

Modularbeit Hohlleiterschlitzantenne

Hochschule München - Antennen und Wellen

Fynn Gewiese

3. Juli 2025

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. G. Strauß

Inhaltsverzeichnis



Abbildung 1: Drehende Radarantenne¹

1. Antennentyp
2. Funktionsweise
3. Nahfeld
4. Richtwirkung
5. Fernfeld
6. Polarisation
7. Streuparameter/Bandbreite
8. Berechnungen
9. Vergleich: Specs/Calcs/Simul

1. Antennentyp

[*In-line*] [*resonant*] [*waveguide*] [*slot array*] [*with narrow-wall slots*]



In-line Linear angeordnete Schlitze

Resonant Betrieb auf Resonanzfrequenz

Waveguide Hohlleiterstruktur für die
Führung der Wellen

Slot array Mehrere Schlitze als
Antennen-Array

Narrow-wall slots Schlitze in der
schmalen Hohlleiterwand

Abbildung 2: 3D-Render des
Hohlschlitzstrahlers in Fusion360

2.1 Funktionsweise

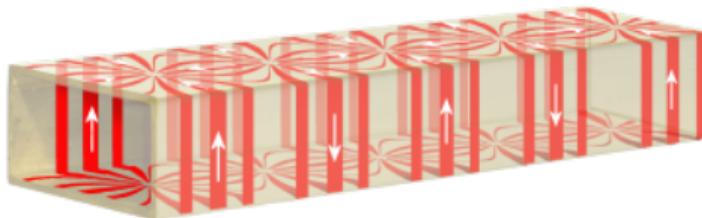


Abbildung 3: Darstellung der Wandströme einer H_{10} -Welle.

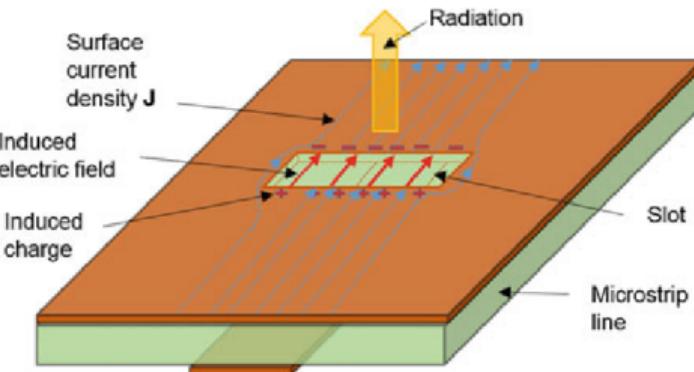


Abbildung 4: Unterbrechung von Wandströmen

Quelle Abbildung 3:

<https://www.radartutorial.eu/03.linetheory/Hohlleiter.de.html>

¹ Quelle Abbildung 4: Kumar, K. P. Ray: Compact Slot Array Antennas for Wireless Communications, Academic Press, 2019

2.2 Funktionsweise

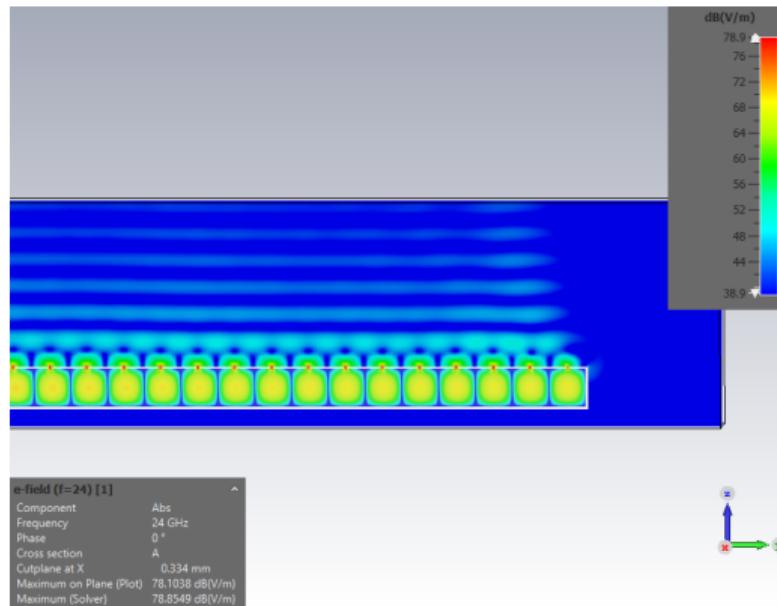


Abbildung 5: Elektrisches Nahfeld (CST Export)

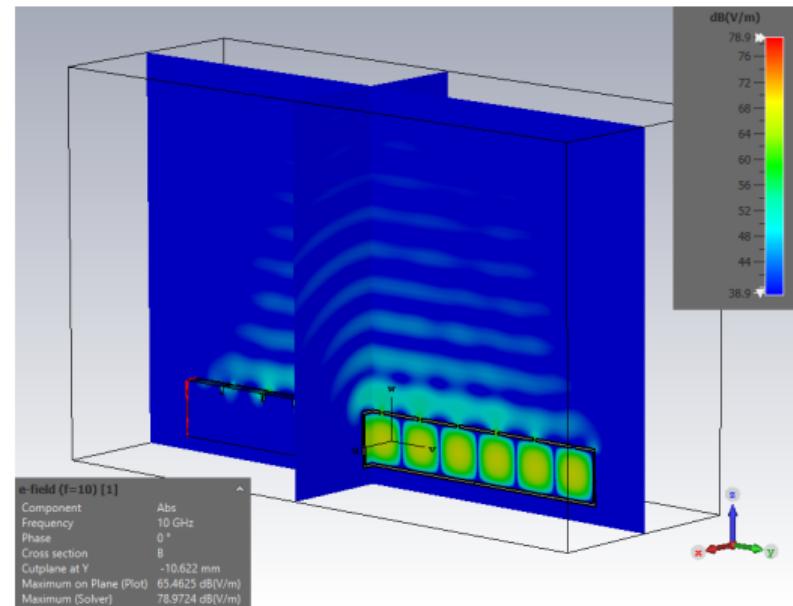


Abbildung 6: Elektrisches Nahfeld (CST Export)

3. Nahfeld

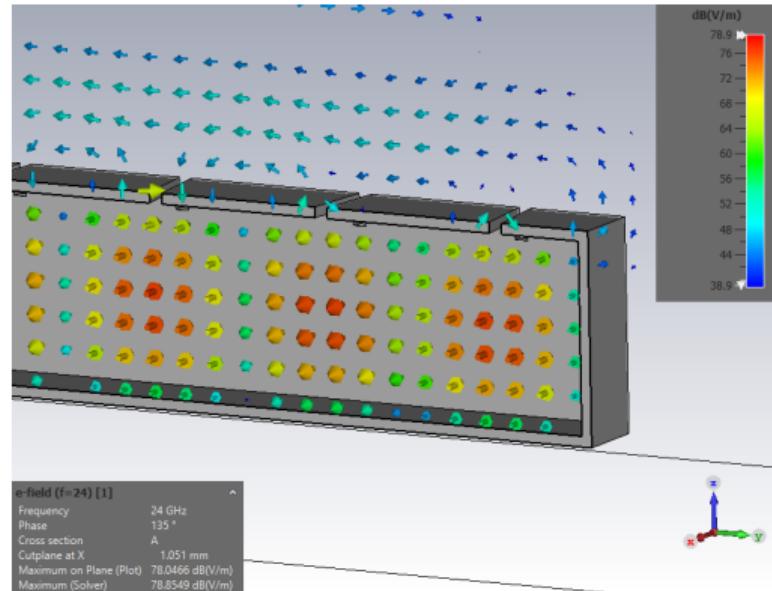


Abbildung 7: Elektrisches Nahfeld (CST Export)

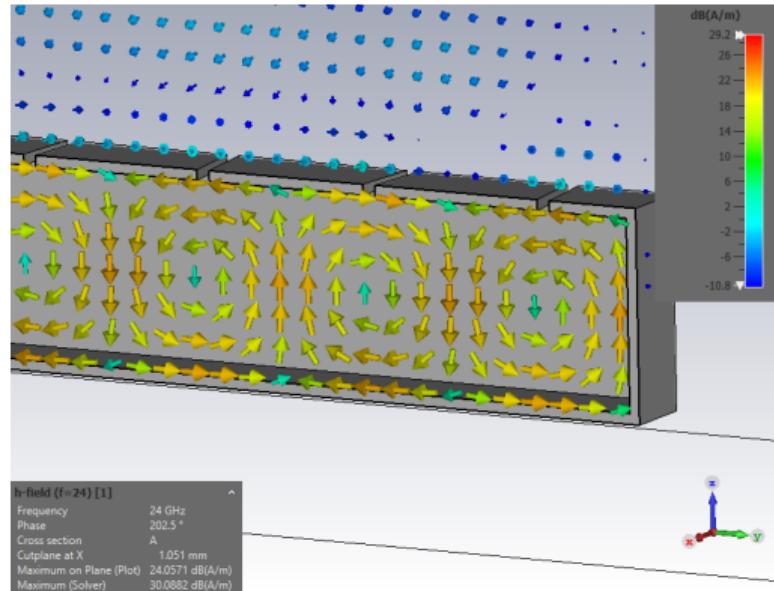


Abbildung 8: Magnetisches Nahfeld (CST Export)

4. Richtwirkung

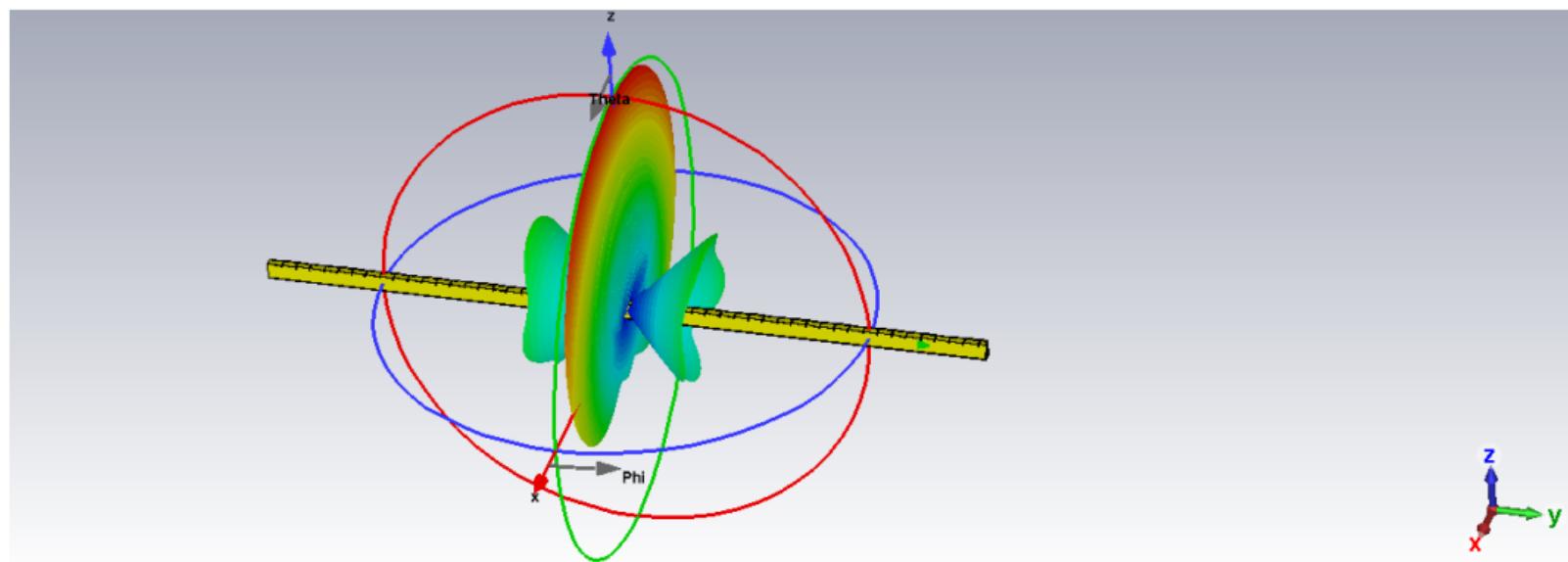


Abbildung 9: 3D-Darstellung der Richtwirkung (CST Render)

