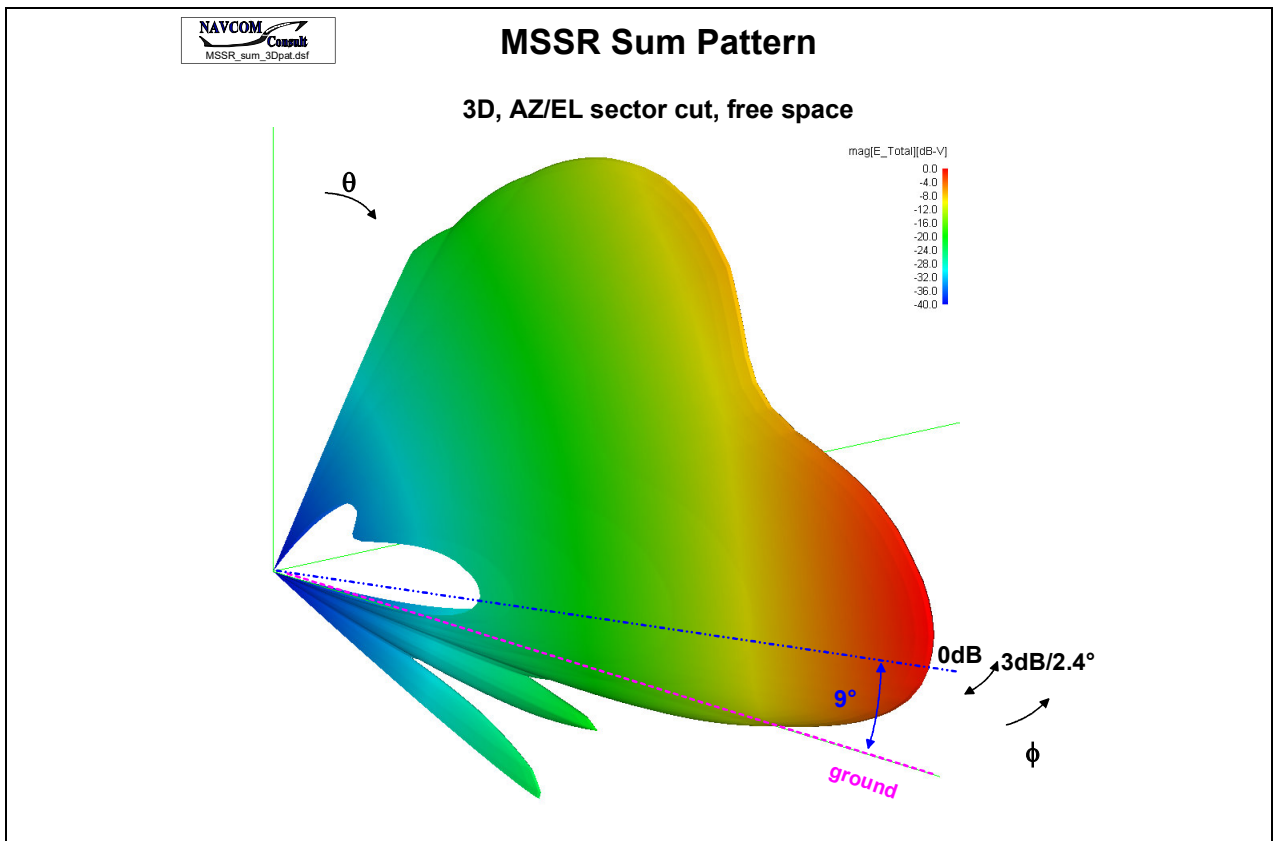


Bild A - 11: ATC-Radar (ASR); MSSR, 3D Antennendiagramm; azimuthaler Sektor-Ausschnitt des Σ -Strahlungsdiagramms; Freiraum

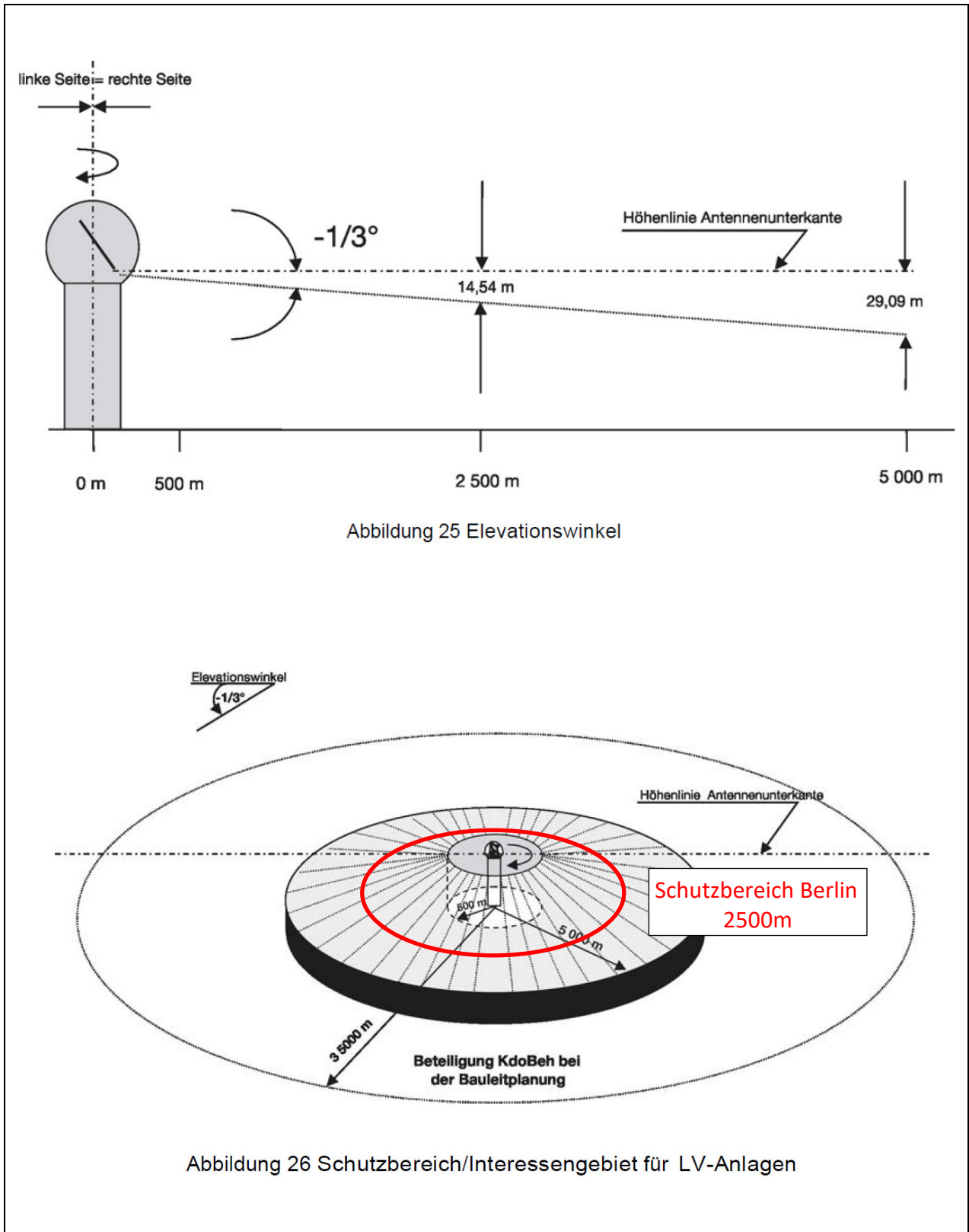


Bild A - 12: Darstellung des Schutzbereichs von Luftverteidigungsradaren (z.B. LVR RRP117 (installiert auf Tempelhof)) gem. „Umdruck 51“ der BW v. 23.05.2008; neues Dokument A2.9500022.2I v. 31.12.2016

Schutzbereich für das LVR THF in Berlin reduziert auf 2500m

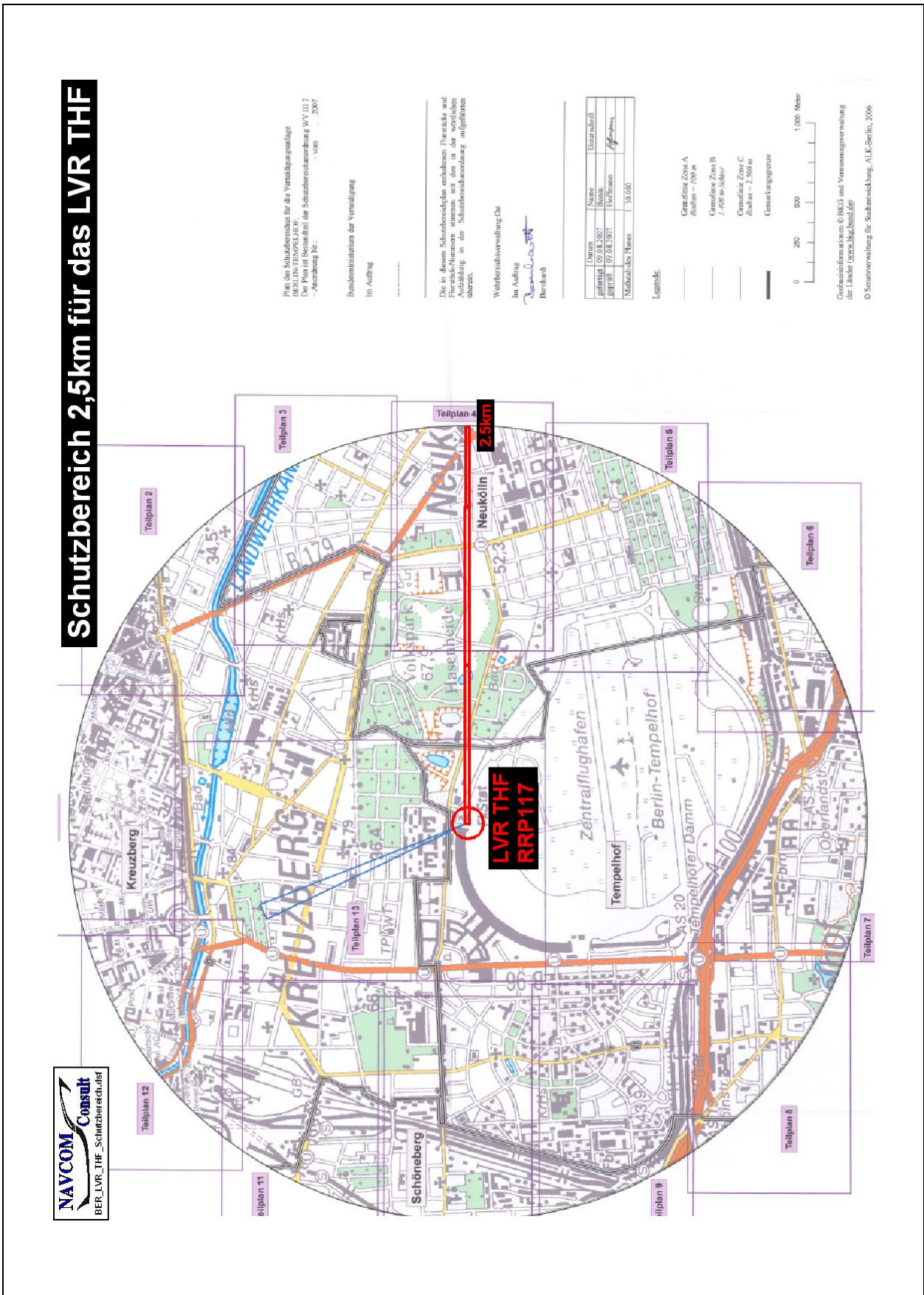


Bild A - 13: Aktueller Schutzbereich der BW für das LVR THF
 Zur Verfügung gestellt von BAIUDBwInfra3TOeB@bundeswehr.org

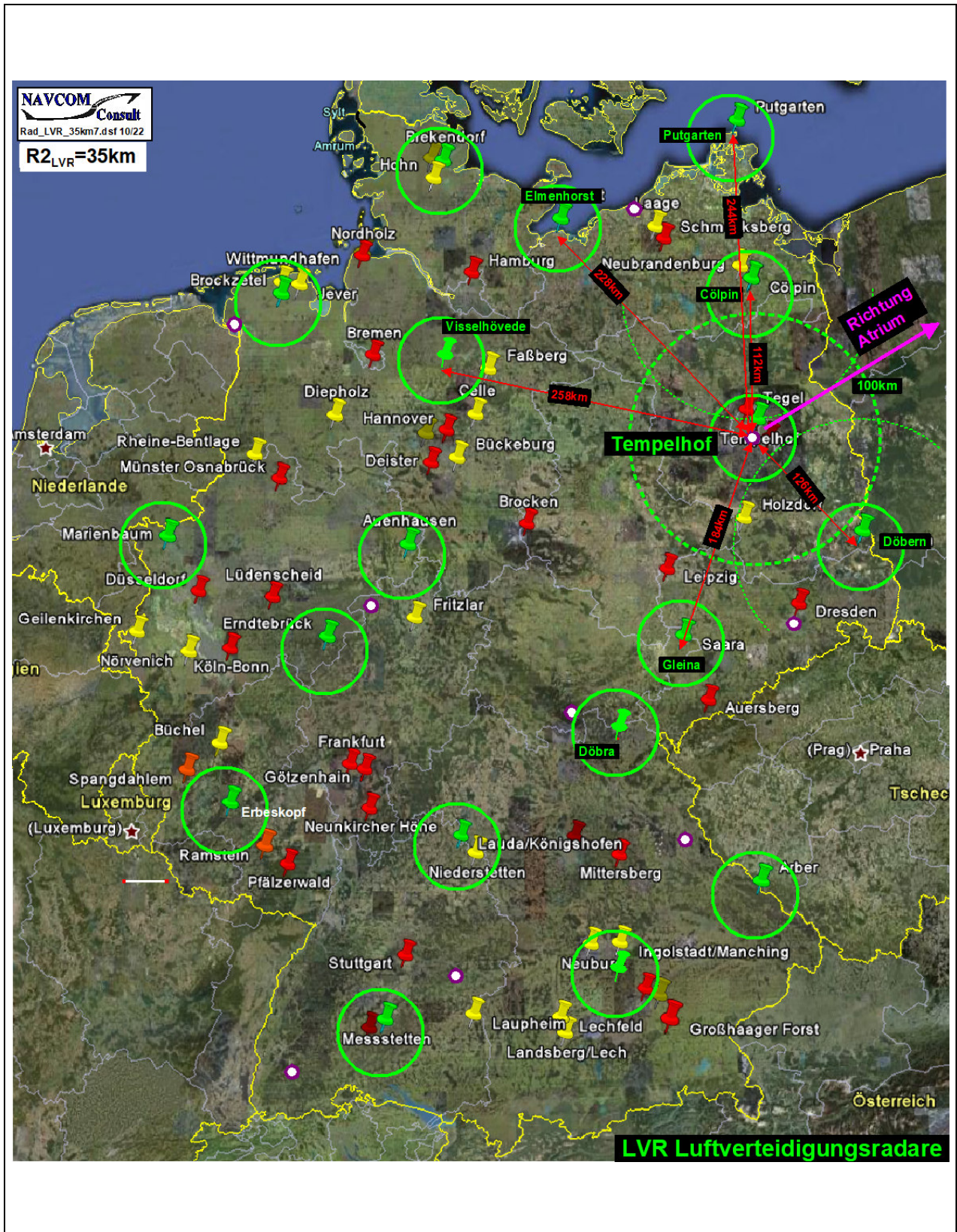


Bild A - 14: Luftverteidigungsradare; Richtungskennzeichnung Baugebiet Atrium Rudolfstraße 18

