

Diplomarbeit

Untersuchungen zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendermoduls

and. ing. Dinh Trung Tran

Universität Duisburg-Essen - Hochfrequenztechnik

Prof. Dr.-Ing. K. Solbach, Dipl. Ing. O. Litschke

Überblick

1. Einleitung
2. Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems
3. Hardwareoptimierung
4. Kalibrierung der Gruppenantenne
5. Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Einleitung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Bedarf an breitbandiger Datenkommunikation



Einleitung

- Bedarf an breitbandiger Datenkommunikation
- Problem der endlichen Übertragungskapazität

Einleitung

- Bedarf an breitbandiger Datenkommunikation
- Problem der endlichen Übertragungskapazität
- Keine Kapazitätsteigerung durch Mehrfachzugriffsverfahren TDMA, FDMA, CDMA

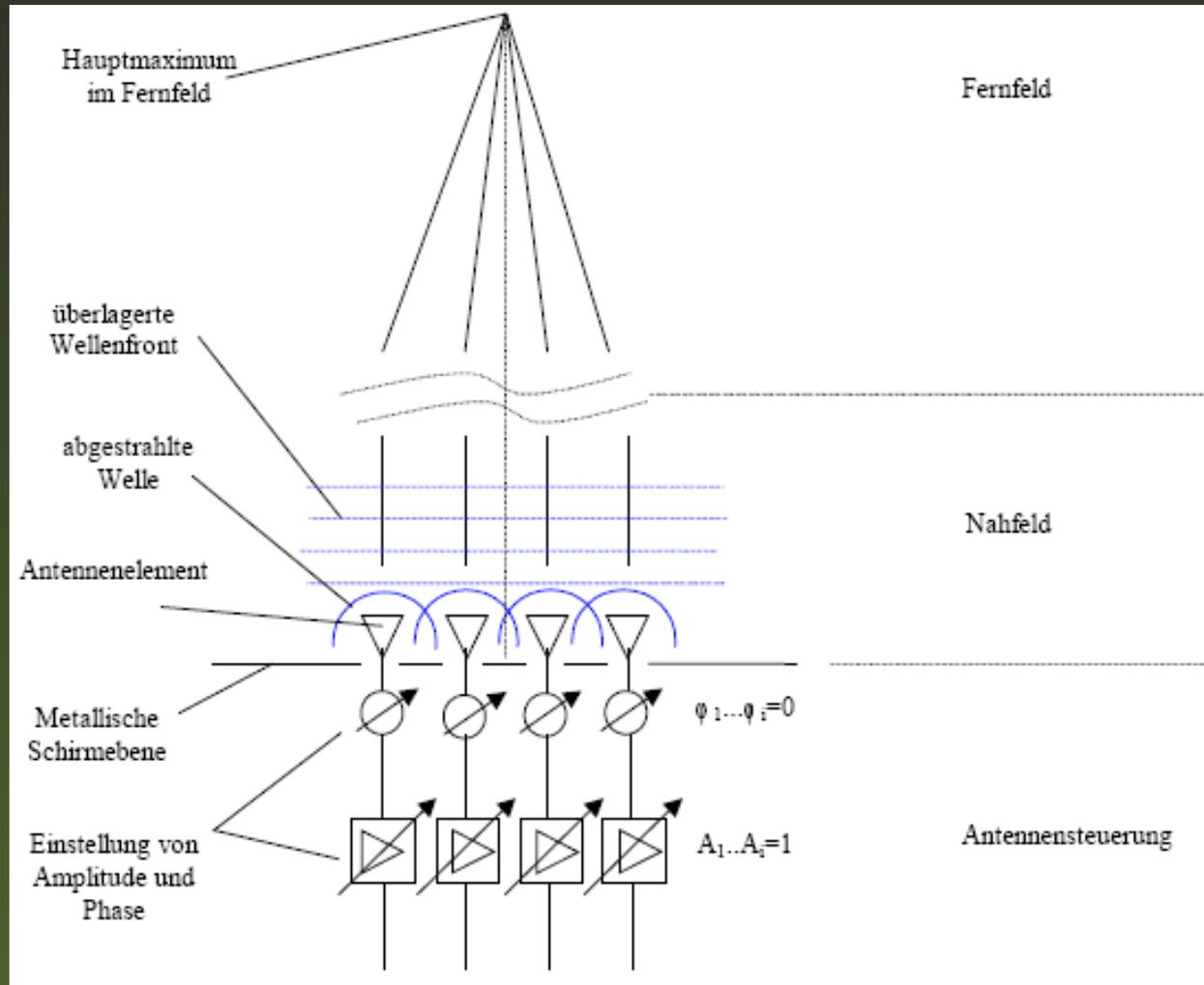
Einleitung

- Bedarf an breitbandiger Datenkommunikation
- Problem der endlichen Übertragungskapazität
- Keine Kapazitätsteigerung durch Mehrfachzugriffsverfahren TDMA, FDMA, CDMA
- Erhöhung der Kapazität durch wiederverwendbare Frequenzbänder \Rightarrow Interferenzproblematik

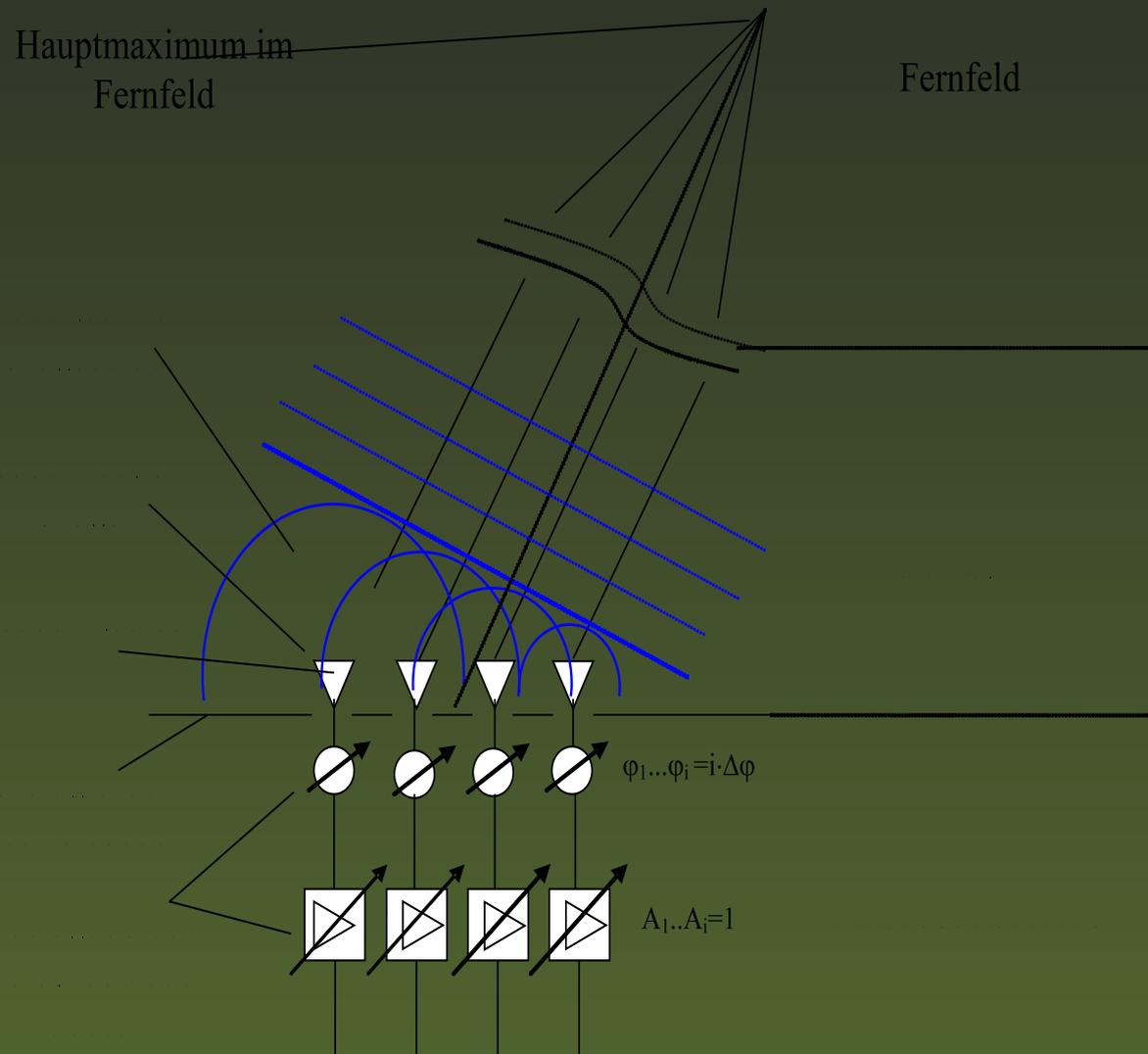
Einleitung

- Bedarf an breitbandiger Datenkommunikation
- Problem der endlichen Übertragungskapazität
- Keine Kapazitätsteigerung durch Mehrfachzugriffsverfahren TDMA, FDMA, CDMA
- Erhöhung der Kapazität durch wiederverwendbare Frequenzbänder \Rightarrow Interferenzproblematik
- Lösung
 \Rightarrow Steuerbare Gruppenantennen

Einleitung



Einleitung



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Momentan Förderprojekt **SANTANA**
eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Momentan Förderprojekt **SANTANA**
eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz
- Digital Beamforming, volle elektrische
Schwenkbarkeit



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Momentan Förderprojekt **SANTANA** eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz
- Digital Beamforming, volle elektrische Schwenkbarkeit
- Zum optimalen Betrieb des Antennensystems erforderlich:



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Momentan Förderprojekt **SANTANA**
eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz
- Digital Beamforming, volle elektrische
Schwenkbarkeit
- Zum optimalen Betrieb des Antennensystems
erforderlich:
 1. \Rightarrow
 - Optimierung der Kalibriersonden



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- Momentan Förderprojekt **SANTANA** eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz
- Digital Beamforming, volle elektrische Schwenkbarkeit
- Zum optimalen Betrieb des Antennensystems erforderlich:

1. \Rightarrow

- Optimierung der Kalibriersonden
- deren Netzwerke



Einleitung

Aufgabe

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

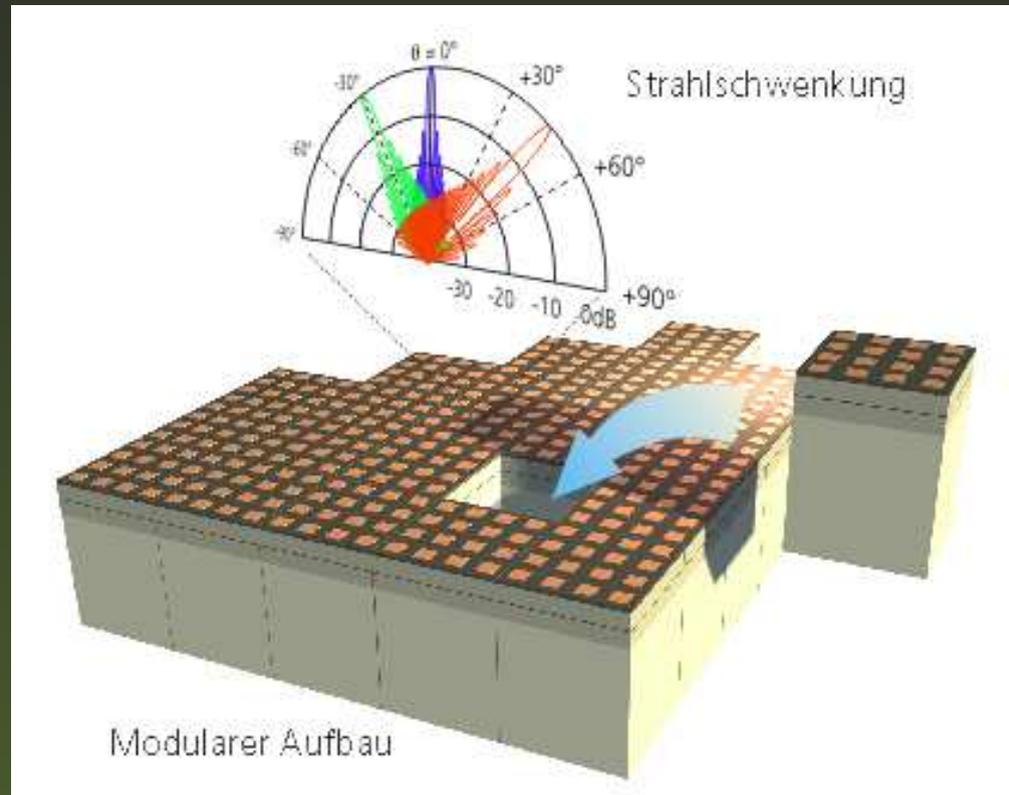
- Momentan Förderprojekt **SANTANA**
eines 4x4 Antennensendermoduls bei 30GHz
- Digital Beamforming, volle elektrische
Schwenkbarkeit
- Zum optimalen Betrieb des Antennensystems
erforderlich:
 1. ⇒
 - Optimierung der Kalibriersonden
 - deren Netzwerke
 2. ⇒ exakte **Kalibrierungsverfahren**



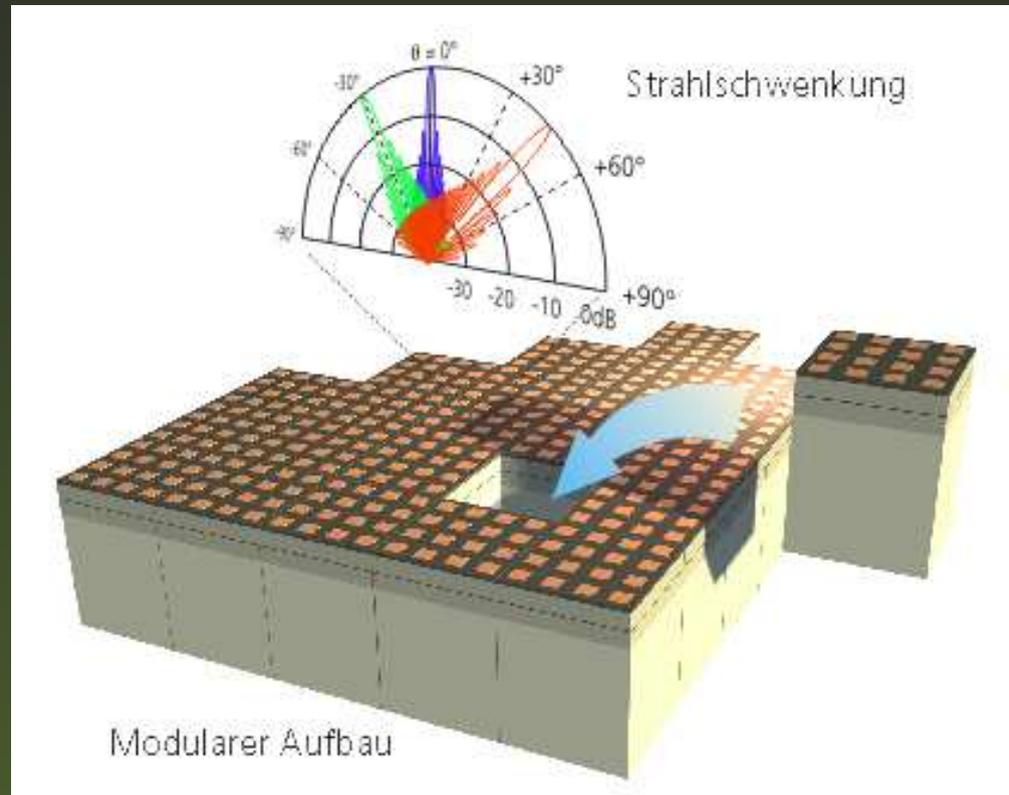
Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems

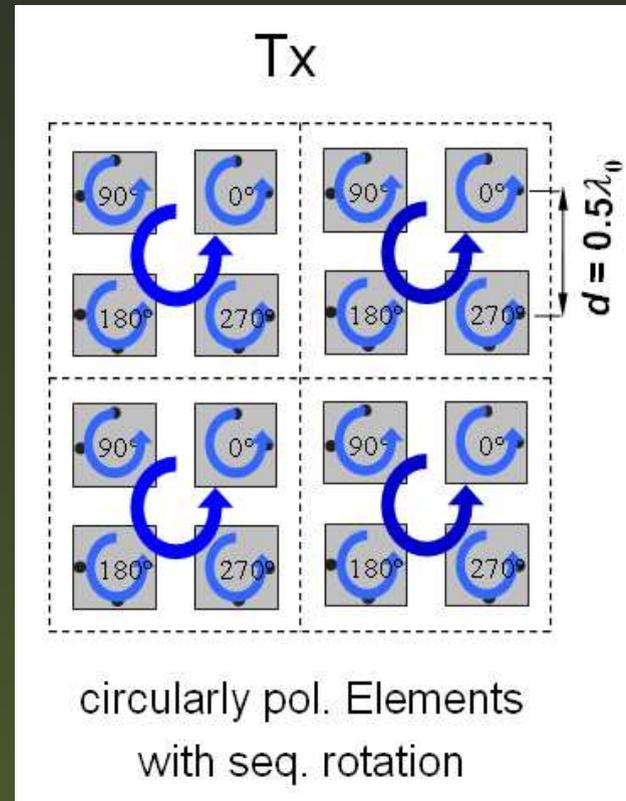


Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems

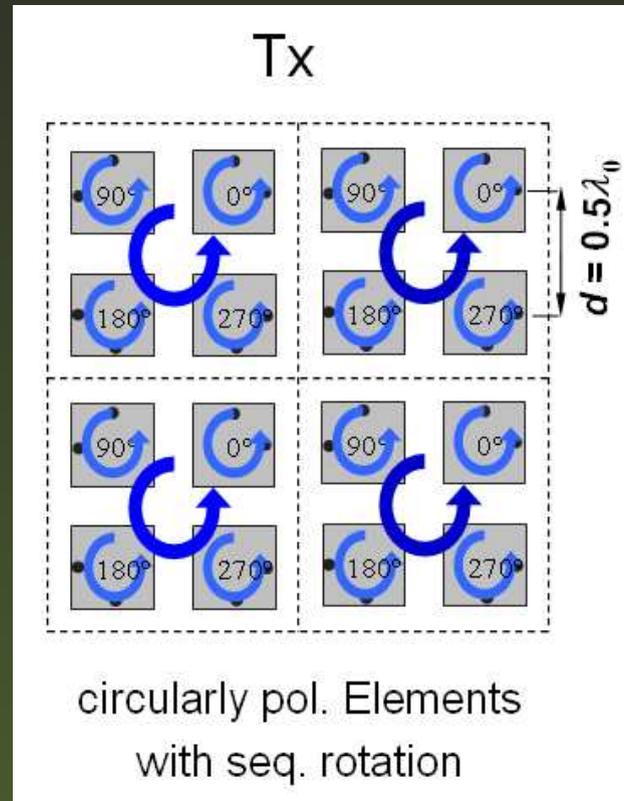


- Modularer Aufbau, LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic)-Struktur.

Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems



Vorstellung des zu optimierenden Antennensystems



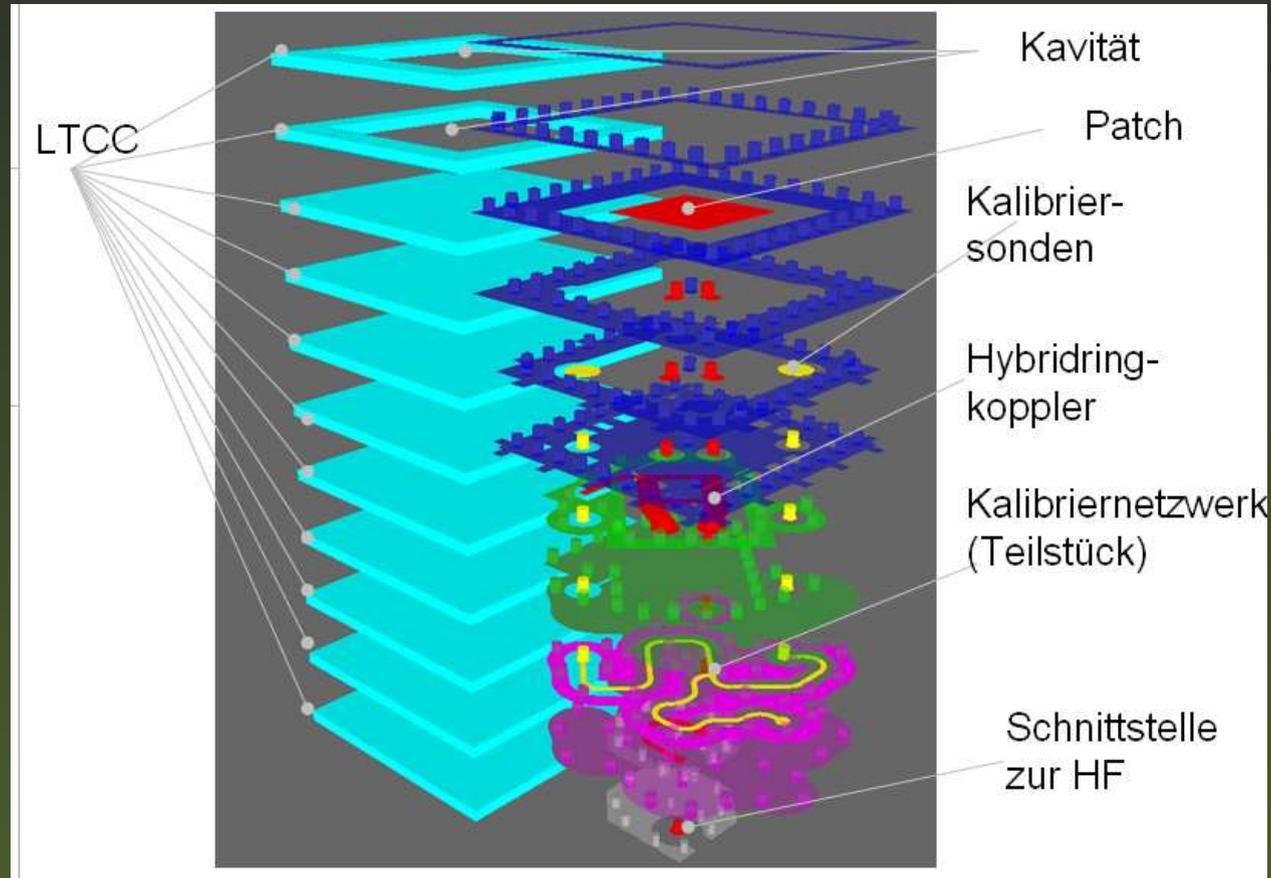
- Verwendung von zirkular polarisierten Wellen.
Weitere Verbesserung der Polarisation durch zyklische Rotation.