5. Fernfeld

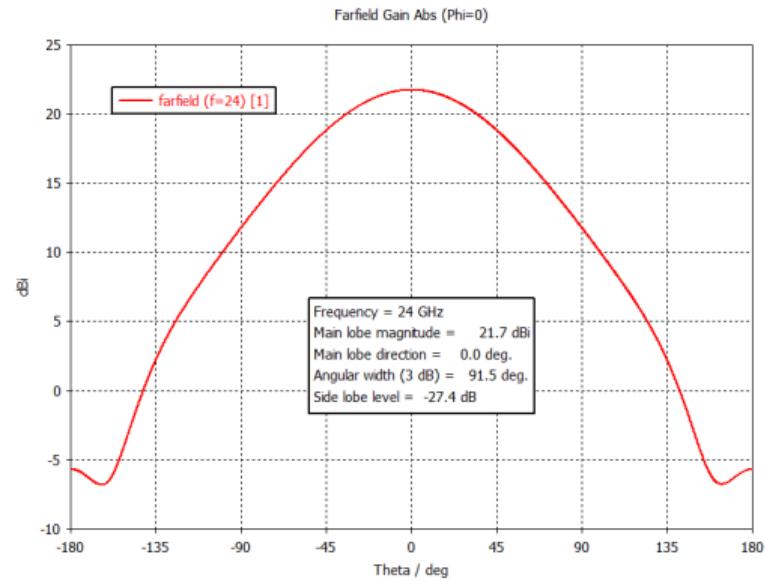
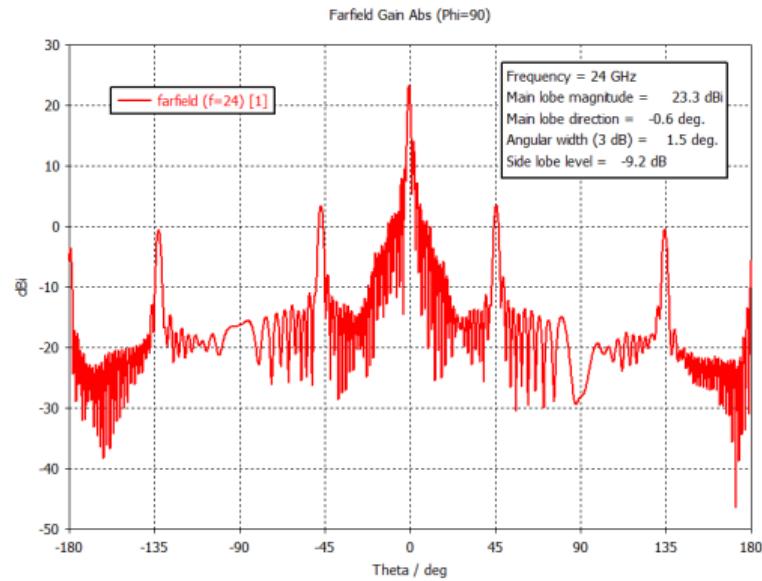


Abbildung 10: Fernfeld e-plane (CST Export)

Abbildung 11: Fernfeld h-plane (CST Export)

6. Polarisation

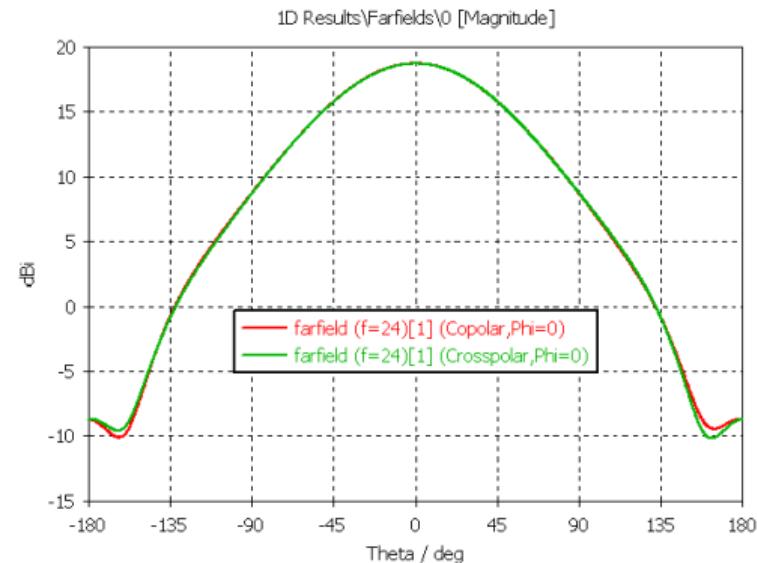
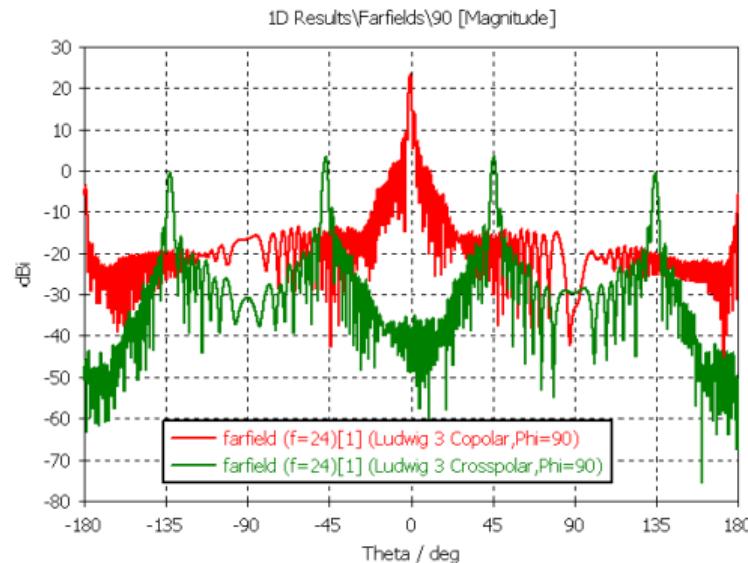


Abbildung 12: Fernfeld e-plane (CST Export)

Abbildung 13: Fernfeld h-plane (CST Export)

7. Streuparameter/Bandbreite

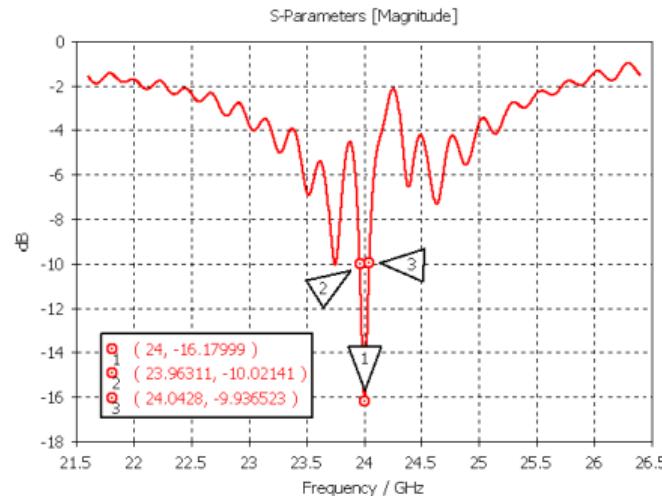


Abbildung 14: Reflexionsdämpfung
(Logarithmisch)

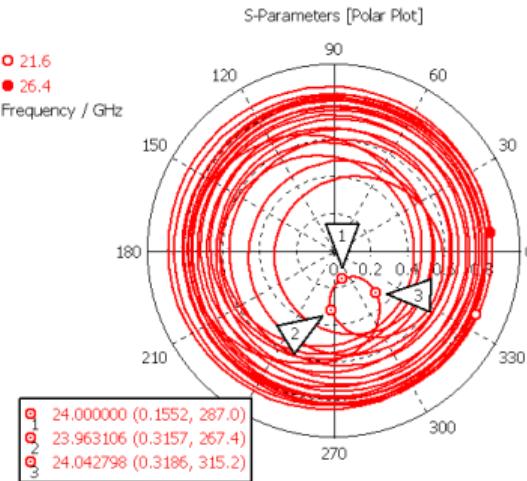


Abbildung 15: Reflexionsdämpfung (Polar)

8. Berechnungen

Größe	Allgemein	Für meine Schlitzantenne
HPBW _{uni}	$\text{HPBW}_{\text{uni}} \approx \frac{50,76^\circ}{N \cdot d/\lambda}$	$N = 50, d = 8,74\text{mm}, \lambda = 12,45\text{mm}$ $\Rightarrow \text{HPBW} \approx 1,4^\circ$
HPBW Dipol	$\text{HPBW}_{\text{hertz}} = 90^\circ$	Gilt vertikal für jeden Schlitz (dipolähnlich)
Richtwirkung Gesamt	$D \approx \frac{41253}{\Theta_{\min} \cdot \Theta_{\max}}$	Mit $\Theta_{\min} \approx 1,4^\circ, \Theta_{\max} \approx 90^\circ$ $\Rightarrow D \approx 327$

Parameter:

N : Anzahl der Strahlerelemente, d : Abstand zwischen den Elementen, λ : Wellenlänge,
HPBW: Halbwertsbreite der Hauptkeule (3 dB), D : Richtwirkung (Direktivität), $\Theta_{\min}, \Theta_{\max}$:
kleinste bzw. größte 3-dB-Keulenbreite (in Grad)

9.1 Spezifikationen: Mechanisch

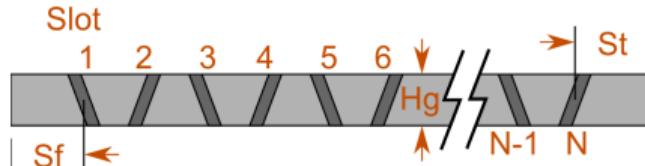


Abbildung 16: Skizze des Hohlleiters aus Antenna Magus

Tabelle 1: Mechanische Parameter

Parameter	Gewünscht	Berechnet	Generiert mit Magus
Wellenleiterbreite	-	-	8,93 mm
Wellenleiterhöhe	-	-	3,97 mm
Wellenleiterlänge	-	-	44,13 cm
Anzahl Slots	-	-	50
Slotbreite	-	$\lambda/20$	624,6 μ m
Slotabstand	-	$\lambda \cdot \frac{7}{10}$	8,74 mm
Abstand letzter Slot	-	-	4,36 cm
Material	Silber	-	Silber