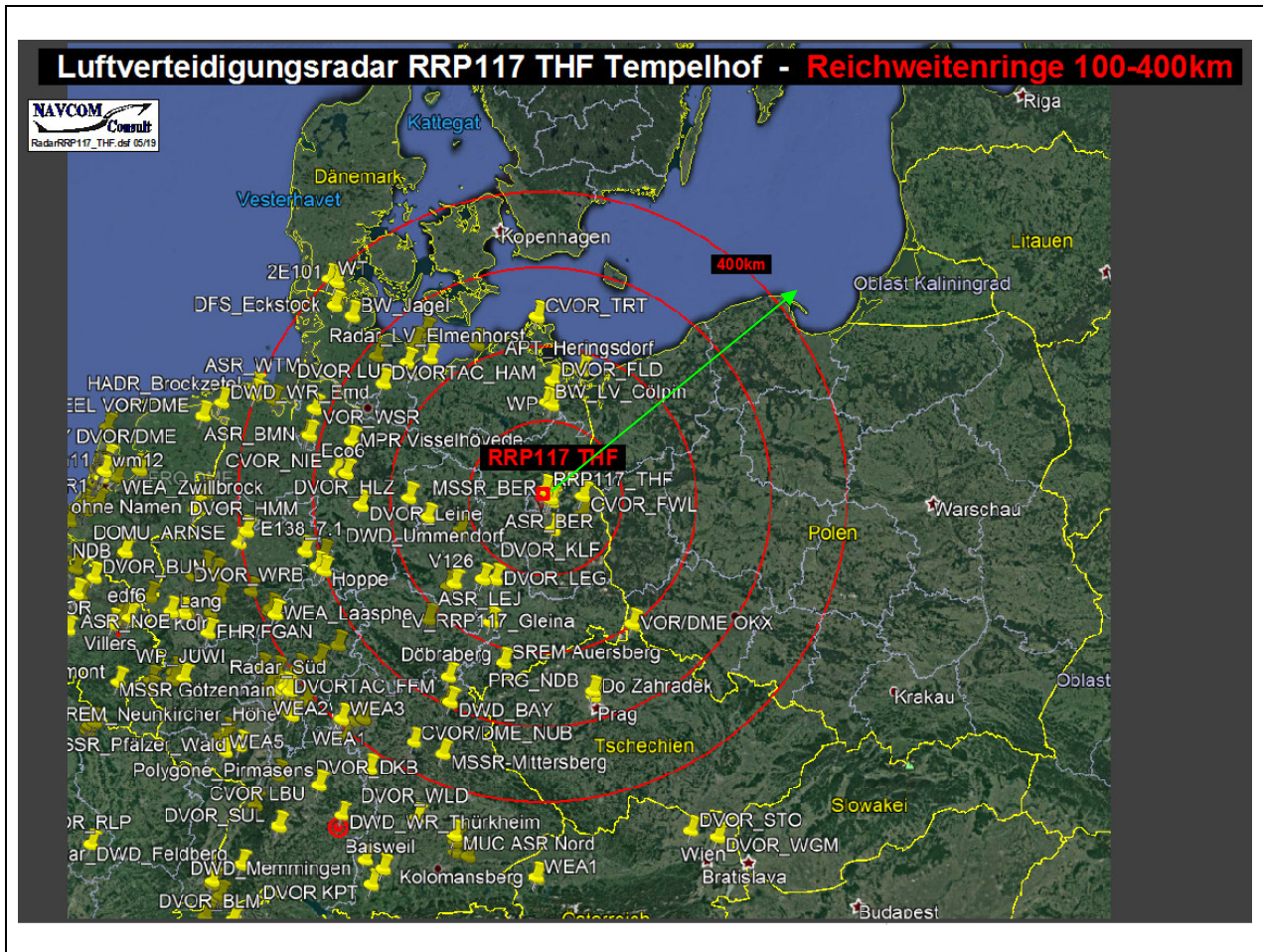


Bild A - 15: LVR THF Tempelhof; Konzentrische Ringe 100km – 400km; Grenzreichweite 256NM (=463km)

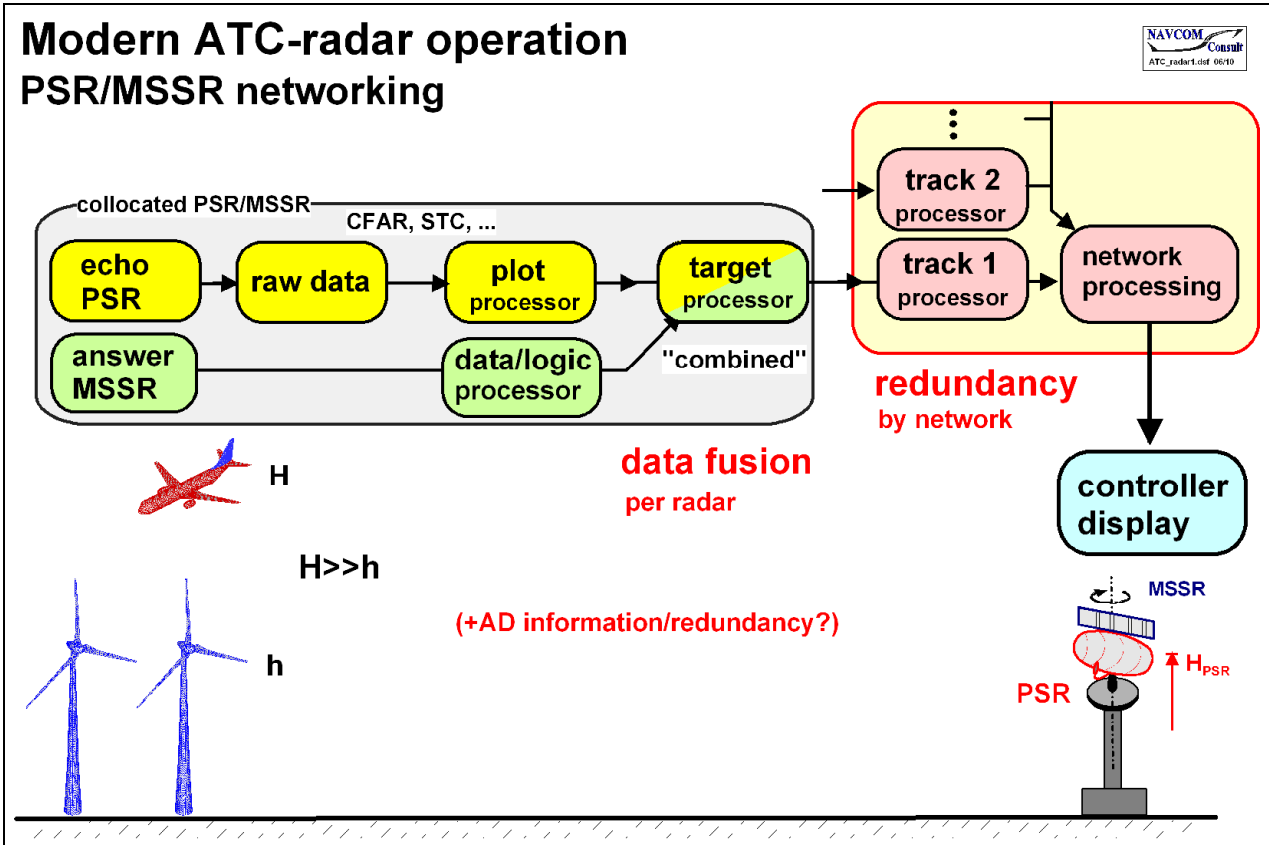


Bild A - 16: Moderne ATC-Radar Signalverarbeitung

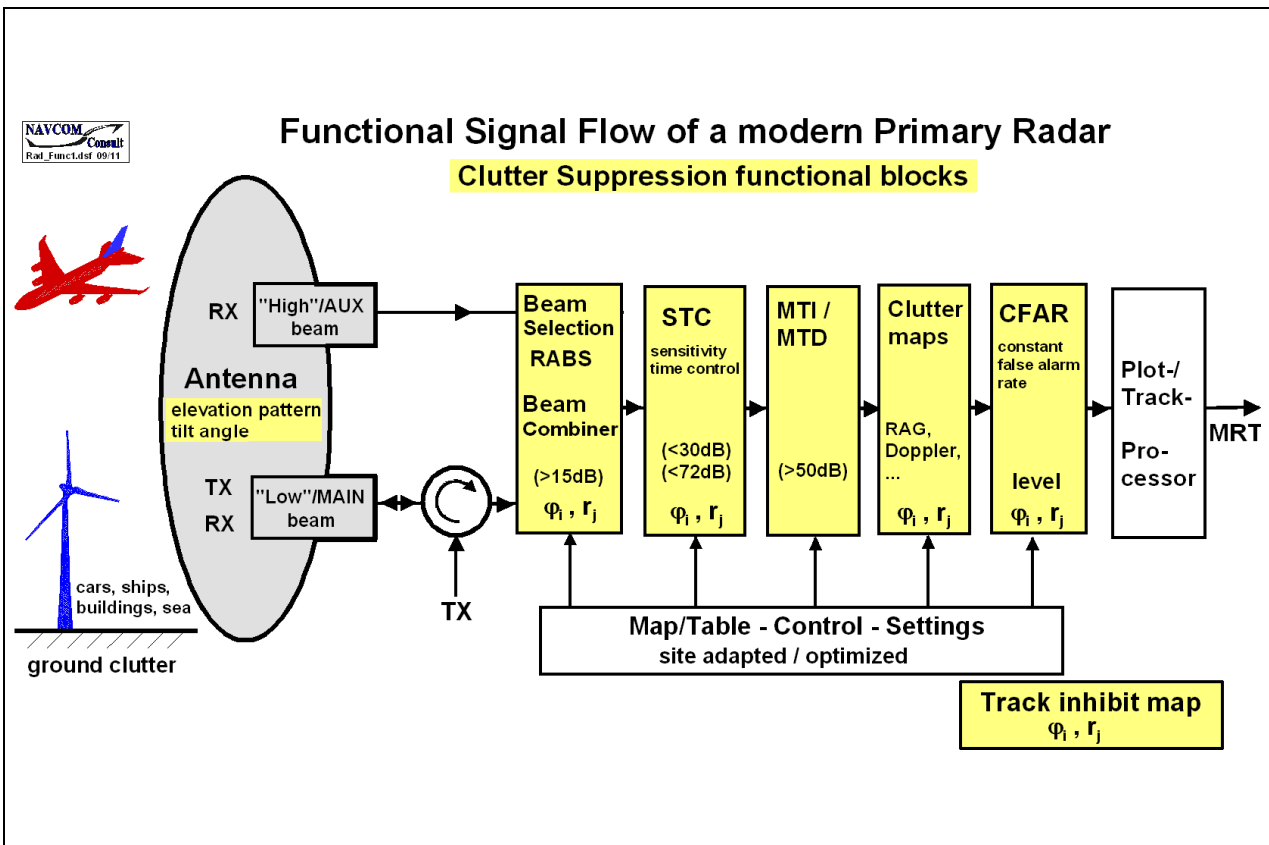


Bild A - 17: Modernes PSR; Beispiel für Clutter-Unterdrückung, funktionales Blockdiagramm

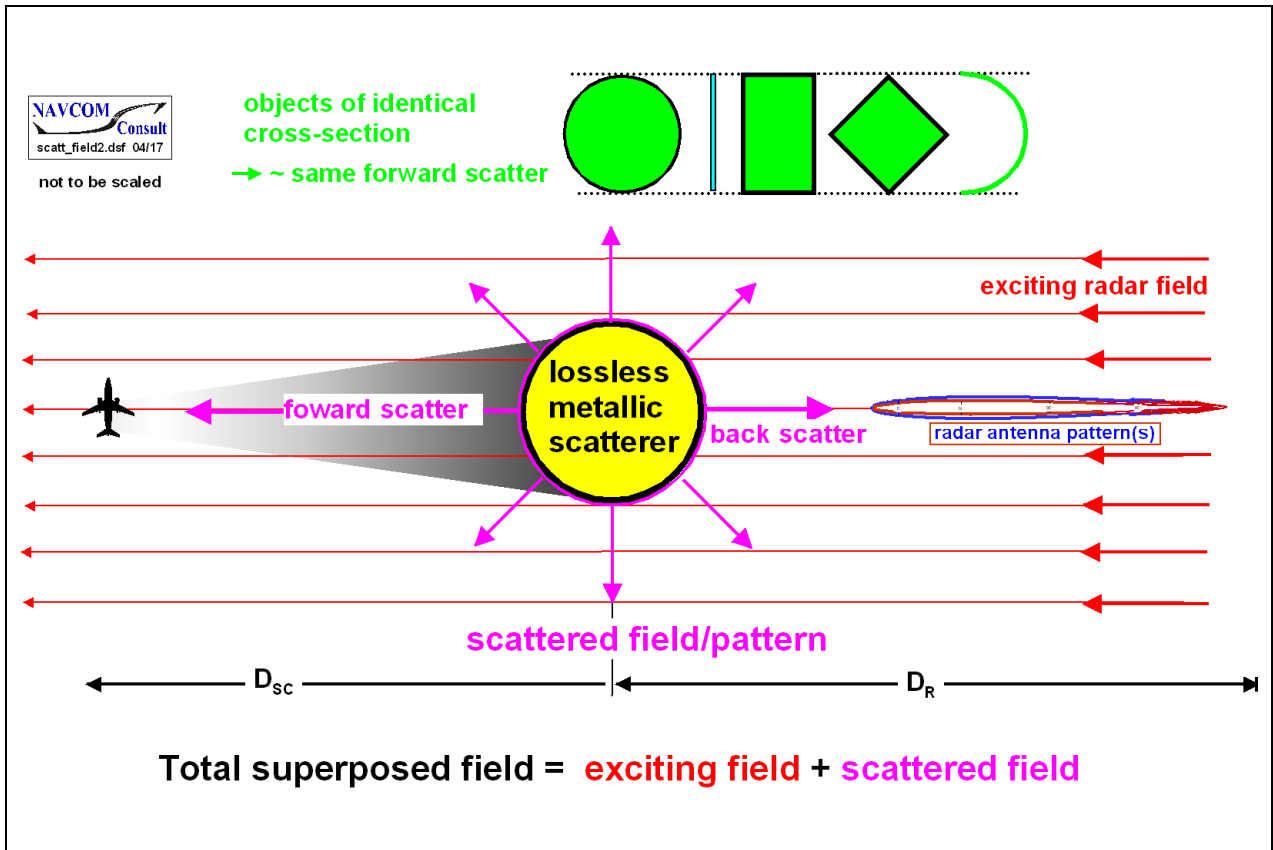


Bild A - 18: Schematische Skizze eines Radars, eines Streuers und eines Flugzeugs als Punktziel; Streumechanismus; verschiedene Querschnitte des Streu-Objekt /38/

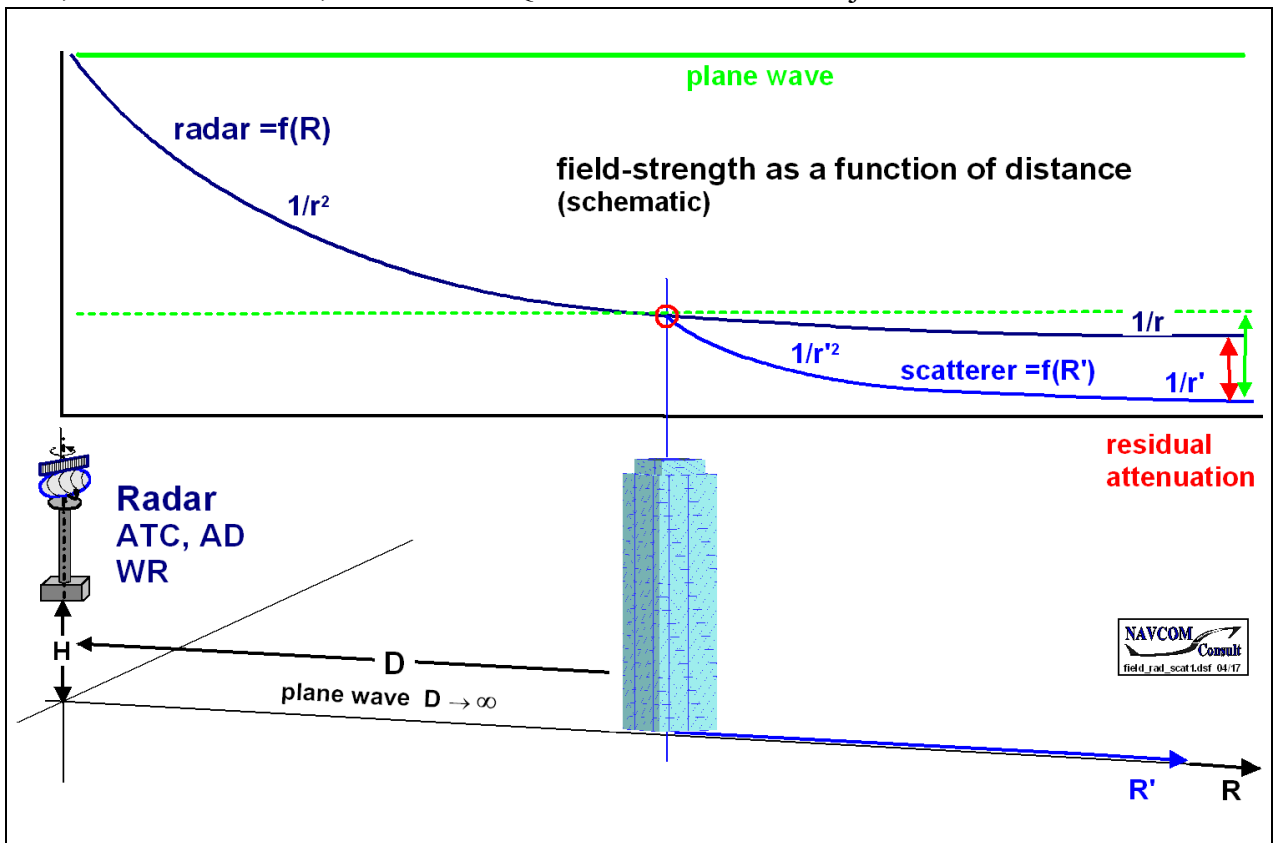


Bild A - 19: Schematische Skizze der Überlagerung des direkten Radarfelds und des gestreuten Felds in der Vorwärtsrichtung