Projekt SANTANA

Einzelement

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



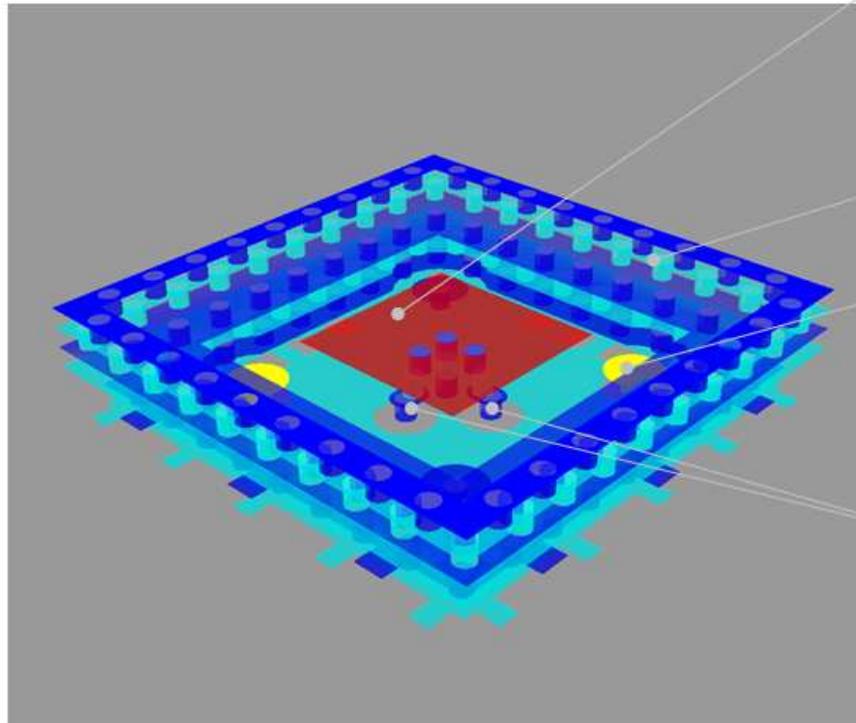
Aufbau des Einzelementes

Projekt SANTANA

Einzelement

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Antennenelement



Patch
(in Kavität)

Via-Zaun
Schirmung

Kalibrier-
sonde

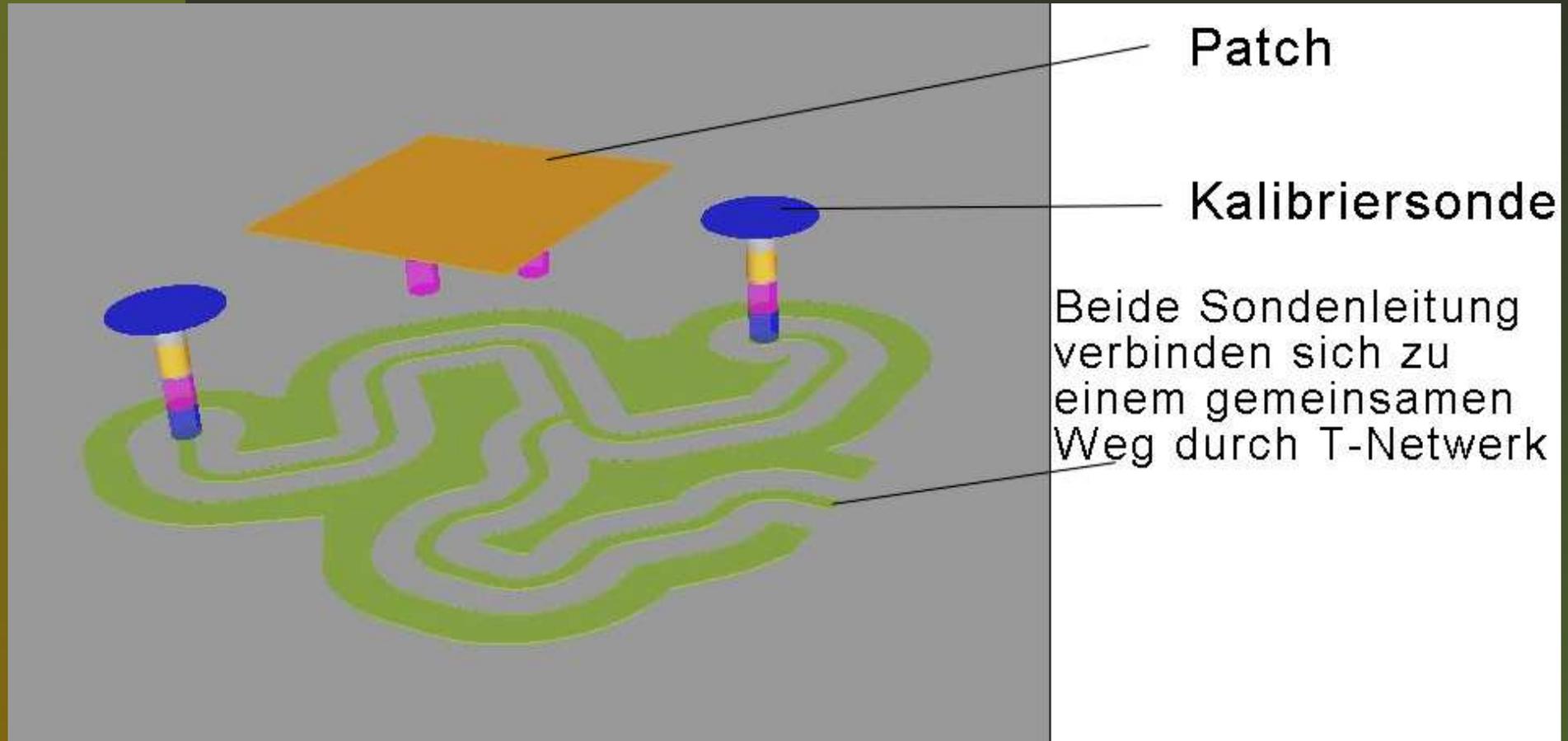
Speiseleitungen
(vom Hybrid)

Patch mit den diagonalen 180° Phasenverschobenen
Sonden(Gelb)

Projekt SANTANA

Einzelement

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



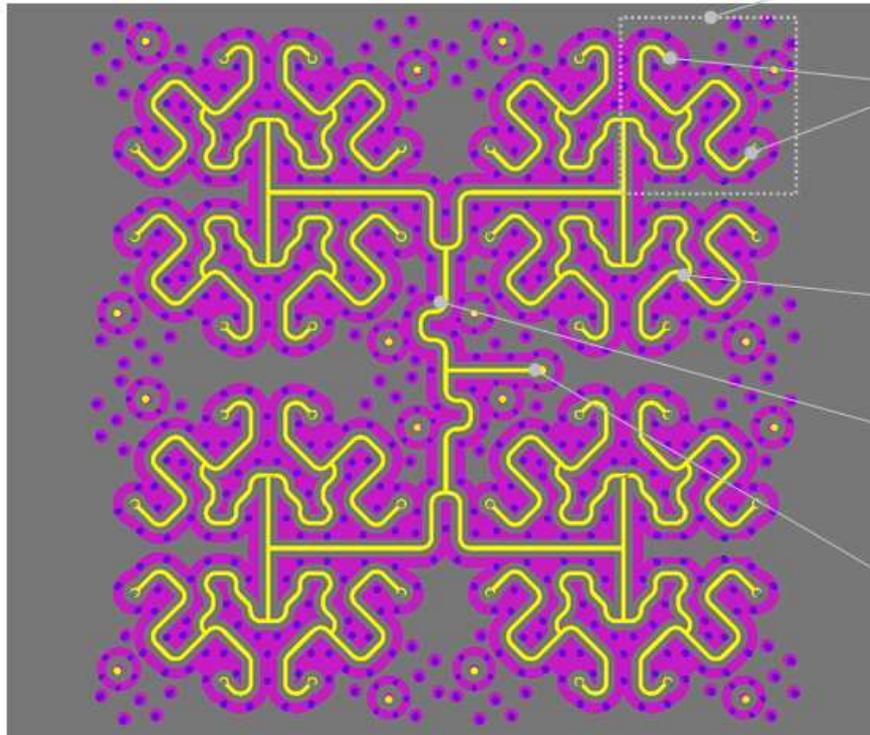
3D Darstellung der Sondenleitung eines Antennenelements.

Projekt SANTANA

Einzelement

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Kalibriernetzwerk



Zellengröße
1 Element

2 Sonden
pro Element

phasenrichtige
Addition

symmetrisches
Netzwerk

zum internen
Empfänger

Darstellung des gesamten Kalibriernetzwerks 4x4
Antennenarray

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

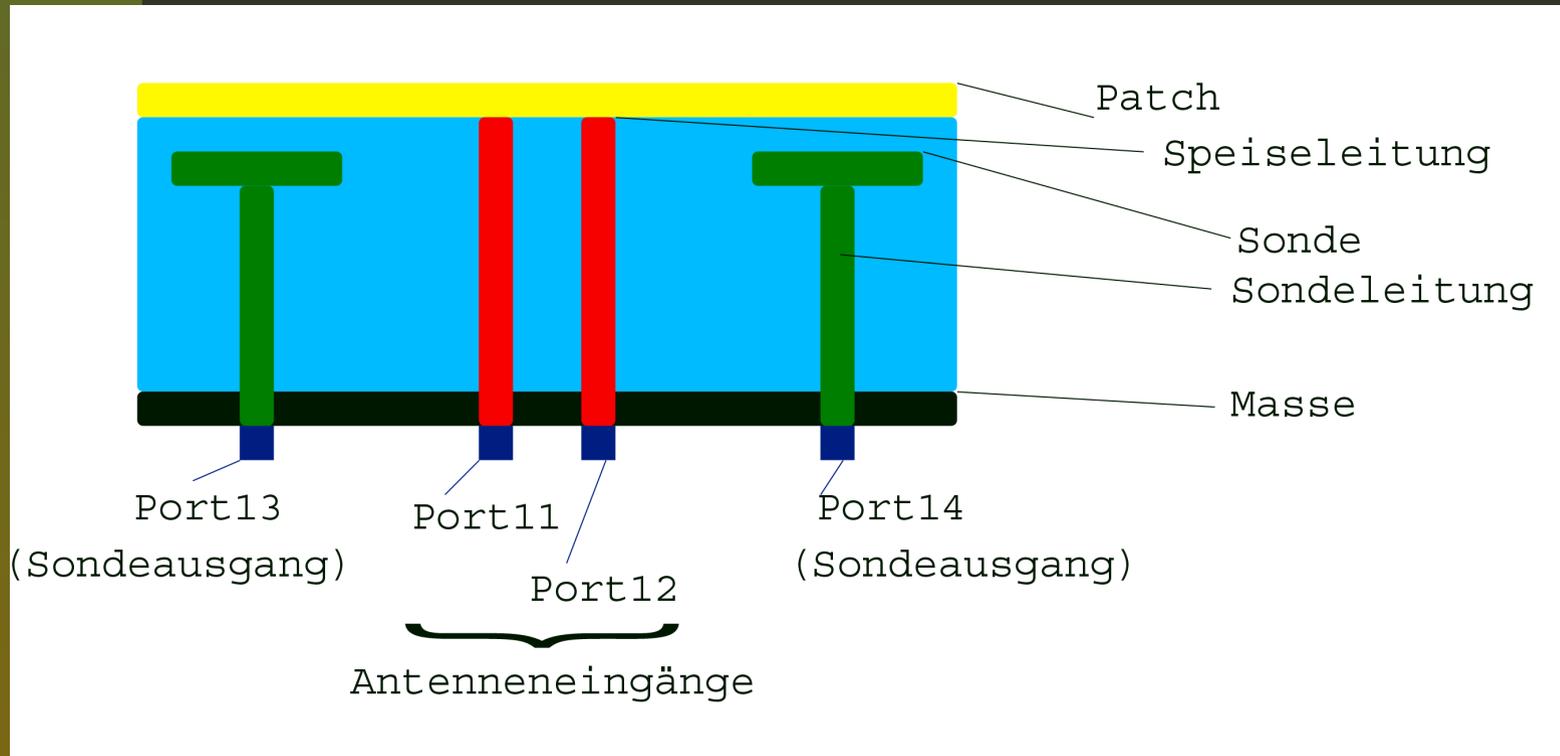
Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
 - Kalibriernetzwerkoptimierung
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

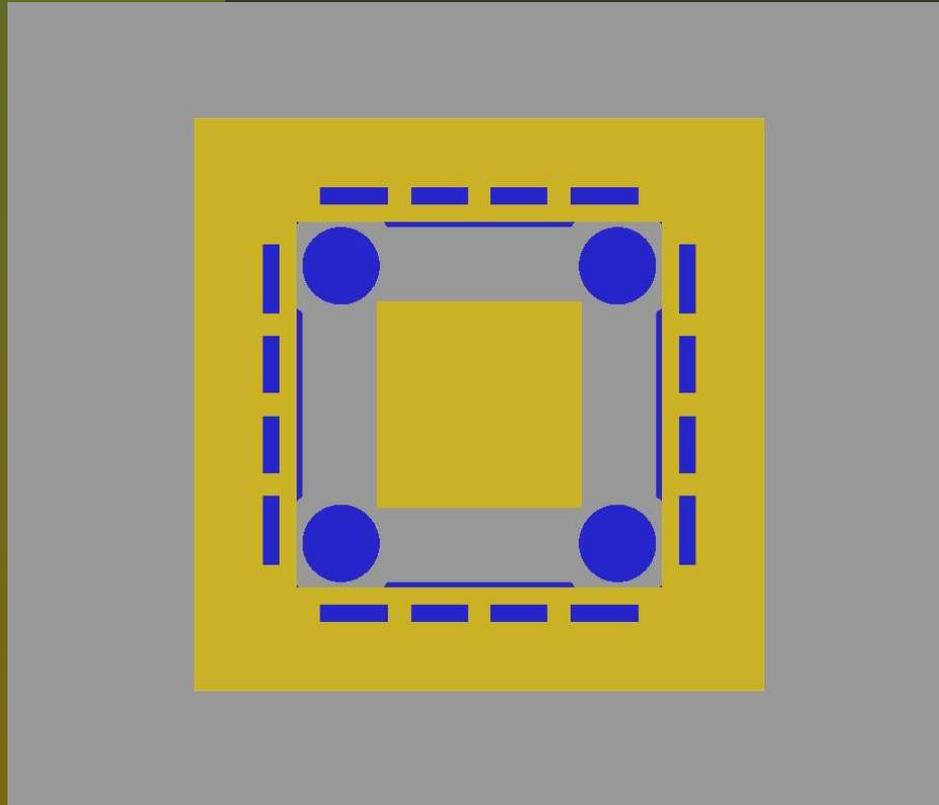


Seitenansicht des Sondensimulationsmodells.

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



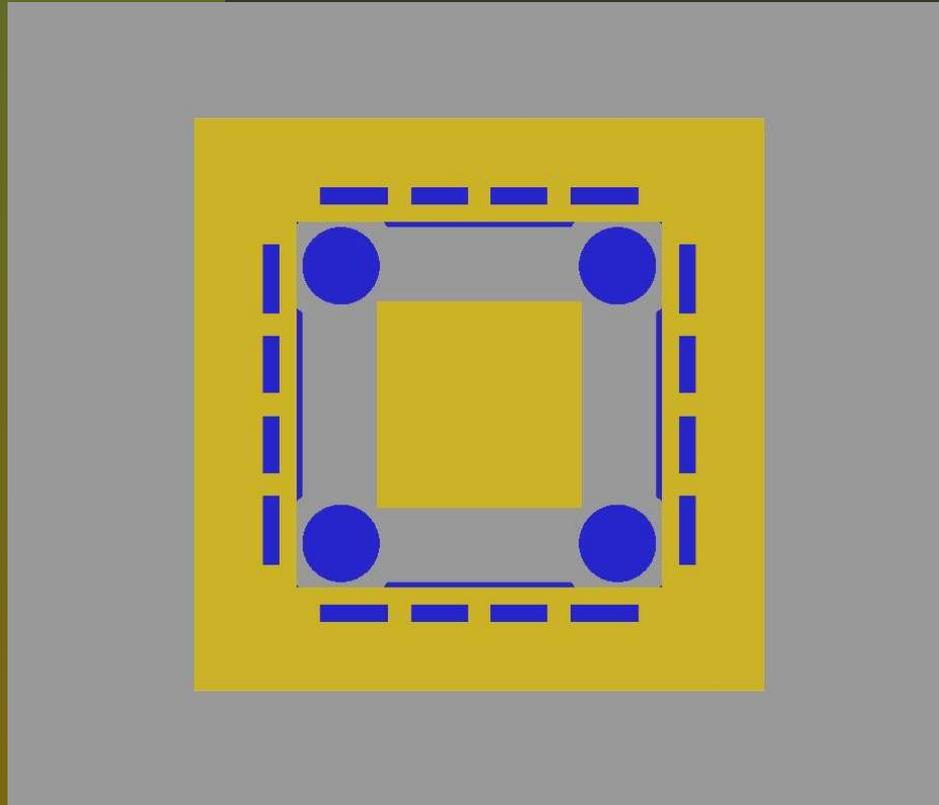
Ziel:

- Gleichmäßige Leistungsaufnahme der beiden Sonden.

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



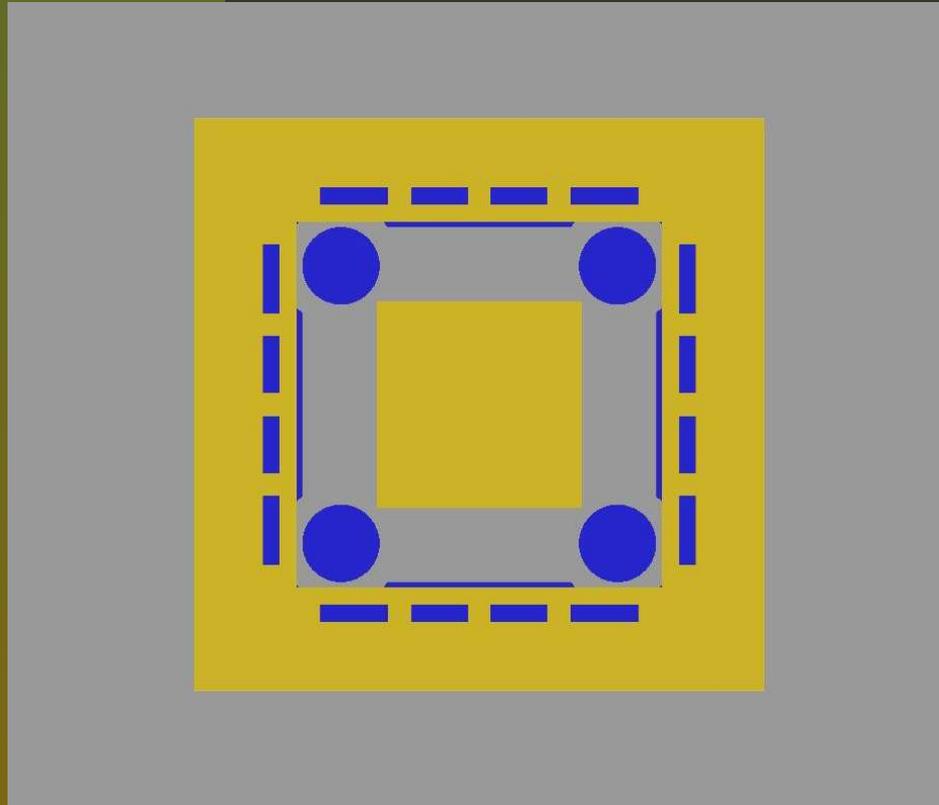
Ziel:

- Gleichmäßige Leistungsaufnahme der beiden Sonden.

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Ziel:

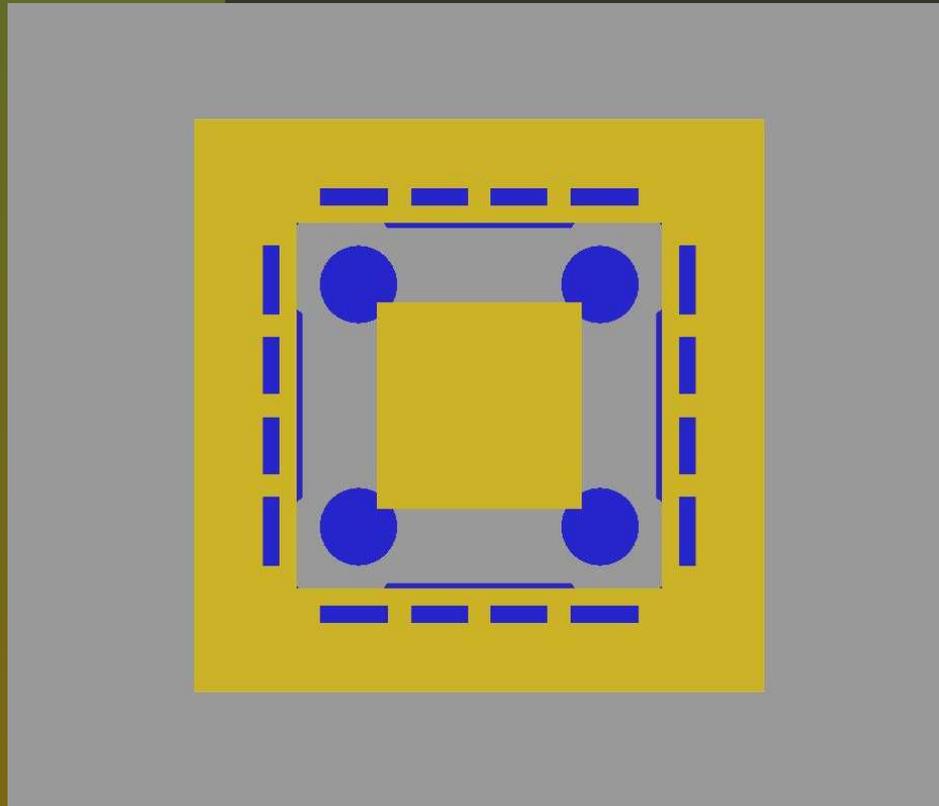
- Gleichmäßige Leistungsaufnahme der beiden Sonden.

- Toleranzunempfindlichkeit.

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

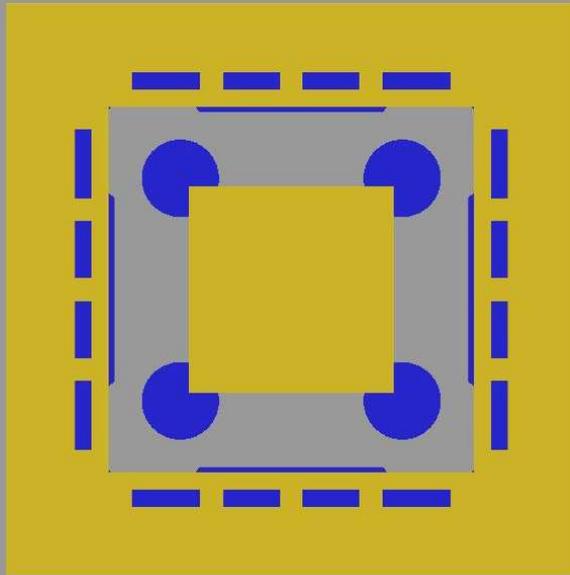


Optimierung entlang der Diagonale des Patches

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

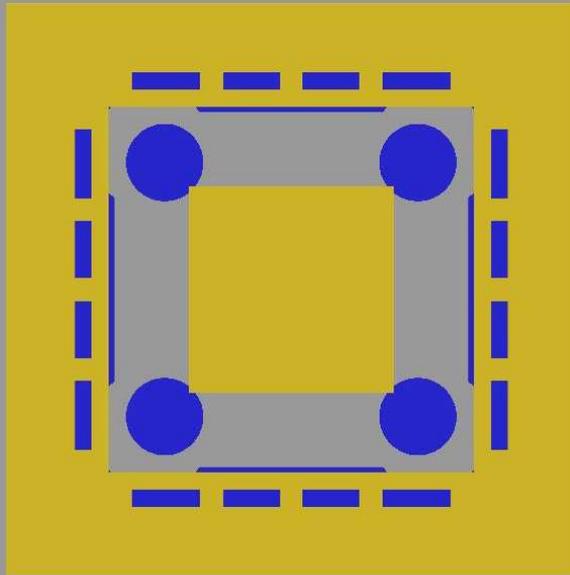
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

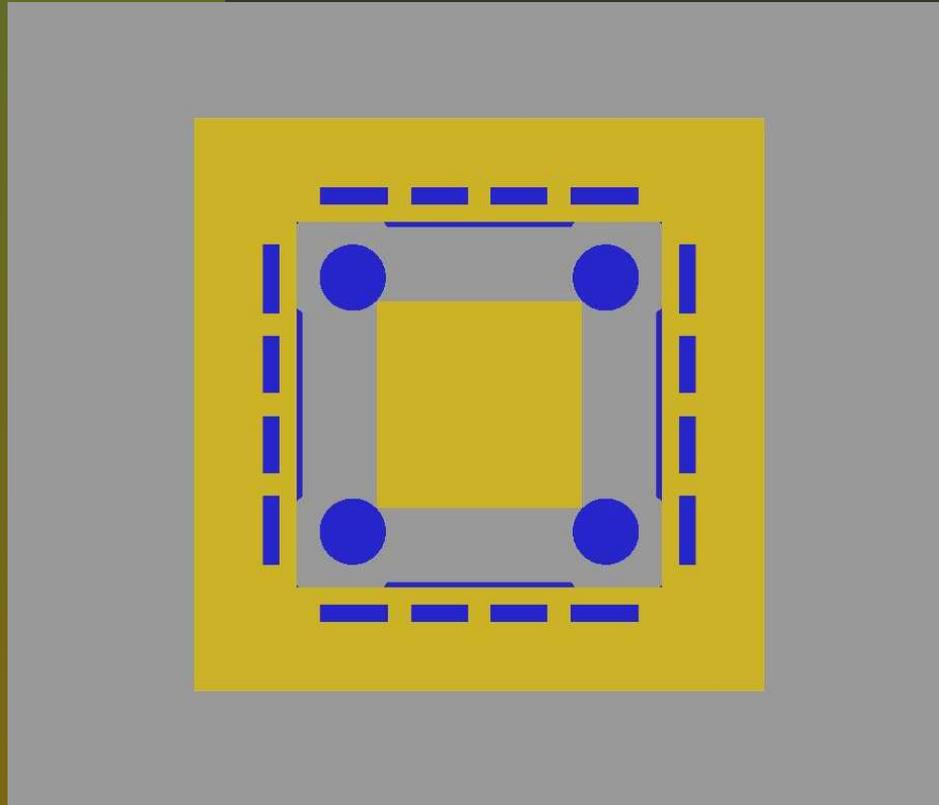
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

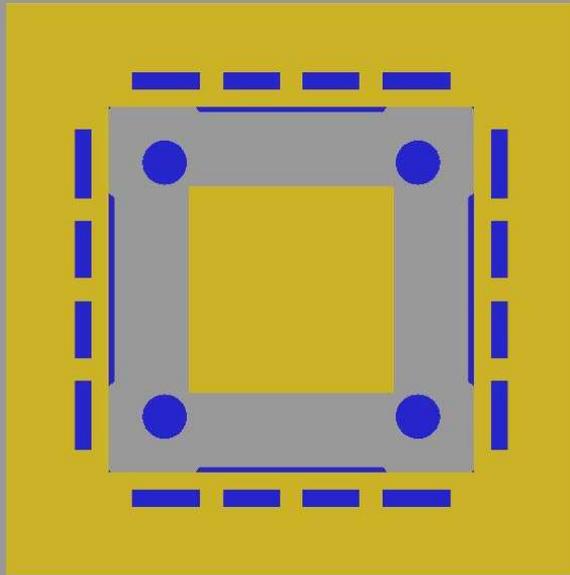


Veränderung der Sondendurchmesser

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

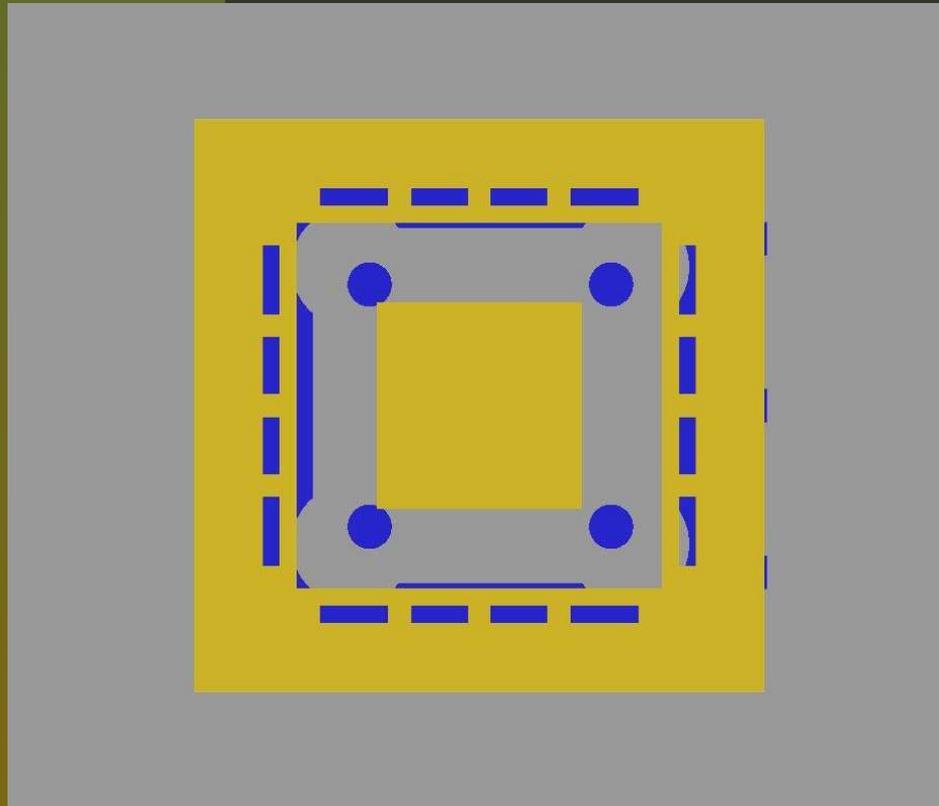
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