Realisierung durch Einschränkungen von Antenna Magus limitiert

9.2 Spezifikationen: Mechanisch i

Nr.	Winkel (°)	Tiefe (µm)
1	6.117	891.3
2	6.052	891.6
3	5.940	892.1
4	5.807	892.6
5	5.684	893.2
6	5.601	893.5
7	5.580	893.6
8	5.632	893.4
9	5.763	892.8
10	5.968	891.9
11	6.232	890.7
12	6.534	889.4
13	6.848	887.9
14	7.150	886.4
15	7.421	885.1
16	7.654	884.0
17	7.850	883.0

Nr.	Winkel (°)	Tiefe (µm)
18	8.018	882.1
19	8.169	881.3
20	8.312	880.6
21	8.449	879.8
22	8.578	879.2
23	8.690	878.5
24	8.774	878.1
25	8.819	877.8
26	8.819	877.8
27	8.774	878.1
28	8.690	878.5
29	8.578	879.2
30	8.449	879.8
31	8.312	880.6
32	8.169	881.3
33	8.018	882.1
34	7.850	883.0

Nr.	Winkel (°)	Tiefe (µm)
35	7.654	884.0
36	7.421	885.1
37	7.150	886.4
38	6.848	887.9
39	6.534	889.4
40	6.232	890.7
41	5.968	891.9
42	5.763	892.8
43	5.632	893.4
44	5.580	893.6
45	5.601	893.5
46	5.684	893.2
47	5.807	892.6
48	5.940	892.1
49	6.052	891.6
50	6.117	891.3

9.3 Spezifikationen: Mechanisch

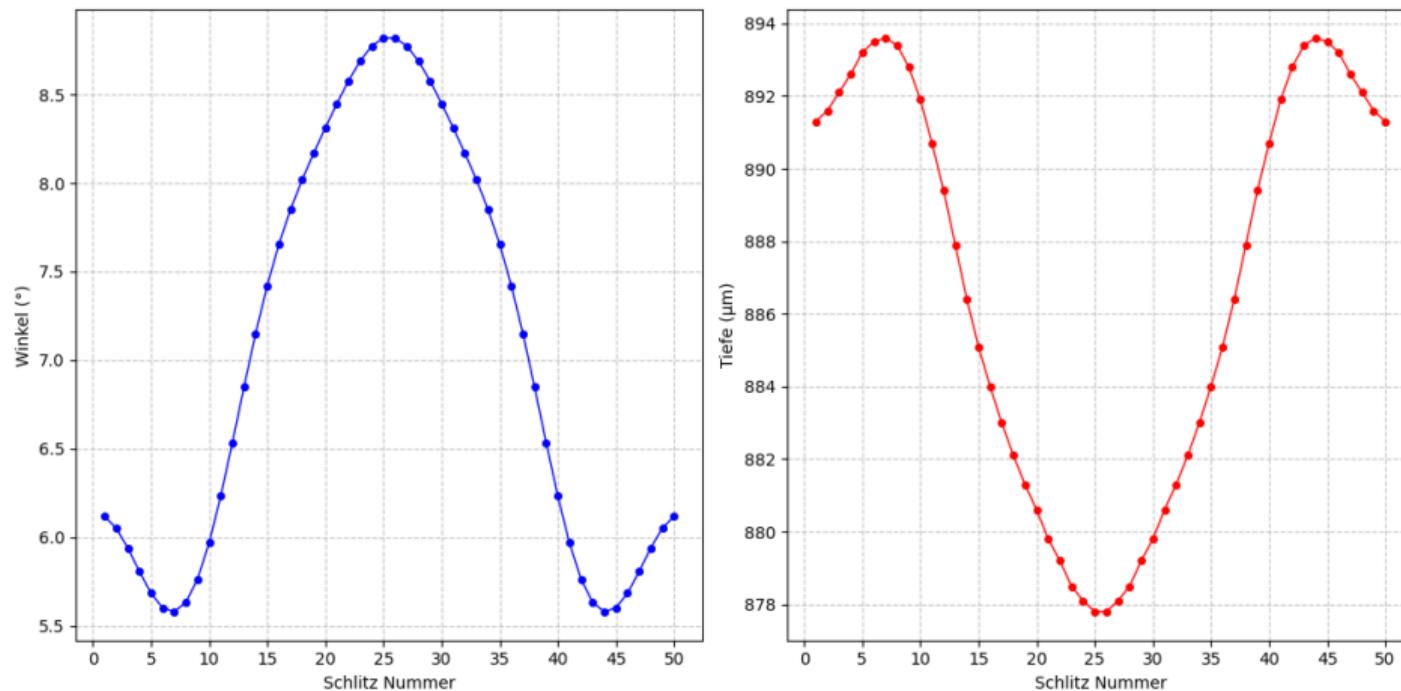


Abbildung 17: Tiefe und Winkel der Schlitze (python plots)

9. Spezifikationen: Elektrisch

Tabelle 2: Elektrische Parameter

Parameter	Gewünscht	Berechnet	Simuliert
Frequenz (Mittenfrequenz)	24,0 GHz	–	24,0 GHz
Maximaler Gain	–	–	23,0 dBi (e) 22,6 dBi (h)
Realisierter Gain	–	–	22,8 dBi (e) 22,4 dBi (h)
$HPBW_{h\text{plane}}$	$\leq 1,0^\circ$	1,4°	1,6°
$HPBW_{e\text{plane}}$	–	90° (Dipol)	91,5°
Richtwirkung	–	327	219

Realisierung durch Einschränkungen von Antenna Magus limitiert

10. Anhang: Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
HPBW	Half Power Beam Width (Halbwertsbreite)
dBi	Dezibel gegenüber Isotropstrahler
dB	Dezibel
S11	Rückflussdämpfung (Reflexionsfaktor)
GHz	Gigahertz
mm	Millimeter
μm	Mikrometer
λ	Wellenlänge (Wavelength)
f	Frequenz
E-Feld	Elektrisches Feld
H-Feld	Magnetisches Feld
CST	Computer Simulation Technology

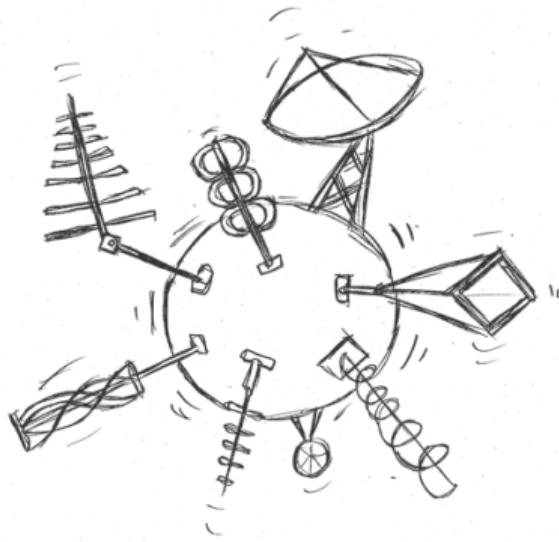
10. Anhang: Literatur i

-  G. Strauß: *Antennen und Wellen*.
Manuskript, Pasing: Hochschule Muenchen, Maerz 2022
-  Kumar, K. P. Ray: *Compact Slot Array Antennas for Wireless Communications*, Academic Press, 2019
-  Autodesk Fusion 360, Autodesk Inc., www.autodesk.com/products/fusion-360
-  CST Studio Suite, Version 2023, Dassault Systèmes,
www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite
-  Antenna Magus, Version 2023.2, Dassault Systèmes, www.antennamagus.com

-  Marcelo B. Perotoni, Rodrigo Enjiu: *Design und Bewertung einer Hohlleiter-Schlitzantenne (Slotted Waveguide Antenna, SWA) mit EM-Simulation*, Federal University of ABC, CST – Computer Simulation Technology AG, Oktober 2014.
https://www.researchgate.net/publication/283683848_Design_and_Analysis_of_Slotted_Waveguide_Antennas_with_EM_Simulation

10. Anhang: Antenna Maggus export

Hier finden sie Details zu der mechanischen Dimensionierung.

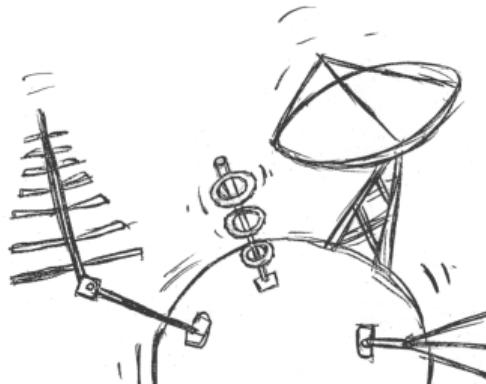


AntennaMagus****
The leading antenna design tool

Linear resonant waveguide slot array with narrow-wall slots

Antenna 2 : Results

Antenna Magus
The leading antenna design tool



Linear resonant waveguide slot array with narrow-wall slots

Antenna 2 : sketches, objectives and parameters



Antenna Structure: Antenna Parameters

Name	Description
f_0	Centre frequency
W_g	Waveguide width
H_g	Waveguide height
S_f	Distance from feed to first slot
S_t	Distance from last slot to termination
N	Number of slots
S_s	Slot spacing
W_s	Slot width
θ_1	Slot 1 angle
θ_2	Slot 2 angle



Antenna Structure: Antenna Parameters

(2)

Name	Description
θ3	Slot 3 angle
θ4	Slot 4 angle
θ5	Slot 5 angle
θ6	Slot 6 angle
θ7	Slot 7 angle
θ8	Slot 8 angle
θ9	Slot 9 angle
θ10	Slot 10 angle
θ11	Slot 11 angle
θ12	Slot 12 angle



Antenna Structure: Antenna Parameters (3)

Name	Description
θ13	Slot 13 angle
θ14	Slot 14 angle
θ15	Slot 15 angle
θ16	Slot 16 angle
θ17	Slot 17 angle
θ18	Slot 18 angle
θ19	Slot 19 angle
θ20	Slot 20 angle
θ21	Slot 21 angle
θ22	Slot 22 angle



Antenna Structure: Antenna Parameters

(4)

Name	Description
θ23	Slot 23 angle
θ24	Slot 24 angle
θ25	Slot 25 angle
θ26	Slot 26 angle
θ27	Slot 27 angle
θ28	Slot 28 angle
θ29	Slot 29 angle
θ30	Slot 30 angle
θ31	Slot 31 angle
θ32	Slot 32 angle



Antenna Structure: Antenna Parameters

(5)