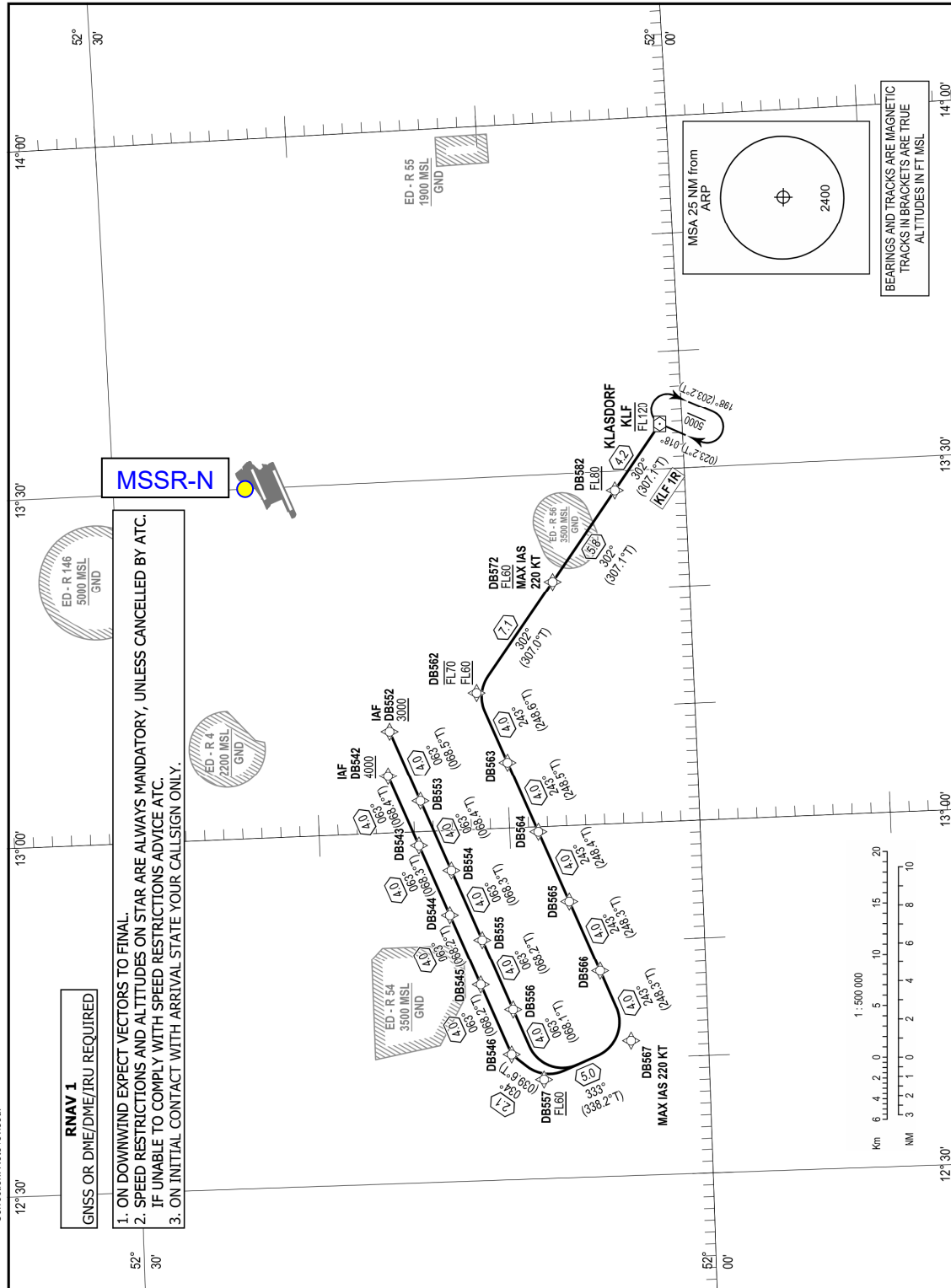
LUFTFAHRHANDBUCH DEUTSCHLAND
 AIP GERMANY

AD 2 EDDB 3-1-3
 30 OCT 2025

STANDARD ARRIVAL CHART -
 INSTRUMENT (STAR) - ICAO
 RNAV

BERLIN ATIS	123.780	BREMEN RADAR	119.630
BERLIN TOWER	120.030	BREMEN RADAR	126.425
BERLIN TOWER	118.805		

TRANSITION ALTITUDE 5000
 VAR 5° E
 BERLIN BRANDENBURG
 RWY 06L/06R
 KLF 1R



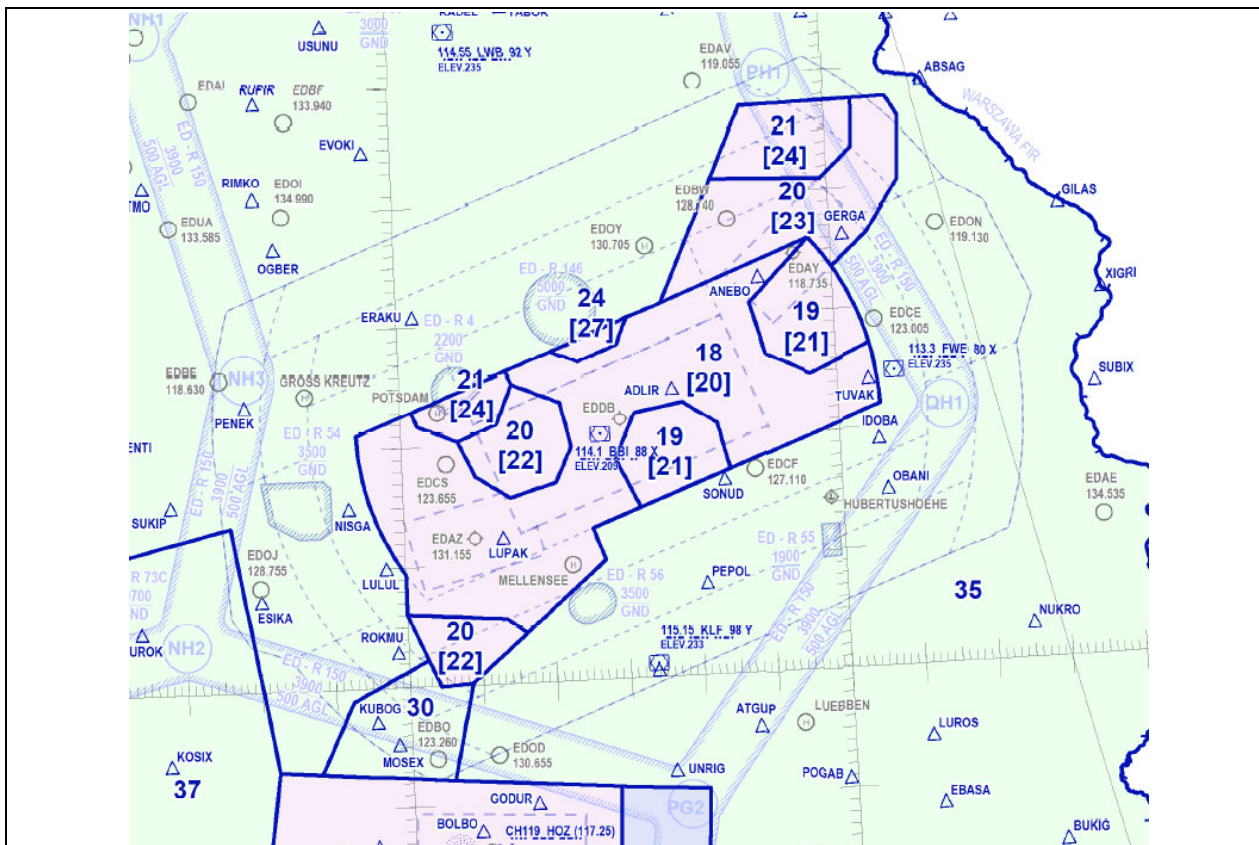
RNAV 1
 GNSS OR DME/DME/IRU REQUIRED

1. ON DOWNWIND EXPECT VECTORS TO FINAL.
2. SPEED RESTRICTIONS AND ALTITUDES ON STAR ARE ALWAYS MANDATORY, UNLESS CANCELLED BY ATC. IF UNABLE TO COMPLY WITH SPEED RESTRICTIONS ADVISE ATC.
3. ON INITIAL CONTACT WITH ARRIVAL STATE YOUR CALLSIGN ONLY.

© DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

AMDT 11/25

Bild A - 20: AD 2 EDDB 3-1-3 2025-10-30, RWY 06L/06R, Standard Arrival Chart



MVA-Definition aus AIP ENR 6:

Kursführungsmindesthöhen

Die MVA ist die niedrigste Höhe über NN, die für die Radarführung von IFR -Flügen unter Berücksichtigung der Sicherheitsmindesthöhe (1000 ft über dem höchsten Hindernis, im Umkreis von 8 km) und der Luftraumstruktur (Untergrenze des kontrollierten Luftraumes plus eines Puffers von 500 ft) genutzt werden kann.

Unterhalb der MVA können IFR -Flüge grundsätzlich nur auf veröffentlichten IFR -Verfahren freigegeben werden.

Höhenangaben in 100 ft -Einheiten (50=5000 ft).
 Angaben in Klammern berücksichtigen Höhenzuschläge zur Erfüllung der erforderlichen Hindernisfreiheit bei kalten Temperaturen

Bild A - 22: MVA im Bereich Berlin (EDDB)

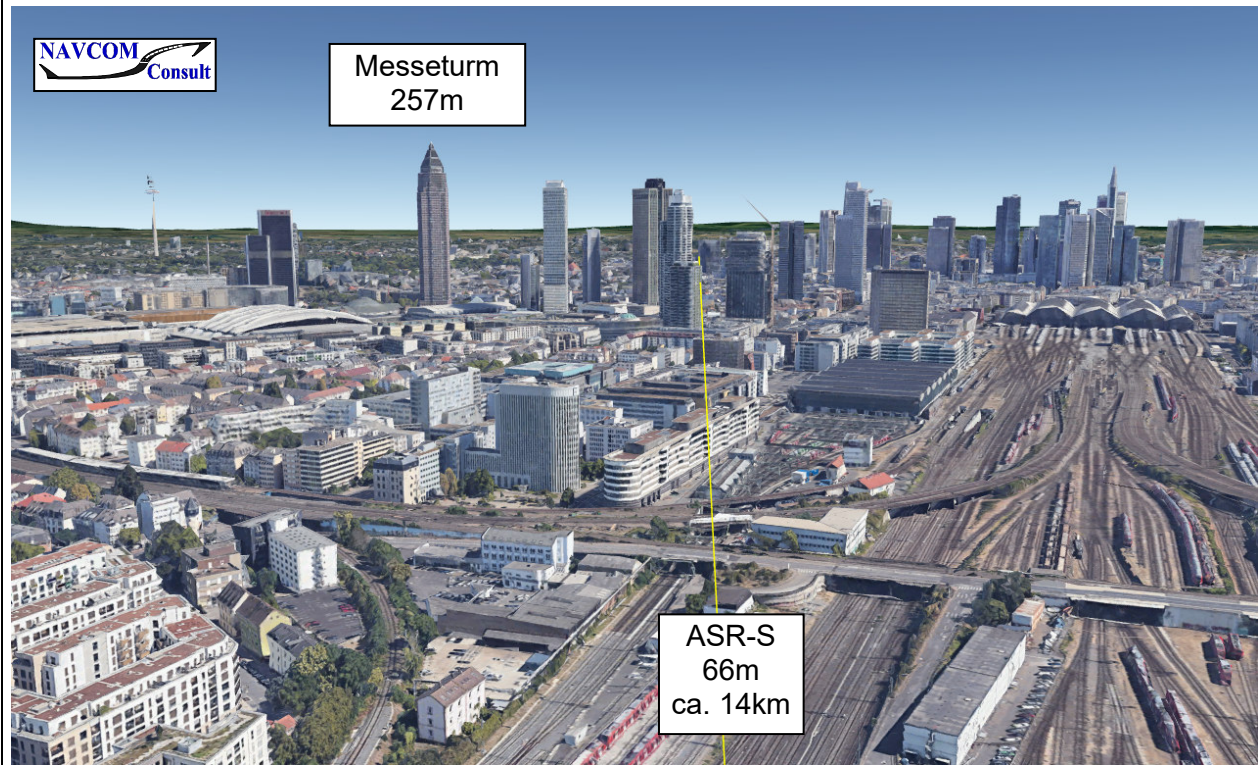


Bild A - 23: Blick vom DFS ASR-S auf Frankfurt CityA – 23

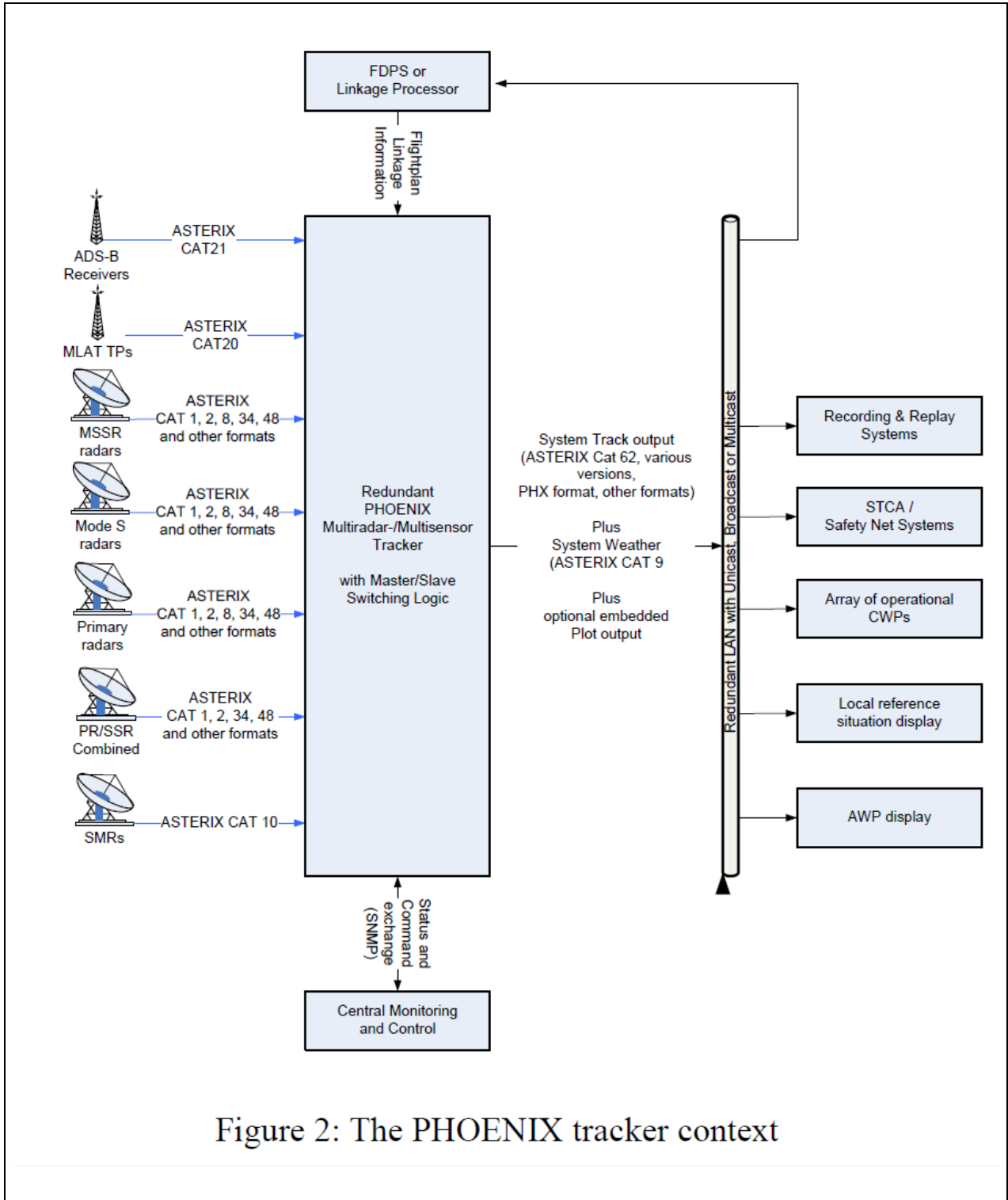


Figure 2: The PHOENIX tracker context

Bild A - 24: PHOENIX Tracker-Aufbau mit den prinzipiellen Eingangssensoren Radaren, MLAT, ADS-B (Heidger, R; The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 5.0, 13.01.2014)