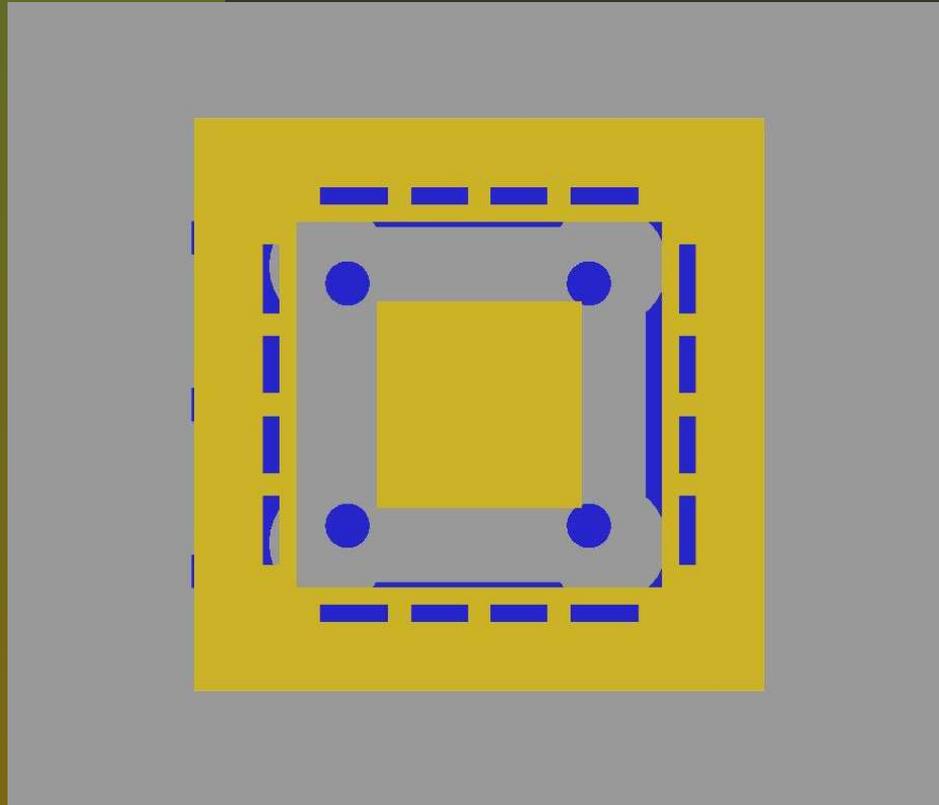


Toleranz: Verschiebung in x-Richtung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

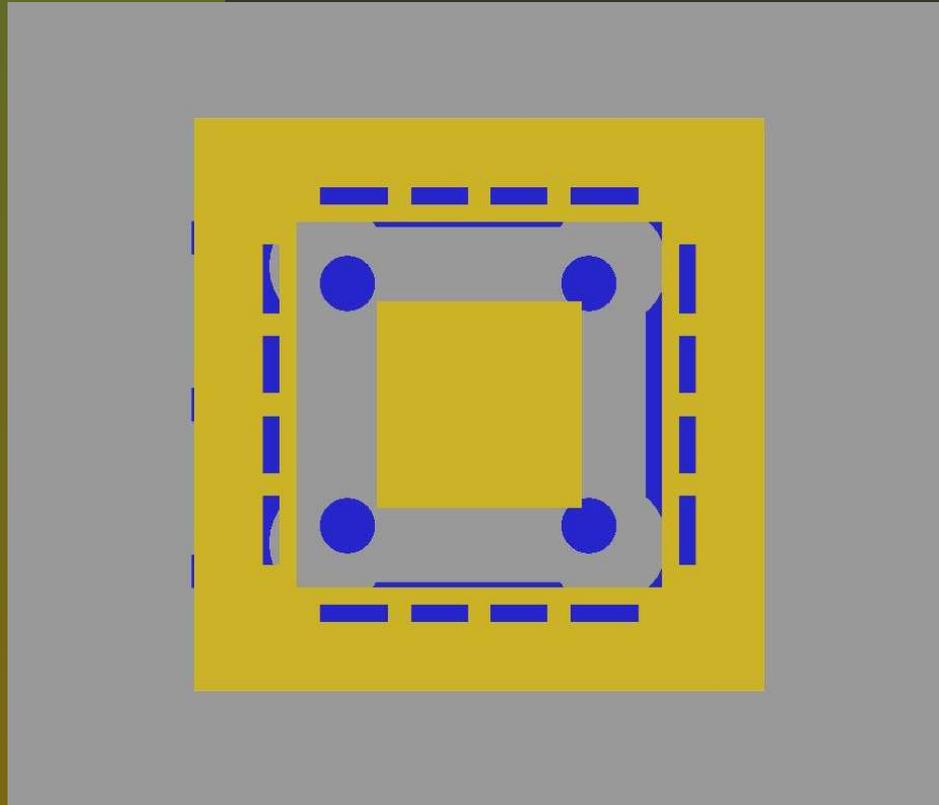


Toleranz: Verschiebung in x-Richtung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

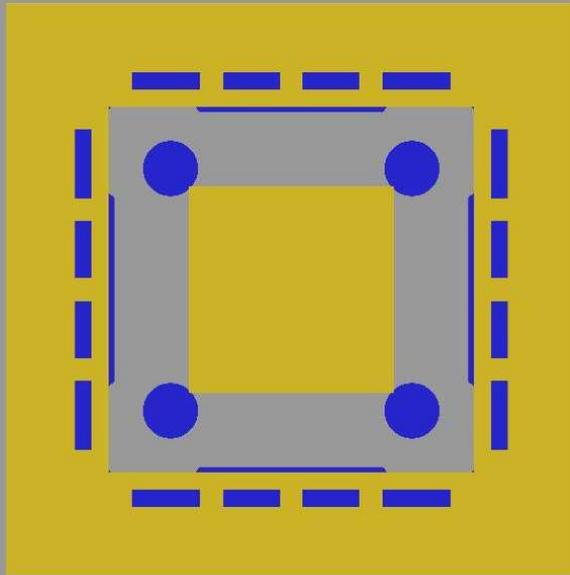


Toleranz: Verschiebung in x-Richtung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

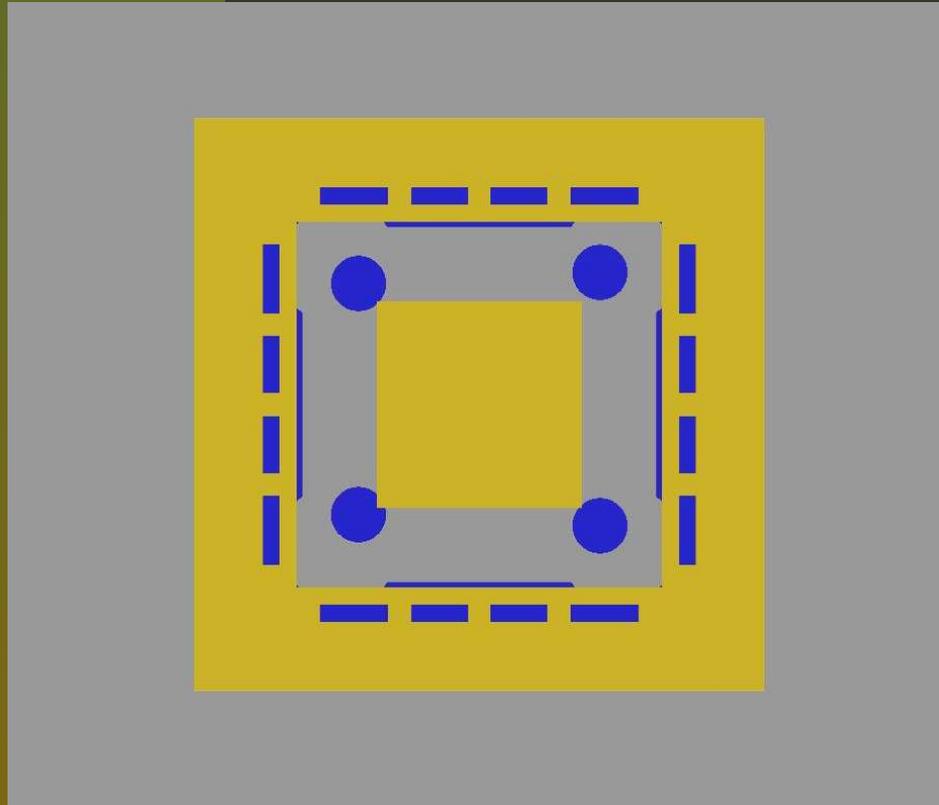
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

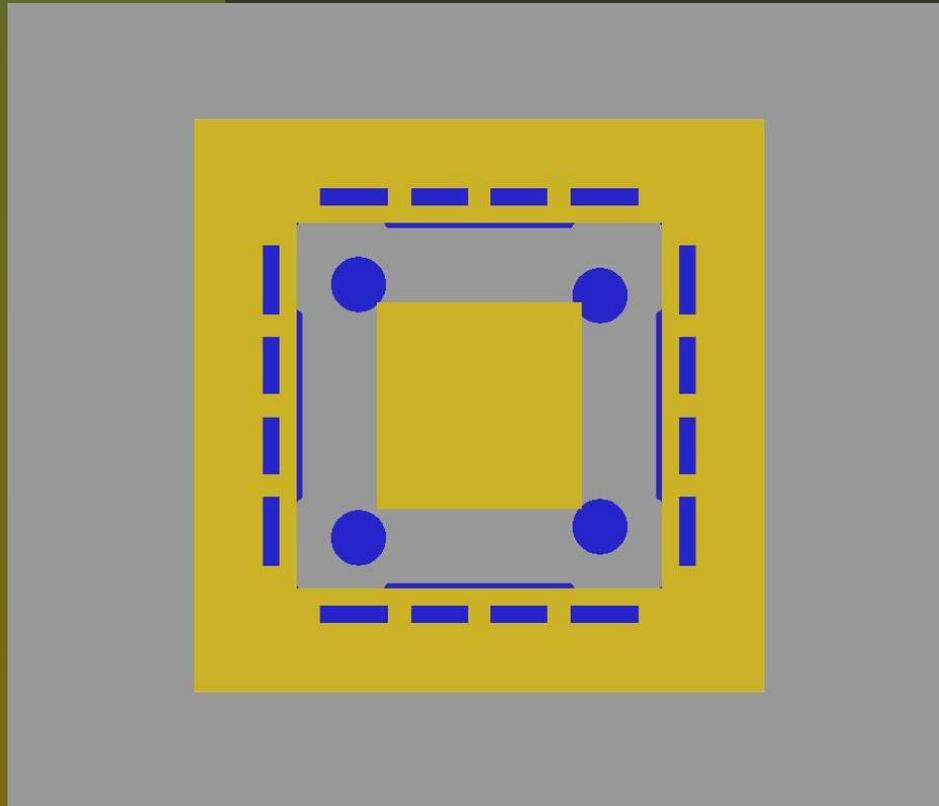


Toleranz: Verschiebung in y -Richtung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung

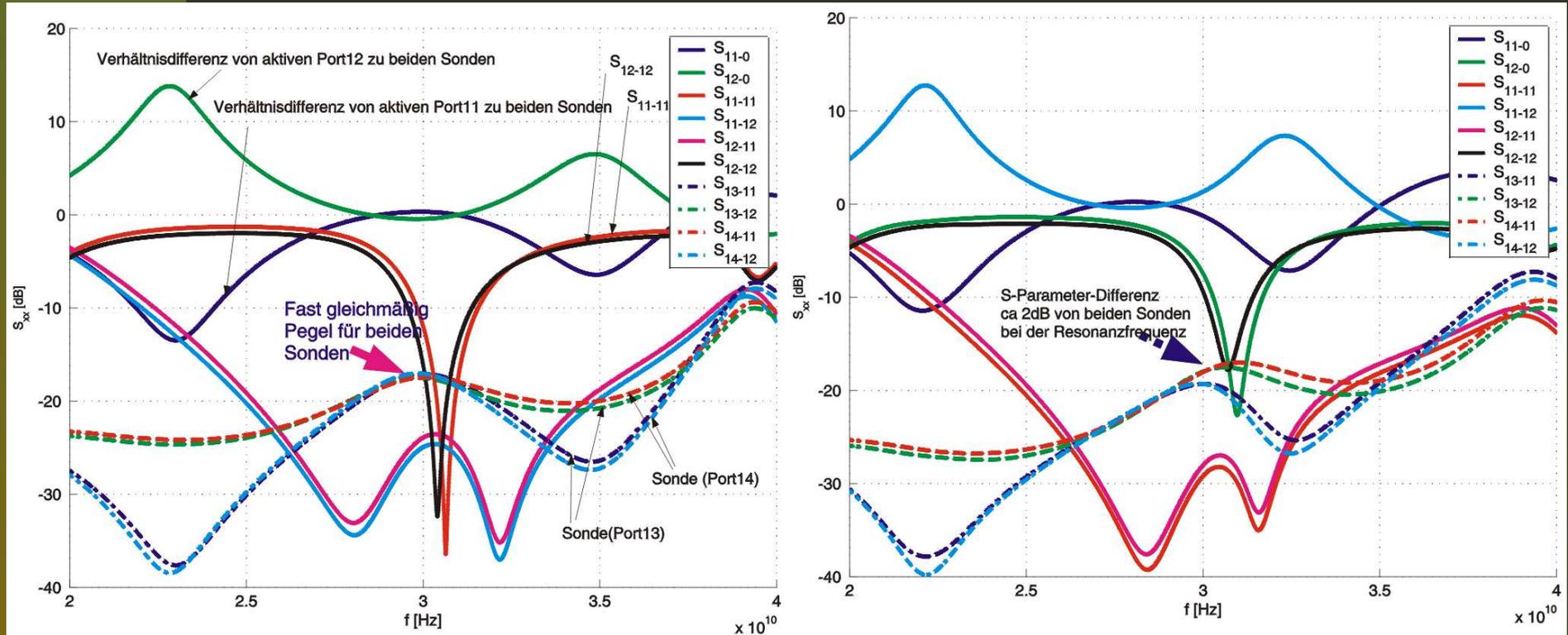
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



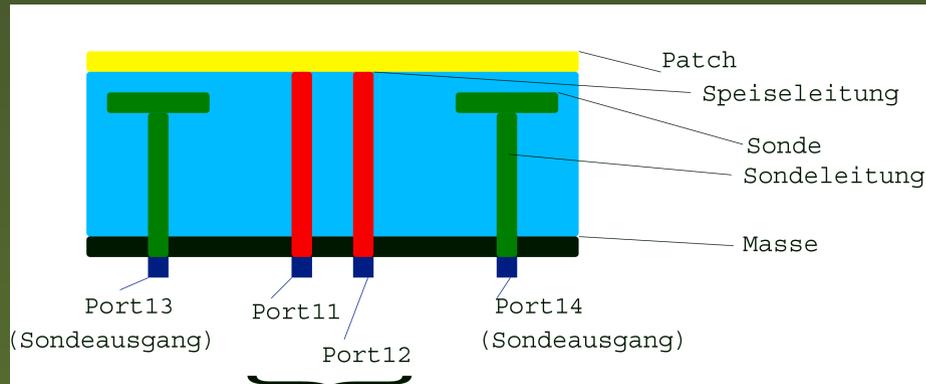
Toleranz: Verschiebung in y -Richtung

Hardwareoptimierung

Sondenoptimierung



Vergleich zwischen dem Optimierungsmodell(links) und dem Ausgangsmodellen(rechts):



Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
 - **Kalibriernetzwerkoptimierung**
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
 - Kalibriernetzwerkoptimierung
 - Optimierung des T-Netzwerkes
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
 - **Kalibriernetzwerkoptimierung**
 - Optimierung des T-Netzwerkes
 - Optimierung der Verbindungsnetzwerke
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Ziel:

Länge jeder Kalibrierleitung und Verzweigung $n \times \frac{\lambda}{2}$
.($n \in \mathbb{N}$)

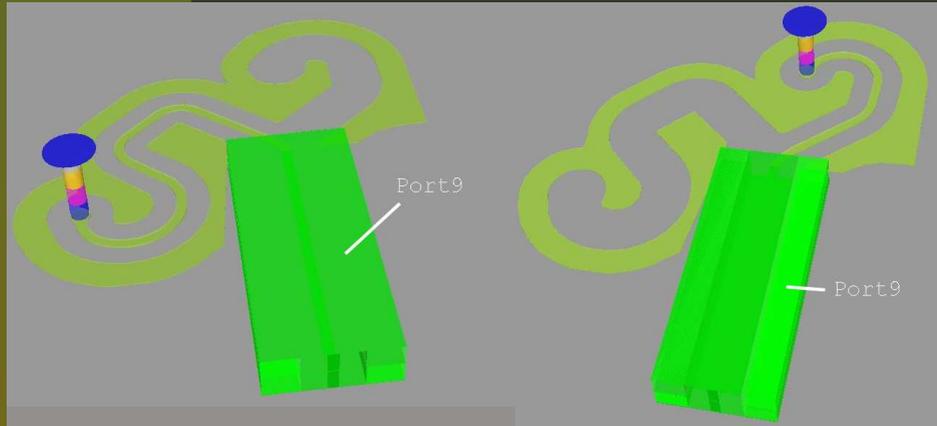


H F T

Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung

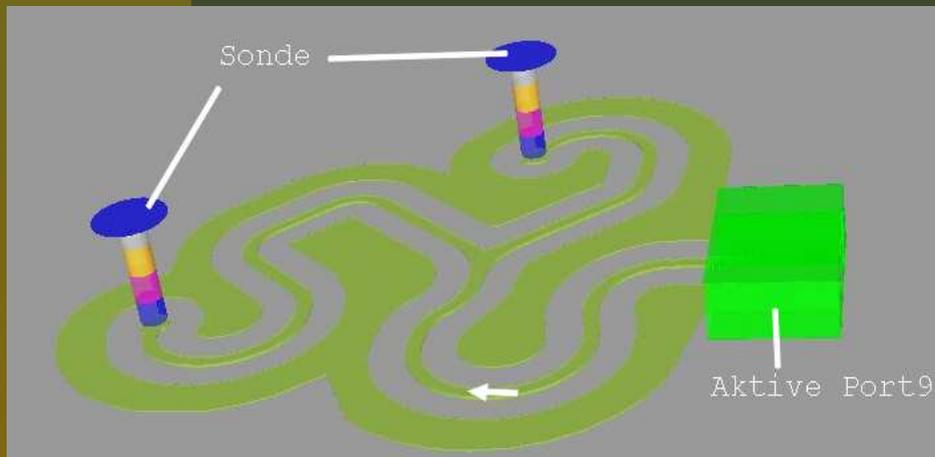
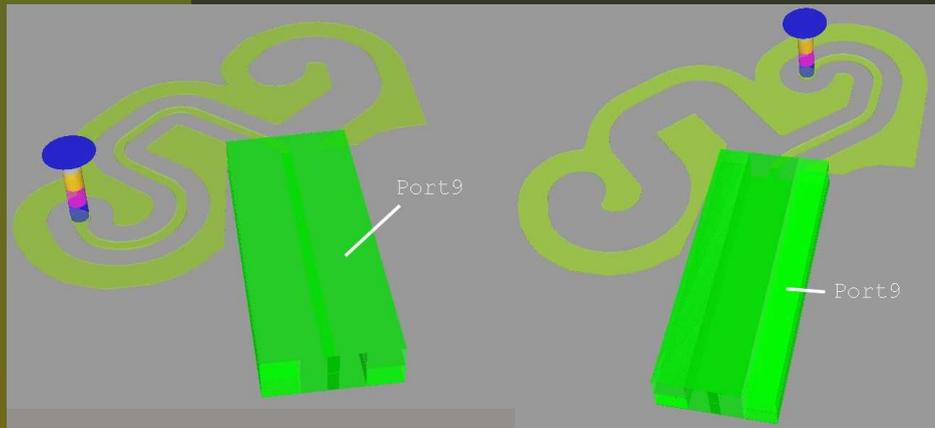
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung

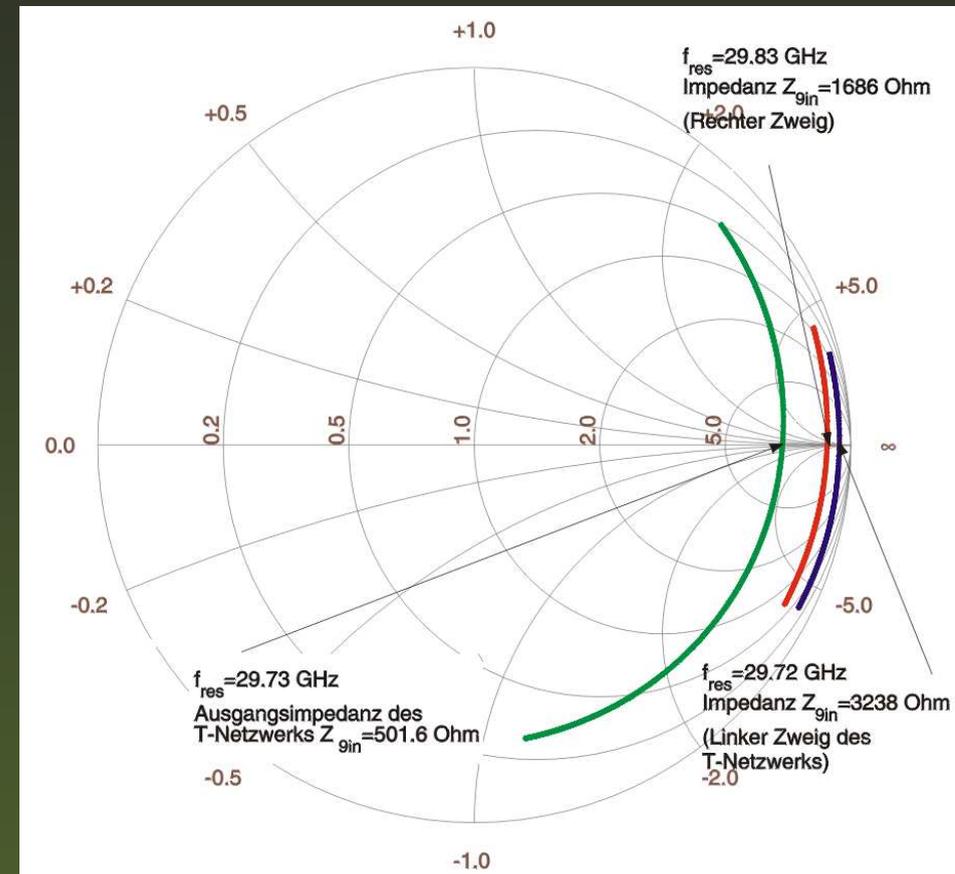
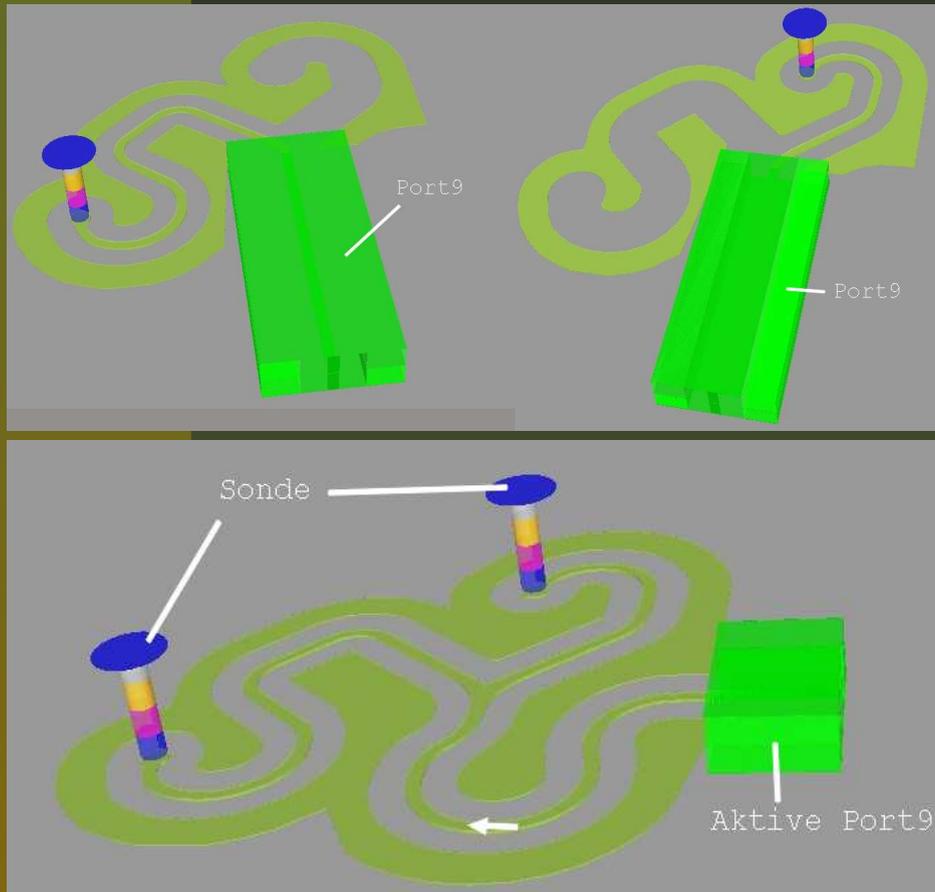
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