Name	Description
033	Slot 33 angle
034	Slot 34 angle
035	Slot 35 angle
036	Slot 36 angle
037	Slot 37 angle
038	Slot 38 angle
039	Slot 39 angle
040	Slot 40 angle
041	Slot 41 angle
042	Slot 42 angle



Antenna Structure: Antenna Parameters

(6)

Name	Description
043	Slot 43 angle
044	Slot 44 angle
045	Slot 45 angle
046	Slot 46 angle
047	Slot 47 angle
048	Slot 48 angle
049	Slot 49 angle
050	Slot 50 angle
81	Slot 1 depth
82	Slot 2 depth



Antenna Structure: Antenna Parameters

(7)

Name	Description
83	Slot 3 depth
84	Slot 4 depth
85	Slot 5 depth
86	Slot 6 depth
87	Slot 7 depth
88	Slot 8 depth
89	Slot 9 depth
810	Slot 10 depth
811	Slot 11 depth
812	Slot 12 depth



Antenna Structure: Antenna Parameters

(8)

Name	Description
δ13	Slot 13 depth
δ14	Slot 14 depth
δ15	Slot 15 depth
δ16	Slot 16 depth
δ17	Slot 17 depth
δ18	Slot 18 depth
δ19	Slot 19 depth
δ20	Slot 20 depth
δ21	Slot 21 depth
δ22	Slot 22 depth



Antenna Structure: Antenna Parameters

(9)

Name	Description
δ23	Slot 23 depth
δ24	Slot 24 depth
δ25	Slot 25 depth
δ26	Slot 26 depth
δ27	Slot 27 depth
δ28	Slot 28 depth
δ29	Slot 29 depth
δ30	Slot 30 depth
δ31	Slot 31 depth
δ32	Slot 32 depth



Antenna Structure: Antenna Parameters (10)

Name	Description
δ33	Slot 33 depth
δ34	Slot 34 depth
δ35	Slot 35 depth
δ36	Slot 36 depth
δ37	Slot 37 depth
δ38	Slot 38 depth
δ39	Slot 39 depth
δ40	Slot 40 depth
δ41	Slot 41 depth
δ42	Slot 42 depth



Antenna Structure: Antenna Parameters

(11)

Name	Description
843	Slot 43 depth
844	Slot 44 depth
845	Slot 45 depth
846	Slot 46 depth
847	Slot 47 depth
848	Slot 48 depth
849	Slot 49 depth
850	Slot 50 depth
X	Device X-dimension
Y	Device Y-dimension



Antenna Structure: Antenna Parameters

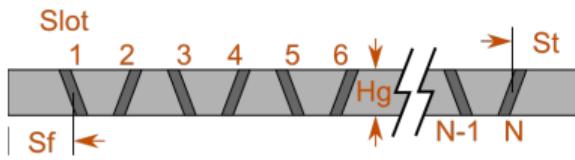
(12)

Name	Description
Z	Device Z-dimension

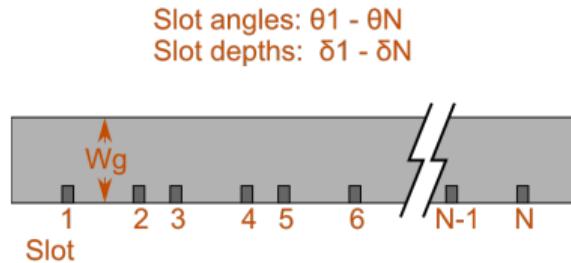


Sketches

Side view

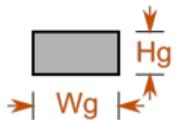


Top view

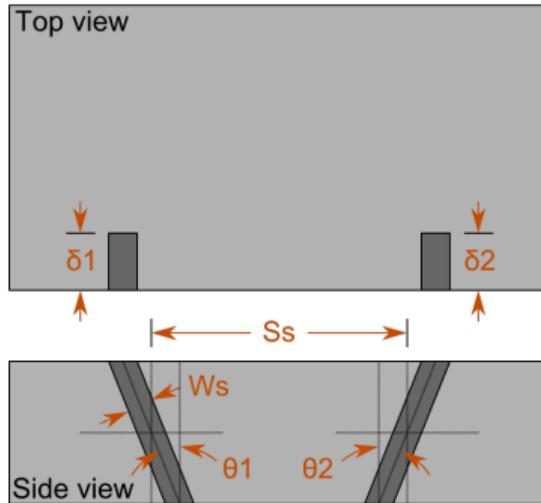


Sketches (2)

End view



Zoom view



Design 9: Preview



Design 9: Front Side Preview



Design 9: Left Side Preview



Design 9: Right Side Preview



Design 9: Top Side Preview



Design 9: Bottom Side Preview



Design 9: Design Objectives

Objective Group: beamwidth

Name	Description	Value
f_0	Centre frequency	24 GHz
bw	3dB beamwidth	1.6 °
Tt	Select the taper to be used	Villeneuve



Design 9: Physical Parameters

Name	Description	Value
Wg	Waveguide width	8.930 mm
Hg	Waveguide height	3.969 mm
Sf	Distance from feed to first slot	8.739 mm
St	Distance from last slot to termination	4.369 mm
N	Number of slots	50
Ss	Slot spacing	8.739 mm
Ws	Slot width	624.6 μ m
θ_1	Slot 1 angle	6.117 °
θ_2	Slot 2 angle	6.052 °
θ_3	Slot 3 angle	5.940 °



Design 9: Physical Parameters (2)

Name	Description	Value
θ4	Slot 4 angle	5.807 °
θ5	Slot 5 angle	5.684 °
θ6	Slot 6 angle	5.601 °
θ7	Slot 7 angle	5.580 °
θ8	Slot 8 angle	5.632 °
θ9	Slot 9 angle	5.763 °
θ10	Slot 10 angle	5.968 °
θ11	Slot 11 angle	6.232 °
θ12	Slot 12 angle	6.534 °
θ13	Slot 13 angle	6.848 °



Design 9: Physical Parameters (3)

Name	Description	Value
θ14	Slot 14 angle	7.150 °
θ15	Slot 15 angle	7.421 °
θ16	Slot 16 angle	7.654 °
θ17	Slot 17 angle	7.850 °
θ18	Slot 18 angle	8.018 °
θ19	Slot 19 angle	8.169 °
θ20	Slot 20 angle	8.312 °
θ21	Slot 21 angle	8.449 °
θ22	Slot 22 angle	8.578 °
θ23	Slot 23 angle	8.690 °



Design 9: Physical Parameters (4)

Name	Description	Value
θ24	Slot 24 angle	8.774 °
θ25	Slot 25 angle	8.819 °
θ26	Slot 26 angle	8.819 °
θ27	Slot 27 angle	8.774 °
θ28	Slot 28 angle	8.690 °
θ29	Slot 29 angle	8.578 °
θ30	Slot 30 angle	8.449 °
θ31	Slot 31 angle	8.312 °
θ32	Slot 32 angle	8.169 °
θ33	Slot 33 angle	8.018 °



Design 9: Physical Parameters (5)

Name	Description	Value
θ34	Slot 34 angle	7.850 °
θ35	Slot 35 angle	7.654 °
θ36	Slot 36 angle	7.421 °
θ37	Slot 37 angle	7.150 °
θ38	Slot 38 angle	6.848 °
θ39	Slot 39 angle	6.534 °
θ40	Slot 40 angle	6.232 °
θ41	Slot 41 angle	5.968 °
θ42	Slot 42 angle	5.763 °
θ43	Slot 43 angle	5.632 °



Design 9: Physical Parameters (6)

Name	Description	Value
θ44	Slot 44 angle	5.580 °
θ45	Slot 45 angle	5.601 °
θ46	Slot 46 angle	5.684 °
θ47	Slot 47 angle	5.807 °
θ48	Slot 48 angle	5.940 °
θ49	Slot 49 angle	6.052 °
θ50	Slot 50 angle	6.117 °
δ1	Slot 1 depth	891.3 µm
δ2	Slot 2 depth	891.6 µm
δ3	Slot 3 depth	892.1 µm



Design 9: Physical Parameters (7)

Name	Description	Value
84	Slot 4 depth	892.6 µm
85	Slot 5 depth	893.2 µm
86	Slot 6 depth	893.5 µm
87	Slot 7 depth	893.6 µm
88	Slot 8 depth	893.4 µm
89	Slot 9 depth	892.8 µm
810	Slot 10 depth	891.9 µm
811	Slot 11 depth	890.7 µm
812	Slot 12 depth	889.4 µm
813	Slot 13 depth	887.9 µm



Design 9: Physical Parameters (8)

Name	Description	Value
δ14	Slot 14 depth	886.4 µm
δ15	Slot 15 depth	885.1 µm
δ16	Slot 16 depth	884.0 µm
δ17	Slot 17 depth	883.0 µm
δ18	Slot 18 depth	882.1 µm
δ19	Slot 19 depth	881.3 µm
δ20	Slot 20 depth	880.6 µm
δ21	Slot 21 depth	879.8 µm
δ22	Slot 22 depth	879.2 µm
δ23	Slot 23 depth	878.5 µm



Design 9: Physical Parameters (9)

Name	Description	Value
δ24	Slot 24 depth	878.1 µm
δ25	Slot 25 depth	877.8 µm
δ26	Slot 26 depth	877.8 µm
δ27	Slot 27 depth	878.1 µm
δ28	Slot 28 depth	878.5 µm
δ29	Slot 29 depth	879.2 µm
δ30	Slot 30 depth	879.8 µm
δ31	Slot 31 depth	880.6 µm
δ32	Slot 32 depth	881.3 µm
δ33	Slot 33 depth	882.1 µm



Design 9: Physical Parameters (10)

Name	Description	Value
δ34	Slot 34 depth	883.0 µm
δ35	Slot 35 depth	884.0 µm
δ36	Slot 36 depth	885.1 µm
δ37	Slot 37 depth	886.4 µm
δ38	Slot 38 depth	887.9 µm
δ39	Slot 39 depth	889.4 µm
δ40	Slot 40 depth	890.7 µm
δ41	Slot 41 depth	891.9 µm
δ42	Slot 42 depth	892.8 µm
δ43	Slot 43 depth	893.4 µm



Design 9: Physical Parameters (11)

Name	Description	Value
844	Slot 44 depth	893.6 µm
845	Slot 45 depth	893.5 µm
846	Slot 46 depth	893.2 µm
847	Slot 47 depth	892.6 µm
848	Slot 48 depth	892.1 µm
849	Slot 49 depth	891.6 µm
850	Slot 50 depth	891.3 µm



Design 9: Derived Quantities

Name	Description	Value
X	Device X-dimension	3.969 mm
Y	Device Y-dimension	441.3 mm
Z	Device Z-dimension	8.930 mm



Linear resonant waveguide slot array with narrow-wall slots

Antenna 2 : estimated performance charts



S-Reflection vs Frequency

S-Parameters (reflection)