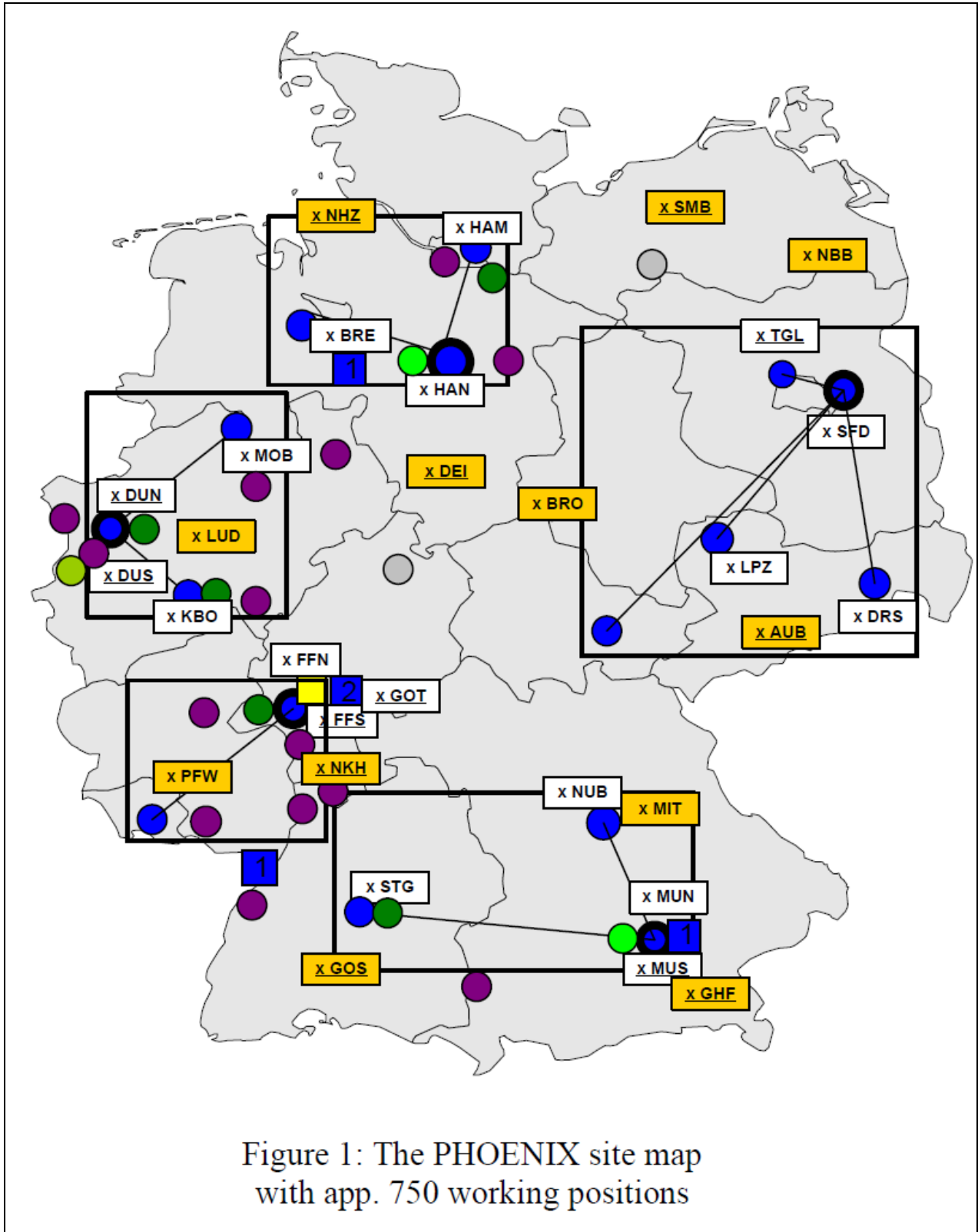


Figure 1: The PHOENIX site map with app. 750 working positions

Bild A - 25: PHOENIX Sensor Positionen und Cluster, reduzierte Darstellung, u.a. orange: Long Range Radare (LLR; SREM oder MSSR), weiß: Airport Radare (ASR); (Heidger, R; The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 5.0, 13.01.2014)

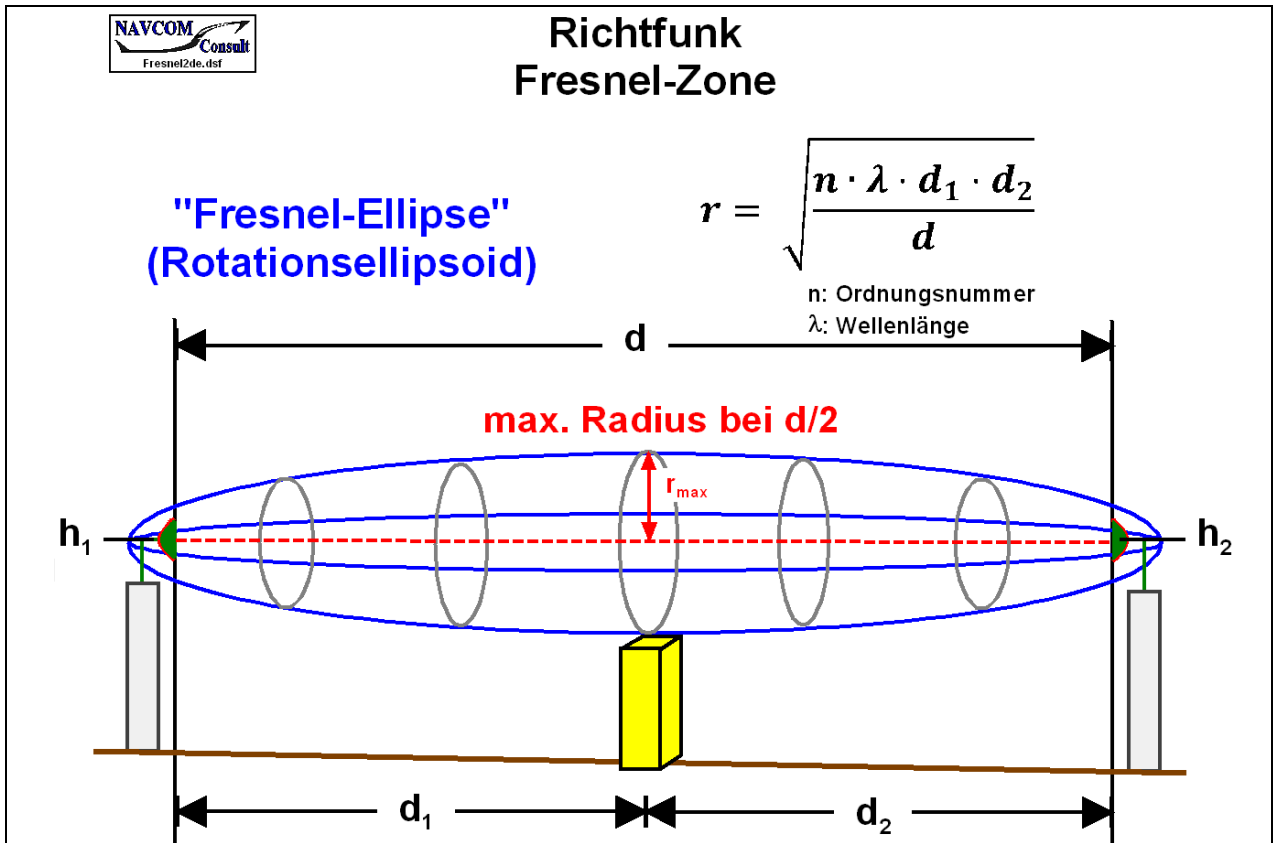


Bild A - 26: Fresnel-Zone

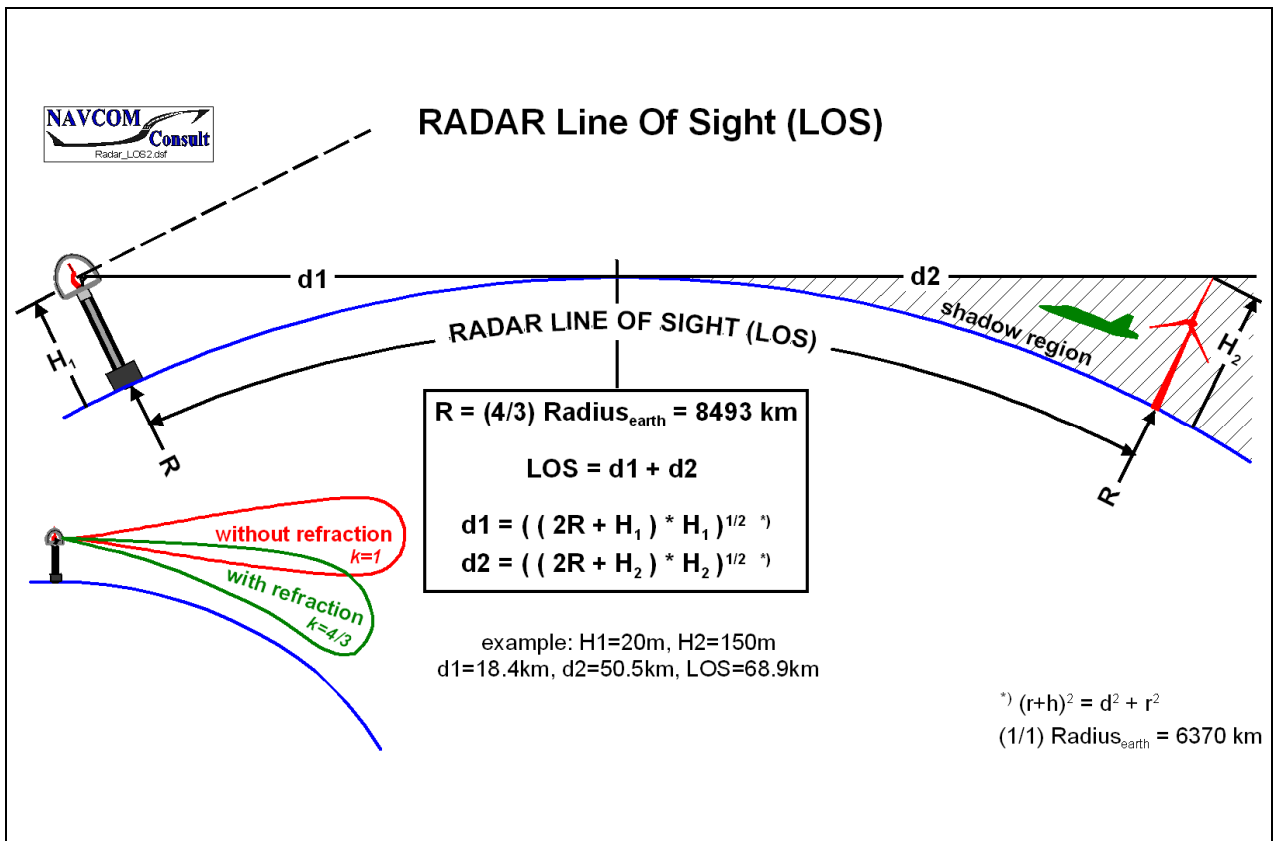
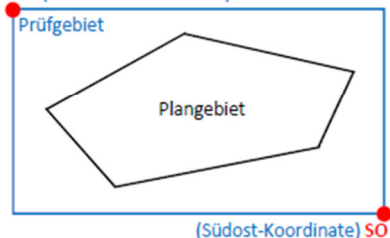


Bild A - 27: Radar Line-of-Sight (LoS)

Formular Funkbetreiberauskunft

1. Angaben zur Lage des Prüfgebiets

NW (Nordwest-Koordinate)



Sie definieren ein Prüfgebiet in Form eines **Rechtecks**, welches durch **zwei Koordinatenpunkte** NW, SO um Ihr Plangebiet aufgespannt wird.

Bei einem einzigen Standort (**Punkt**), z.B. eine WEA oder ein Mast, wird die Koordinate in einer Zeile eingegeben.

Aus verfahrenstechnischen Gründen wird Ihr definiertes Prüfgebiet automatisch um eine Pufferzone von 300 Meter erweitert.

Bei fehlenden oder unvollständigen Koordinaten kann keine Prüfung durchgeführt werden!

Die Eingabe der Koordinaten erfolgt nur **in einem** von drei Formaten:

	UTM			WGS84 Grad, Min. Sek.						WGS84 Dezimalgrad	
	Z Zone	E / O Rechtsw.	N Hochwert	E / O Länge (Long.) Grad° Min' Sekunde"			N Breite (Lat.) Grad° Min' Sekunde"			E / O Länge Dezimalgrad	N Breite Dezimalgrad
Bsp.:	33	392081	5820156	13	24	33,91	52	31	14,93	13,409419	52,520815
NW:										13,449089	52,50599
SO:										13,453715	52,504085

▪ Bei Planungen von **Stromleitungen** oder deren **Trassenkorridoren** stellen Sie uns eine SHAPE- bzw. KML-Datei zur Verfügung. Genaue Anforderungen zu den Dateien entnehmen Sie bitte der Seite 2.

2. Angaben zum Maß der baulichen Nutzung

▪ Maximale Bauwerkshöhe über Erdboden in Meter:

▪ ggf. Anzahl der Vollgeschosse als Höchstmaß:

✓ Für Bauwerke mit Bauhöhen **unter 20 Meter** wird empfohlen, auf eine Funkbetreiberauskunft zu verzichten, da Beeinträchtigungen in diesem Fall unwahrscheinlich sind.

3. Bezeichnung und Ortsbezug des Prüfgebiets

Bezeichnung bzw. Ihr Zeichen

(max. 50 Zeichen):

PLZ / Ort:

Ortsteil:

Gemeinde:

Landkreis:

4. Auskunftersuchende*r

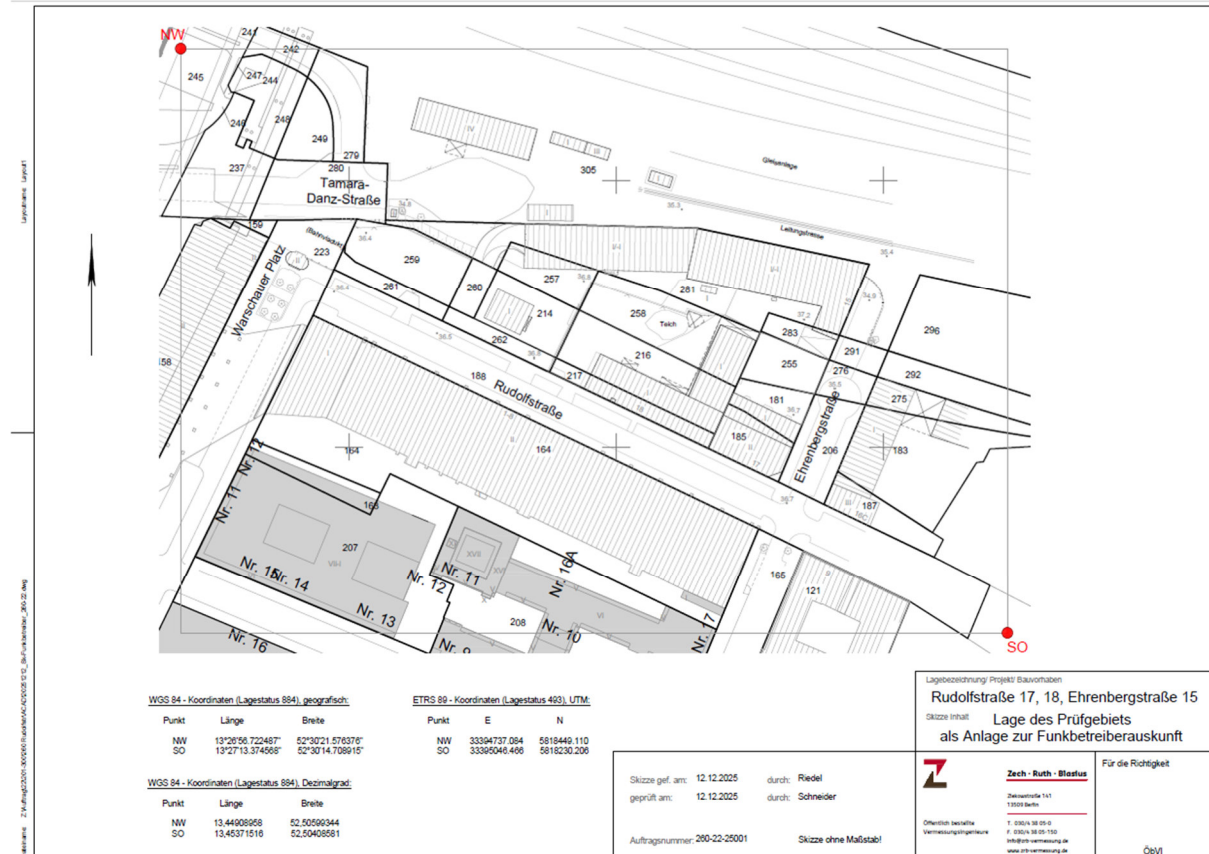
Behörde / Firma:

Straße / Nr.:

PLZ / Ort: Land:

Bild A - 28: BNA Formular Funkbetreiberauskunft; nicht vollständig

1. Lage des Baugebiets an der Rudolfstrasse mit Koordinaten P1/NW, P2/SO in Berlin-Friedrichshain-Kreuzberg für das RiFu-Prüfgebiet



P1/NW (52°30'21,58"N 13°26'56.72"E) und .
P2/SO (52°30'14.71"N 13°27'13.38"E)
Maximalhöhe des zentralen Hochhaus-Turms:
168m über Grund (=204.5müNN)

Bild A - 29: Prüfgebiet (definiert durch die Punkte NW, SO) und Plangebiet Atrium

11 Anhang B (Grundlagen)

11.1 Militärisches Radarsystem RRP-117/MSSR 2000

11.1.1 Geräte- und Systemeigenschaften

Das Luftverteidigungsradar Tempelhof (LVR THF, **Bild A - 4**, **Bild A - 5**) besteht aus einem 3D L-Band Primärradar PSR RRP-117 (*Remote Radar Post*) und gehört zur "117er"-Radarfamilie der Firma Lockheed Martin (früher GE General Electric) und entspricht in den hier relevanten Eigenschaften weitgehend dem Radar AN/FPS-117 (/68/, /69/, RRP-117 an die Bedürfnisse der BW angepasstes AN/FPS-117), sowie einem kollozierten 3D MSSR (*Monopulse Secondary Surveillance Radar*) mit einer LVA-Antenne (*Large Vertical Aperture Antenna*) vom Typ MSSR 2000 (EADS Cassidian, jetzt Hensoldt).

Das RRP117 ist ein Hybrid-Radar: mechanisch in 360° horizontal drehend und vertikal eine phasengesteuerte Gruppenantenne mit elektronischer Strahlschwenkung. Der Hersteller „Lockheed Martin“ gibt in technischen Unterlagen (FPS-117 Long Range Solid-State Radar, B006/12-96 B093 8/98) insbesondere an, dass dieses Radar mittels des hochentwickelten MTI/MTD-Konzepts selbst in schwierigsten Clutter-Bedingungen (Boden, Wetter etc.) noch hervorragende Detektionen bieten würde. Das Bauvorhaben zählt hinsichtlich der Rück-Reflexionen zu dem stationären Bodenclutter, den dieses moderne Radar besonders effektiv unterdrückt. Sogenannte „Spiegelziele“ sind für ein Primärradar extrem unwahrscheinlich.