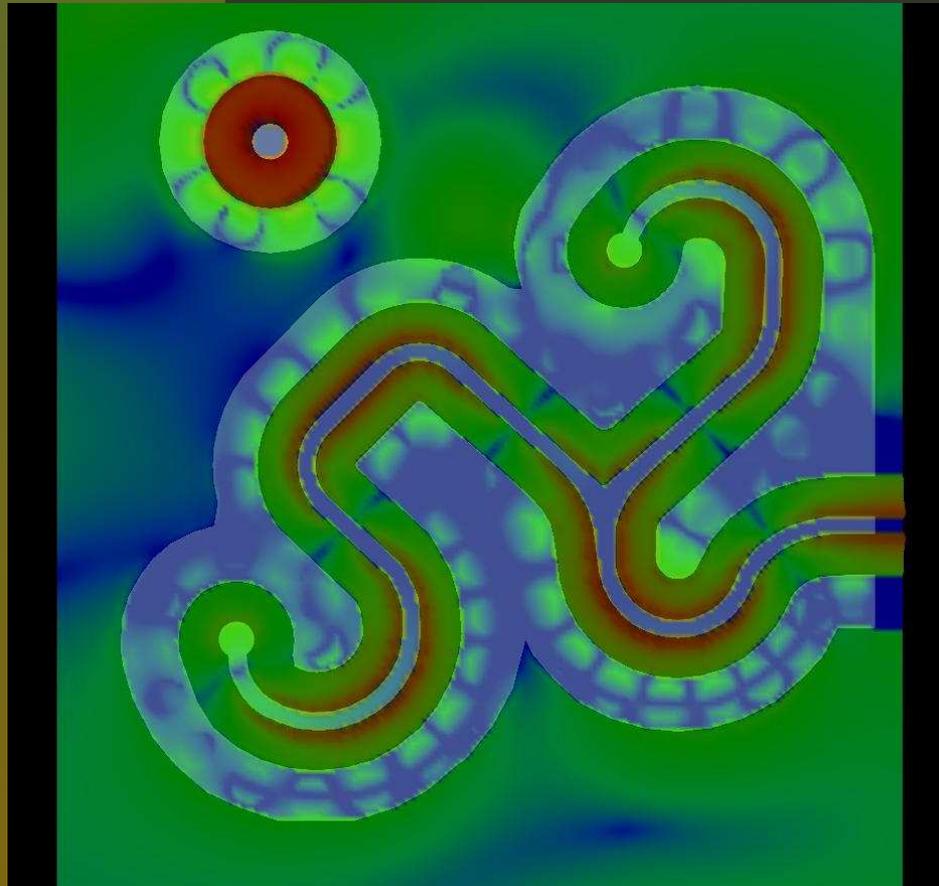


S-Parameter im Smith-Chart

Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



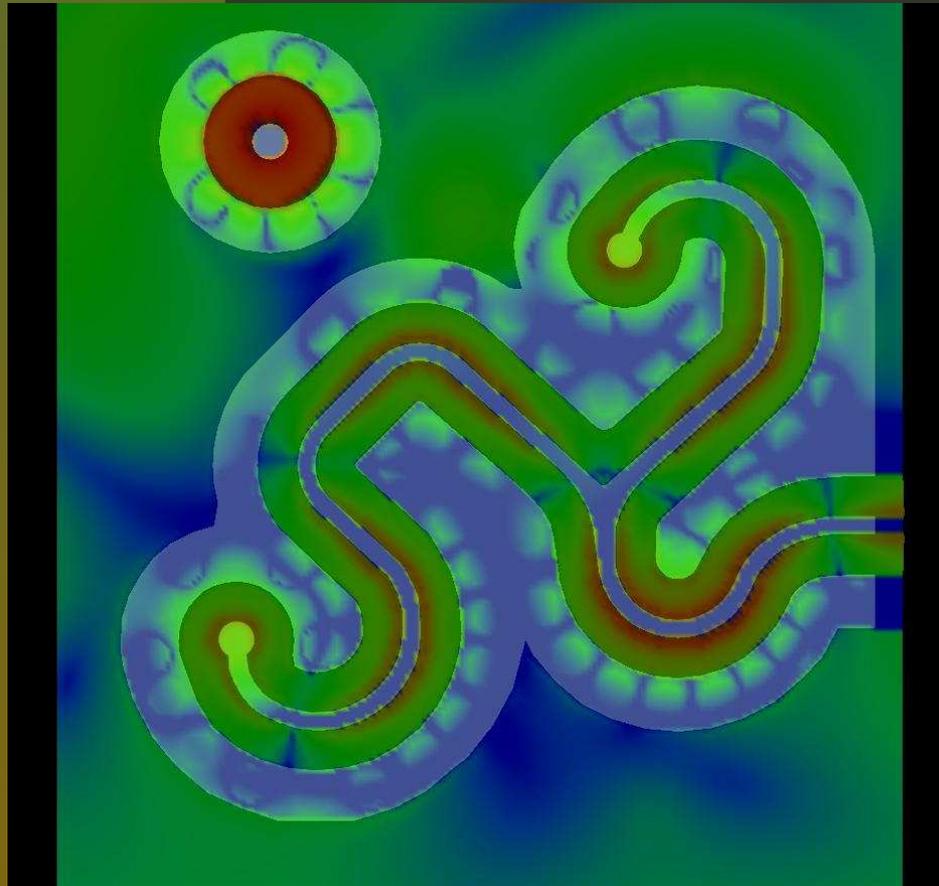
0°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



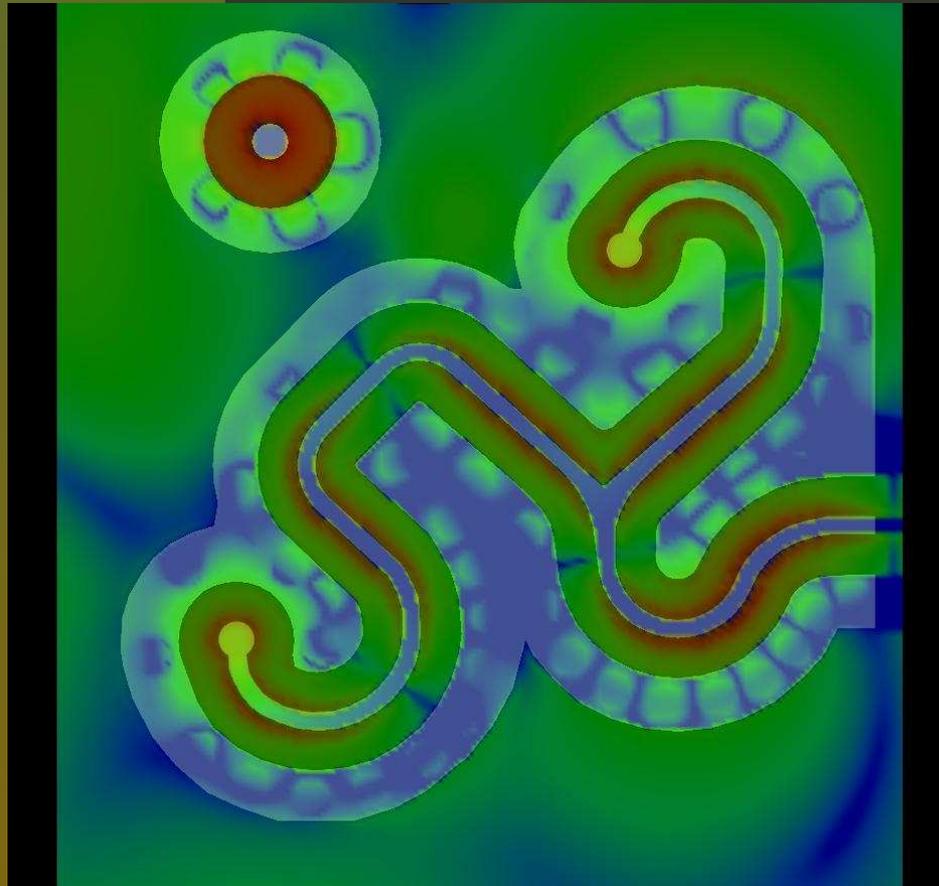
30°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



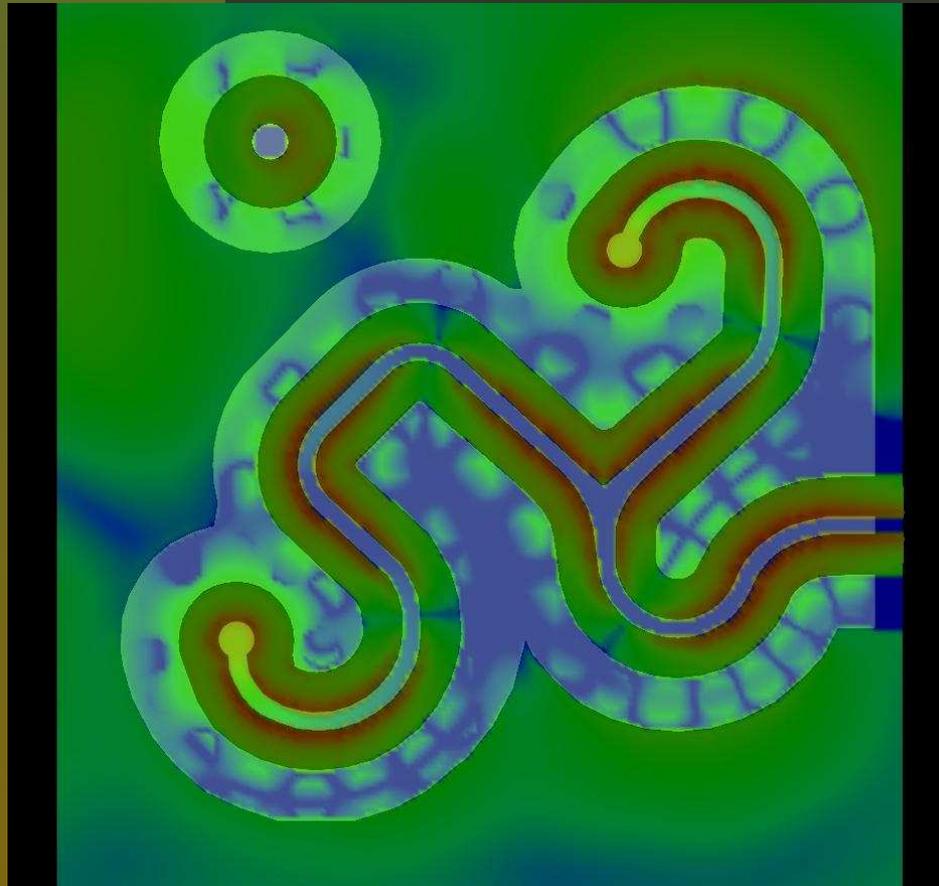
60°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



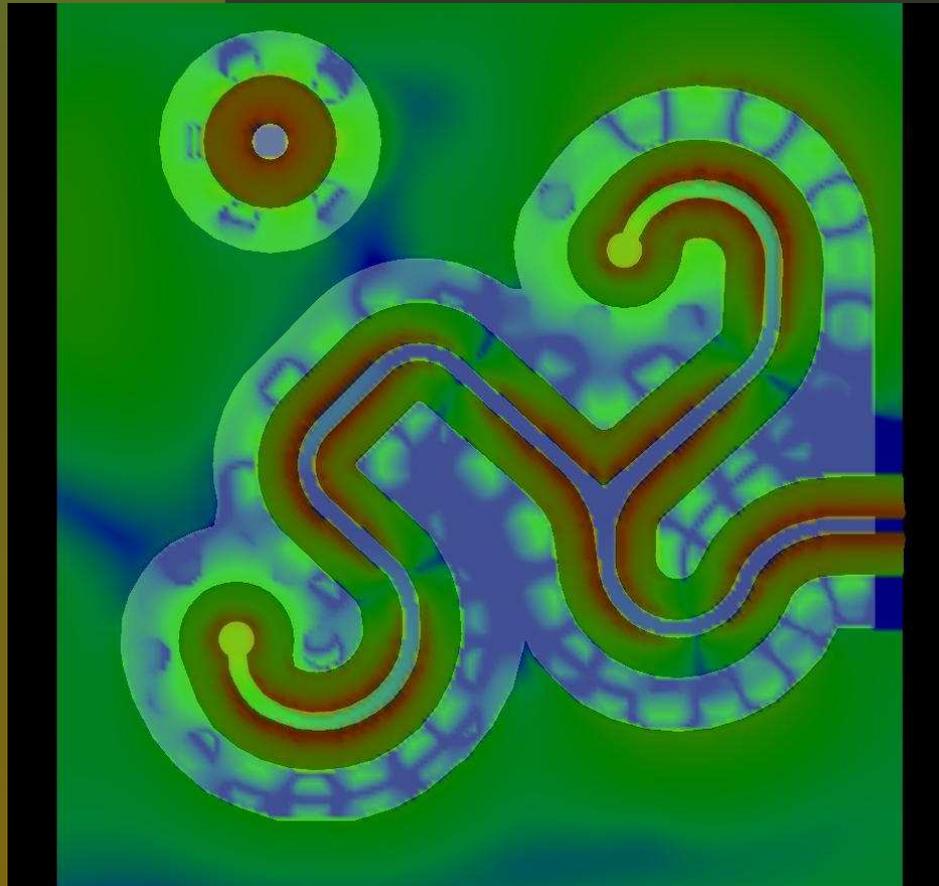
90°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



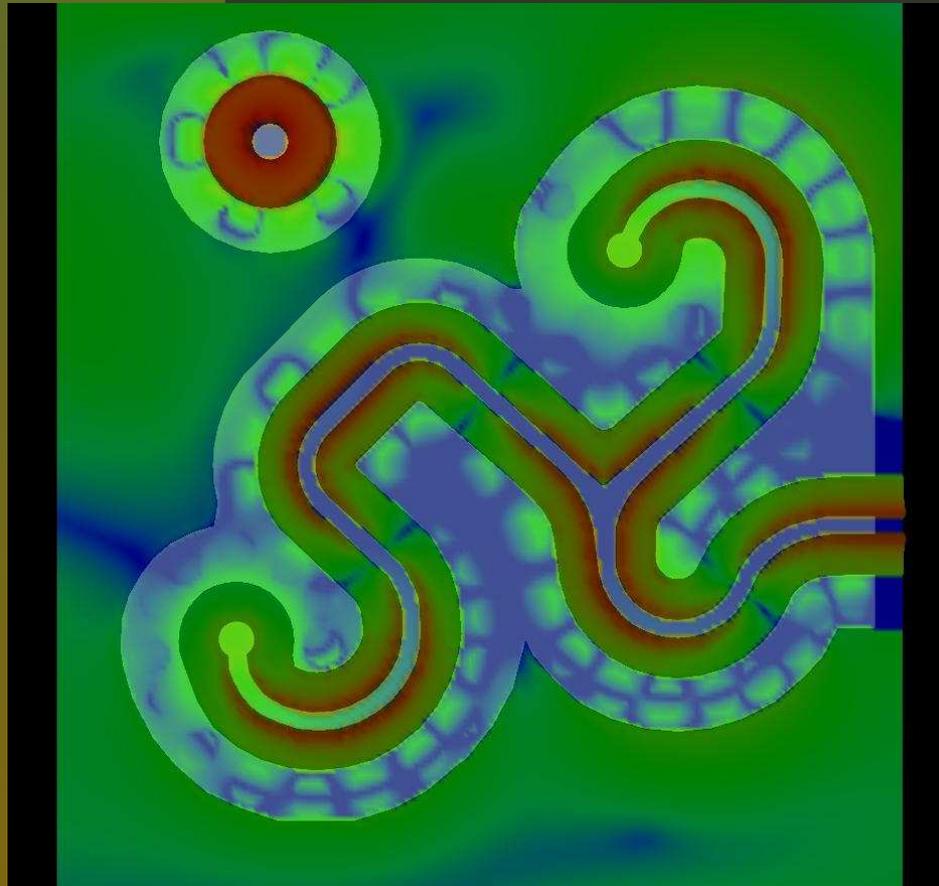
120°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



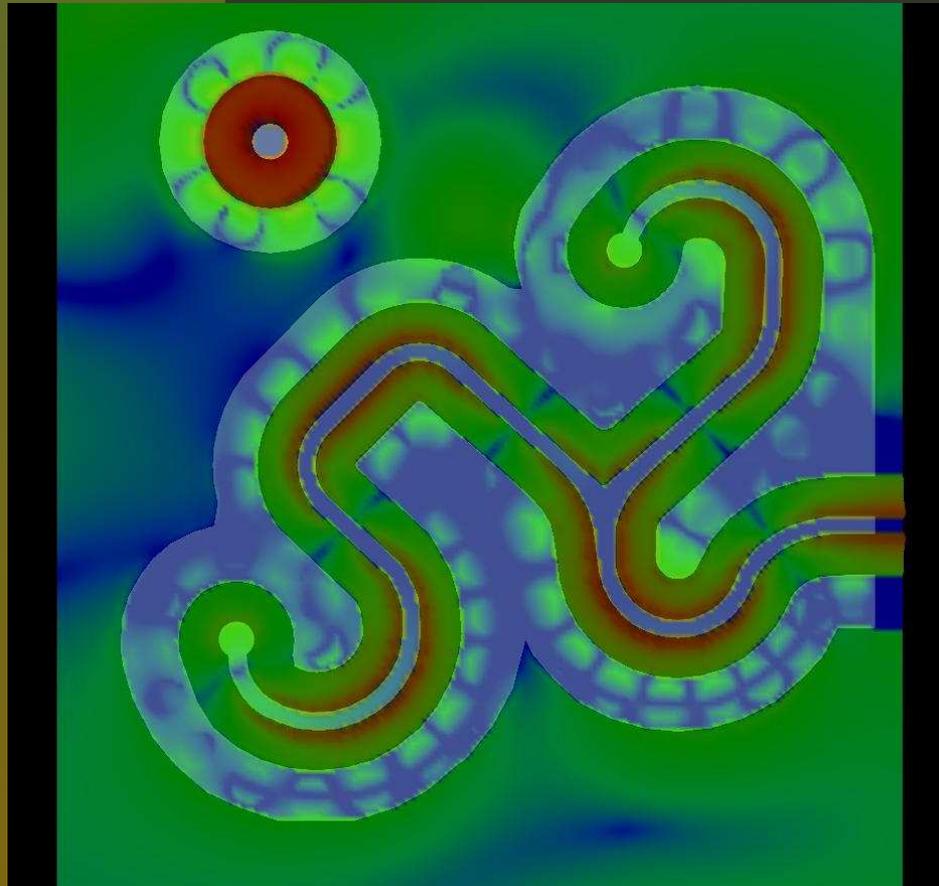
150°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



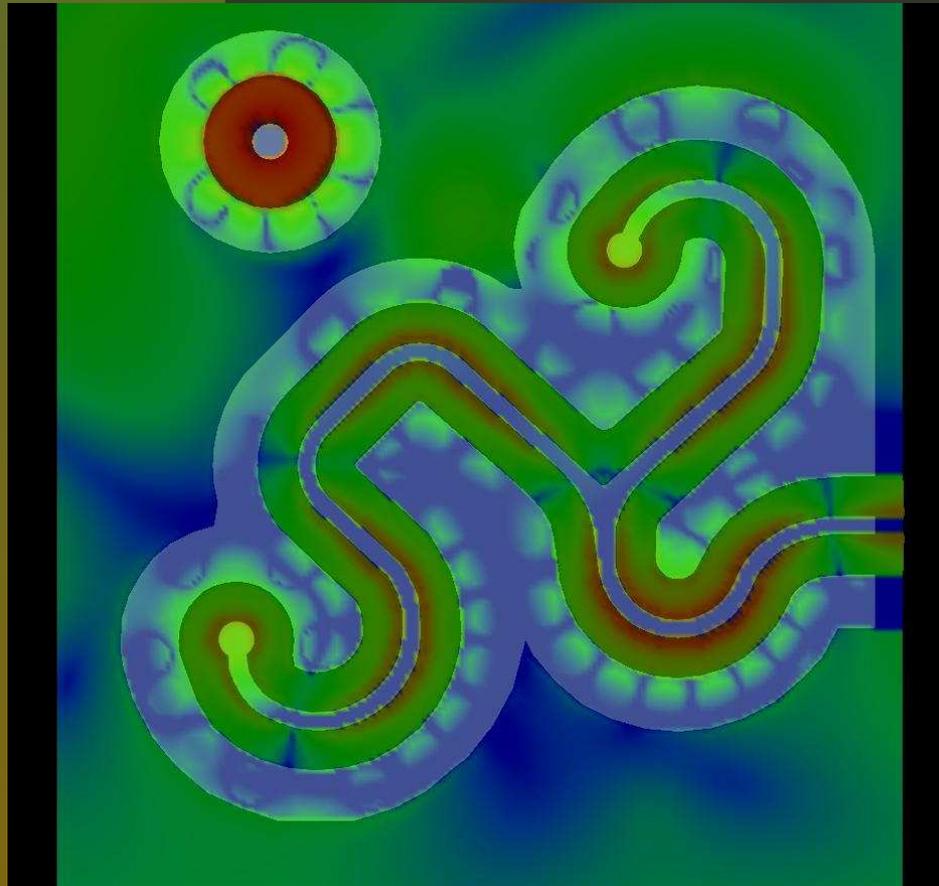
180°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



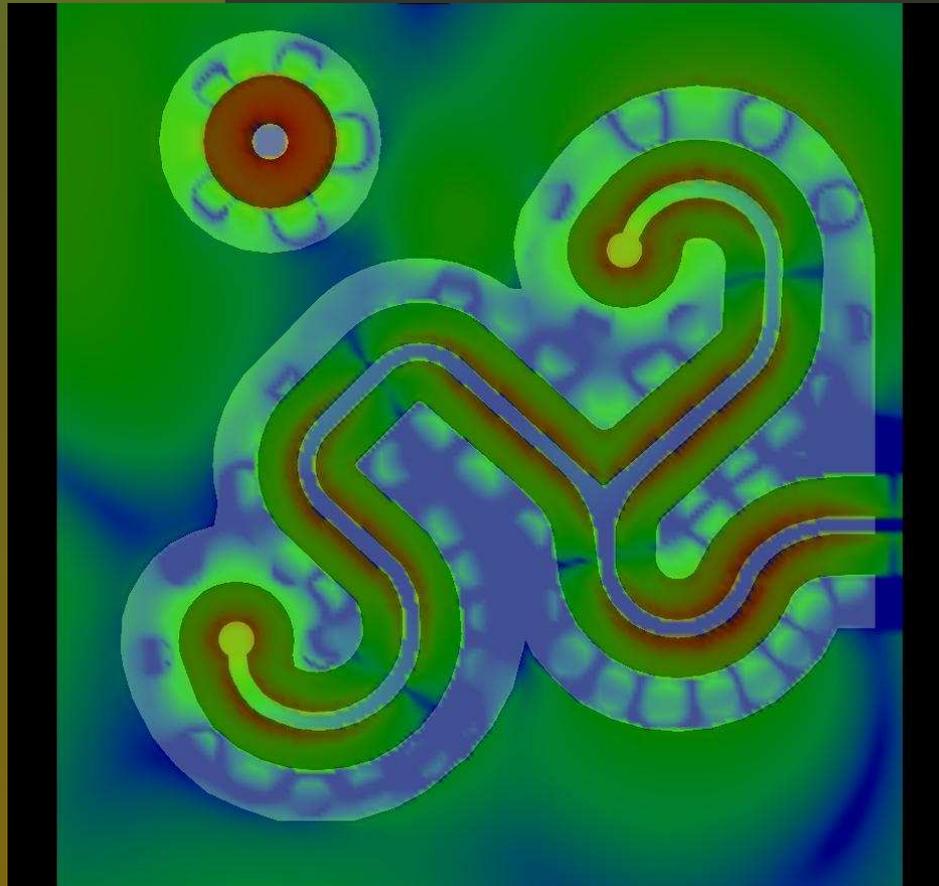
210°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