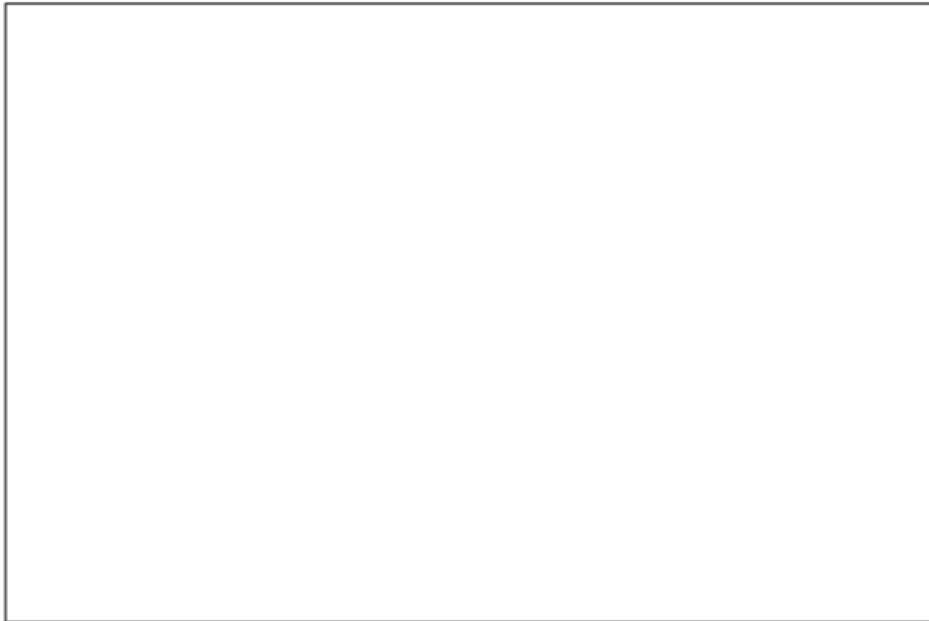
Far Field vs Angle @ f0

Gain (Total)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (Total)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (LHC)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (LHC)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (RHC)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (RHC)



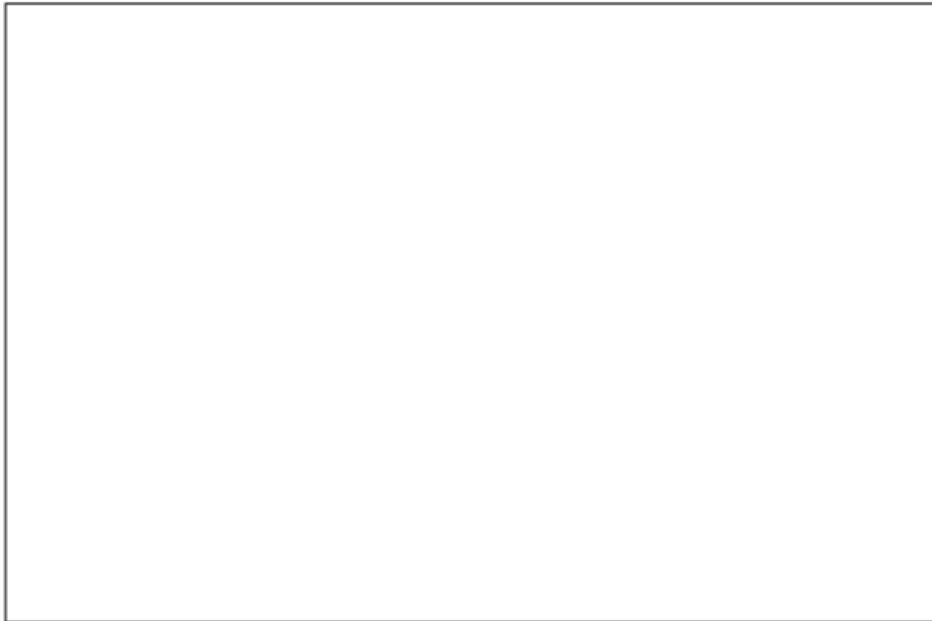
Far Field vs Angle @ f0

Gain (Horizontal)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (Horizontal)



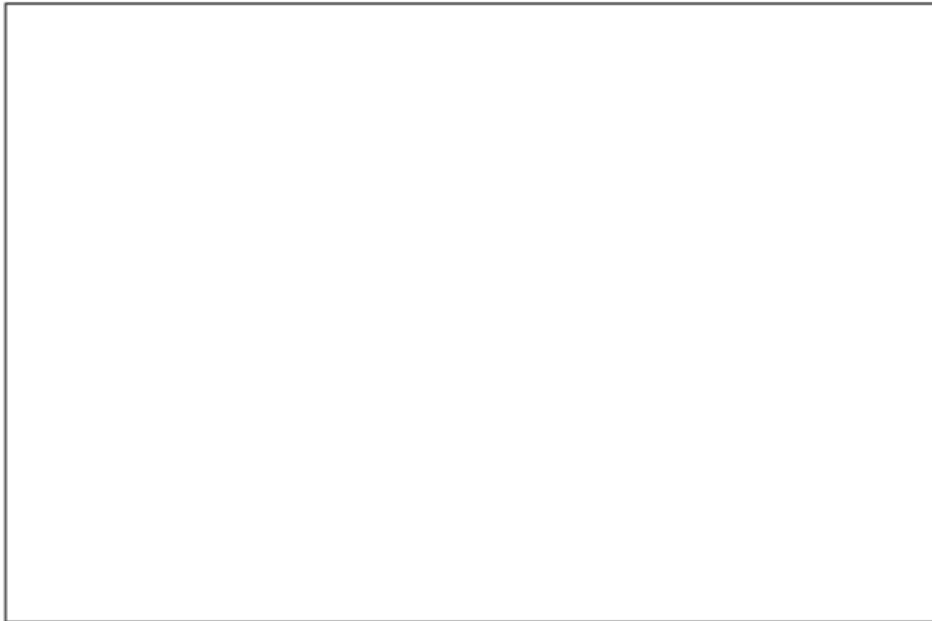
Far Field vs Angle @ f0

Gain (Vertical)



Far Field vs Angle @ f0

Gain (Vertical)



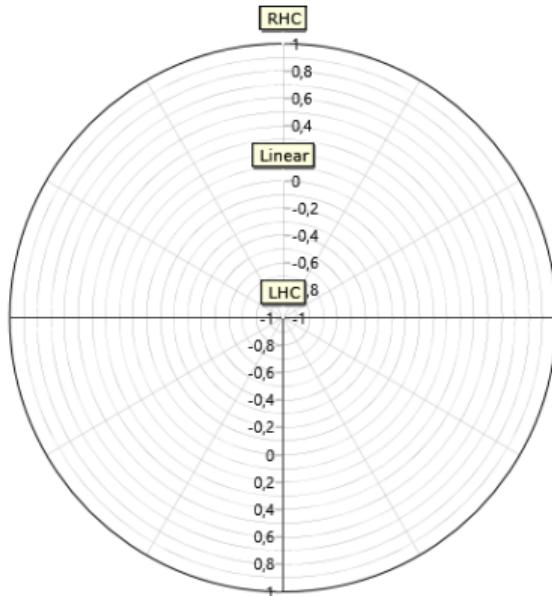
Far Field vs Angle @ f0

Axial Ratio (Handed)



Far Field vs Angle @ f0

Axial Ratio (Handed)



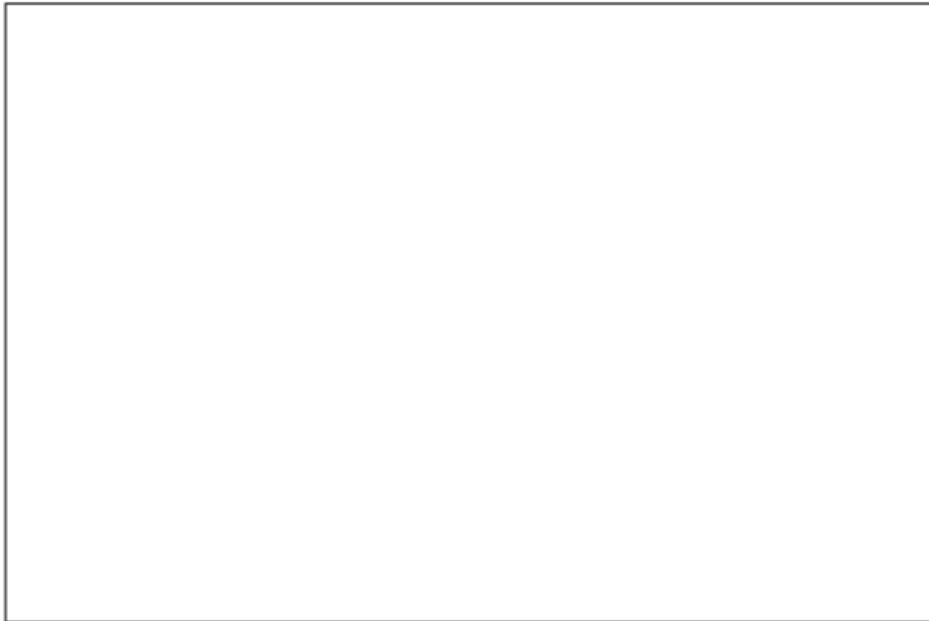
Far Field vs Angle @ f0

Axial Ratio (IEEE)



Far Field vs Angle @ f0

Axial Ratio (IEEE)



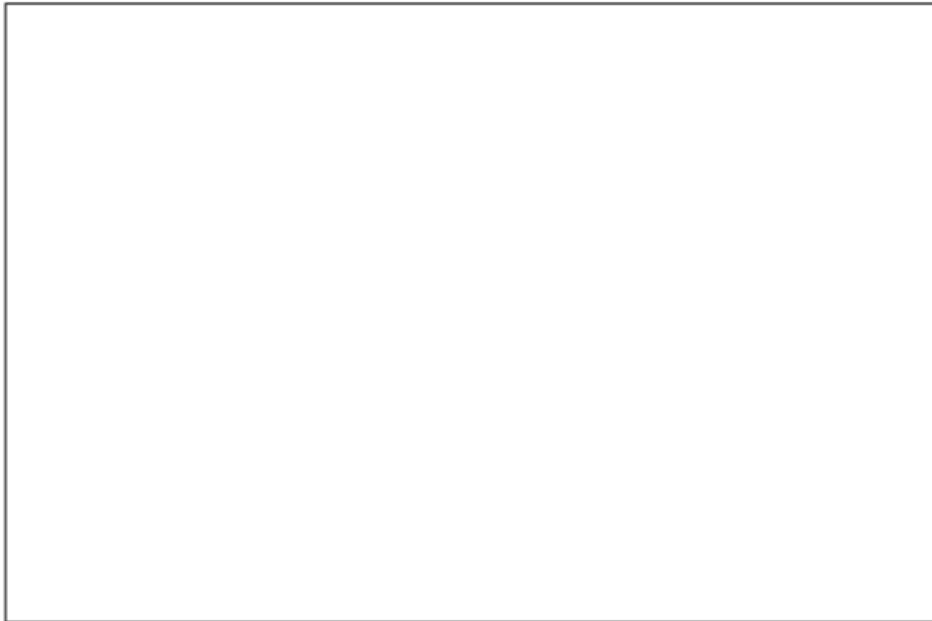
Far Field vs Angle @ f0

Ludwig III (Co)