Die beiden Radarsysteme haben eine völlig unterschiedliche Funktionsweise:

- PSR u.a. mit Reflektivität und Pulslaufzeit
Im Wesentlichen relevant: Abschattung und Reichweitenminderung, Positionsfehler
- SSR (hier tatsächlich MSSR, Monopuls-SSR, **Bild A - 8**). transpondergestütztes bidirektionales Kommunikationssystem (Flugzeug antwortet bei empfangener Abfragepulssequenz und überschrittener Mindestempfangsleistung in der Antwortpulssequenz mit Datenpaket mit u.a. Identifikationszeichen, Baro-Höhe, militärisch IFF *Identification Friend or Foe*).
Im Wesentlichen relevant: Spiegelziele, Positionsfehler.

Das RRP-117 wurde in den 90er-Jahren in einer östlichen Kette neu aufgebaut. Insofern entspricht die grundlegende Technologie dieses Radars der der 70er- und 80er-Jahre. In **Bild A - 4** ist zu erkennen, dass die Radar-Apertur aus 44 übereinanderliegenden, horizontal liegenden, horizontal polarisierten Strahlern aufgebaut ist. Jeder Strahler ist entsprechend höchstwahrscheinlich wieder aus (etwa) 44 planaren Einzelstrahlern vom planaren Dipol-Typ mit integrierten Netzwerken für die azimutale Summen- und Differenzstromverteilung für die Monopulscharakteristik aufgebaut. Der Gutachter hat vergleichbare Techniken in den 80er-/90er-Jahren für Navigations- und Radarsysteme entwickelt.

Die mit derartigen Technologien erreichbaren technischen Eigenschaften sind grundsätzlich wohlbekannt. Die Schwenkung des Elevationsdiagramms wird elektronisch mit Hilfe von 44 digitalen Phasenschiebern (mindestens 4 bit) erreicht, die für die vertikale Ebene für jeden Horizontalstrahler in die vertikalen Netzwerke für die Summen- und Differenzstromverteilungen integriert sind. Die mit der limitierten Strahlerzahl von 44 und realistischen Toleranzen (elektrische Netzwerk- und Phasenschiebertoleranzen nach Amplitude und Phase; Umweltbedingungen) sicher erreichbaren Nebenzipfeldämpfungen liegen in der Größenordnung von etwa 30dB max und etwa 35dB rms.

Die wesentlichen bekannten (/40/, /41/, /68/, /69/, /70/) Merkmale dieses weitreichenden 3D-Primärradars der Luftverteidigung sind:

- Frequenz: 1215MHz - 1400MHz; L (D) Band (Wellenlänge λ 0.25m 0.21m)
- 44 Halbleitersender-/Empfänger; Verwendung der Pulscompressionsmethode
- Umschaltung bedingt durch die Sendezeiten (Pulswiederholrate) zwischen Weitbereich (Long Range; Doppelpulslänge ca. 800 μ sec, Zielortung ab ca. 120km), und Nahbereich (Short Range; ca. 51 μ sec; Zielortung ab ca. 7.65km).
- angezeigte Entfernung: 9.3km – 185km; 185km - 463 km; (5NM / 100NM / 250NM)
- Phased Array Antenne (Primärradar); elektronisch in der Elevation schwenkbarer Pencil Beam (**Bild A - 6**)
 - Abmessungen 7.32m*7.32m, 44 vertikal angeordnete horizontale Planar-Strahler
 - Öffnungswinkel (3dB): Azimut/Elevation: 2.2° bei Mittenfrequenz
 - max. Elevation ca. 18.8°, ca. 18 Beam-Positionen in der Elevation
- Nebenzipfeldämpfung (geschätzt): 28-30dB max; 35-40dB rms
- Strahlertypen und Polarisation: planare Dipolstrahler mit horizontaler Polarisation
- Beam-Steuerung nach variablen Sequenzen (Elevations-Winkel, short/long pulses) während der mechanischen Rotation
- Zielwinkelbestimmung mit dem Monopulsverfahren Azimut und Elevation (Σ - Δ -Diagramme)
- Azimutale Rotation mechanisch 360°; 6U/min
- MTI (Moving Target Indication), MTD (Moving Target Detection), VD (Velocity Discrimination)
- Genauigkeiten (systemintern bei idealen Bedingungen nach /69/)
 - Entfernung 30m
 - Höhe: <610m in 150km (entspr. ca.< 0.23°)
 - Azimut: <0.2° (rms, ergibt Maximalfehler von ca. 0.6°)

Die hier aufgeführten Parameter werden sowohl in der radarsystemtechnischen Bewertung wie in den numerischen Simulationen entsprechend berücksichtigt.

Bei all dem ist zu beachten, dass in der Radartechnik mit Wahrscheinlichkeiten gearbeitet wird. Dies drückt sich bereits in der Definition der „Entdeckungswahrscheinlichkeit“ (**Probability of Detection, PoD**) aus. Für Radare werden im Allgemeinen PoD im Bereich 80% bis 90% angegeben.

11.1.2 Strahlungsdiagramme

Eine Strahlkeule wie sie sich aus der Apertur der PSR-Antenne ergeben, sind in **Bild A - 6** dargestellt, für das MSSR in **Bild A - 8**. Hiermit werden als Quelle die in den nächsten Kapiteln beschriebenen Berechnungen durchgeführt.

11.1.3 Tilt-Winkel

Der Tilt-Winkel ist zunächst der Winkel der Anhebung des Strahlkeulenmaximums in der Elevation von der Horizontalen der Antenne, mit dem die Antenne standardmäßig betrieben wird. Dies kann durch mechanisches Kippen der Antenne oder wie für das RRP-117 elektronisch durch entsprechende Strahlschwenkung geschehen. Das RRP-117 stellt in der Elevation eine phasengesteuerte Gruppenantenne dar, das dadurch eine elektronische Steuerung des minimalen Elevationswinkels in Abhängigkeit vom Azimutwinkel erlaubt („Terrainscan“) und damit ggf. falls erforderlich auch eine Ausblendung von Terraingegebenheiten (z.B. Berge) und Objekten (z.B. höheren Gebäuden).

Sinn dieser Maßnahme z.B. für die unterste Strahlkeule ist, dass der Boden durch Gewinnreduzierung des Elevationsdiagramms (z.B. -3dB, -6dB bezogen auf das Strahlkeulenmaximum) weniger angestrahlt wird. Hierdurch werden störende Bodenreflexionen („Clutter“) reduziert.

Das RRP-117 arbeitet mit elektronischer Strahlschwenkung, die auch die Möglichkeit bietet, in negative Elevationswinkel (Richtung Boden) zu schwenken. Dies ist aber nur bei Berginstallationen sinnvoll, um z.B. Täler abzudecken. Für Stadt- und Flachlandgebiete wie im Bereich Berlins, hat dies aus gutachterlicher Sicht nur Nachteile, weil dann z.B. der ganze sich bewegende Straßenverkehr (Autos usw.) als „Clutter“ störend wirkt.

Es kann daher angenommen werden, dass das RRP-117 mit einem ausreichenden Tilt-Winkel der untersten Strahlkeule betrieben wird, so dass z.B. der -3dB-Punkt am Horizont liegt.

11.1.4 Spezifikationen, Schutzbereich

Für das LVR gibt es kein veröffentlichten Geräte- und Anwendungsspezifikationen wie für das zivile ATC-Radar (ICAO, /49/, /51/, /52/), sondern nur eine Schutzbereichsdefinition.

Bild A - 12 zeigt die Schutzbereichsdefinition der Bundeswehr aus dem „Umdruck 51“ (/67/). Die physikalische Herleitung und die technische Begründung des $1/3^\circ$ Flächenabfalls sowie der Bereichsgrenzen sind öffentlich nicht bekannt.

Wichtig im gegebenen Szenario ist aber, dass in Berlin der Schutzbereich von 5000m auf 2500m reduziert wurde. Außerhalb dieser Zone liegt das Interessensgebiet, das nicht a priori als Ausschlusszone aufzufassen ist. Das Bauvorhaben liegt mit einer Entfernung von 7.6 km demnach formal in diesem Interessensgebiet und **nicht mehr im Schutzbereich des LVR THF (Bild A - 13)**. Die $1/3^\circ$ -Bedingung mit dem Grenzwert 5 km ist somit formal als Schutzhöhe für das LVR THF (PSR 109.7 m ü NHN) nicht mehr spezifiziert. Diese Höhenangaben sind formal in erster Linie relevant für Abschattungseffekte (PSR).

Diese formalen Zahlenwerte beschreiben aber nicht den tatsächlichen physikalischen, operationell relevanten Sachverhalt, sondern stellen nur eine einfache formale Entscheidungs-/ Verwaltungsgröße dar. Die hier vorliegenden physikalischen Effekte verhalten sich nicht digital an den Grenzwerten, sondern haben fließende Übergänge.

Durch die explizite Unterscheidung zwischen einer „Schutzzone“ und einem „Interessensgebiet“ für ein militärisches Luftverteidigungsradar kann aus technischen und logischen Gründen nach gutachterlicher Bewertung geschlossen werden, dass gegen ein Gebäude im Interessensgebiet

nur unter ganz besonderen Umständen seitens der BW eingesprochen werden kann. Derartige besondere Umstände werden von dem Gutachter im gegebenen Fall der Vielzahl von vergleichbaren Gebäuden im Interessensgebiet nicht gesehen. Damit kann man dann im gegebenen Fall nach gutachterlicher Auffassung von einer formalen Regel-Genehmigung seitens der BW ausgehen. Konkrete „Belange“ der Bundeswehr sind in keiner Weise spezifiziert und daher nicht prüfbar.

Im Interessensgebiet existieren weitere teils deutlich höhere Gebäude (z.B. das existierende und genehmigte Estrel-Hotel und Kongress-Center mit 176m Höhe in der Entfernung von etwa 4.2km).

11.1.5 Redundanz, Radarverbund

Die Kette der östlichen Luftverteidigungsradare (**Bild A - 5, Bild A - 14**) besitzt durch Datenfusion im operationellen Radarverbund (Radarnetz, MILRADNET) zur Erstellung des Luftlagebilds. Im Bereich des LVR THF können auf jeden Fall aus gutachterlicher Sicht die relativ nahen LVR

- Cölpin NNO 112km
- Döbern SOO 126km
- Gleina SW 184km

zur Redundanz hinzugerechnet werden.

Ein kurzzeitiger lokaler Zielverlust für größere Entfernungen durch z.B. die Abschattungswirkung bei einem Radar kann somit leicht durch die Daten der nicht betroffenen LVR kompensiert werden. Durch die Redundanz werden auch die Bereiche der potentiellen Nicht-Nutzbarkeit infolge der ggf. reduzierten Mindestdetektionsentfernung eines Radars durch die andern redundanten Radare infolge der großen Reichweiten von 463km abgedeckt. Die große Reichweite gilt aber aus physikalischen Gründen und der gekrümmten Erde nur in relativ großen Höhen.

Durch die Redundanz können auch Spiegelziele beim PSR, sofern diese beim PSR durch Reflexionen am Objekte überhaupt auftreten, und insbesondere beim MSSR erkannt und eliminiert werden.

Zudem besteht ein wechselseitiger Datenaustausch mit den Radaren der zivilen Flugsicherung DFS, was die Redundanz im Bereich Berlin durch ein PSR und drei MSSR noch weiter erhöht.

11.1.6 Reichweitendefinition

Ein wesentliches Beurteilungskriterium ist die mit einem Radar erzielbare Reichweite und deren Beeinflussung. Im Folgenden wird gezeigt, dass es die Reichweite als nur eine Zahl in der realen Umgebung so nicht gibt, sondern auch hier Statistik und Wahrscheinlichkeiten eine Rolle spielen.

Man unterscheidet bezüglich des Radars zwischen

- instrumentierter (angezeigter) Reichweite und

- physikalischer Reichweite als maximale Messentfernung aufgrund der vorhandenen Feldstärke und Objektgröße und bestimmter (z.B. 90%) Entdeckungswahrscheinlichkeit (Wellenausbreitung, Dämpfung)

Die instrumentierte Reichweite wird nur aus den rein zeitlich vorgegebenen Zusammenhängen (Pulslänge, Pulswiederholfrequenz usw.) ermittelt und beträgt entsprechend den verfügbaren Daten beim RRP-117 (/69/) maximal ca. 463km (250nm). Weiter entfernte Ziele werden formal nicht angezeigt, es sei denn, dass sie durch Überreichweiteneffekte für große Ziele als Falschziele in den Anzeigebereich transformiert werden. Dieser Reichweitenwert ist unabhängig von Wellenausbreitungseigenschaften der elektromagnetischen Feldstärke. Die Anzeige ist in diesem Sinne der maximale skalierte Bereich auf dem Anzeigebildschirm.

Die durch die Wellenausbreitung bedingte physikalische Reichweite theoretisch zu berechnen ist sehr komplex. Sie wird zunächst mit vielen Faktoren und Annahmen von der Radargleichung abgeleitet und beinhaltet letztlich die Reichweite, bei der ein Objekt im Freiraum mit einer definierten äquivalenten Rückstreulfläche (RCS) von z.B. 1m² mit u.a. einer Entdeckungswahrscheinlichkeit von z.B. 90% detektiert werden kann. Bei dieser Wahrscheinlichkeit sind u.a. auch Empfänger- und Signalverarbeitungseffekte („Rauschen“) berücksichtigt. Entsprechend große Objekte (>>1m²) jenseits der angezeigten Reichweite können durch des Pulsschemas (Pulswiederholung) als unerwünschtes Ziel aufgrund der Pulslaufzeiten der Reflexion im Anzeigebereich erscheinen. Ein einziger realer physikalischer Reichweitenwert ist für ein Radar in der Realität aufgrund natürlicher Effekte (z.B. Geländeformationen, atmosphärische Störungen, Elevationsdiagrammaufzipfelung) nicht vorhanden, sondern er variiert in jeder Raumrichtung. Bodenbedingte Effekte nehmen ab, wenn der Radarstrahl bei höheren Elevationswinkeln nicht mehr vom Boden beeinflusst wird (Freiraum). Die angegebene Reichweite ist somit ein „idealisiert“ Wert im Freiraum.

Das RRP-117 strahlt seine Sendeleistung in der Elevation mit gestaffelten, elektronisch gesteuerten Einzelkeulen („pencil beams“) bis in eine Höhe von etwa 20° ab, wodurch eine Höheninformation über detektierte Objekte möglich wird. Der Erdbodeneinfluss incl. Objekten (WEAs) betrifft im praktisch daher nur die unterste Keule und gegebenenfalls noch die zweitunterste. Diese Elevationskeulen decken azimuthal durch mechanische Rotation 360° ab

Bei der realen Wellenausbreitung spielt die Erdkrümmung eine Rolle. Wenn man von einem Punkt eine gerade (optische) Linie ausgehen lässt, ergibt sich in einer bestimmten Entfernung aufgrund des Krümmungsradius der Erde eine bestimmte Höhe über dem Erdboden. Für eine solche Linie, die einer angenäherten „quasi-optischen“ Strahlungseigenschaft der untersten Elevationskeule entspricht, ergibt sich mit der Formel $(H=[L^2+R^2]^{-1/2}-R;$ mit L=Entfernung, R=Erdradius):

- in 463km (250nm) Entfernung und 6370km Erdradius eine Höhe von ca. 16.9km
- in 463km Entfernung und 4/3 Erdradius (Atmosphäreneffekte) eine Höhe von 12.6km

Wenn man im vereinfachten Szenario der Sichtlinien („Line of Sight“, LOS,) ein z.B. in 300m Höhe tief anfliegendes Objekt betrachtet, so ergibt sich mit einer Radarhöhe von 36m über Boden, dass dieses Objekt aufgrund einer idealen Erdkrümmung (4/3R) vom Radar erst „gesehen“ wird und aus dem „Radarschatten“ austritt, wenn es näher als ca. 96km/52nm ist (149m entspr. ca. 75km/41nm, 3000m entspr. ca. 250km/135nm; 1nm=1.852km). Fliegt das ankommende Flugzeug noch tiefer, kann es nur entsprechend etwas später entdeckt werden. Für jede Höhe über Grund gilt damit eine individuelle „Grenzreichweite“.

Dies gilt unabhängig von der allgemeinen Reichweitendefinition. Somit können tiefer als in der angegebenen, ca. 12km Höhe fliegende elektrisch schwach reflektierende Objekte mit einem RCS von $1\text{-}2\text{m}^2$ vom Radar im Bereich der Grenreichweite überhaupt nicht gesehen werden. Das Problem einer Reichweitenreduzierung bezieht sich somit nur auf Objekte in sehr großen Höhen bei der absoluten Grenreichweite von 463km, die von der untersten Elevationskeule erfasst werden oder sehr nahe, tief fliegende Objekte.

Zudem ist es so, dass es physikalisch bedingt eine generelle 100%ige Radarabdeckung im Raum nicht gibt, sondern radarinterne und –externe Randbedingungen erlauben nur statistische Aussagen, die sich im radartypischen Begriff „Entdeckungswahrscheinlichkeit“ (s. Kap. 11.1.7) wiederfinden.

Um diese Einschränkungen (Schattenbereiche) möglichst zu umgehen, werden entsprechend mehrere Radare redundant aufgebaut.

In den Gutachten und in den Stellungnahmen der WBV wird bzgl. den Reichweitendefinitionen nicht unterschieden. Entsprechend den Zahlenbezügen (463km) ist hier bei der Verwendung des Begriffs der Reichweite offensichtlich immer die instrumentierte gemeint.