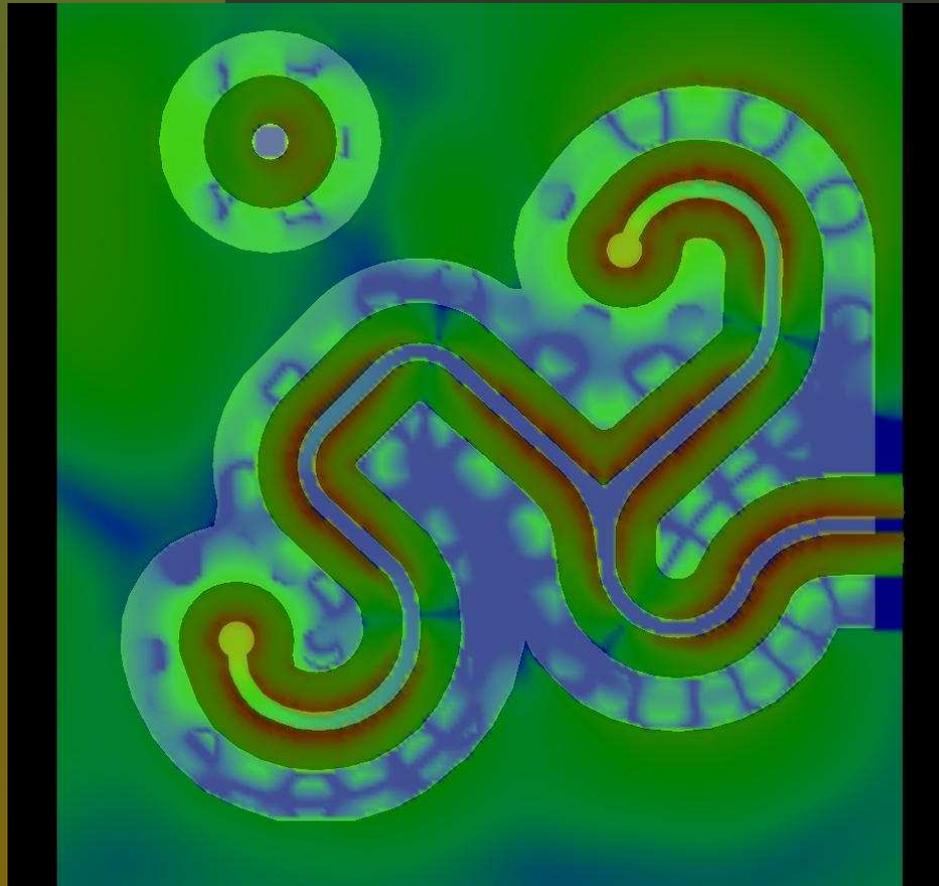
240°



Hardwareoptimierung

T-Netzwerkoptimierung - Animation

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



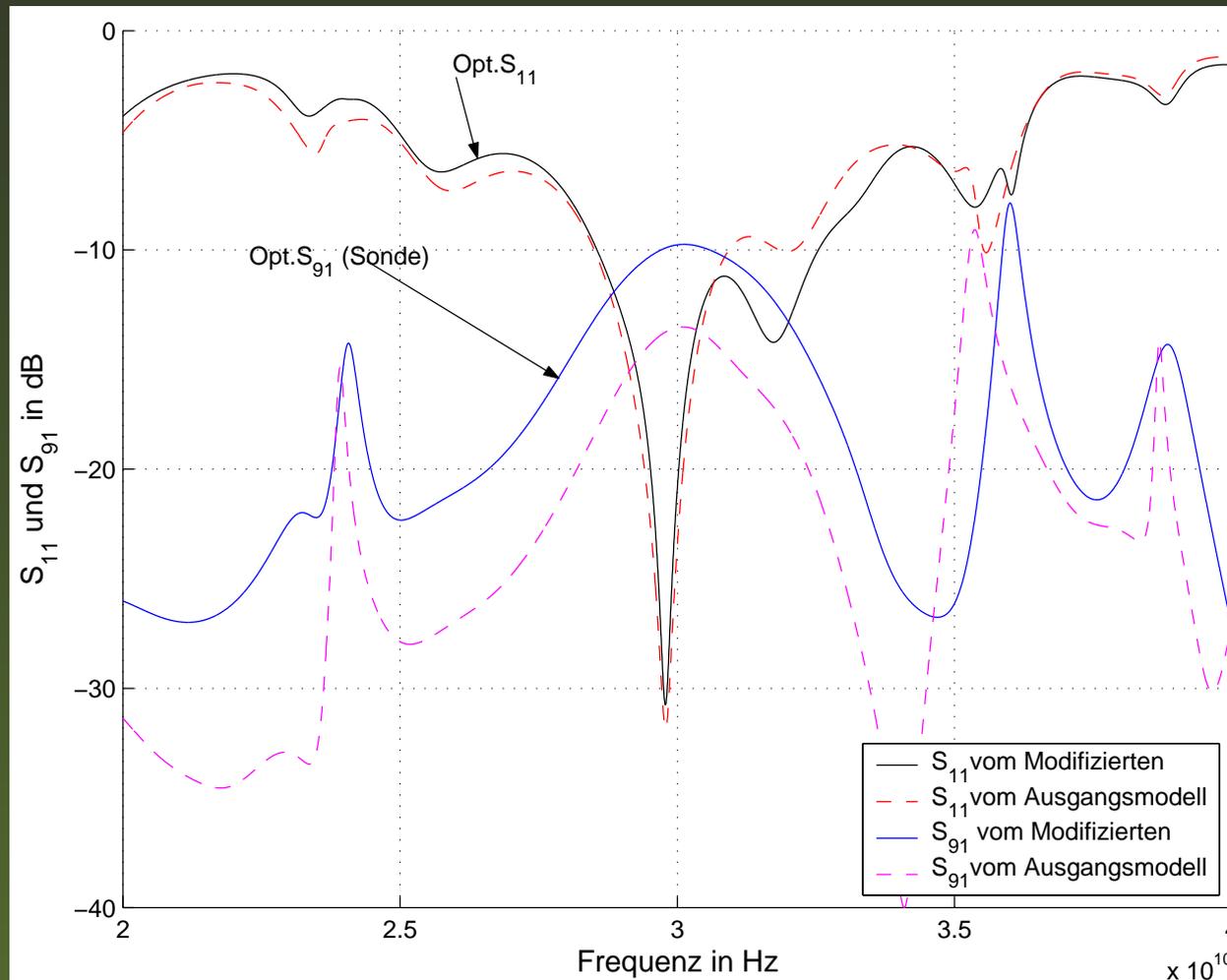
270°



HFT

Hardwareoptimierung

S-Parameter-Vergleich zwischen den ursprünglichen- und optimierten Antennenelementen mit T-Netzwerk



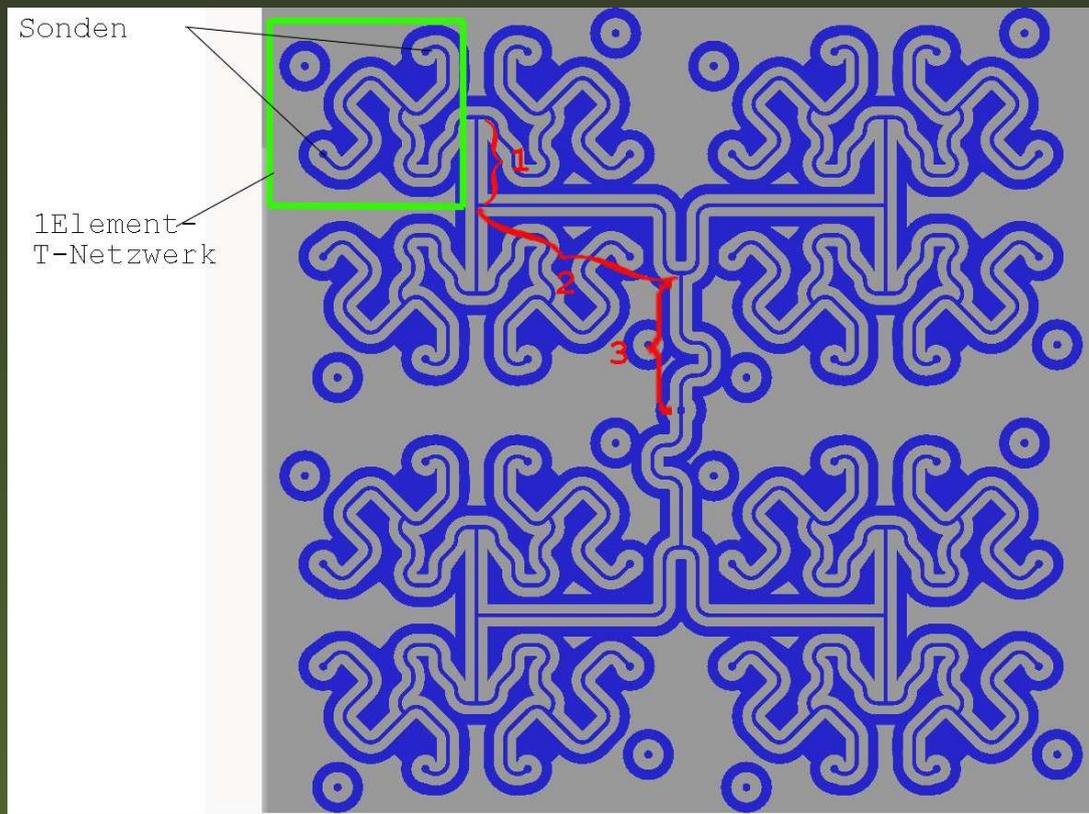
Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierenden Antennensystem
- Hardwareoptimierung
 - Kalibriersondenoptimierung
 - Kalibriernetzwerkoptimierung
 - Optimierung des T-Netzwerkes
 - Optimierung der Verbindungsnetzwerke
- Kalibrierung der Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Hardwareoptimierung

Leitung berechnenbar wie Triplate-Leitung

$$Z_{F-Triplate} = \sqrt{\frac{L^*}{C^*}} = \frac{1}{C^* v_p}$$



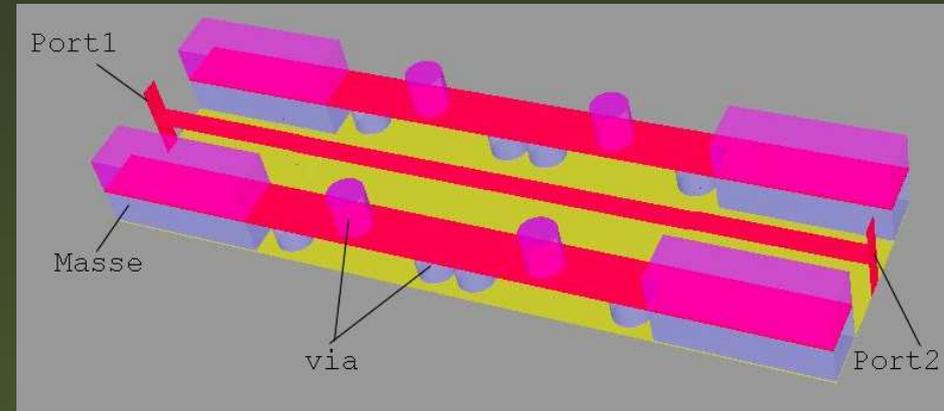
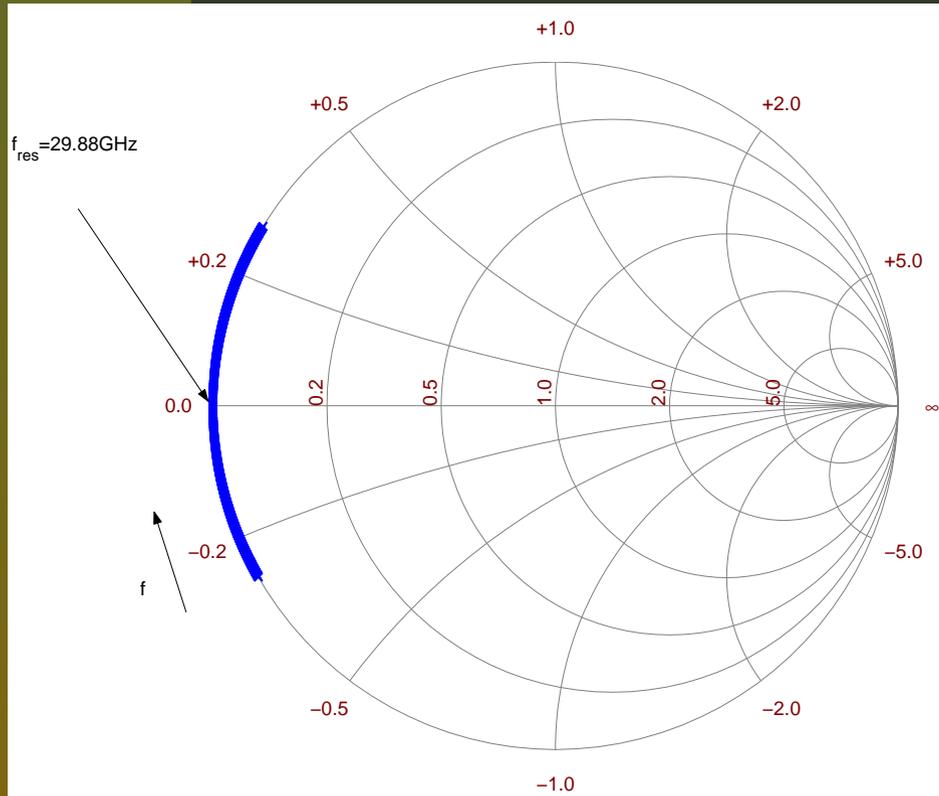
Verbindungsnetzwerk eines 4x4 Arrays

Hardwareoptimierung

Kalibriernetzwerkoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Reflexion s_{21}



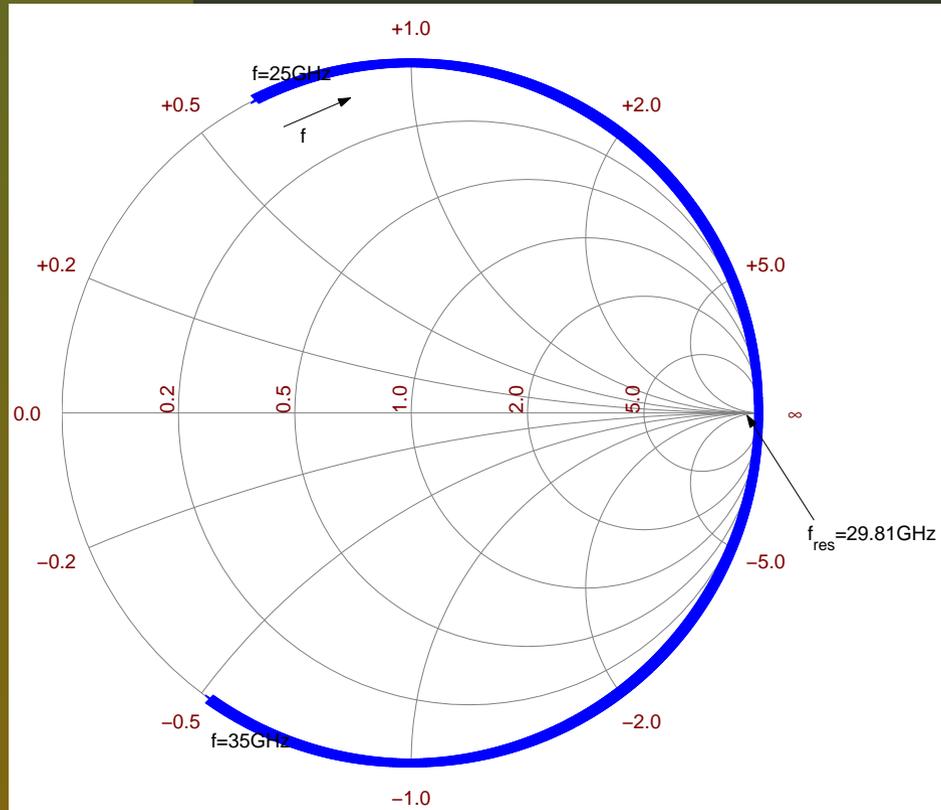
s_{21} von der 1. Leitungsmodell

Hardwareoptimierung

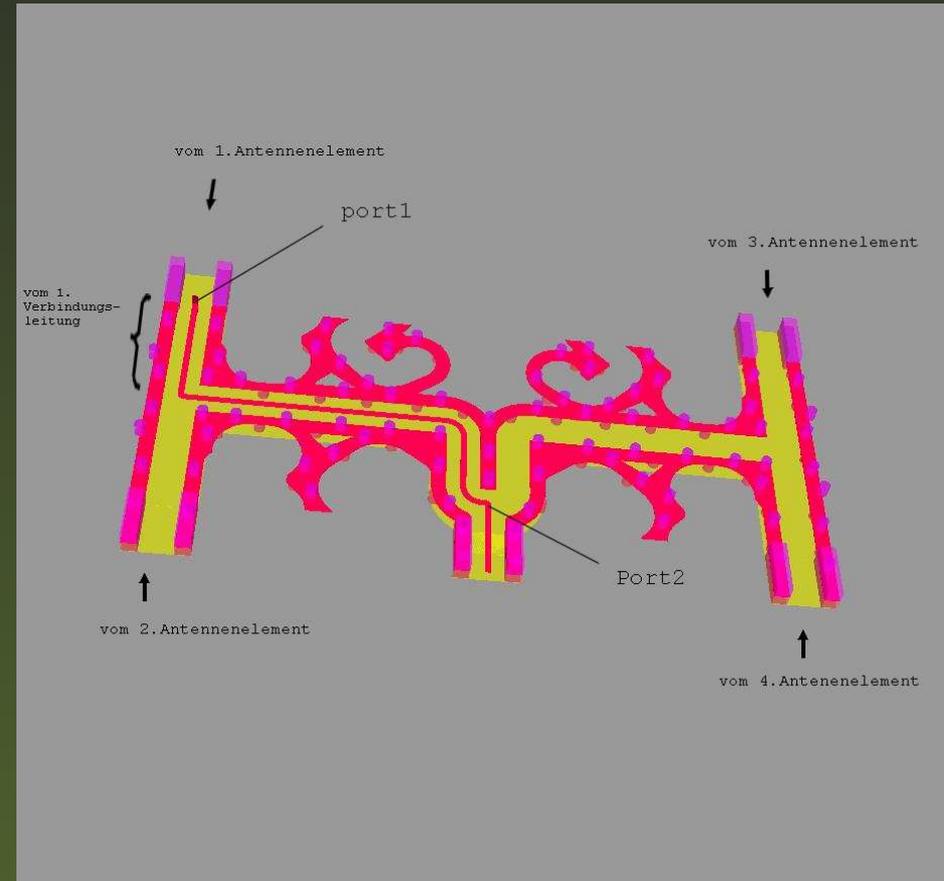
Kalibriernetzwerkoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Reflexion s_{21}



s_{21} von der 2. Leitungsmodell

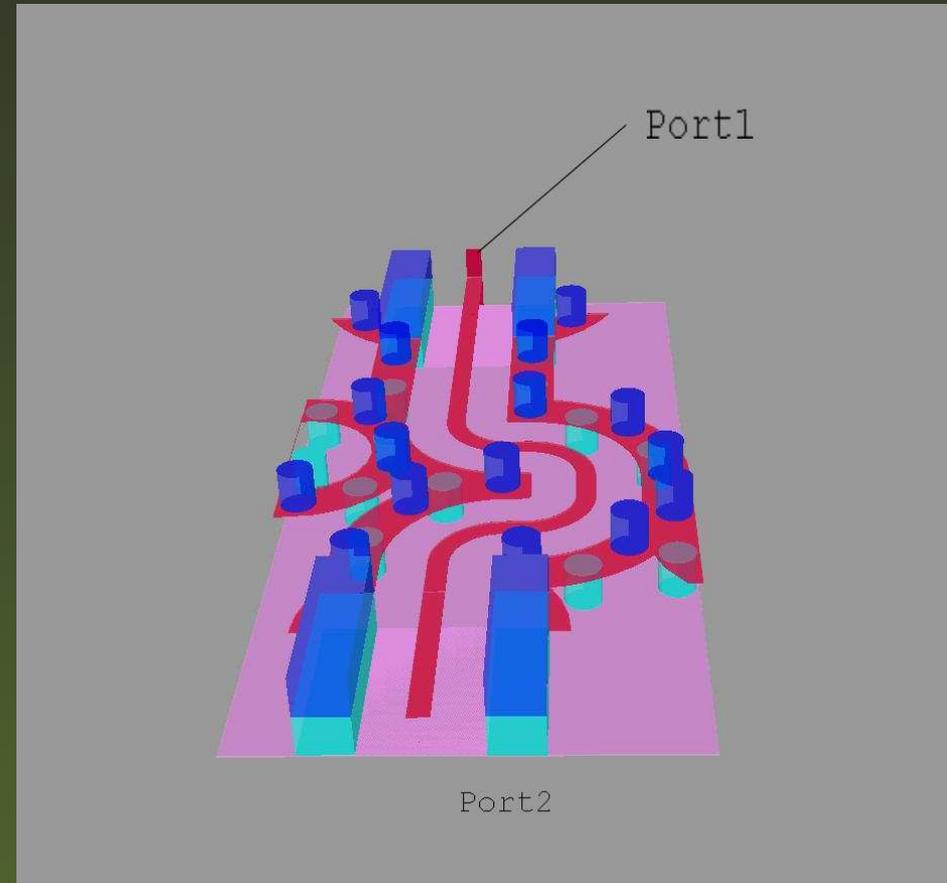
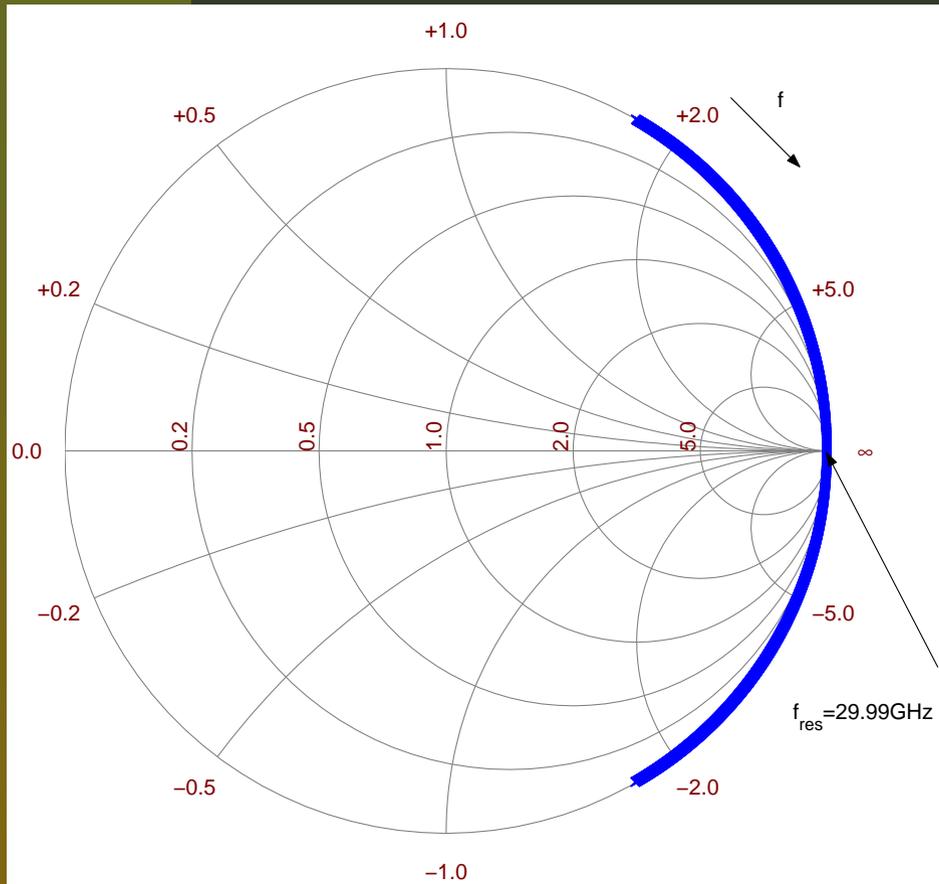


Hardwareoptimierung

Kalibriernetzwerkoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Reflexion s_{21}



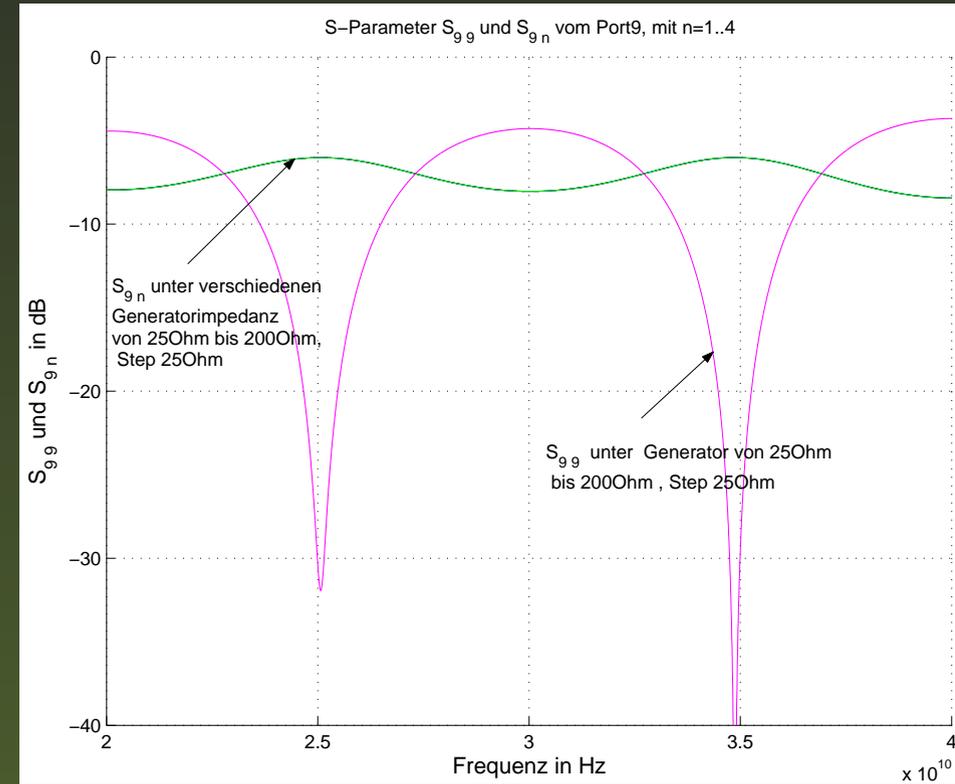
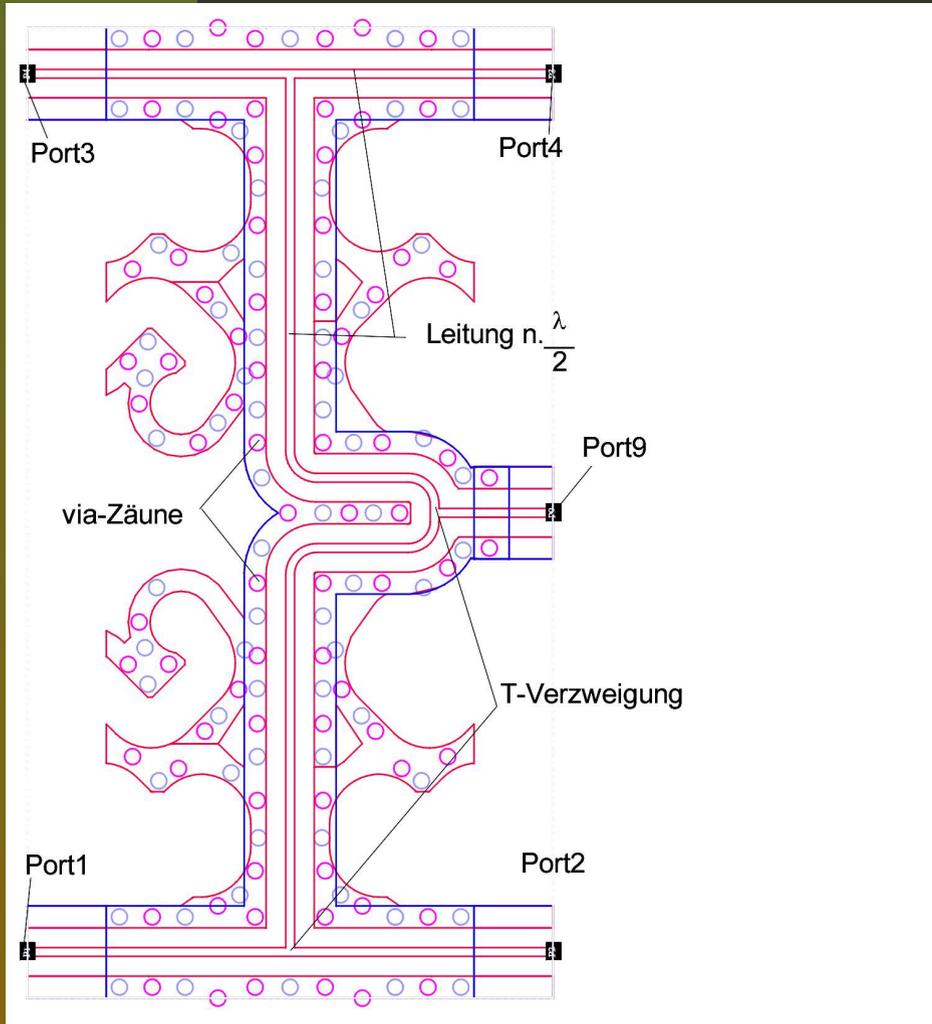
s_{21} von der 3. Leitungsmodell



Hardwareoptimierung

Reflektion der T-Verzweigung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Das S-Parameter der T-Verzweigung

Hardwareoptimierung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Diskussion



Hardwareoptimierung

Diskussion

- Optimierung durch einen laborüblicher PC zum Einsatz

Hardwareoptimierung

Diskussion

- Optimierung durch einen laborüblicher PC zum Einsatz
- Zentrale Bedeutung für eine erfolgreiche Kalibrierung hat die Kalibriersonde.