Far Field vs Angle @ f0

Ludwig III (Co)



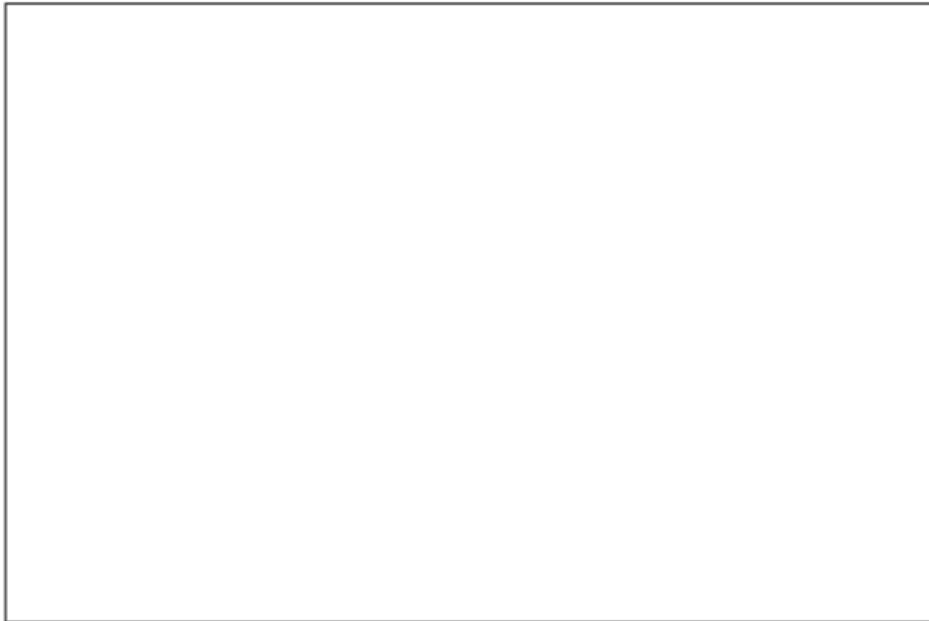
Far Field vs Angle @ f0

Ludwig III (Cross)



Far Field vs Angle @ f0

Ludwig III (Cross)



10. Anhang: Aufgabenstellung

Hier finden sie Details zu der Aufgabenstellung.

Aufgabenstellungen und Hinweise zu den Modulararbeiten Antennen und Wellen SS 2025

Prof. Dr.-Ing. G. Strauß
Labor für Nachrichtensatellitentechnik
Hochschule München

28. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Hinweise zur Bearbeitung der Aufgaben	
1.1 Arbeiten mit Antenna Magus Professional 2024 und CST Studio 2024	1
1.2 Inhalte der Modul-Präsentation	2
2 Abgabetermin	3
3 Zusammenhang Keulenbreite / Richtwirkung / Anzahl Strahlerelemente	3
4 Hinweise zu den einzelnen Aufgaben	3
4.1 Hohlleiterschlitzantennen, Typ (1), (2)	3
4.2 Patch Antennen Arrays, Typ (3), (4)	3
5 Aufgaben	5

1 Hinweise zur Bearbeitung der Aufgaben

- 1 Beachten Sie die allgemeinen Hinweise für die Erstellung Ihrer Modul-Präsentation [1]. Die Berücksichtigung dieser Hinweise geht mit in die Bewertung Ihrer Arbeit ein.
- 2 Verstehen Sie Ihre Arbeit als einen wissenschaftlichen Beitrag auf einer Konferenz!
- 3
- 1.1 Arbeiten mit Antenna Magus Professional 2024 und CST Studio 2024
1. Nutzen Sie verschiedene Tutorials, die Ihnen beim Start von Antenna Magus Professional 2024 bzw. CST Studio 2024 vorgeschlagen werden.
2. Starten Sie (falls nicht gesondert mit Ihrem Betreuer vereinbart) mit Antenna Magus. Sie sollten dort den Antennentyp finden, der Ihnen in diesem Dokument zur Bearbeitung zugeordnet wurde.

3. Versuchen Sie, die geforderten Spezifikationen mit den in Antenna Magus hinterlegten Näherungen zu erreichen. In der Regel können Sie dies mit (**Estimate Performance**) überprüfen.
4. Sollten Sie die Spezifikationen nicht hundertprozentig erfüllen, können Sie trotzdem fortfahren. Der Antenna Magus Professional 2024-Vorschlag ist der Ausgangspunkt einer Antennenentwicklung, dem im „wahren Leben“ etliche Design-Zyklen folgen würden.
5. Exportieren Sie den Entwurf für *CST Studio Suite* und bearbeiten Sie die folgenden Punkte mit *CST Studio 2024*.
6. Passen Sie das Modell an die vorgegebenen Materialien an (ersetzen Sie eine PEC zum Beispiel durch Aluminium)
7. Für die eigentliche Simulation mit *CST Studio 2024* ändern Sie zunächst nichts an der von Antenna Magus Professional 2024 gegebenen Empfehlung, behalten Sie die **Solver**-Einstellungen bei. Berechnen Sie sowohl das E- als auch das H-Feld und gegebenenfalls die elektrischen Oberflächenströme (Aktivierung per **Field Monitor**), damit Sie das Nahfeld darstellen und erläutern können.

1.2 Inhalte der Modul-Präsentation

Die Modul-Präsentation soll wie in [1] erläutert aufgebaut sein.

Nutzen Sie zur Beschreibung Ihrer Antenne die in [2] verwendeten Begriffe.

Folgende Inhalte müssen im einzelnen in der Präsentation beschrieben und diskutiert werden, **soweit es nicht explizit anderes gefordert ist:**

Antennen-Skizze: Erstellen Sie eine aussagefähige Skizze der Antenne. Je nach Antennentyp ist es eher störend, wenn diese maßstäblich ist. Die Skizze soll dazu dienen, das Prinzip der

Antenne zu erläutern und wesentliche Designparameter zu definieren.

Abschätzung der Richtwirkung bzw. der HPBW:

Schätzen Sie die HPBWs (jeweils beide Hauptschnitte) und die Richtwirkung Ihrer Antenne. Nutzen Sie dazu die in Abschnitt 3 gegebenen Beziehungen und beachten Sie die Hinweise für Ihren Antennentyp (1), (2), (3) oder (4).

Reflexionsdämpfung: Erstellen und erläutern Sie das Diagramm der Reflexionsdämpfung (Dämpfungsmaß über der Frequenz) und den Verlauf des Reflexionsfaktors im Smith-Diagramm. Zeichnen Sie in die Antennenskizze die Referenzebene des Reflexionsfaktors ein.

Nahfeld: Erstellen Sie mindestens einen **geeigneten** Schnitt der Anordnung im Nahfeld, der das elektrische und das magnetische Feld oder die Oberflächenstromverteilung zeigt. Erläutern Sie damit das Funktionsprinzip der Antenne, indem Sie elektrische oder magnetische Hertzse Dipole identifizieren. Verwenden Sie dazu gerne Ihre Antennen-Skizze.

Fernfeld: Erstellen Sie ein oder mehrere Strahlungsdiagramme sowohl der H- als auch der E-Ebene, jeweils ko- und kreuzpolare Charakteristik. Entscheiden Sie selbst, welche Ausschnitte Sie wählen und ob ein Polar- oder ein kartesisches Diagramm besser passt. Wählen Sie *Ludwig III* (**farfield plot properties** → **axes** → **coordinate system** → *Ludwig III*). Fügen Sie noch zusätzliches Diagramme der beiden Hauptschnitte mit dem Achsenverhältnisse bei.

Gewinn: Geben Sie zusätzlich den absoluten und den realisierten Gewinn, die Richtwirkung und die HPBWs an und prüfen Sie, ob der Zusammenhang dieser Größen plausibel ist. Vergleichen Sie diese Größen mit Ihren Abschätzungen (siehe auch Abschnitte 3).

Antennen-Geometrie und Materialien: Erstellen Sie ein vollständiges Verzeichnis aller relevanten Geometrie- und Materialparameter.

ist die Feldverteilung kosinusförmig, so folgt

$$\text{HPBW}_{\cos} = \frac{68.8^\circ}{l/\lambda} \quad \text{falls } l > 2\lambda . \quad (5)$$

2 Abgabetermin

Der offizielle Abgabetermin ist der 2. Juli 00:00, 2025 (Sie müssen also am 1. Juli vor Mitternacht abgeben).

Für die Richtwirkung D von Antennen mit einer Hauptkeule und großem Nebenkeulenabstand gilt näherungsweise

$$D \approx \frac{41\,253}{\Theta_{\min}/^\circ \cdot \Theta_{\max}/^\circ} \quad (6)$$

Darin sind Θ_{\min} bzw. Θ_{\max} die kleinste bzw. die größte auftretende 3dB-Keulenbreite (in Grad).

3 Zusammenhang Keulenbreite / Richtwirkung / Anzahl Strahlerelemente

Für eine gleichförmig angeregte lineare Antennengruppe mit N Elementen gilt näherungsweise [2] für den Gruppenfaktor

$$\text{HPBW}_{\text{uni}} \approx 0.886 \frac{1}{Nd/\lambda} = \frac{50.76^\circ}{Nd/\lambda} \quad \text{für } Nd/\lambda \gg 1 \quad (1)$$

Für eine elektrischen bzw. magnetischen Dipol ist die Richtwirkung [2]

$$D_{\text{hertz}} = \frac{3}{2} \approx 1.76 \text{ dB(i)} \quad (2)$$

für die HPBW gilt (nur für axialen Schmitt))

$$\text{HPBW}_{\text{hertz}} = 90^\circ \quad (3)$$

Für rechteckige Flächenstrahler gilt für den Schnitt mit einer konstanter Feldverteilung der Querabmessung l

$$\text{HPBW}_{\text{rect}} = \frac{50.6^\circ}{l/\lambda} , \quad \text{falls } l > 2\lambda , \quad (4)$$

4 Hinweise zu den einzelnen Aufgaben

Tipp: Um ein Gefühl für die Dimensionen zu bekommen, bestimmen Sie als erstes die Wellenlänge im Freiraum aber auch in der Antennenstruktur selbst. Sie können dazu das Antenna Magus Professional 2024-Werkzeug [toolbox](#) → [transmission line calculator](#) verwenden. Beziehen Sie sich auf diese Werte!

4.1 Hohlleiterschlitzantennen, Typ (1), (2)

Das Verständnis dieses Antennentyps hängt maßgeblich von der Kenntnis der elektrischen Oberflächenstromdichte des Hohlleiters ohne Slitze ab. Fertigen Sie zusätzlich eine Skizze an, die die Stromverteilung des unberührten Hohlleiters darstellt und so die Position der Slitze motiviert. Argumentieren Sie mit dem Äquivalenzprinzip! Schätzen Sie so die HPBW und den Gewinn ab.

4.2 Patch Antennen Arrays, Typ (3), (4)

In der Regel treffen Sie mit Antenna Magus Professional 2024 im ersten Schritt ([Design](#)) nicht die vorgegebene Mittenfrequenz

(estimate performance). Sie können einfach diese relative Abweichung bereits bei den **Design Objectives** in der Eingabe **frequency band** (f_0) vorhalten.