11.1.7 Entdeckungswahrscheinlichkeit

Das gesamte Radar-Zielendeckungsszenario basiert auf Wahrscheinlichkeiten. Dies wird durch den zentralen Begriff der „Entdeckungswahrscheinlichkeit“ (Probability of Detection, PoD) deutlich. Bei einem Radarsystem wird die PoD als Gütekriterium genannt. Die Grenreichweite wird über das kleinste zu entdeckende Objekt (z.B. $\text{RCS}=1\text{m}^2$) bei einer bestimmten PoD von z.B. 90% definiert. Wollte man eine PoD von 99%, so wird die Grenreichweite entsprechend kleiner. Prinzipiell ist es so, dass kein terrestrisches Radar, sei es Luftverteidigung oder Flugsicherung, eine über Alles PoD von 100% im ganzen Raum besitzen kann. Bereits systeminterne prinzipielle physikalische Geräteeigenschaften verhindern dies. Hinzu kommen natürliche umgebungsspezifische Effekte (Geländedeformationen, atmosphärische Störungen usw.). All diese unvermeidlichen „natürlichen“ Effekte wirken sich ebenso auf die Zielerfassung durch fehlerhafte Ortsbestimmung (Entfernung, Höhe, Winkel) aus, außerdem z.B. durch Falschziele (false targets) oder Zielverluste (plot loss).

Für ein Radar der Luftverteidigung mögen die Wunsch-Werte sicherlich enger gefasst sein, können aber prinzipiell entsprechend hierfür nicht 100% sein, auch wenn dies bei den Forderungen suggeriert wird. Solche qualitativen unrealistischen Maximalforderungen zu verlangen mag zwar für den Anwender bei einer Realisierbarkeit nützlich sein, kann aber in dieser Form kein bestimmendes Kriterium sein, um z.B. eine WEA daraufhin abzulehnen.

Störungen des Radars und Fehlziele werden mit den verschiedensten Methoden versucht zu unterdrücken. Ein hierbei häufig auftauchender Begriff ist die CFAR (Constant False Alarm Rate). Hierbei wird die Balance gesucht zwischen der Stärke der Stör-/Falschzielunterdrückung und der Erkennbarkeit von Zielen in der Störumgebung, was auch keinen 100%igen Erfolg beinhalten kann. Das Problem ist hierbei, hebt man die CFAR-Schwelle an, werden schwache Ziele ebenfalls unterdrückt, senkt man sie zu stark erhält man zu viele Falschziele. Es sei zur Vertiefung dieses Themas auf die einschlägige Radarliteratur verwiesen.

11.1.8 Abschattung

Prinzipiell ist ein Radar hinter einem abschattenden Objekt nicht „blind“ (**Bild A - 18**, z.B. /34/, /35/, /38/). Es ergibt sich eine gewisse Reduktion in der Feldstärke hinter dem Objekt mit einer „Erholung“ dieser Reduktion mit zunehmender Entfernung. **Bild A - 19** zeigt das Prinzip des Verlaufs und der Überlagerungen des direkten und des gestreuten Feldes mit dem entfernungsabhängigen Verhalten ($1/r^2$, $1/r$).

Dem elektrischen Feld wird zudem keine „Energie entzogen“ (Energieerhaltungssatz), wie dies bisweilen festgestellt wird. Physikalisch gibt es nur die Umwandlung der Energie bzw. Umlenkung der Energie.

Verschiedene Faktoren bestimmen den Grad des Abschattungseffekts:

- Betriebsfrequenz
 Je höher die Frequenz, desto elektrisch größer ist das Objekt and damit die Effekte.
 Je höher die Frequenz, desto langsamer ist die Erholung des Felds hinter dem Objekt.
- Entfernung zwischen Quelle und Objekt
 Je weiter das Objekt entfernt ist, desto schneller erfolgt die Erholung hinter dem Objekt
- Bei Anstrahlung mit einer Ebenen Welle geschieht die Erholung am schnellsten.
- elektrisch wirksame Ausdehnung des Objektes
 Je größer das Objekt, desto langsamer erfolgt die Erholung

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Abschattung im Wesentlichen nur durch die projizierte Silhouette eines Objekts bestimmt wird. Die detaillierte Struktur des Objektes ist zweitrangig. Es ist daher nicht entscheidend, ob die äquivalente Silhouette durch eine Platte, einen Quader, einen Zylinder oder eine Kugel erzeugt wird

Ebenso ist die Reflexionseigenschaft des Objektes (Oberfläche) für die Abschattung nicht relevant. Es bietet also hinsichtlich der Abschattung keine Vorteile, wenn die angestrahlten Flächen absorbierend gestaltet werden. **Selbst ein idealer Absorber verschattet grundsätzlich ebenfalls.**

Eine verbleibende Restabschattung reduziert die Reichweite eines Radars. Die Sichtbarkeit eines Objekts wird aber auch durch die Erdkrümmung bestimmt und der hiermit verbundenen Sichtlinie (Line of Sight LoS, **Bild A - 27**). Unterhalb dieser Linie im Schattenbereich ist ein Objekt nicht detektierbar. **Tabelle 6** und **Tabelle 7** zeigen Beispiele. Aufgrund der Beugung der Radarstrahlen an der Erdoberfläche wird als Näherung mit $4/3$ Erdradius gerechnet.

Bei der Grenreichweite des LVR von 463km (250NM) muss ein Objekt über 10000m hoch sein um detektiert zu werden. Mit der Radar-Reichweitengleichung

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_{tx} \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot P_{rx} \cdot L_s}}$$

P_{tx} = abgestrahlte Leistung, G = Antennengewinn, λ = Wellenlänge,
 σ = RCS, P_{rx} = Empfängerempfindlichkeit, L_s = Gesamtverluste

ergeben sich z.B. bei entsprechenden zusätzlichen Verlusten bezogen auf die Grenreichweite des LVR die Werte in **Tabelle 8**:

Verluste /dB	R /km
0	463
5	347
10	260
15	195
20	146
25	110
30	82

Tabelle 8: Reichweitenreduzierung bei zusätzlichen Verlusten

Zur Definition der Grenzreichweite wird ein formaler Bezug auf die Detektierbarkeit einer Fläche von 1m² (RCS =23.7dB bei 1300MHz, Radarquerschnitt) vorgenommen. Wenn man die Werte in **Tabelle 8** standardmäßig für $\sigma = 1\text{m}^2$ annimmt, so ergeben sich z.B. bei $\sigma = 2\text{m}^2$ ein 6dB höherer Gewinn und bei $\sigma = 3\text{m}^2$ 9.5dB. Das heißt, bei Verlusten sind in der gleichen Entfernung entsprechend größere Objekte detektierbar.

Die Reichweite reduziert sich mit der 4. Wurzel aus der Leistungsminderung durch Verschattung. Nur wenn sich das echogebende Radar-Ziel auf einem Radialkurs befindet, der auf der Radar-Sichtlinie ZIEL - RADAR liegt, wird die Reichweitenminderung des Echos voll wirksam. Zu berücksichtigen ist aber, dass die Reichweitenminderung sich nur in der Radar-Richtung zum verschattenden Objekt ergibt. Bei Flügen, die den Verschattungssektor queren, wird die eventuelle Ortungslücke durch das Trackingverfahren geschlossen. Nur bei exakten Radialflügen im Verschattungssektor kann es im Extremfall zu leichten Beeinträchtigungen kommen, die aufgefangen werden durch redundante benachbarte Radare.

11.2 Zivile ATC-Radare (PSR, MSSR) der DFS

11.2.1 Allgemeines

Entsprechend den Gepflogenheiten der DFS braucht das Primärradar (PSR, **Bild A - 9**, **Bild A - 10**) in der Regel nicht betrachtet werden. Bei dem Sekundärradar ist hier das „Monopulse Secondary Surveillance Radar“ (MSSR, **Bild A - 11**), streng genommen kein klassisches Radar, sondern ein bidirektionales kooperierendes Kommunikationssystem mit Pulssequenzen. Entsprechend werden die Sekundärradare bei der EUROCONTROL zunehmend „Interrogator“ und bei der FAA/USAF „beacon“ genannt.

Spezifikationen sind in Kapitel 11.5 zusammengefasst.

Bild A - 16 und **Bild A - 17** zeigen die prinzipiellen Funktionsweisen eines ATC-Radars.

Bild A - 23 zeigt als Vergleich eine Ansicht der Skyline von Frankfurt in etwa der gleichen Entfernung vom ATC-Radar Süd auf dem Flughafen Frankfurt Main wie der RAW-Tower in Berlin zu den Radaren in Berlin (ASR TXL, MSSR BBI). Im Vergleich hierzu erscheint das gegebene Berliner Hochhausszenario a priori weitaus weniger bedrohlich.

11.2.2 SSR-Empfängereigenschaften (Flugzeug-Transponder)

ICAO Annex 10 Vol. IV §3.1.1.7.5 spezifiziert als Basisbedingung für das SSR-System, dass die Flugzeugtransponder nur auf Abfragesignale bestimmter Mindestfeldstärke (Mindestleistung in dBm) am Antenneneingang antworten sollen.

Dies sind typisch -71dBm (3mV/m entspr. -50.5dBV/m (\hat{E})) und minimal -77dBm für Mode A/C. Für MODE S spezifiziert Annex 10 Vol. IV in §3.1.2.10 ein MTL („minimum input power level for 90 percent reply to interrogation ratio“) von -74dBm \pm 3dB („no more than 10 per cent at signal input levels below -81 dBm“). Diese Leistungen bzw. Feldstärken werden als am Antenneneingang des Bordempfängers anliegend definiert. Verluste zwischen dem Empfänger und dem Raum (Kabel, Schalter, Übergänge, Antennenverluste etc.) verringern effektiv und virtuell die Empfänger-Eingangsempfindlichkeit.

Dieses Gutachten betrachtet die Feldstärke (\hat{E}) außerhalb des Flugzeugs im Raum und geht hierfür unter Berücksichtigung von international typischen Systemdämpfungen von einem Referenzwert von -71dBm im Raum aus.

11.2.3 Spiegelziele, Störung

Beim hier behandelten Radar-Szenario sind Spiegelziele durch Mehrwegeausbreitung das potentielle Problem. Potentielle Störungen des SSR-Radarbetriebs sind nur dann betrieblich relevant, wenn Spiegelziele durch Falschabfragen wegen andauernden Überschreitens der MTL (s.o.) in Raumbereichen erzeugt werden können, in denen sich Flugzeuge überhaupt aufhalten. Ein „Spiegelziel“ wird als solches bezeichnet, wenn auf dem Radarschirm des Radarkontrollers ein Flugzeug mit korrekter Code-Nummer an anderer Stelle bedingt durch Reflexionen ein zweites Mal erscheint (**Bild A - 3**).

Ein „Spiegelziel“ liegt vom Radar gesehen immer hinter dem die Reflexion verursachenden Objekt (**Bild A - 3**) und immer in einer virtuell größeren Entfernung zum Radar als das tatsächliche Ziel. Der Volumenbereich ist präzifizierbar, wo ein Spiegelziel aufgrund von Reflexionen an einem Objekt überhaupt auftreten kann.

Ein einzelnes Spiegelziel ist immer ein zusätzliches Ziel mit gleicher angezeigter Identität und Flughöhe wie das Originalziel. Das echte Ziel, da es auch anders verortet ist, bleibt immer erhalten. **Es kann in diesem Szenario also nach gutachterlicher Einschätzung auch kein Zielverlust des Echtziels durch ein Spiegelziel entstehen.** Dass die Echtzielflugsspur dauerhaft durch eine Falschzielflugsspur ersetzt würde, ist realistisch in aller Regel nicht möglich.

Gibt es Raumbereiche mit überschrittenem MTL, aber gibt es dort normalerweise keine Flugzeuge, oder sind diese Raumbereiche angesichts des dynamischen Flugbetriebs relativ klein, dann können diese Raumbereiche ebenfalls vernachlässigt werden. Mithin sind dann keine Maßnahmen an den Objekten notwendig. Entscheidend ist, ob es zu operationell relevanten Störungen kommt. Die EUROCONTROL-Spezifikation SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01 lässt sogar explizit reflexionsbedingte Spiegelziele von 0.2% zu (s. Kapitel 11.5, /56/).

Die physikalische Existenz von Effekten am Beginn der Signalverarbeitungskette (Rohdaten) kann aber nach gutachterlicher Auffassung nicht bereits als „Störung“ bezeichnet werden, wenn diese als Spiegelziele nicht zur Anzeige beim Fluglotsen gelangen. Auch hier greifen interne Verfahren im einzelnen Radar selbst, seitens der DFS als „Störzielunterdrückungsprogramm“

oder „Antireflexionssoftware“ bezeichnet, die in der Lage sind, „Spiegelziele mit großer Wahrscheinlichkeit herauszufiltern“, wie es bereits 1999 in /55/ von der DFS beschrieben wird.

Falls dies im Einzelfall nicht gelingt, ermöglicht die Redundanz im Radarverbund „RADNET“ und mit PHOENIX /57/ (s. Kapitel 11.2.5) diese Wahrscheinlichkeit weiter zu erhöhen.

Nach Auskunft von Fluglotsen der DFS stellen einzelne angezeigte Spiegelziele kein operationelles Problem dar, solange kein Track aufgebaut wird.

Der Radarbetrieb der DFS ist hierdurch auf einem sehr hohen modernen Stand der Technik und bietet dadurch grundsätzlich eine sehr hohe Resistenz gegen Störungen durch Reflexionen und den damit verbundenen Spiegelzielen. Diese Eigenschaften werden deshalb in der gutachterlichen Beurteilung voll berücksichtigt.

Auch für niedrige Höhen ergibt sich also bereits durch die Vielzahl der erfassenden Radare eine sehr vorteilhafte Mehrfachredundanz von mindestens den Faktor 3, aufgrund derer im Radarverbund Spiegelziele erkannt und ausgeblendet werden können.

Es ist sogar nachgewiesenermaßen durch diesen Radarverbund ein „sicherer“ Radar-Betrieb mit nicht eingeschränktem Betrieb möglich, wenn das Flughafenradar Leipzig z.B. für Wartungsarbeiten ausgeschaltet ist.

Es gibt für das SSR auch technisch und konzeptbedingt „Effekte“, die unvermeidlich sind und auch als „Störungen“ bezeichnet werden könnten.

Für das SSR physikalisch unvermeidlich sind die sogenannten „Garblings“ und „Fruits“. Diese „Effekte“ liegen am Eingang der Signalverarbeitung an. Beim „Garbling“ („Verstümmelung“) überlappen sich Pulsantworten. Dies kann z.B. geschehen bei zwei antwortenden Flugzeugen im gleichen Azimut und ungefähr gleichen Entfernungen auf verschiedenen Höhen. Bei „Fruits“ (False Replies Unsynchronized In Time) empfängt die Bodenstation Antworten, die von anderen Bodenstationen initiiert wurden und nicht in das eigene Abfrage-Antwort-Schema passen. Auch hier können sich verschiedene Pulssequenzen vermischen.

Zur Lösung dieser Probleme besitzen die SSR-Signal-Prozessoren interne Lösungsmethoden/-algorithmen: „Degarbler“ und „Defruiter“, mit denen versucht wird, die korrekten Pulssequenzen zu separieren. Selbst wenn dies zunächst nicht gelingt, so folgen noch andere Verfahren und Möglichkeiten im System, die versuchen zu bewirken, dass diese „Effekte“ beim Controller nicht als „Störung“ sichtbar werden und wahrgenommen werden. Die inakzeptable Triviallösung, um diese „Störungen“ im Ansatz zu vermeiden, wäre natürlich den Flugbetrieb derart einzuschränken, dass „Fruits“ und „Garbling“ gar nicht erst entstehen können. (Der Luftraum über Frankfurt/Main hat eine der höchsten Fruits-Dichten in Europa.)

11.2.4 Bedeckungsraum

Dieser Bedeckungsraum wird so verstanden, dass dieser durch die in der AIP (Aeronautical Information Publication) für die Bundesrepublik Deutschland definierten Verfahren und Flugrouten bestimmt wird. Die Mindestradarführungshöhe wird außer in den direkten Anflugbereichen bestimmt durch die veröffentlichte M(R)VA („minimum (radar) vectoring altitude“, **Bild A - 22**) und durch die in der AIP angegebenen Mindesthöhen.

Reflexionen brauchen nicht unterdrückt werden, wenn diese in Raumbereichen wirken, in denen keine Bedeckung erforderlich ist oder in denen sich in der Regel kein Flugzeug befindet.

Spiegelziele (oder „Falschziele“), die in diesen Raumbereichen theoretisch auftreten können, treten erst lange nach dem Erfassen des jeweiligen Flugzeugs als korrektes Erstziel auf. Weiter wird ein Spiegelziel dem Radarcontroller ggf. erst dann dargestellt, wenn es nicht von den beschriebenen Mechanismen bereits erkannt und eliminiert wurde.

Nach Aussagen von Radarcontrollern der DFS stellen vereinzelt dargestellte Falschziele kein operationelles Problem dar, sondern nur spurbildende (Track) Falschziele.

Ein Track wird aber erst ggf. beim dritten Treffer eines Radars aufgebaut, sofern nicht dieses Spiegelziel intern als solches erkannt und unterdrückt wird. Bei einer Umdrehungsrate von 12/min bedeutet dies, dass das Flugzeug sich mindestens etwa 9 Sek. operationell in einem betroffenen Bereich aufhalten muss, in dem die Abfragefeldstärke die MTL überschreitet. Dies gilt auch für das immer stärker eingeführte MSSR Mode S. Die Wahrscheinlichkeit einer Falschantwort nimmt bei Mode S aber ab. Ein „Track“ im diskutierten Sinne bedeutet, dass in der Software des Radars eine 3D-Flugspur aufgebaut wird, was aber nicht notwendigerweise eine Linie auf dem Radarschirm des Radarcontrollers bedeutet.