Hardwareoptimierung

Diskussion

- Optimierung durch einen laborüblicher PC zum Einsatz
- Zentrale Bedeutung für eine erfolgreiche Kalibrierung hat die Kalibriersonde.
- Wichtigstes Ergebnis dieses Kapitels ist die Optimierung der Position und des Durchmessers der Kalibriersonden.

Hardwareoptimierung

Diskussion

- Optimierung durch einen laborüblicher PC zum Einsatz
- Zentrale Bedeutung für eine erfolgreiche Kalibrierung hat die Kalibriersonde.
- Wichtigstes Ergebnis dieses Kapitels ist die Optimierung der Position und des Durchmessers der Kalibriersonden.
- Die Bandbreite der Antenne wird etwas vergrößert durch die entsprechende Optimierung des Kalibriernetzwerks

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Verformung der Apertur
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Verformung der Apertur
 - Verkopplung der Antennenelemente
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab

■ Zusammenfassung

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Verformung der Apertur



HFT

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Verformung der Apertur

- Durch die herstellungsbedingte Toleranz



Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Verformung der Apertur

- Durch die herstellungsbedingte Toleranz
- Durch temperaturbeeinflusste Verformung der Trägermaterialien



Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

Verformung der Apertur

- Durch die herstellungsbedingte Toleranz
- Durch temperaturbeeinflusste Verformung der Trägermaterialien

$$\mathbf{G} = \left\{ \begin{array}{cccc} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & g_{n.n} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Verkopplung der Antennenelemente



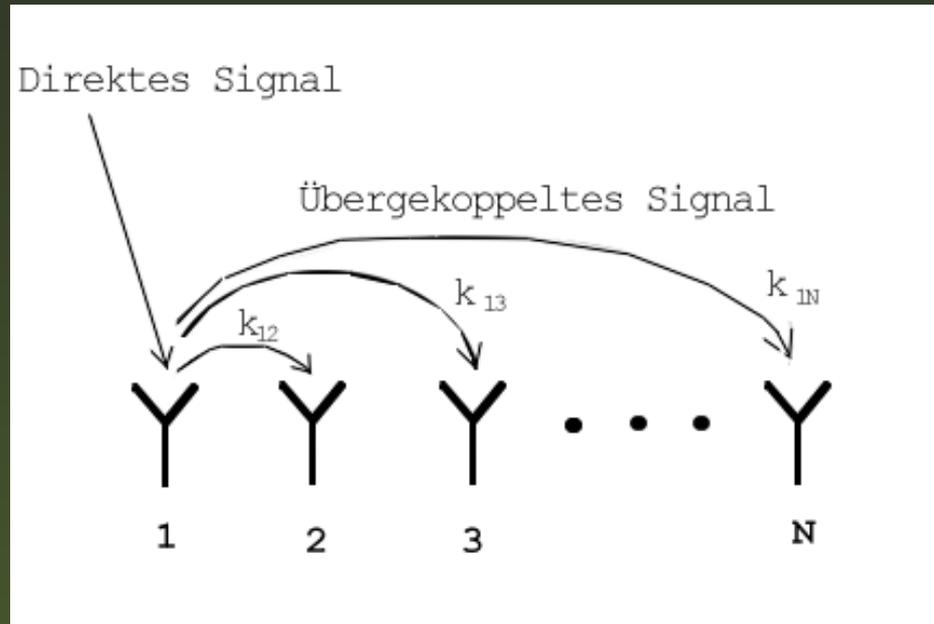
H F T

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

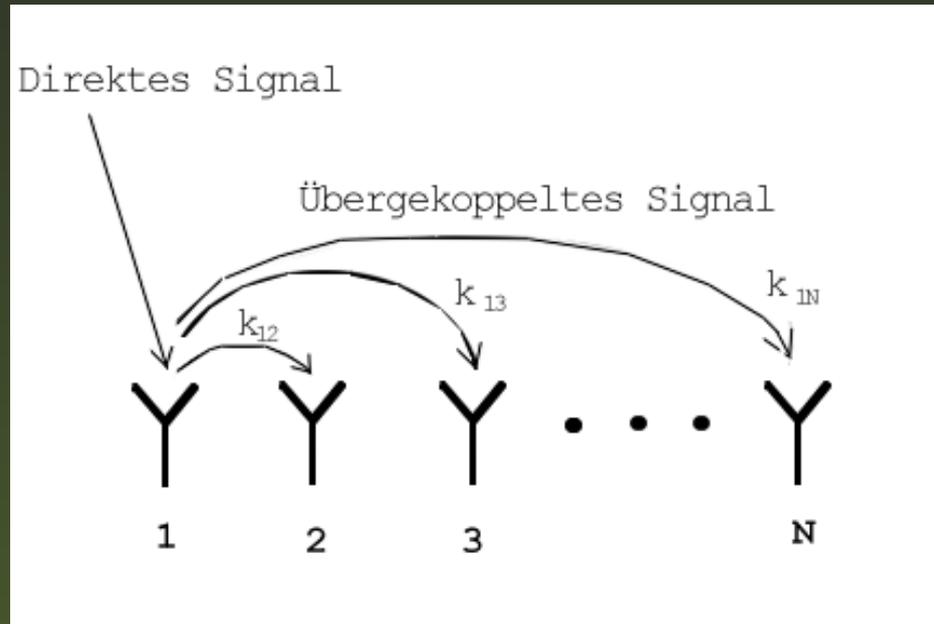
Verkopplung der Antennenelemente



Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

Verkopplung der Antennenelemente

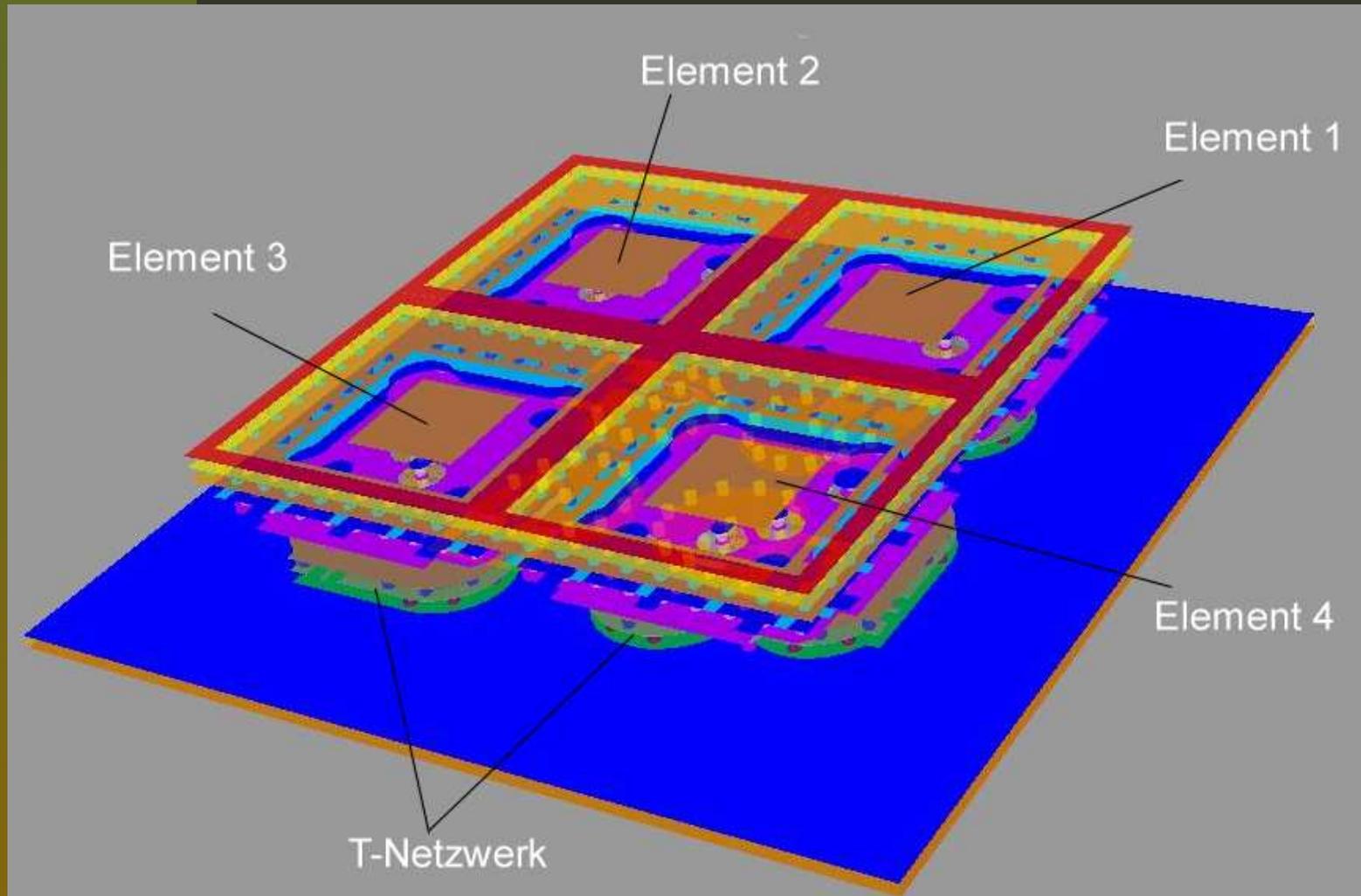


$$\mathbf{K} = \left\{ \begin{array}{cccc} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Kalibrierung von Gruppenantenne

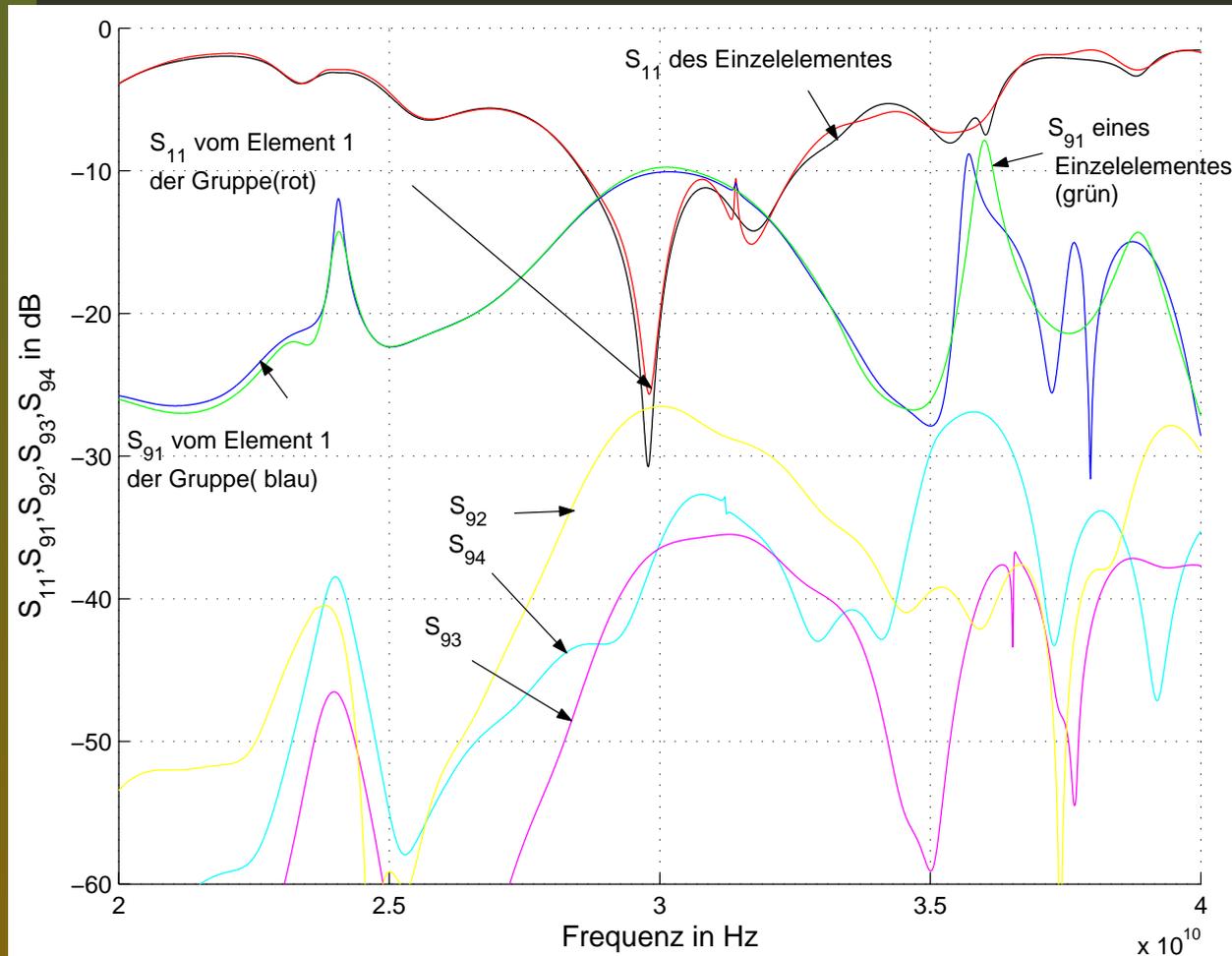
Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

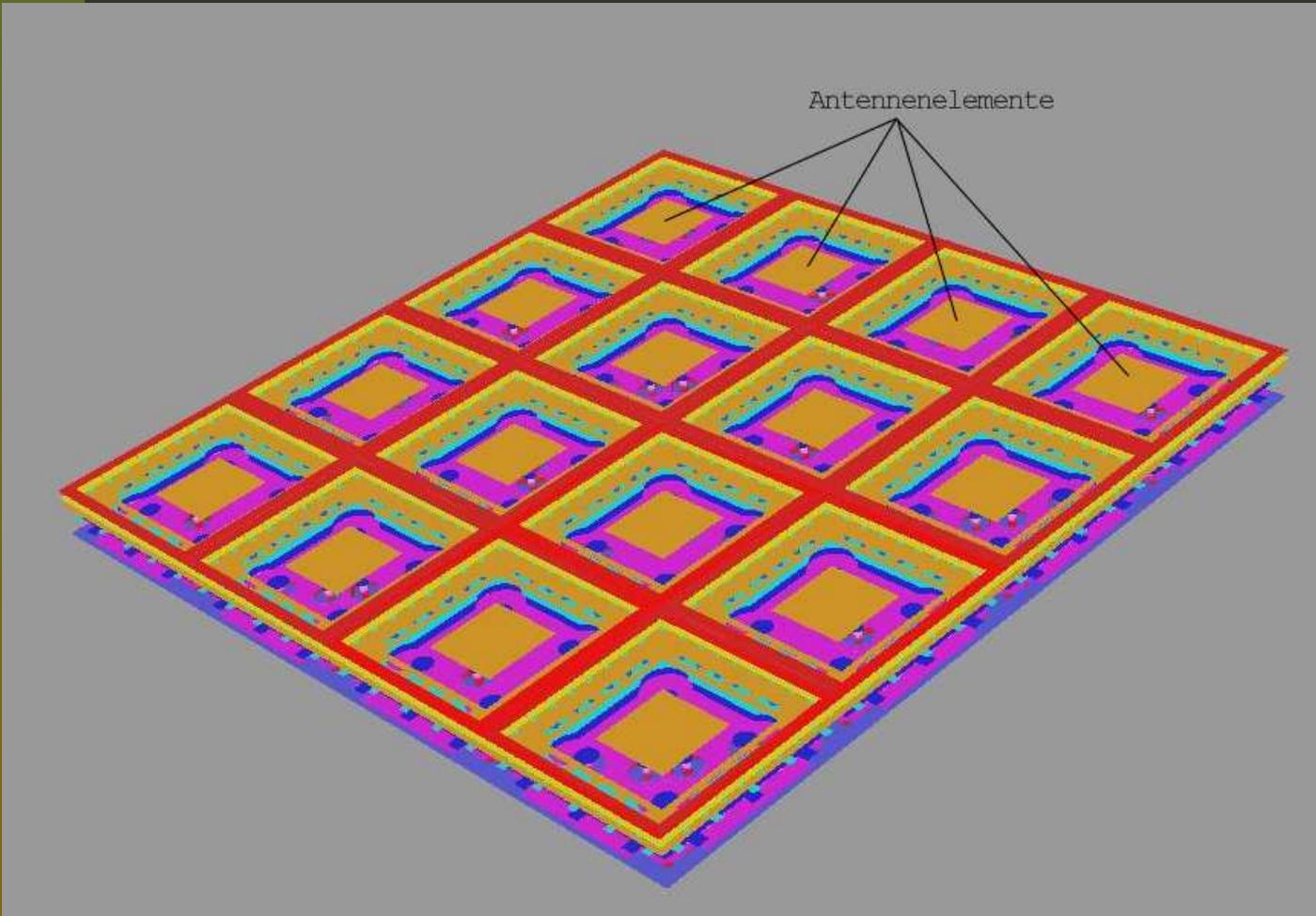


S-Parameter Vergleich zwischen einem Einzelelement und einem Element 1 der Antennengruppe.

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

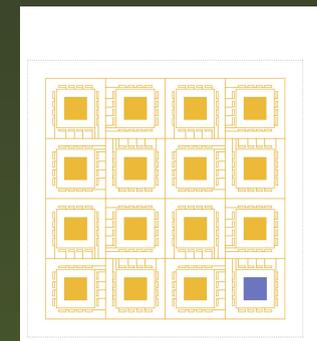
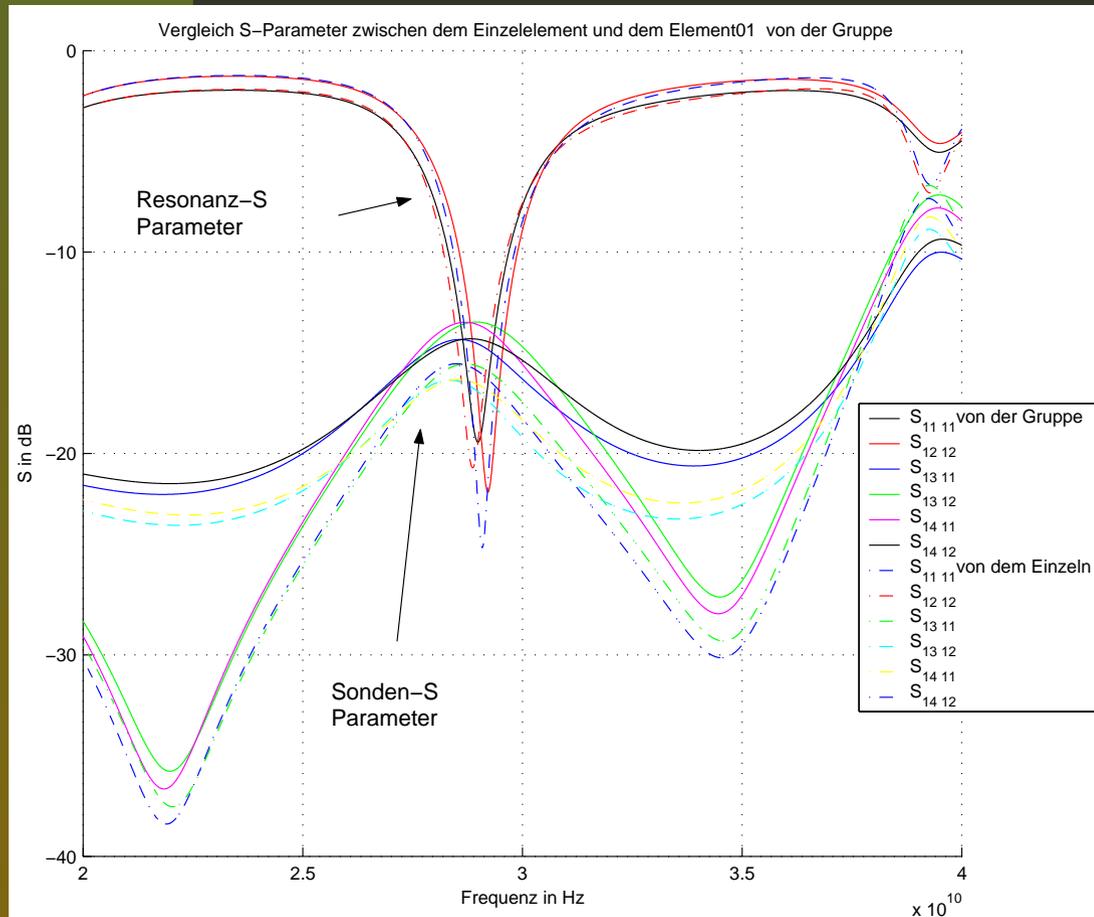
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Verkopplungsmodell mit 16 Antennenelemente

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

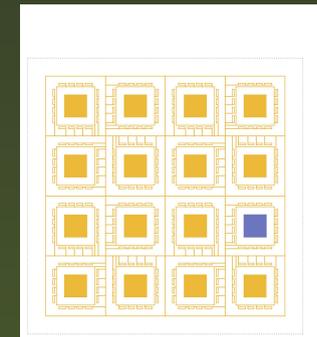
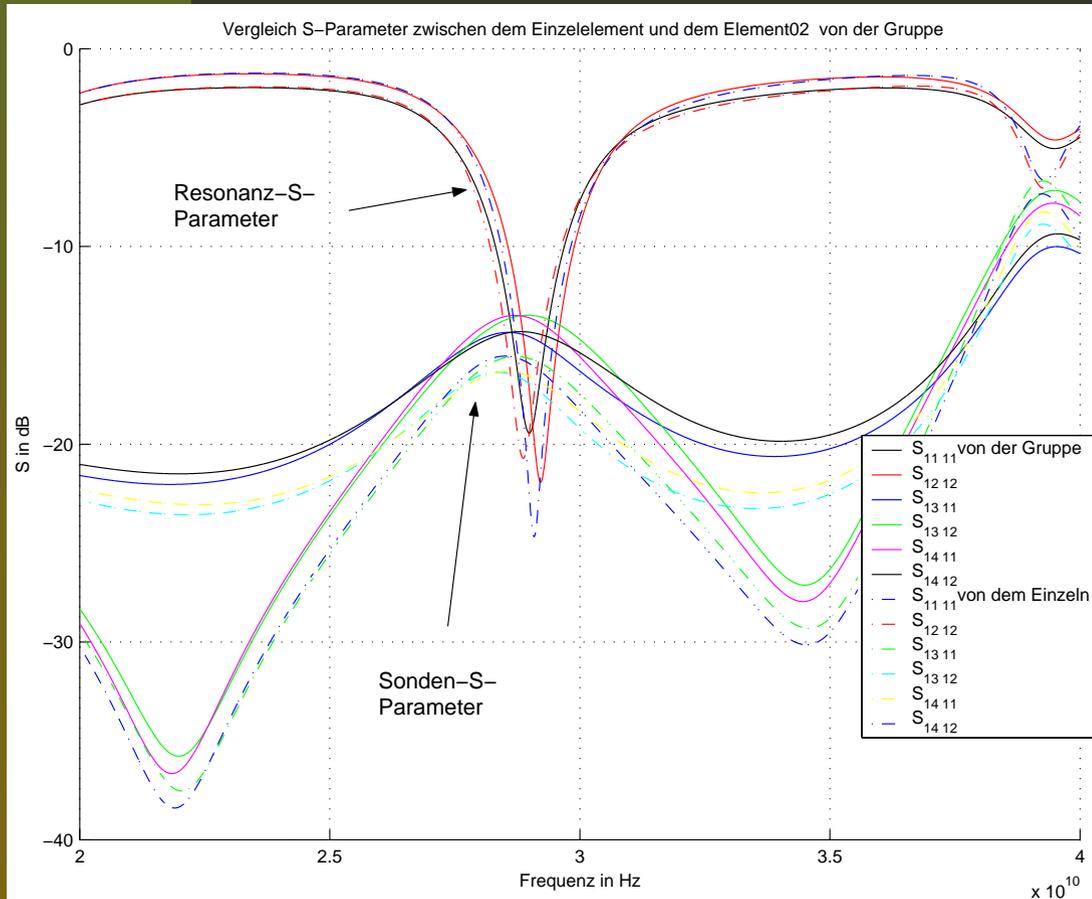