Erläutern Sie das Antennenprinzip einer Patch-Antenne ausschließlich mit dem Cavity-Modell wie z. B. in [2] beschrieben. Argumentieren Sie mit dem Äquivalenzprinzip! Schätzen Sie so die HPBW und den Gewinn ab.

5 Aufgaben

Nr.	Name, Vorname	Aufgabentyp (1): Entwerfen Sie eine Radarantenne in Hohlleitertechnik! Die Antenne soll eine in Resonanz betriebene Hohlleiterschlitzantenne mit fächerförmigen Strahldiagramm sein, ein Hohlleiterende ist kurzgeschlossen. Die Slitze sollen sich in der schmalen Hohlleiterwand befinden (<i>linear resonant waveguide slot array with narrow-wall slots</i>). Zusätzliche Fragestellung: Untersuchen Sie, wie groß die nutzbare Bandbreite ist. Was passt mit dem Strahlungsdiagramm, falls die Frequenz von der vorgesehenen Mittenfrequenz abweicht?	Material
(1.1)	Haouari, Ahmed	Die horizontale 3 dB-Keulenbreite soll $\text{HPBW}_{\text{hor}} \leq 1.5^\circ$ sein. Die Antenne soll bei einer Mittenfrequenz von 10 GHz (X-Band) eingesetzt werden.	Aluminium
(1.2)	Holz, Moritz	Die horizontale 3 dB-Keulenbreite soll $\text{HPBW}_{\text{hor}} \leq 1.0^\circ$ sein. Die Antenne soll bei einer Mittenfrequenz von 6.4 GHz (C-Band) eingesetzt werden.	Messing
(1.3)	Hoffmann, Alexander	Die horizontale 3 dB-Keulenbreite soll $\text{HPBW}_{\text{hor}} \leq 2.0^\circ$ sein. Die Antenne soll bei einer Mittenfrequenz von 12.0 GHz (X-Band) eingesetzt werden.	Messing
(1.4)	Gewiese, Fynn	Die horizontale 3 dB-Keulenbreite soll $\text{HPBW}_{\text{hor}} \leq 1.0^\circ$ sein. Die Antenne soll bei einer Mittenfrequenz von 24.0 GHz (Ku-Band) eingesetzt werden.	Silber
(1.5)	Al Abed, Omar	Die horizontale 3 dB-Keulenbreite soll $\text{HPBW}_{\text{hor}} \leq 1.5^\circ$ sein. Die Antenne soll bei einer Mittenfrequenz von 32.0 GHz (Ka-Band) eingesetzt werden.	Silber

Nr.	Name, Vorname	Aufgabentyp (2): Entwerfen Sie eine Radarantenne in Hohlleitertechnik! Die Antenne soll über einen Hohlleiter mittig gespeist und in Resonanz betrieben werden, bei- de Hohlleiterenden sind kurzgeschlossen. Die Schlitze sollen sich in der breiten Hohlleiterwand befinden (<i>Centre-fed linear resonant waveguide slot array with longitudinal broad-wall slots</i>). Zusätzliche Fragestellung: Untersuchen Sie, wie groß die nutzbare Bandbreite ist. Wie ändert sich der Nebenkeulenabstand, falls die Antenne nicht in Resonanz betrieben wird?	Material
(2.1)	Joppa, Niklas	Der Gewinn der Antenne soll 23dB bei der Mittenfrequenz von 6 GHz (oberes C-Band) betra- gen.	Aluminium
(2.2)	Langlechner, Florian	Der Gewinn der Antenne soll 17dB bei der Mittenfrequenz von 12 GHz (oberes X-Band) be- tragen.	Aluminium
(2.3)	Kapetanakis, Leandros	Der Gewinn der Antenne soll 20dB bei der Mittenfrequenz von 12 GHz (oberes X-Band) be- tragen.	Messing
(2.4)	Wolf, Tim	Der Gewinn der Antenne soll 20dB bei der Mittenfrequenz von 93 GHz (oberes W-Band) be- tragen.	Messing
(2.5)	Orzelek, Peer	Der Gewinn der Antenne soll 25dB bei der Mittenfrequenz von 83 GHz (oberes E-Band) betra- gen.	Silber

Nr.	Name, Vorname	Aufgabentyp (3): Entwerfen Sie eine einfache Radarantenne in Mikrostreifenleitungstechnik, die als 4×1 -Antennengruppe aufgebaut ist. Verwenden Sie ein Speisenetzwerk, das alle vier Patches mit dem gleichen Signal beaufschlägt (<i>inset-fed 4-by-1 patch array with corporate feed</i>). Wünschenswert ist eine möglichst große Bandbreite. Der Antennengewinn beträgt bei dieser Anordnung ca. 13 dB.	Material: h ist die Stärke, ϵ_r die relative elektrische Permittivität und $\tan \delta$ der Verlustwinkel des Substrats jeweils bei der gegebenen Mittenfrequenz. t ist die Dicke der Metallisierung.
(3.1)	Tichatschek, Maximilian	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 2.4 GHz.	$\epsilon_r = 2$, $h = 2.65$ mm, $\tan \delta = 0.004$, $t = 35$ μ m, Cu
(3.2)	Makadmini, Jasmin	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 0.8 GHz.	$\epsilon_r = 1$, $h = 5$ mm, $\tan \delta = 0.0004$, $t = 40$ μ m, Cu
(3.3)	Doleschal, Norbert	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 5 GHz.	$\epsilon_r = 2$, $h = 1.3$ mm, $\tan \delta = 0.004$, $t = 35$ μ m, Cu
(3.4)	Lazar, Korbinian	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 12 GHz.	$\epsilon_r = 4$, $h = 1$ mm, $\tan \delta = 0.001$, $t = 20$ μ m, Cu
(3.5)	Wolf, Stefan	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 24 GHz.	$\epsilon_r = 2.00$, $h = 700$ μ m, $\tan \delta = 0.0001$, $t = 5$ μ m, Au

Nr.	Name, Vorname	Aufgabentyp (4): Entwerfen Sie eine einfache Radaranntenne in Mikrostreifenleitungstechnik, die als 2×2 -Antennengruppe aufgebaut ist. Verwenden Sie ein Speisenetzwerk, das alle vier Patches mit dem gleichen Signal beaufschlagt (<i>inset-fed 2-by-2 patch array with corporate feed</i>). Wünschenswert ist eine möglichst große Bandbreite. Der Antennengewinn beträgt bei dieser Anordnung ca. 13 dB.	Material: h ist die Stärke, ϵ_r die relative elektrische Permittivität und $\tan \delta$ der Verlustwinkel des Substrats jeweils bei der gegebenen Mittenfrequenz. t ist die Dicke der Metallisierung.
(4.1)	Toutou, Mohamed	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 5 GHz.	$\epsilon_r = 2$, $h = 1.3$ mm, $\tan \delta = 0.004$, $t = 35$ μ m, Cu
(4.2)	Voropaev, Ivan	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 0.8 GHz.	$\epsilon_r = 1$, $h = 5$ mm, $\tan \delta = 0.0001$, $t = 35$ μ m, Cu
(4.3)	Bruckmann, Mario	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 24 GHz.	$\epsilon_r = 2.00$, $h = 25$ mil, $\tan \delta = 0.0001$, $t = 5$ μ m, Au
(4.4)	Roth, Maximilian	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 2.4 GHz.	$\epsilon_r = 2$, $h = 2.65$ mm, $\tan \delta = 0.004$, $t = 35$ μ m, Cu
(4.5)	Farkas, Mario	Entwerfen Sie die Antennengruppe für eine Mittenfrequenz von 24.5 GHz.	$\epsilon_r = 1.2$, $h = 25$ mil, $\tan \delta = 0.01$, $t = 10$ μ m, Cu

Literatur

- [1] G. Strauß, "Antennen und Wellen Hinweise zur Präsentation," Mai 2025, last accessed 28 May 2025. [Online]. Available: <https://moodle.hm.edu/mod/resource/view.php?id=1149756>
- [2] ——, *Antennen und Wellen*, ser. Manuskript. Pasing: Hochschule München, März 2022. [Online]. Available: <https://moodle.hm.edu/mod/resource/view.php?id=420996>

10. Anhang: Hinweise zur Präsentation



Antennen und Wellen Hinweise zur Präsentation

Prof. Dr.-Ing. G. Strauß
Laboratory for Satellite Communications
Munich University of Applied Sciences

Mai 2025

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References

Diese Präsentation enthält allgemeine Hinweise zur Modularbeit A&W und zu der Präsentationsunterlagen.

- Stellen Sie bereits jetzt sicher, dass Sie Zugang zu einer lauffähigen Version CST-Studio-Suite 2023 oder jünger haben
- Beginnen Sie Ihre Arbeit nach Erhalt Ihres individuellen Themas, das am 2025-05-31-0:00:00 bekanntgegeben wird
- Der Abgabetermin der Präsentation ist 2025-07-02-0:00:00
- Alle erhalten eine individuelle Aufgabe
- Dauer Ihrer Abschlusspräsentation ist 15 Minuten + 10 Minuten Diskussion
- Die Abschlusspräsentationen finden in der **KW 28** statt
- Sie können sich mit Ihren Mitstudierenden hinsichtlich der Designaufgaben austauschen (in den Quellen darauf hinweisen)!

Die Niederschrift der Präsentation muss selbständig erfolgen!

A&W Mod

Georg
Strauß

Allgemeines

Aufbau

Form

Bilder

References

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References

Die Abschlusspräsentation hat den Charakter eines wissenschaftlichen Konferenzbeitrags

Thema und Aufgabenstellung Erläutern Sie mit eigenen Worten das Thema und die Aufgabenstellung. In jedem Fall sollte die besondere Herausforderung erläutert werden.

Lösungsansätze und Methode Beschreiben Sie, welchen Weg Sie zur Lösung eingeschlagen haben. Stellen Sie Ihre Abschätzungen vor!

Ergebnisse Stellen Sie die Ergebnisse mit Hilfe von Diagrammen, Skizzen (gegebenenfalls auch mit maßstabsgetreuen Zeichnungen) und Schaltplänen dar. Stellen Sie Ihre Abschätzungen den CST-Ergebnissen gegenüber.

Zusammenfassung Sie resümieren die Aufgabenstellung und ziehen Bilanz. Haben Sie Ihre Ziele erreicht? Nächste Schritte?

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References

Die Präsentation ...

- ist im *Portable Document Format* (also als pdf-File) auf moodle hochzuladen
- kann wahlweise einheitlich in englischer oder deutscher Sprache verfasst werden
- soll über ein Inhaltsverzeichnis verfügen. Seiten, Bilder, Tabellen und Diagramme sind nummeriert
- schließt mit dem Literaturverzeichnis ab
- enthält im Anhang eine Übersicht der verwendeten Akronyme und Abkürzungen

Auf der ersten Seite steht ...

- Modulararbeit
- Thema oder/und Aufgabenstellung
- Verfasser
- Matrikelnummer
- Abgabedatum
- Betreuer

Die folgenden Empfehlungen sind [1] entnommen. Für spezielle elektrotechnische Konventionen wie Pegelrechnung, komplexe Variable zur Darstellung von harmonischen Größen, siehe [2].