ESASSP (/56/) beschreibt die Anforderungen an Überwachungssysteme bezüglich der Flugzeugseparationen (3NM/5NM horizontal, 1000ft/2000ft vertikal). Auch hier ist eine Vielzahl von weiteren Fehlermöglichkeiten angegeben, denen ein „*true track*“ ausgesetzt ist, die alle nicht mit der zulässigen Häufigkeit 0 definiert sind. In ESASSP Vol.1 *Table 3* wird z.B. empfohlen: *“Less than or equal to 2 non-coincident falsely confirmed tracks per hour that are closer than 13000 m - 7 NM from true tracks”*. Hier wird zudem nicht ein einzelnes Spiegelziel (false target) und nicht ein allgemein generelles räumliches Auftreten von „*falsely confirmed tracks*“ definiert, sondern nur relevant im Rahmen von Abständen zu den „*true tracks*“, d.h. in Anwesenheit eines anderen Flugzeugs. Dies einzuordnen gehört zum Aufgabenbereich („*workload*“) des Fluglotsen (Controller).

11.2.5 Redundanz, Radar-/Überwachungsdatenverarbeitungssystem (RDPS/SDPS) PHOENIX der DFS

Das von der DFS entwickelte und eingesetzte MRT (Multi Radar Tracker) im Radar-/Überwachungsdatenverarbeitungssystem PHOENIX (Heidger, R; The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 5.0, 13.01.2014, RDPS/SDPS Radar/Surveillance Data Processing System) ermöglicht Multi-Radar-Datenfusion und die Datenverarbeitung von bis zu 50 Sensoren (incl. u.a. SSR und MLAT Multilaterationssystem und A-DSB) und nominell 3000 (skalierbar bis 10000 „extended version“) Tracks können gleichzeitig verwaltet werden, bei etwa 1000 bis 2000 Tracks im deutschen Luftraum (2014; *„German air traffic of today comprises between 1000 and 2000 aircraft tracks at the same time in the national airspace.“*).

Bild A - 24 zeigt eine vereinfachte Darstellung von in PHOENIX zusammengefassten Sensoren. Im Cluster um Leipzig sind auch die hier genannten anderen Radarstandorte zu erkennen.

Bild A - 25 zeigt ein Blockschaltbild des bundesweiten Sensorverbunds im PHOENIX Tracker.

Dieses System ermöglicht daher eine hohe Redundanz in der Datenverarbeitung.

Bei der DFS bekommt der Fluglotse nur die Daten auf dem Display angezeigt, die von PHOENIX bereitgestellt werden. Das heißt aber auch, dass nie die Rohdaten (Zieldaten, Spiegelziele) eines lokalen Radars normalerweise unbearbeitet direkt angezeigt werden. Auch das lokale Radar wendet bereits Entstöralgorithmien an, so dass bereits weitgehend „bereinigte“ Daten an PHOENIX übermittelt werden. Je nach Raumposition eines Flugzeugs werden entsprechend viele Sensoren (z.B. Radar, MLAT, ADS-B usw.), die das Flugzeug erfassen berücksichtigt.

Im PHOENIX White Paper (2014) ist angegeben, dass dessen Tracker „Plots“ der einzelnen Radare empfängt, die mit entsprechenden Algorithmen (u.a. Kalman-Filter) zu Tracks (Flugspuren) verarbeitet werden. Somit werden einzelne Spiegelziele, durch die im PHOENIX vorhandenen „Prüf- und Entstöralgorithmien“ aufgrund der Redundanz aber in der Regel erkannt und nicht angezeigt und damit „false tracks“ verhindert. Dies macht jedes moderne MRT-System.

Die Update-Rate für Ziele im PHOENIX für lokale Radare entspricht deren Umdrehungsgeschwindigkeit (PSR/MSSR 4.8sec/U). Ein MLAT ermöglicht eine Update-Rate von 1 Sek. und je nach Sensorzahl und deren Dislozierung eine Positionsgenauigkeit von unter 50m (rms).

Ein (neuer) Track wird zunächst nur PHOENIX-intern erzeugt und logischen, räumlichen und zeitlichen Prüfungen (u.a. Spiegelzielerkennung) unterzogen, u.a. durch Plotvergleich, („history“ mit ca. 20 Plots, „prediction“, Erwartungsbereich des nächsten Plots). Erst dann kommt er im positiven Fall zur Anzeige. Dies schließt natürlich das Anhängen eines neuen Plots an einen vorhandenen Track mit ein.

Gegebenenfalls können im Not- bzw. Bedarfsfall mit konfigurierbaren NAI-Areas (Non Automated Initiation, „track inhibit“) und Blanking-Areas Störungen einer Track-Entstehung designgemäß beherrscht und beseitigt werden.

Es wird festgestellt, dass diese beschriebenen Möglichkeiten keine unerwünschten Notmaßnahmen sind, sondern „normale per Design entwickelten Eigenschaften“ eines MRT sind. Dies gilt insbesondere für das PHOENIX-MRT, das die DFS selbst entwickelt hat und als besonders modern und wirksam beschreibt und auch international bewirbt und anbietet. All dies ist international üblicher, moderner Radarbetrieb.

Es ist also höchst unwahrscheinlich, dass unter regulären Umständen mit PHOENIX überhaupt ein „false track“ bzw. ein einzelnes Spiegelziel auf dem Display des Controllers angezeigt wird.

11.3 Bemerkungen zur Verwendung des Radarrückstreuquerschnitts (RCS/RQS)

In der „normalen Radartechnik“ ist es üblich, die Objekte mittels des Radarrückstreuquerschnitts („Radar Cross Section“; RCS, RQS /40/, /41/, /42/, /44/, siehe auch die einschlägigen Veröffentlichungen der NAVCOM Consult) zu charakterisieren. „Normal“ heißt hier für Objekte in der „Luft“, d.h. im Freiraum in großer Entfernung, d.h. Erregung durch eine ebene Welle, die aber für Objekte auf dem Boden nicht gegeben ist. Auf diesem Modell (Fernfeld, ebene Welle) basiert grundsätzlich die einzig gültige Definition des RCS /42/:

$$\sigma_{pq} = \lim_{R \rightarrow \infty} \left[4\pi R^2 \frac{|\bar{E}_p^s|^2}{|\bar{E}_q^i|^2} \right] \quad (1)$$

(R =Entfernung, \vec{E}_p^s = p-polarisierte Komponente des gestreuten Feldes am Empfänger, \vec{E}_q^i = q-polarisierte Komponente des einfallenden Feldes am Streuer).

Für eine elektrisch große, rechteckige Fläche mit den Seitenlängen a und b lässt sich das maximale σ (monostatisch, Einfallswinkel α = Ausfallswinkel α , $\alpha = 0^\circ$ = senkrecht) mit der folgenden einfachen Formel berechnen:

$$\sigma = 4\pi \left(\frac{ab}{\lambda} \right)^2 ; \sigma[\text{dBm}^2] = 10 \cdot \log_{10}(\sigma) \quad (2)$$

mit λ = Wellenlänge (z.B. = $c/f = 0.291\text{m}$ für die SSR/IFF Sendefrequenz $f = 1030\text{ MHz}$). Im allgemeinen und bistatischen Fall wird dieser Term mit entsprechenden winkelbezogenen sin-/cos-Termen erweitert. Das RCS lässt sich also für planare Flächen angenähert sehr einfach berechnen. Eine Einbeziehung eines Bodens ist hier definitionsgemäß nicht vorhanden. Für andere Geometrische Objekte (Zylinder, Kugel, Kegel, Paraboloid usw.) gibt es ähnliche Formeln (s. Literatur).

Dieses σ kann sicherlich zu Vergleichszwecken in gleicher (Freiraum-) Umgebung herangezogen werden, als absolute Größe in Verbindung mit Bodeneigenschaften ist dieser Wert aber nicht geeignet. Für schleifenden Einfall (große Winkel α) kommen noch andere physikalische Effekte durch z.B. Kanteneffekte hinzu, die in dieser Näherungsformel auch nicht berücksichtigt werden.

Insgesamt bedeutet dies, dass der RCS-Wert σ streng genommen nur in unendlicher Entfernung (=Ebene Welle des einfallenden Feldes) und im Freiraum (!) ohne Erdboden gilt. Für Objekte auf dem Boden (Bauwerke) werden entscheidende Bodeneffekte (Aufzipfelung des Elevationsdiagramms, tatsächliche Stromverteilung auf dem Objekt, Nahfeldeffekte usw.) nicht berücksichtigt. Eine formale numerische Modifikation des definitionsgemäßen RCS-Wertes zur Berücksichtigung von Bodeneffekten (z.B. durch Spiegelung) ist jedoch kein RCS im obigen Definitionssinn mehr und kann somit auch nicht mehr als „RCS“ bezeichnet werden.

Ein „Nahfeld-RCS“ im Sinne eines eigenen neuen Wertes gibt es ebenfalls nicht, wie dies bisweilen behauptet wird. Dieses „Nahfeld-RCS“ ist das gleiche RCS, hergeleitet aus Nahfeldgrößen.

Von NAVCOM Consult wurden zu der RCS-Problematik eine Reihe von technisch wissenschaftlichen, internationalen Veröffentlichungen (z.B. /15/, /16/ /17/) publiziert.

Die beobachteten realen Feldeffekte über Boden kann man nicht durch ein RCS im international vereinbarten Definitionssinn charakterisieren. Daher ist ein nach der Definition bestimmtes RCS von den Grundlagen her über Erdboden und im Nahbereich nicht anwendbar und wird daher seriöserweise auch von NAVCOM Consult in solchen Szenarien nicht verwendet. Der hierbei gemachte Fehler ist in der Regel nicht vorhersehbar.

11.4 Numerische Methoden (Grundlagen)

Die numerischen Systemsimulationen werden auch in diesem Projekt mit dem in den Publikationen von NAVCOM Consult beschriebenen Verfahren nach dem Stand der Technik durchgeführt, nämlich der integriert hybriden Systemsimulation IHSS (**Bild A - 1**). Die Besonderheit dieses von NAVCOM Consult eingeführten Verfahrens besteht, dass für ein bestimmtes Objekt alle zur Verfügung stehenden numerischen Verfahren parallel für die jeweiligen Fragestellungen in

Kombination mit den systemtechnischen und operationellen Aspekten eingesetzt werden. Ziel ist immer die Ermittlung des operationellen Systemparameters (z.B. Winkelfehler bei SSR und TACAN, Entfernungsfehler bei DME, DDM bei ILS usw.).

In diesem Gutachten wird als elektrisch-numerische Methode zur Berechnung der Wellenausbreitung verwendet:

- **IPO** (Improved Physical Optics)
Verbesserte/Erweiterte physikalische Optik (PO) entsprechend der PTD (“Physical Theory of Diffraction”). Es können Kanten- und Schattenströme (Fock-Ströme) sowie Verschattungen und Reflexionen berücksichtigt werden

Alleinige Abschätzungen der Effekte z.B. mit Fresnel-Zonen, reinen Flächenbetrachtungen (nach m^2 , konstante Aperturbelegung), Ebenen Wellen, RCS/RQS (Radar Cross Section / Radarquerschnitt s. Kapitel 11.3) usw. werden für die Systembetrachtungen alleinstehend grundsätzlich nicht durchgeführt.

All dies berücksichtigt somit auch als eine grobe Näherung nicht die Vielzahl von physikalischen Effekten (Antennendiagrammeigenschaften, Fernfeld/Nahfeld-Effekte, Beugung, Aufzipfelung („fingering“, „lobing“) des Elevationsdiagramms über Erdboden im Gegensatz zu den aufwendigen oben genannten numerischen Methoden und führt somit auch in der Regel in diesem Sinne zu nicht korrekten Ergebnissen (meist zu zu großen Störwerten), auf deren Basis dann entsprechende Maßnahmen gefordert werden müssen. Dies gilt grundsätzlich auch für Abschattungs-betrachtungen, die nur auf der Basis optisch-geometrischer Betrachtungen durchgeführt werden, da hierbei die Schattengrenz- und Auffüll-Effekte nicht berücksichtigt werden. Mit heutigen dreidimensionalen numerischen 3D-Analysemethoden sind in der Regel aussagekräftige Feldberechnungen möglich.

Wenn nicht anders angegeben wird bei den numerischen dreidimensionalen Simulationen grundsätzlich der Erdboden mit berücksichtigt. Im Allgemeinen wird ein durchschnittlicher, normaler Erdboden (leicht feuchte Erde, mit der Dielektrizitätszahl $\epsilon_r=10$ und Leitfähigkeit $\sigma=0.01$ S/m. Die immer gegebene Rauigkeit und nicht-planare Eigenschaften werden durch Verluste berücksichtigt.

Bei entsprechend systemtechnisch und physikalisch trivialen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen kann auf eine numerische Simulation verzichtet werden. Die theoretische Analyse ist dann hierfür ausreichend.

11.5 Spezifikationen

Als internationale Spezifikationen für die hier zu betrachtenden zivilen Radarsysteme werden verwendet:

- **ICAO**
INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES
AERONAUTICAL TELECOMMUNICATIONS
ANNEX 10, VOLUME IV (SURVEILLANCE RADAR AND COLLISION AVOIDANCE SYSTEMS)
- **EUROCONTROL**
SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01 (ASR, SSR)

6.3 Performance Requirements for SSR Sensors

§6.3.2.1 Target Position Detection

Overall probability of detection: > 97 %

§6.3.2.2 False Target Reports

Overall false target report ratio: < 0.1 %

§6.3.2.3 Multiple SSR Target Reports

Overall multiple SSR target report ratio: < 0.3 %

Multiple SSR target report ratios:

- from reflections : < 0.2 %
- from sidelobes : < 0.1 %
- from splits : < 0.1 %

§6.3.3.1 Random errors (standard deviation values):

- azimuth (degree): < 0.08°

6.4 Performance Requirements For PSR Sensors

6.4.2.1 Target Position Detection

Overall probability of target position detection: > 90 %

6.4.2.2 False Target Reports

Average number of false target reports per antenna scan: < 20

6.5 PSR/SSR Data Combining

- Overall probability of association: $\geq 95\%$.
- Overall false association ratio: $\leq 0.1\%$.

- AIP
- gegebenenfalls andere nationale Spezifikationen
- ICAO DOC 8071 (Manual on Testing of Radio Navigation Aids) enthält nur „typical over-all performance figures“ aus denen obige Werte abgeleitet wurden und keine Spezifikationen

Grundsätzlich berücksichtigt NAVCOM Consult nur solche Daten der in Betracht zu ziehenden Navigationssysteme, die Einfluss auf die Beurteilung des gegebenen Szenarios haben. Dies schließt operationelle Gegebenheiten, z.B. die in den AIP (/54/) veröffentlichten Prozeduren, mit ein.

Hier auszugsweise angegebene Spezifikationswerte sind allgemein zu verstehen und nicht selektiv beschränkt, z.B. objektbezogen. Wenn die hier behandelten Objekte keine systemrelevanten Störungen hervorrufen, tragen sie auch nichts Relevantes zum Gesamtverhalten bei. Hieraus ergeben sich auch die nachfolgenden Bemerkungen.

Bei in diesem Gutachten durchgeführten Betrachtungen ist unter Einbeziehung obiger Spezifikationen zu beachten, dass es niemals physikalisch den Zustand „keine Störungen = 0%“ im Sinne von 100% Sicherheit gibt. Ein Restrisiko ist auch nach ICAO definiert und in der gesamten Luftfahrt immer gegeben. In diesem Sinne kann immer nur vom Einhalten gegebener Spezifikationsgrenzen (s.o.) gesprochen werden. Es gibt z.B. beim Radar niemals 100% Entdeckungswahrscheinlichkeit (PoD, Probability of Detection), sondern wenn diese mit >97% / >90% (SSR/PSR) spezifiziert ist und dies eingehalten wird, sind alle Kriterien erfüllt. Deshalb ist es nicht reell, z.B. 99% als Minimum bei gleicher Reichweite zu fordern. Wenn man z.B. nur einen begrenzten Abschattungsbereich tief unten am Boden betrachtet, in dem die PoD zu 0% definiert werden könnte, dann ist es unzulässig davon abzuleiten, das Radar insgesamt sei nicht funktionstüchtig.

Bei der pragmatischen praktischen Vorgehensweise und Philosophie des RASS-Verfahrens (PoD = Anzahl der entdeckten Flugzeuge/Anzahl der tatsächlich vorhandenen Flugzeuge) sind solche Effekte in der Regel vernachlässigbar.

In diesem Gutachten werden triviale und gefestigte Grundlagen der Radarsystemtechnik, der Wellenausbreitung und der Numerik nicht hergeleitet, sondern als bekannt vorausgesetzt und es bedarf daher nicht eines ständigen Nachweises.

11.6 Numerische Methoden (Grundlagen)

Die numerischen Systemsimulationen werden auch in diesem Projekt mit dem in den Publikationen von NAVCOM Consult beschriebenen Verfahren nach dem Stand der Technik durchgeführt, nämlich der integriert hybriden Systemsimulation IHSS (**Bild A - 1**). Die Besonderheit dieses von NAVCOM Consult eingeführten Verfahrens besteht, dass für ein bestimmtes Objekt alle zur Verfügung stehenden numerischen Verfahren parallel für die jeweiligen Fragestellungen in Kombination mit den systemtechnischen und operationellen Aspekten eingesetzt werden. Ziel ist immer die Ermittlung des operationellen Systemparameters (z.B. Winkelfehler bei SSR und TACAN, Entfernungsfehler bei DME, DDM bei ILS usw.).