Vergleich der S-Parameter des Elementes 1

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

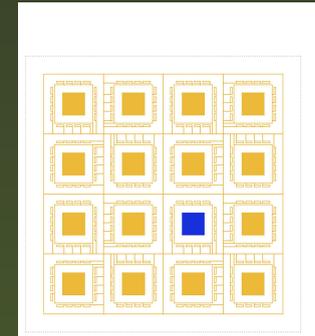
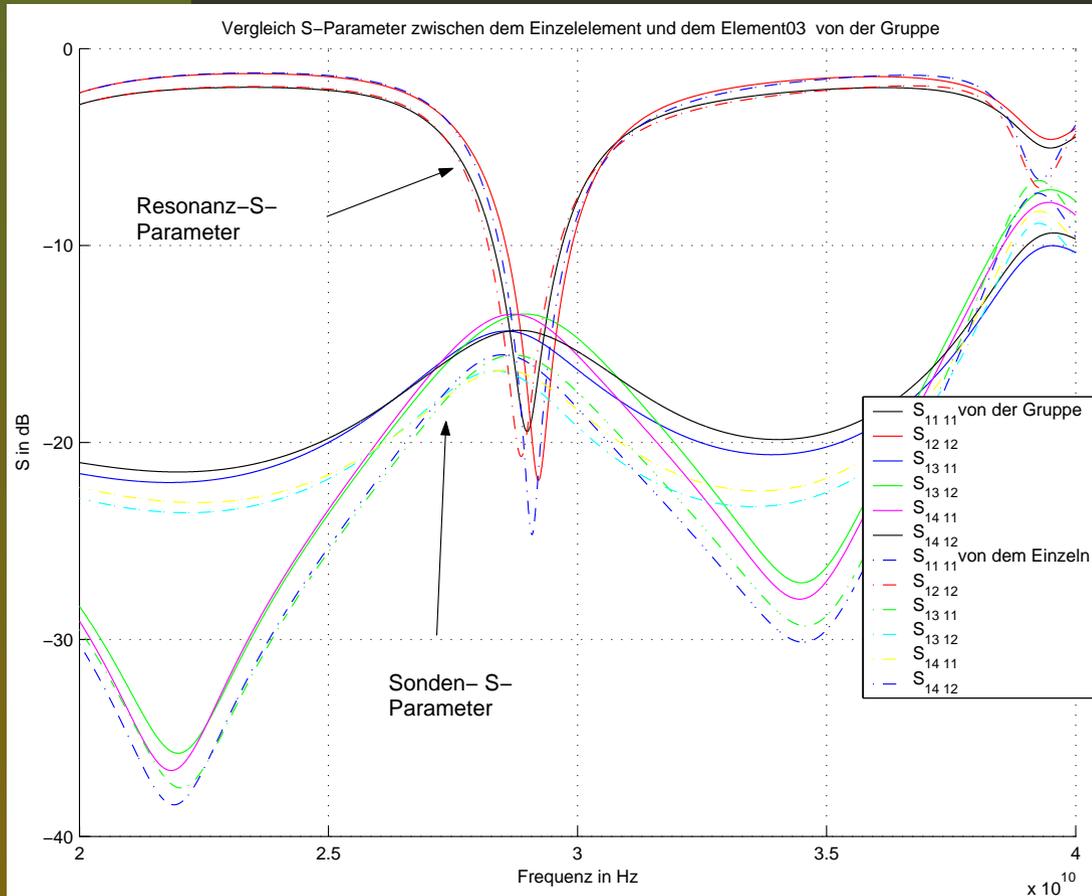


Vergleich der S-Parameter des Elementes 2

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

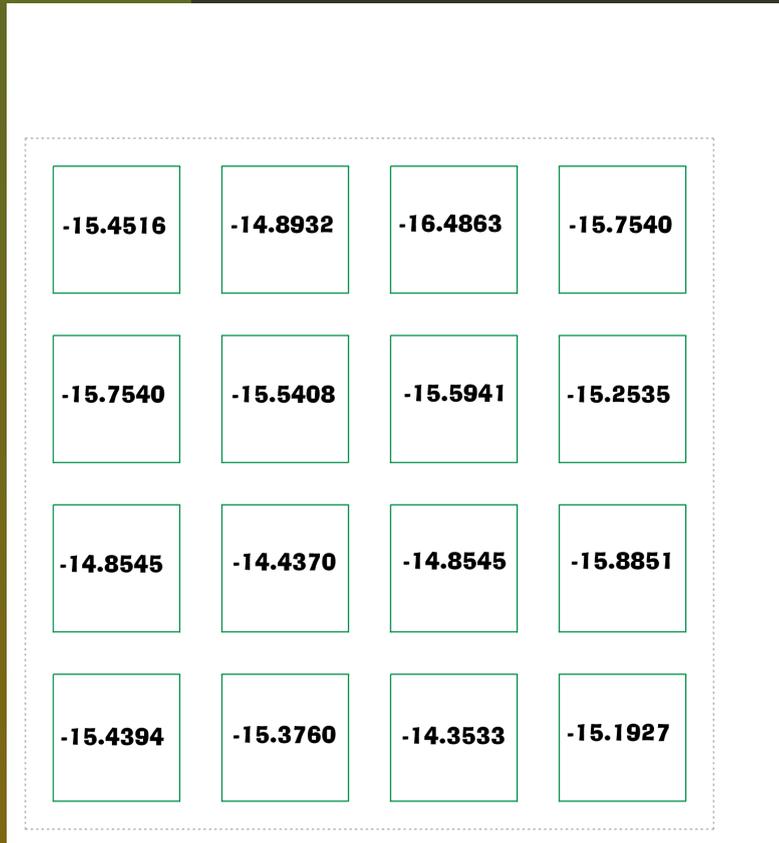
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



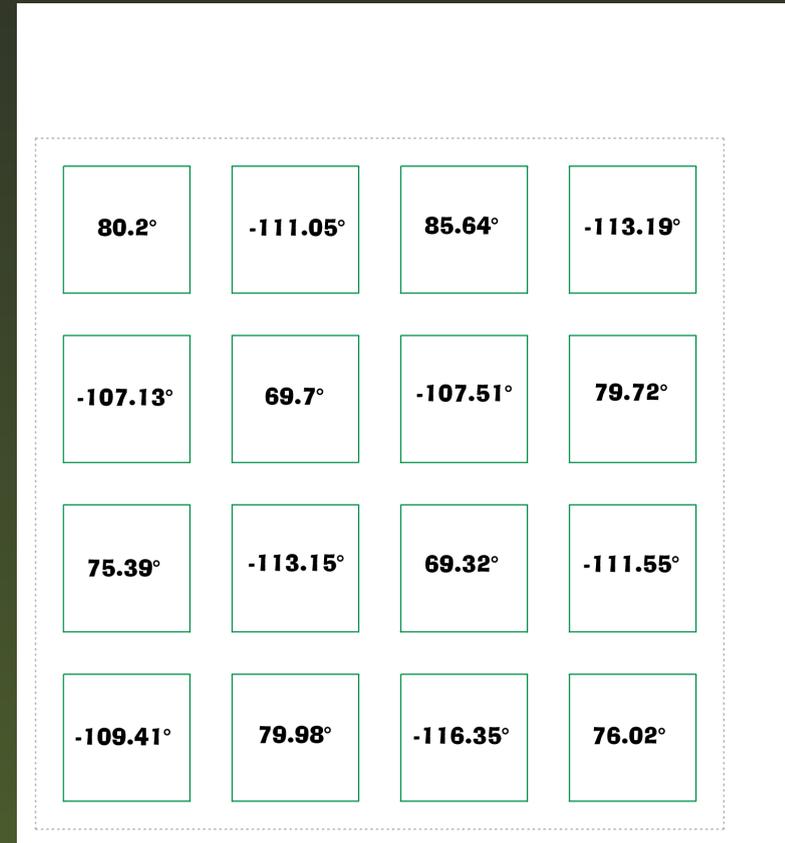
Vergleich der S-Parameter des Elementes 3

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne



$|S_p|$



$\arg(S_p)$

Abbildung 1: Die Amplituden und Phasen des Transmissionsparameters $|S_p|$

Kalibrierung von Gruppenantenne

Die reale Gruppenantenne

- Geringe Verkopplungen \Rightarrow Verkopplungsmatrix ist diagonale Matrix
- $\mathbf{K} = \text{diag}(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n)$ zu vereinfachen.

Überblick

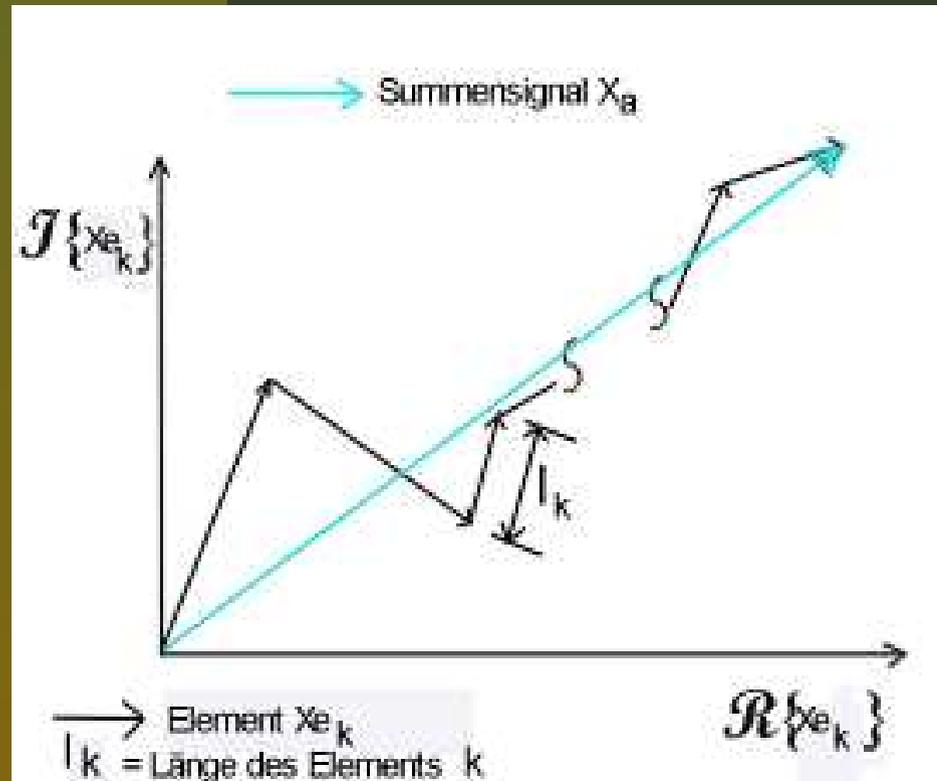
- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - Kalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung und Ausblick

Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrierkonzept und Prinzip

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Die Gruppenantenne mit den geringen Verkopplungen und dem Kalibriersummenausgangssignal.

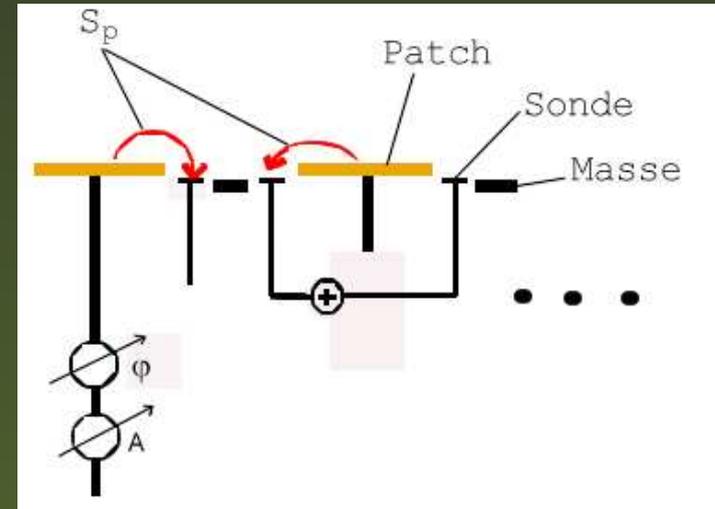
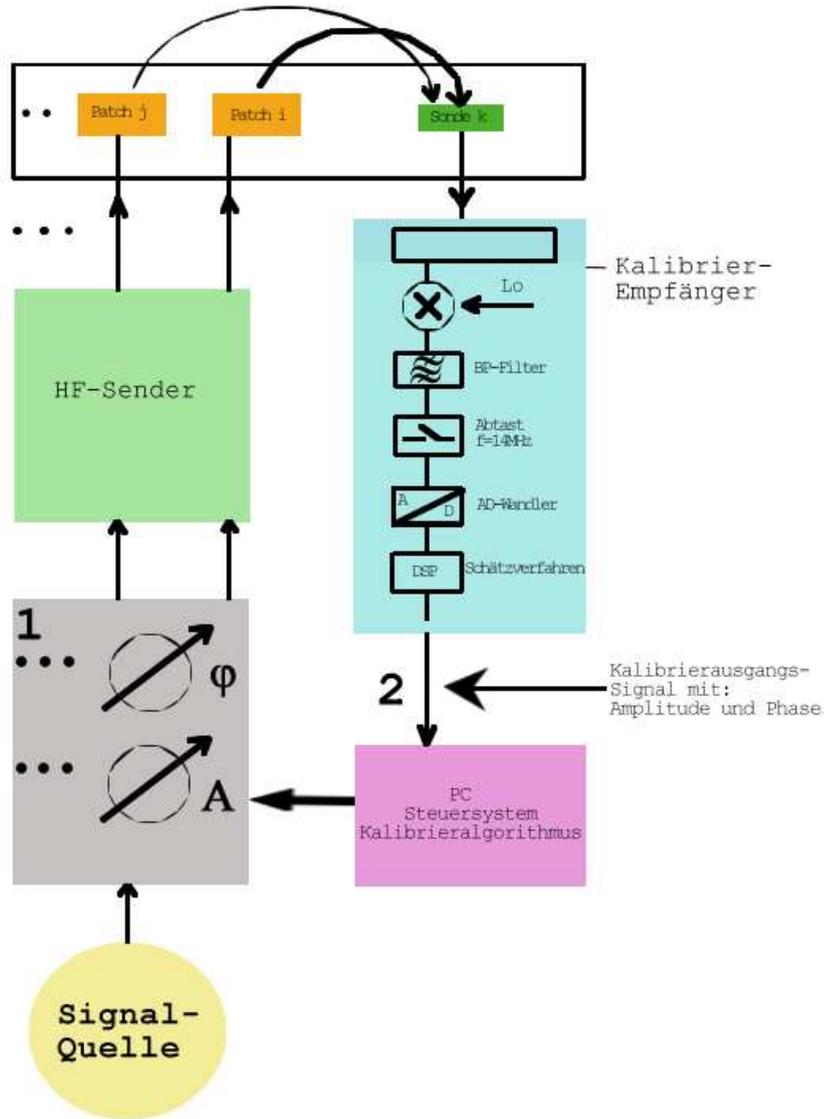


Das Summensignal wird als Zeiger dargestellt.

Kalibrierung von Gruppenantenne

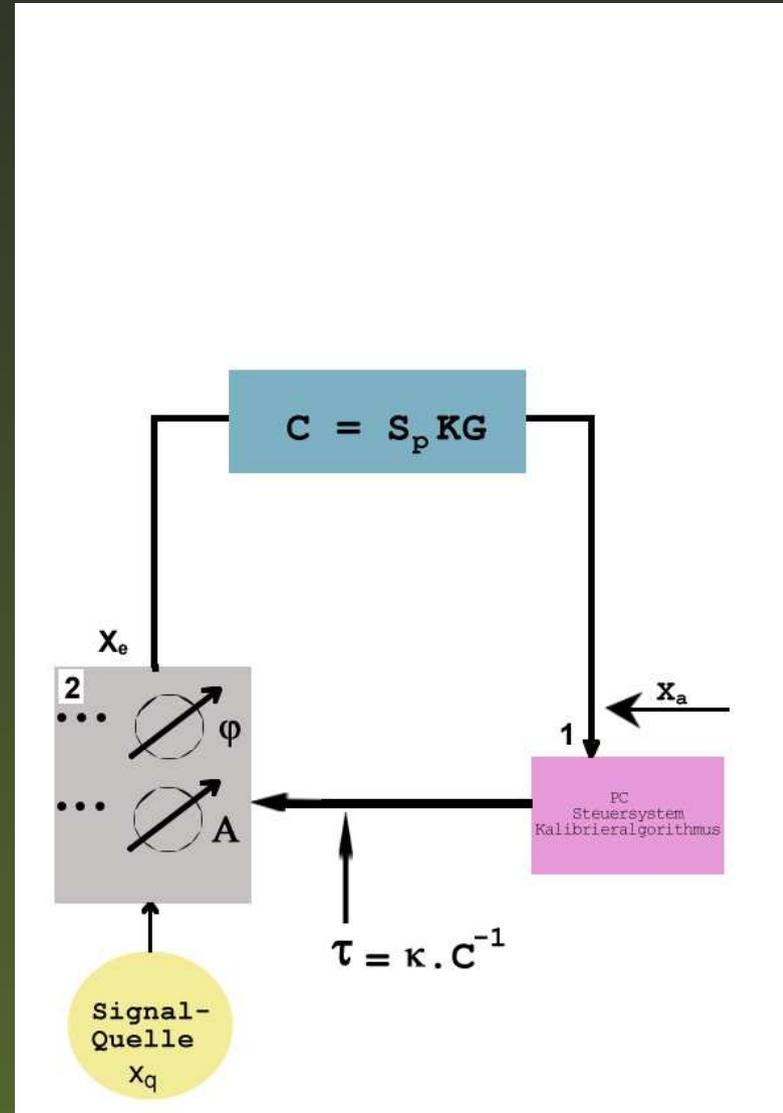
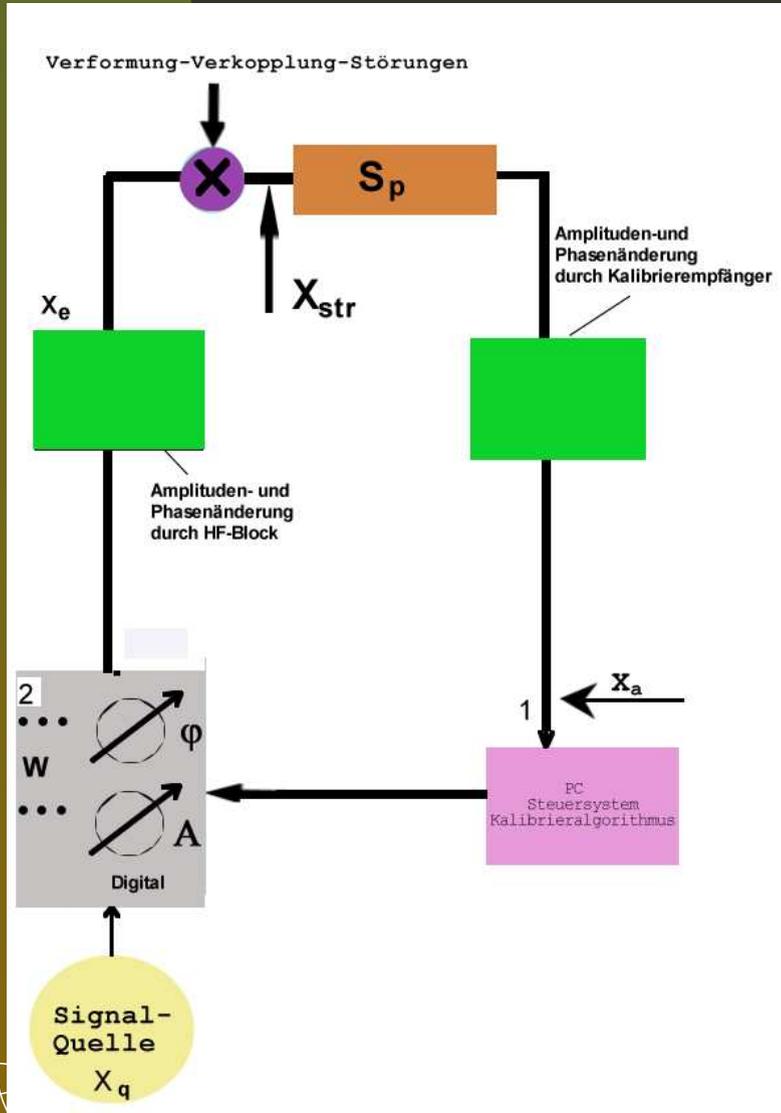
Kalibrierkonzept und Prinzip

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrierkonzept und Prinzip



Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - **Kalibrieralgorithmus**
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung und Ausblick

Überblick

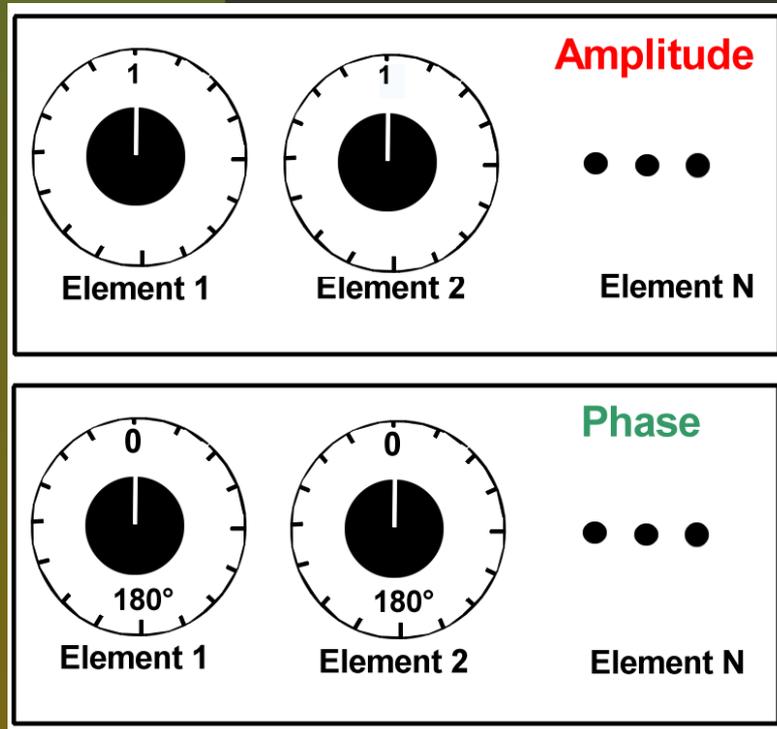
- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - **Kalibrieralgorithmus**
 1. Phasenkalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung und Ausblick

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des zu optimierten Antennensystem
- Hardwareoptimierung
- Kalibrierung von Gruppenantennen
 - Die reale Gruppenantenne
 - Kalibrierkonzept und Prinzip
 - **Kalibrieralgorithmus**
 1. Phasenkalibrieralgorithmus
 2. Amplitudenkalibrieralgorithmus
 - Simulationsergebnis in Matlab
- Zusammenfassung und Ausblick

Kalibrierung von Gruppenantenne

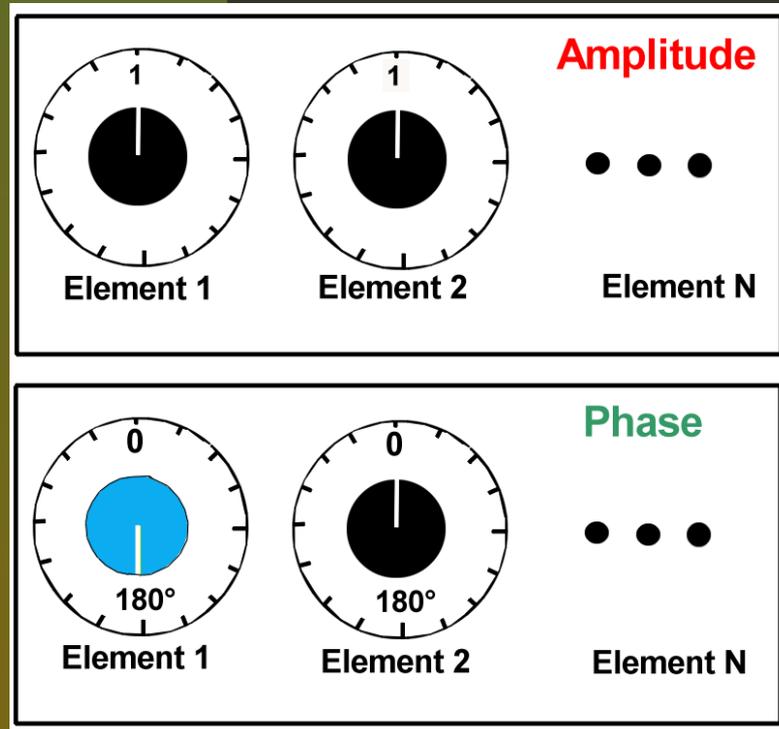
Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:



Schritt 1: Die Amplituden und Phasen von allen Elementen auf gleiche Anfangsstellungen bringen.

Kalibrierung von Gruppenantenne

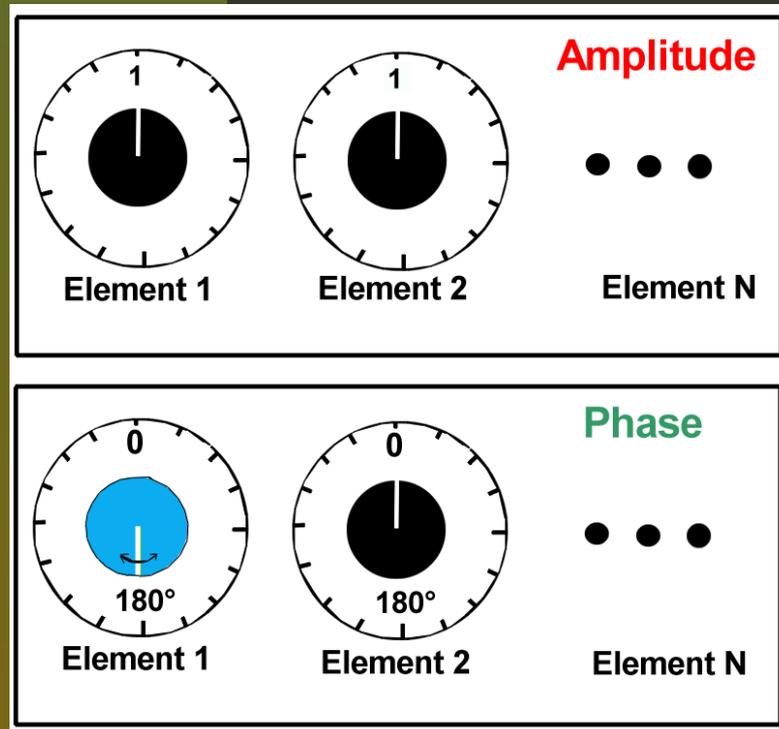
Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:



Schritt 2: Die Eingangsphase vom Element 1 um 180° gedreht.