- Verwenden Sie gebräuchliche Einheiten!
- Geben Sie logarithmische Größen wie Pegel oder Maße in Dezibel an
- Einheiten werden in Formeln in einer normalen Schriftart gesetzt (nicht kursiv!)
Beispiel Mikrometer $1 \mu\text{m}$ aber nicht $1 \mu\text{m}$
- In Formeln werden Variablen immer kursiv geschrieben
Beispiel Masse m aber nicht m
- Deutet aber ein Index ein Akronym oder eine Abkürzung an, wird diese wieder normal geschrieben.
Beispiel Lastinduktivität: L_L aber nicht L_L
- Ist die Variable selbst ein Akronym, schreiben Sie diese besser nicht kursiv.
Beispiel Axial Ratio AR aber nicht AR
- Verwenden Sie immer die gleichen Variablennamen, egal, welche Einheiten Sie verwenden.
Beispiel Winkel $\alpha = \pi = 180^\circ \approx 22/7 \text{ rad}$ aber nicht $\alpha^\circ = 180$
- **Beispiel Gewinn** $G = 100 = 20 \text{ dB}$ aber nicht $G_{\text{dB}} = 20$

- mathematische Funktionszeichen sind keine Variablen, also nie kursiv

Beispiel Sinus von x $\sin x$ aber nicht $sinx$.

Beispiel Differentiale $\int f(d)dd$ aber nicht $\int f(d)dd$.

- mathematisch Konstanten werden aufrecht geschrieben Beispiel j hoch j

$$j^j = e^{-(\frac{\pi}{2} + 2n\pi)}, \quad n \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

Dagegen ist e_R die skalierte elektrische partielle rechtszirkulare Feldstärke.

- physikalische Konstanten werden kursiv geschrieben.

Beispiel Lichtgeschwindigkeit c_0 und nicht c_0

Beispiel Boltzmannkonstante k_B und nicht k_B

- weitere Unsitten ...

Die Einheit des Stroms: $[I] = A$ und nicht $[A]$.

Eine Geschwindigkeit beträgt 10 m s^{-1} und nicht $10m/s$.

A&W Mod

Georg
Strauß

Allgemeines

Aufbau

Form

Bilder

References

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References

Diagramme allgemein

A&W Mod

Georg
Strauß

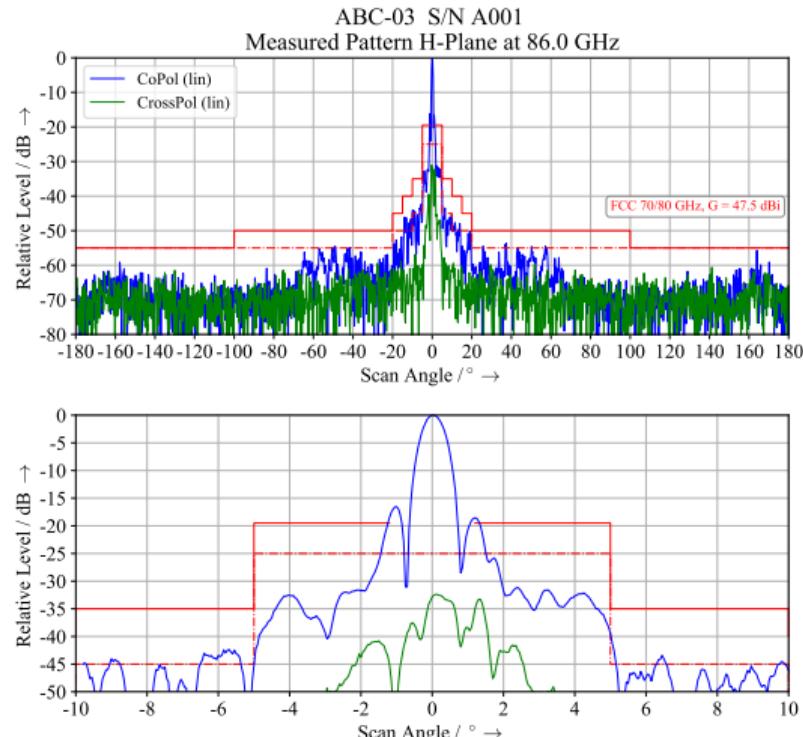
Allgemeines

Aufbau

Form

Bilder

References



Beschreiben Sie Ihre Diagramme:
Gemessene Richtcharakteristik
(Pattern) der Richtfunkantenne
S/N XYZ

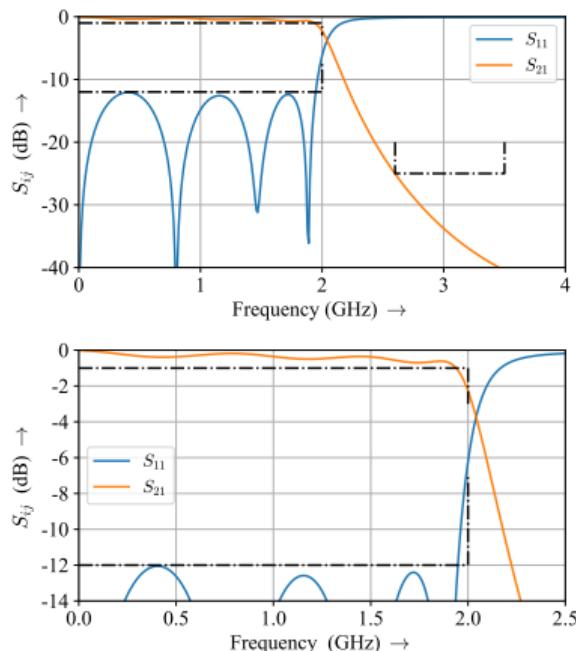
- Maske: FCC-61 FR 26677 [3]
- H-Ebene, 86 GHz
- partieller realisierter Gewinn besser 47.5 dB(i)

Der Text soll den versierten Leser in die Lage versetzen, die Inhalte der entsprechenden Darstellung ohne weiteres zu verstehen.
Kurz aber eindeutig!

Diagramme

Achsenbeschriftung

A&W Mod

Georg
StraußAllgemeines
Aufbau
Form
Bilder
References

- alle Achsen der Diagramme weisen eine Beschriftung auf
- Einheiten müssen angeben werden (auch Pseudo-Einheiten)
Beispiel S_{11} (dB), berechne $20 \lg(|S_{11}|)$
Beispiel S_{11} (°) berechne $\arg(S_{11})$ in Grad alternativ kann z. B. für $\hat{u}(V)$ auch \hat{u} / V geschrieben werden.
- sinnvoller Maßstab gibt den Blick auf das wesentliche frei
- ein “Grid“ vereinfacht das Ablesen

Bitte beachten Sie: Auch Tabellen haben eine Beschreibung verdient

- maximale Steigungen verkürzter und verlängerter Zykloiden sowie deren zugeordneten Zeitpunkte
- kartesische Koordinaten
- für $\rho/R = 1$ stetig, aber nicht differenzierbar

ρ/R	t_1/T	$y'(x_1)$	$y'(x_2)$
0.00	0.2500	0.0000	0.0000
0.25	0.2902	-0.2582	0.2582
0.50	0.3333	-0.5774	0.5774
0.75	0.3850	-1.1339	1.1339
1.00	0.5000	$-\infty$	$+\infty$

Bilder

Beschreiben was gezeigt ist

A&W Mod

Georg
Strauß

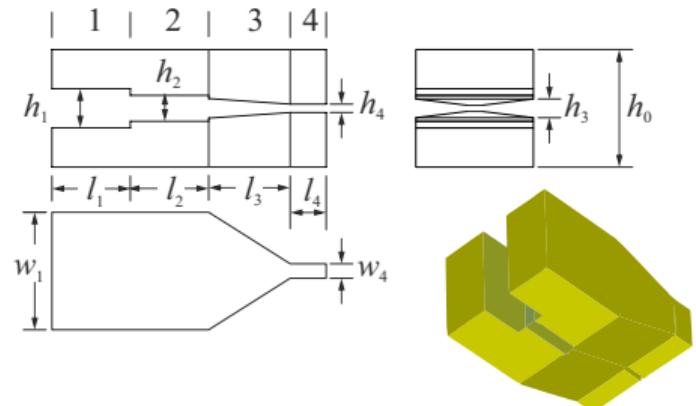
Allgemeines

Aufbau

Form

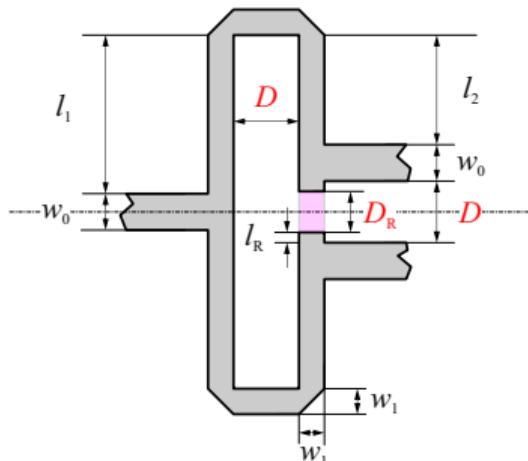
Bilder

References



Beschreiben Sie eine Abbildung prägnant:
Verschiedene Ansichten eines
Bandleitungselementarstrahlers (nicht
maßstäblich, mit Definition der geometrischen
Variablen).

- Abschnitte 1, 2 und 4 jeweils längshomogen
- Abschnitt 3 verjüngt (tapered)



Bemaßung der Leiter des Wilkinson-Teilers für ein MMIC auf GaAs.

Bitte erstellen Sie selbstständig geeignete Skizzen, mit denen Sie auch Variablen definieren können. Eine ordentliche mit Papier und Bleistift erstellte (und dann eingescannte) Skizze ist für die Modulararbeit völlig in Ordnung.

Schematische Darstellung der Leiterebene eines PCB in Mikrostreifenleitungstechnik.

Fix: $D_R = 80 \mu\text{m}$ und $D = 1.5 w_0$.

$$l_2 = l_1 - 1.75 w_0 \quad (2)$$

$$l_R = 0.75 w_0 - 0.5 D_R \quad (3)$$

1 Allgemeines

2 Aufbau der Abschlusspräsentation

3 Form

4 Diagramme, Tabellen und Bilder

5 References



"Formelzeichen für die Elektrotechnik Teil 1: Allgemeines," *DIN Deutsches Institut für Normierung e. V.*, September 2007.



G. Strauß, *Elektrodynamik*.

No. V2.05 in Manuscript, Pasing: Hochschule München, Februar 2024.



FCC, "Telecommunication; subchapter D: Safety and special radio sevices; Part 101: fixed microwave services; 61 FR 26677 Subpart C: Technical Standards Authority: 47 U.S.C. 154, 303, §101.115 Directional antennas ."

<https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-D/part-101/subpart-C/section-101.115>, October 1 2016.



G. Strauß, *Antennen und Wellen*.

Manuscript, Pasing: Hochschule München, März 2022.