In diesem Gutachten wird als elektrisch-numerische Methode zur Berechnung der Wellenausbreitung verwendet:

- **IPO** (Improved Physical Optics)
Verbesserte/Erweiterte physikalische Optik (PO) entsprechend der PTD ("Physical Theory of Diffraction"). Es können Kanten- und Schattenströme (Fock-Ströme) sowie Verschattungen und Reflexionen berücksichtigt werden

Alleinige Abschätzungen der Effekte z.B. mit Fresnel-Zonen, reinen Flächenbetrachtungen (nach m^2 , konstante Aperturbelegung), Ebenen Wellen, RCS/RQS (Radar Cross Section / Radarquerschnitt s. Kapitel 11.3) usw. werden für die Systembetrachtungen alleinstehend grundsätzlich nicht durchgeführt.

All dies berücksichtigt somit auch als eine grobe Näherung nicht die Vielzahl von physikalischen Effekten (Antennendiagrammeigenschaften, Fernfeld/Nahfeld-Effekte, Beugung, Aufzipfelung („fingering“, „lobing“) des Elevationsdiagramms über Erdboden im Gegensatz zu den aufwendigen oben genannten numerischen Methoden und führt somit auch in der Regel in diesem Sinne zu nicht korrekten Ergebnissen (meist zu zu großen Störwerten), auf deren Basis dann entsprechende Maßnahmen gefordert werden müssen. Dies gilt grundsätzlich auch für Abschattungs-betrachtungen, die nur auf der Basis optisch-geometrischer Betrachtungen durchgeführt werden, da hierbei die Schattengrenz- und Auffüll-Effekte nicht berücksichtigt werden. Mit heutigen dreidimensionalen numerischen 3D-Analysemethoden sind in der Regel aussagekräftige Feldberechnungen möglich.

Wenn nicht anders angegeben wird bei den numerischen dreidimensionalen Simulationen grundsätzlich der Erdboden mit berücksichtigt. Im Allgemeinen wird ein durchschnittlicher, normaler Erdboden (leicht feuchte Erde, mit der Dielektrizitätszahl $\epsilon_r=10$ und Leitfähigkeit $\sigma=0.01$ S/m. Die immer gegebene Rauigkeit und nicht-planare Eigenschaften werden durch Verluste berücksichtigt.

Bei entsprechend systemtechnisch und physikalisch trivialen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen kann auf eine numerische Simulation verzichtet werden. Die theoretische Analyse ist dann hierfür ausreichend.

12 Literaturverzeichnis, Publikationen

Nicht alle der aufgeführten Referenzen werden in der folgenden Untersuchung explizit zitiert.

- /1/ **G. GREVING** ILS CAT III Site Problems – A New Verified System Solution; 7th IFIS 1992, London, June 1992; <http://www.navcom.de/ifis1992pt.pdf>
- /2/ **G. GREVING** Hybrid-Methods in Antennas and 3D-Scattering for Nav aids and Radar System Simulations, AP2000 Millenium Conference on Antennas & Propagation, Davos, Switzerland, April 2000; <http://www.navcom.de/ap2000pt.pdf>
- /3/ **G. GREVING** Latest Advances and Results of Complex Numerical Simulations For Nav aids and Landing Systems; 12th IFIS, Rome, June 2002, <http://www.navcom.de/ifis2002ggpt.pdf>
- /4/ **G. GREVING, L. N. SPOHNHEIMER**; Problems and Solutions for Nav aids Airborne and Ground Measurements – Focus on Receiver Sampling and TCH; 12th IFIS, Rome, June 2002, <http://www.navcom.de/ifis2002ggnlspt.pdf>
- /5/ **H. WIPF, G. GREVING**; Flight Inspection Aircraft in Multipath Environment; 12th IFIS, Rome, June 2002, <http://www.navcom.de/ifis2002hwggpt.pdf>
- /6/ **G. GREVING** Latest Advances and Results of Complex Numerical Simulations For Nav aids and Landing Systems; 12th IFIS 2002, Rome, June 2002, <http://www.navcom.de/ifis2002ggpt.pdf>
- /7/ **AWOG PT/BRA** ICAO AWOG Group dealing with the definition of building restriction areas; results of this group; permanent consultancy: Dr. G. Greving
- /8/ **G. GREVING** Analysis of the effects of objects in the radiation field of surveillance radars - Examples, Interpretation and Consequences, International Radar Symposium IRS 2003, DGON, Dresden October 2003, pp. 515-524, <http://www.navcom.de/irs2003pt.pdf>
- /9/ **G. GREVING** Current Issues in Demanding ILS Ground and Flight-check Measurement Environments; 13th IFIS 2004, June 2004, Montreal/Canada, pp.45-55, <http://www.navcom.de/ifis204ggpt.pdf>
- /10/ **G. GREVING** Modern threats to precision approach and landing - The A380 and wind turbines and its adequate numerical analysis, ISPA 2004; October Munich; <http://www.navcom.de/ispa2004ggpt.pdf>
- /11/ **G. GREVING** System Simulations for Navigation and Radar Applications Based on Sophisticated Numerical Hybrid Scattering Analysis, MAPE 2005 (Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies) in Beijing/China August 8-12, 2005; <http://www.navcom.de/mape2005p1t.pdf>
- /12/ **G. GREVING** Analysis of the scattering fields for ATC radar by objects - Consequences of the application of different methods, International Radar Symposium IRS 2005, Berlin, September 2005, <http://www.navcom.de/irs2005pt.pdf>
- /13/ **G. GREVING** Status and capabilities of advanced computer based analysis and simulations for the air traffic related navigation and radar systems; “invited paper SEATI 2006” Hong Kong, March 2006; <http://www.navcom.de/seati2006pt.pdf>
- /14/ **G. GREVING** Measurements and System Applications - Verification Tasks and Interpretation Issues, AMTA Europe Symposium 2006, Munich, May 2006; <http://www.navcom.de/amta2006pt.pdf>
- /15/ **G. GREVING** Numerical Analysis of the effects by scattering from objects on ATC-radar and various methods for its reduction - Theory, results; IRS 2006, Kraków, Poland, May 2006, <http://www.navcom.de/irs2006pt.pdf>
- /16/ **G. GREVING** Modern Numerical Methods in the context of System Simulations for ATC-systems - Examples, Results and Consequences; 14th IFIS 2006, Toulouse, June 2006, <http://www.navcom.de/ifis2006ggpt.pdf>
- /17/ **G. GREVING** Numerical Simulations of Environmental Distortions by Scattering Objects for the Radar – SSR and Flat Roofs, RCS and Wind Turbines; EuRAD, September 2006, <http://www.navcom.de/eurad2006pt.pdf>

- /18/ **G. GREVING, W.D. BIERMANN** System Simulations Based on Antenna and Scattering Analysis - Capabilities and Limitations; EuCAP 2007, Edinburgh/UK, November 2007;
<http://www.navcom.de/eucap2007pt.pdf>
- /19/ **G. GREVING** Status and Progress of System Simulations for ATC-systems - Examples, Results and Consequences, 15th IFIS 2008 Oklahoma/USA, June 2008; <http://www.navcom.de/ifis2008ggpt.pdf>
- /20/ **G. GREVING** The Electromagnetic Scattering within System Simulations for Distortions of Navigation, Landing and Radar Systems, URSI GA, Chicago, August 2008; ("Invited Paper");
<http://www.navcom.de/ursi2008pt.pdf>
- /21/ **G. GREVING** Status of Advanced Scattering Distortion System Analysis for NavAids and Radar - Examples of A380 and Wind Turbines; MRRS 2008, September Kyiv/Ukraine 2008; ("Invited Paper")
<http://www.navcom.de/mrrs2008pt.pdf>
- /22/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Aspects and Results of Numerical Methods and Wave Propagation Integrated into System Simulations; EUCAP 2009, Berlin March 2009
<http://www.navcom.de/eucap2009npt.pdf>
- /23/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN** RCS - Numerical, Methodological and Conceptual Aspects for the Analysis of Radar Distorting Objects; IRS 2009, Hamburg September 2009
<http://www.navcom.de/irs2009pt.pdf>
- /24/ **G. GREVING** Latest Achievements of Complex System Simulations for ATC-systems - Actual Examples and Flight Inspection; IFIS 2010, Beijing/China, June 2010
<http://www.navcom.de/ifis2010GGpt.pdf>
- /25/ **G. GREVING, L. N. SPOHNHEIMER** Current Issues in Flight Inspection Measurements June, 2010; IFIS 2010, Beijing/China, June 2010 <http://www.navcom.de/ifis2010GGnlspt.pdf>
- /26/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT** Integrated Hybrid Scattering Analysis within System Simulations with Focus on RCS and Wind Turbines; ICEAA 2011, Torino September 2011; (invited paper) <http://www.navcom.de/iceaa2011pt.pdf>
- /27/ **G. GREVING, L. N. SPOHNHEIMER** Challenges in Near-Threshold Flight Inspection Measurements; IFIS 2012, Braunschweig, Germany, June 2012 <http://www.navcom.de/ifis2012GGnlspt.pdf>
- /28/ **G. GREVING** Computer Simulations and 3D-Modelling of Systems and Objects in Aviation - Methodology and Results of Distortion Analysis; EMS 2012, Malta, November 2012;
<http://www.navcom.de/ems2012pt.pdf>
- /29/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT** Status of Advanced System Simulation of Distortions for Navigation, Landing and Radar Systems - Modern Methods, Cases and Results, European Journal of Navigation EJV 2011, Vol. 9, No. 2, pp. 24-34,
<http://www.navcom.de/ejn2011pt.pdf>
- /30/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT** Modelling and Numerical Analysis of Rotating Antennas and Rotating Scatterers Applied to Aeronautical System Simulations, EUCAP 2012, Prague March 2012, <http://www.navcom.de/eucap2012pt.pdf>
- /31/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Navigation System Simulations with Integrated Scattering Analysis and Advanced Signal Processing; ICEAA 2013, Torino/Italy, September 2013;
<http://www.navcom.de/iceaa2013pt.pdf>
- /32/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Advanced Theory and Results of Classical System Simulations and Related Flight Inspection, IFIS 2014, June 2014, Oklahoma City, USA
<http://www.navcom.de/ifis2014GGpt.pdf>
- /33/ **G. GREVING, L. N. SPOHNHEIMER**, Recent Issues in Performance Prediction and Flight Inspection Measurements, IFIS 2014, June 2014, Oklahoma City, USA
<http://www.navcom.de/ifis2014GGnlspt.pdf>
- /34/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Integrated Scattering Distortion Analysis for Monopulse Principles Based Navigation and Shadowing of Radar Systems; ICEAA 2014, Aruba, August 2014; <http://www.navcom.de/iceaa2014pt.pdf>
- /35/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Integrated Scattering Distortion Analysis of Multi-Scatterers for Navigation System Simulations – Example of Wind Turbines; ICEAA 2015, Torino/Italy, September 2015; (Invited Paper) <http://www.navcom.de/iceaa2015pt.pdf>
- /36/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Potential Loss Effective Scatterers for Radar Point and Volume Type Targets - Comparison Case for Wind Turbines; IRS 2015, Dresden/Germany, June 2015; <http://www.navcom.de/irs2015pt.pdf>

- /37/ **G. GREVING, L. N. SPOHNHEIMER** , Critical and Sensitive Areas of ILS and its 3rd Dimension - Examples, Effects and Proposals, IFIS 2018, April 2018, Monterey, USA
<http://www.navcom.de/ifis2014GGnlspt.pdf>
- /38/ **G. GREVING, W.-D. BIERMANN, R. MUNDT**, Approximate Scattering Distortion Analysis of Multiscatterers for Pulse Radar Applications - Example of Wind-turbines; ICEAA 2017, Verona, Italy, September 2017; <http://www.navcom.de/iceaa2017pt.pdf>
- /39/ **Y. T. LO, S. W. LEE** “Antenna Handbook”, Chapman & Hall, New York 1996
- /40/ **M. I. SKOLNIK** Radar Handbook, McGraw Hill, Boston 1990, 2nd edition / 3rd edition
- /41/ **M. I. SKOLNIK** Radar Handbook, McGraw Hill, Boston 2008, 3rd edition
- /42/ **KNOTT, SHAEFFER, TULEY** Radar Cross Section, Artech House, Boston 1993
- /43/ **M. C. STEVENS** Secondary Surveillance Radar, Artech House, Norwood 1988
- /44/ **D. K. BARTON** Modern Radar System Analysis, Artech House 1988
- /45/ **A. L. LUDLOFF** Handbuch Radar und Radarsignalverarbeitung, Vieweg 1993
- /46/ **W. MANSFELD** Funkortungs- und Funknavigationsanlagen, Hüthig Verlag, Heidelberg 1994
- /47/ **H. D. MEIKLE** Modern Radar Systems, Artech House, 2001
- /48/ **IEEE Std 211-1997** IEEE Standard Definitions of Terms for Radio Wave Propagation, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; New York
- /49/ **ICAO** INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES
 AERONAUTICAL TELECOMMUNICATIONS
 ANNEX 10, VOLUME IV (Surveillance and Collision Avoidance Systems)
- /50/ **ICAO** MANUAL ON TESTING OF RADIO NAVIGATION AIDS
 VOLUME I; TESTING OF GROUND BASED NAVIGATION SYSTEMS
 DOC 8071, 2000
- /51/ **ICAO** MANUAL ON TESTING OF RADIO NAVIGATION AIDS
 VOLUME III; TESTING OF SURVEILLANCE RADAR SYSTEMS
 DOC 8071, 1998
- /52/ **EUROCONTROL** EUROCONTROL STANDARD DOCUMENT FOR RADAR SURVEILLANCE IN ENROUTE AIRSPACE AND MAJOR TERMINAL AREAS; SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01
- /53/ **EUROCONTROL** RADAR SENSOR PERFORMANCE ANALYSIS; SUR.ET1.ST03.1000-STD-01-01
- /54/ **DFS Deutsche Flugsicherung GmbH**; Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP, Aeronautical Information Publication)
- /55/ **Deutsche Flugsicherung GmbH**; Ortung im Luftverkehr – Ein Beitrag zur Sicherheit und Kapazitätssteigerung, Mai 1999
- /56/ **ESASSP (2012)**: EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance (ESASSP) – EUROCONTROL-SPEC-0147. V1.0. 30.03.2012. www.eurocontrol.int
- /57/ **Heidger, R.** The PHOENIX White Paper, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 5.0, 13.01.2014
- /58/ **Binzel, H.; Engels, K.; Heidger, R.; Mathias, A.; Klümper, C.; Pfeil, A.; Cadete, R. and Santos, P.** (2008): An IMMKF implementation in the PHOENIX multi-radar tracking system for the Portuguese airspace. Air Traffic Control Quarterly, vol. 16, no. 1, 2008.
- /59/ **Centarti, F.; Geyer, H.; Heidger, R.; Huhnold, M.** (2005): Comparative accuracy evaluations of positional precision of aircraft tracks between multilateration and multi-radar tracking. In: IRS conference proceedings, Berlin 2005.
- /60/ **Euler, B.** (2011): The PHOENIX CWP user manual for LVNL. Version 1.0, DFS, Langen, Dec. 2011.
- /61/ **Heidger, R., Klenner, T., Mallwitz, R.** (2003): Mode S evaluation and practical implementation results with the DFS Multi-radar-Tracking system PHOENIX. In: International Radar Symposium 2003 Proceedings, Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Bonn 2003
- /62/ **Heidger, R., Klenner, T., Mallwitz, R.** (2004): The PHOENIX Multi-Radar Tracker System for Air Traffic Control Applications. pp. 193-222, in: Air Traffic Control Quarterly. Vol. 12, Number 3, 2004
- /63/ **Heidger, R.; Mathias, A.** (2008): Multi-radar Tracking in PHOENIX and its Extension to Fusion with ADS-B and Multilateration. EuRAD 2008.

- /64/ **Heidger, R.; Natchev, R.** (2008): Trajectory computation for tracker evaluation and linkage processing. In: ESAV conference proceedings (2008), Capri, Italy.
- /65/ **Heidger, R.** (2010a): Fallback Strategies and Fallback Systems in the DFS ATM Infrastructure. In: Proc. Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (ESAVS 2010), Berlin, Germany, March 16 17, 2010.
- /66/ **Heidger, R., Mathias, A.; Pourvoyeur, K.** (2010): Multi-Sensor Data-Fusion for Combined Air and Ground Situation Awareness. In: Proc. Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (ESAVS 2010), Berlin, Germany, March 16 17, 2010.
- /67/ **BW STREITKRÄFTEAMT** Allgemeiner Umdruck 51, Schutzbereiche von Funkstellen, Oktober 2001 Umdruck 51 v. 23.05.2008; neues Dokument A2.9500022.2I v. 31.12.2016
- /68/ **Lockheed Martin; Ocean, Radar & Sensor Systems** FPS-117 Long Range Solid State Radar; <http://www.lmco.com/orddss> FPS117.pdf
<http://www.lockheedmartin.com/data/assets/7152.pdf>
- /69/ **Lockheed Martin; Ocean, Radar & Sensor Systems** 28 NATO Compatible FPS-117 Radar Systems in Europe; <http://www.lmco.com/orddss> LM_(3).pdf
- /70/ <http://www.radartutorial.eu>
- /71/ **L19 A0 Pläne_P2_MaxDudler.pdf**