Kalibrierung von Gruppenantenne

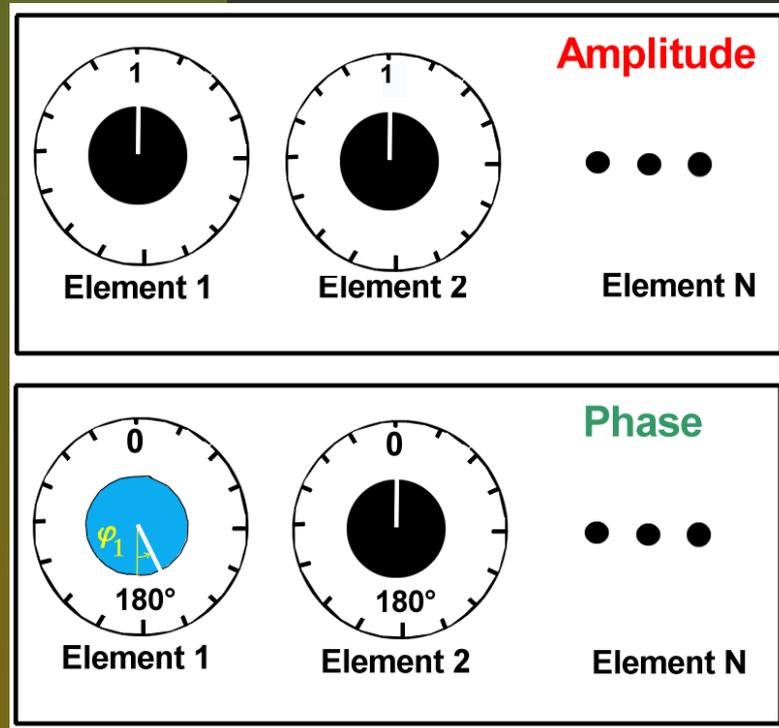
Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:



Schritt 3: Der um 180° verdrehte Zeiger kann dann weiter vor-oder zurückgedreht werden, so dass die Länge des resultierenden Summenzeigers ein Minimum annimmt.

Kalibrierung von Gruppenantenne

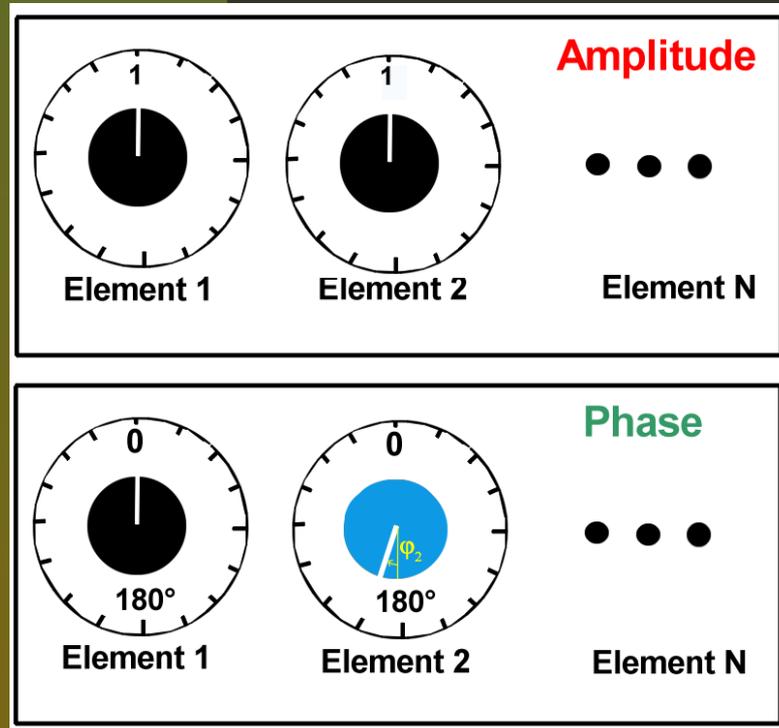
Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:



Schritt 4: Der Phasenwinkel dieser zusätzlichen Drehung bis zum Eintreten des Minimums wird als Korrekturwert für das betreffende Phasenstellglied zwischengespeichert.

Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:



Schritt 5: Wiederholen Schritt 1 bis Schritte 4 für alle andere Elemente mit entsprechendem Eingangsreglern.

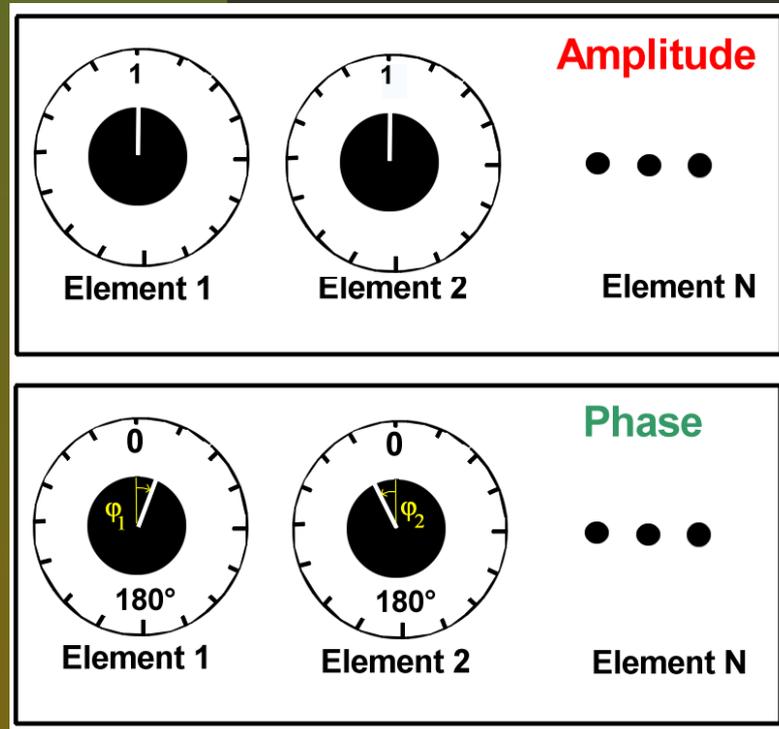
Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Phasenkalibrieralgorithmus:

Nach der Phasenkalibrierung werden alle Zeiger zunehmend parallel (gleiche Phase) und unterscheiden sich lediglich anhand der Länge l (Amplitude) (l_1, l_2, \dots, l_N)
 \Rightarrow Amplitudenkalibrieralgorithmus

Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:

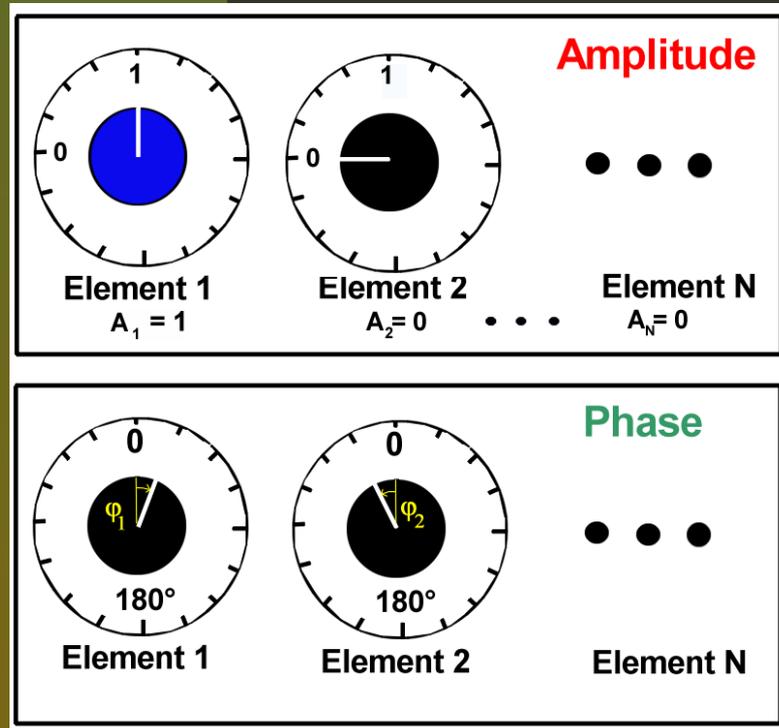


Schritt 1:

Alle Phasenstellglieder werden um den jeweils ermittelten Korrekturwert verändert

Kalibrierung von Gruppenantenne

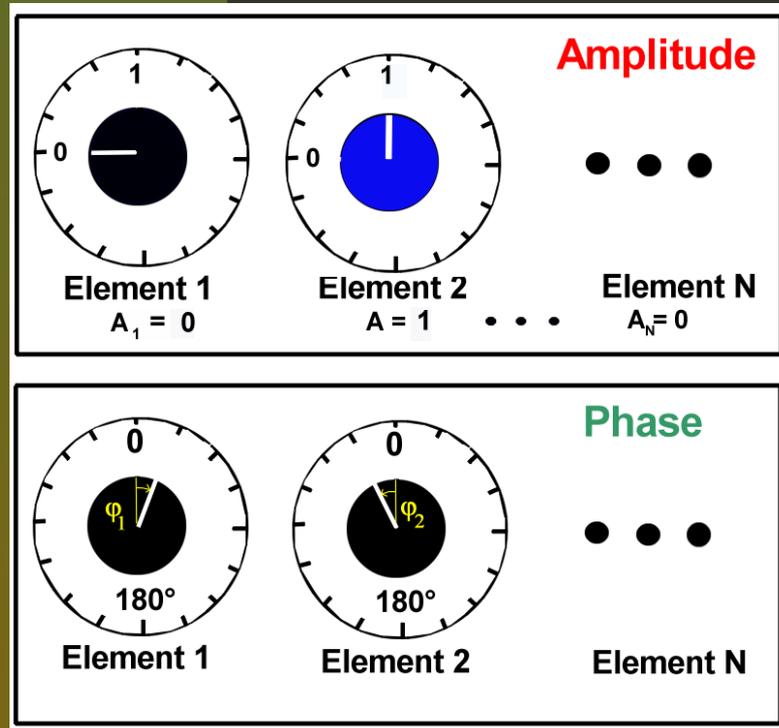
Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:



Schritt 2: Die Kalibrierausgang X_a vom Einzelelement 1 wird ermittelt.

Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:



Schritt 2: Schritt 2 wird für alle andere Elemente mit entsprechendem Eingangsreglern wiederholt.

Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:

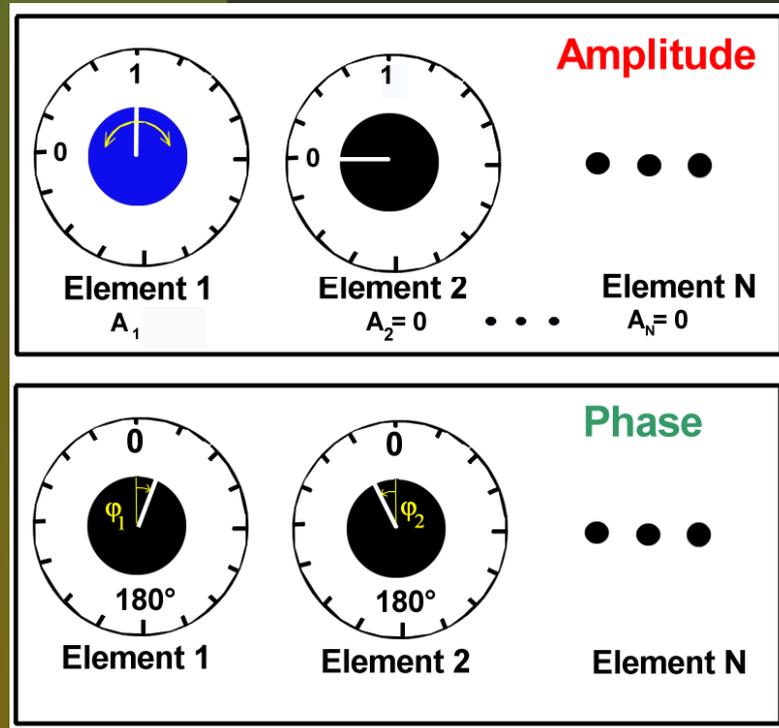
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Aus den N Zeigerlängen lässt sich der Mittelwert μ berechnen:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N l_k \quad (3)$$

Kalibrierung von Gruppenantenne

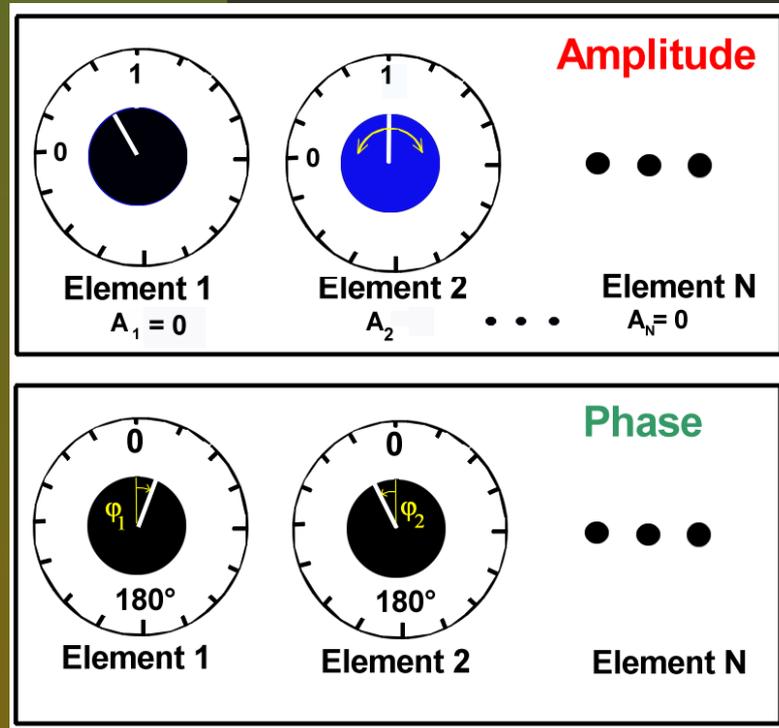
Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:



Schritt 3: Mittels jeweiliger Eingangsamplitudenregler wird ein Element solange verändert, bis der Kalibrier Ausgang X_a den Mittelwert erreicht wird.

Kalibrierung von Gruppenantenne

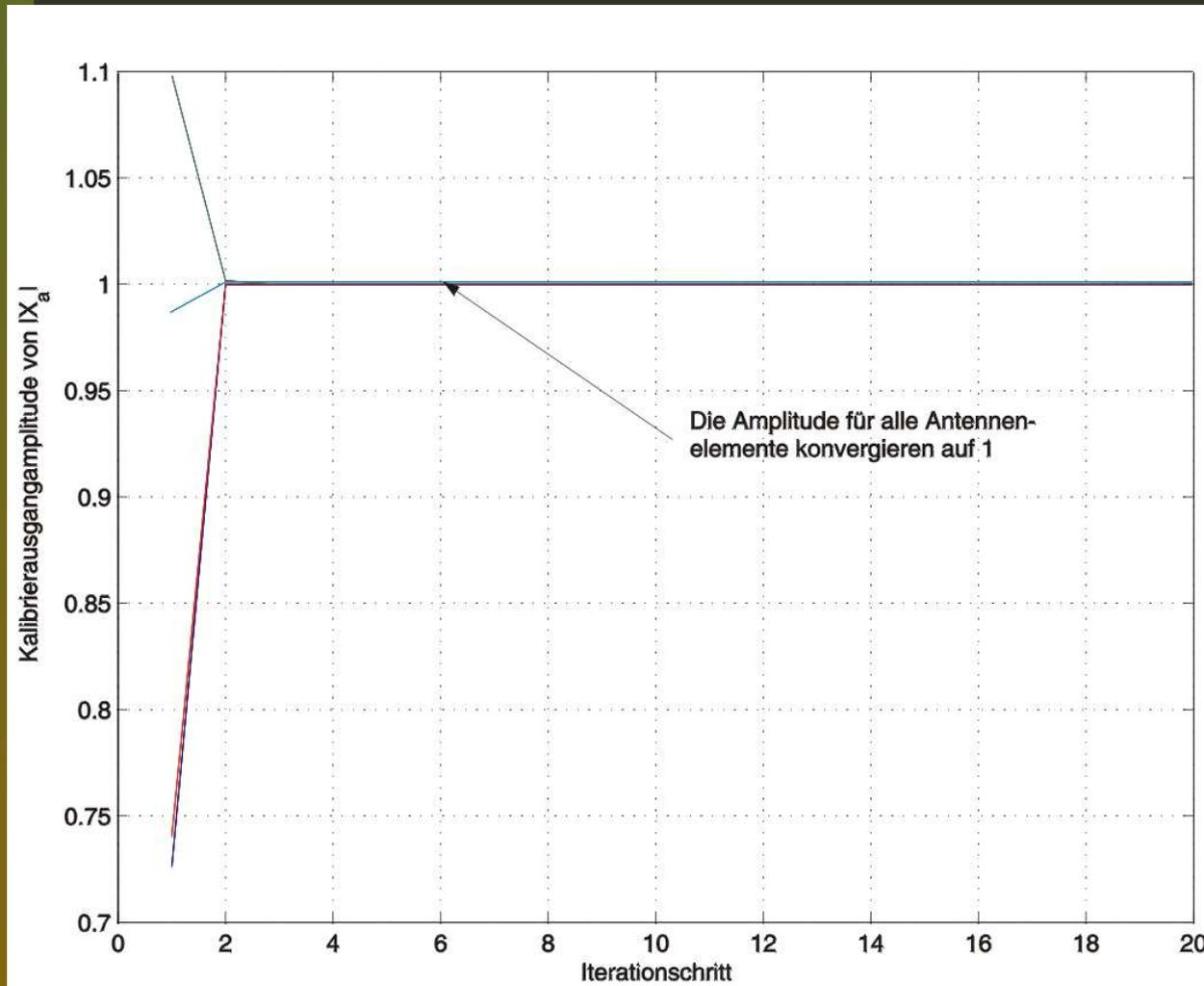
Kalibrieralgorithmus - Amplitudenkalibrieralgorithmus:



Schritt 4: Schritt 3 wird für alle andere Elemente mit entsprechendem Eingangsreglern wiederholt.

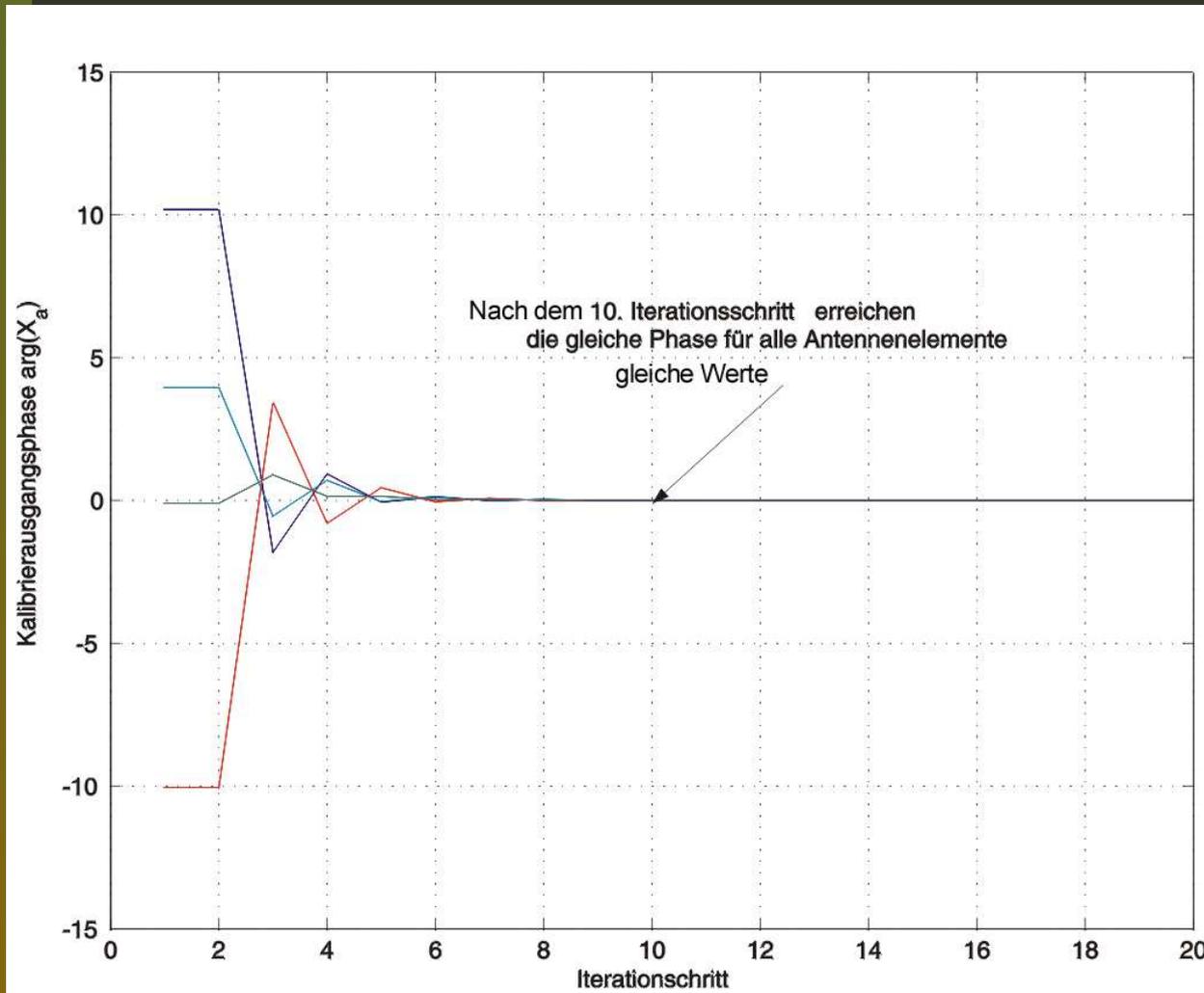
Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Simulationsergebnisse in Matlab:



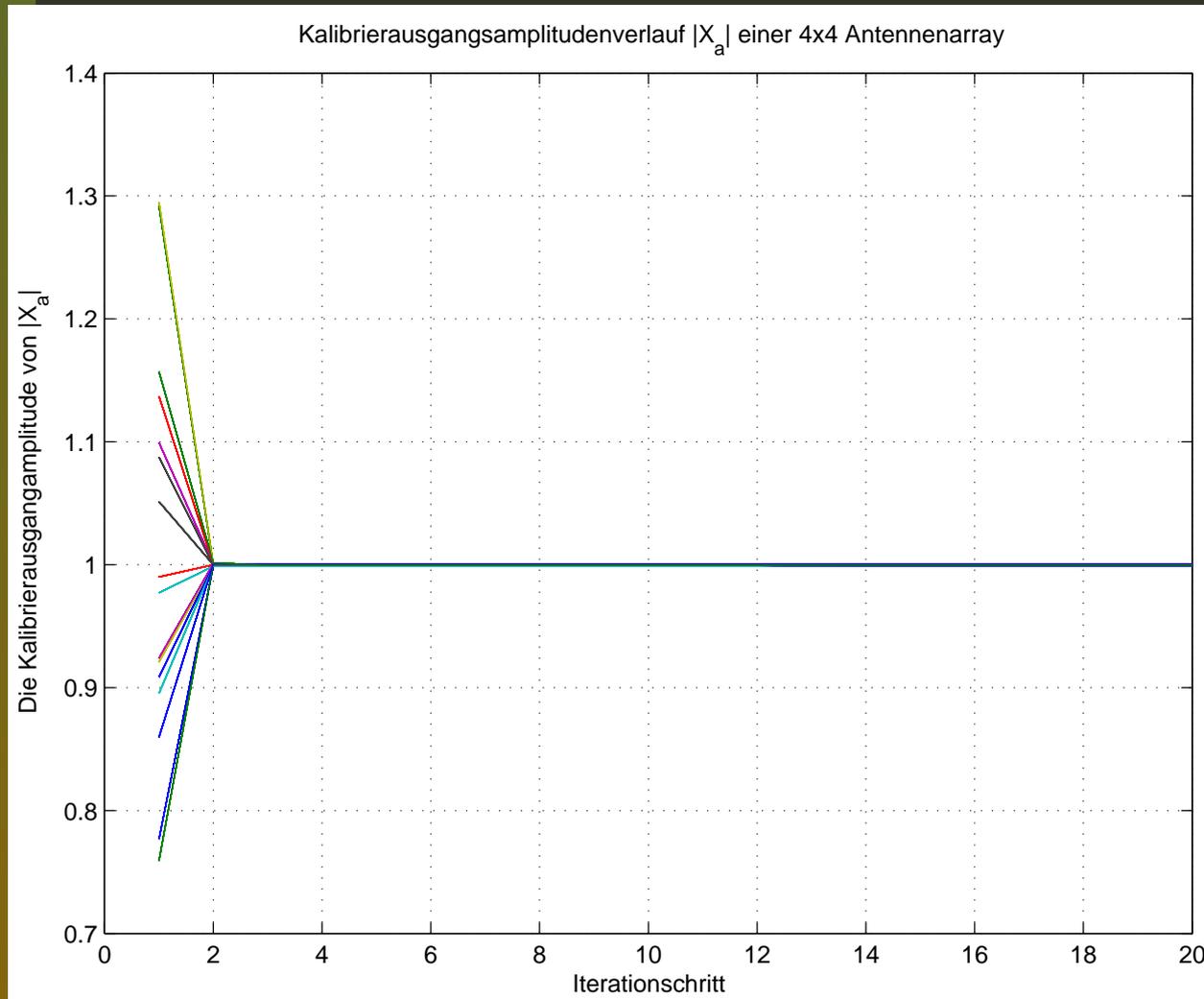
Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Simulationsergebnisse in Matlab:



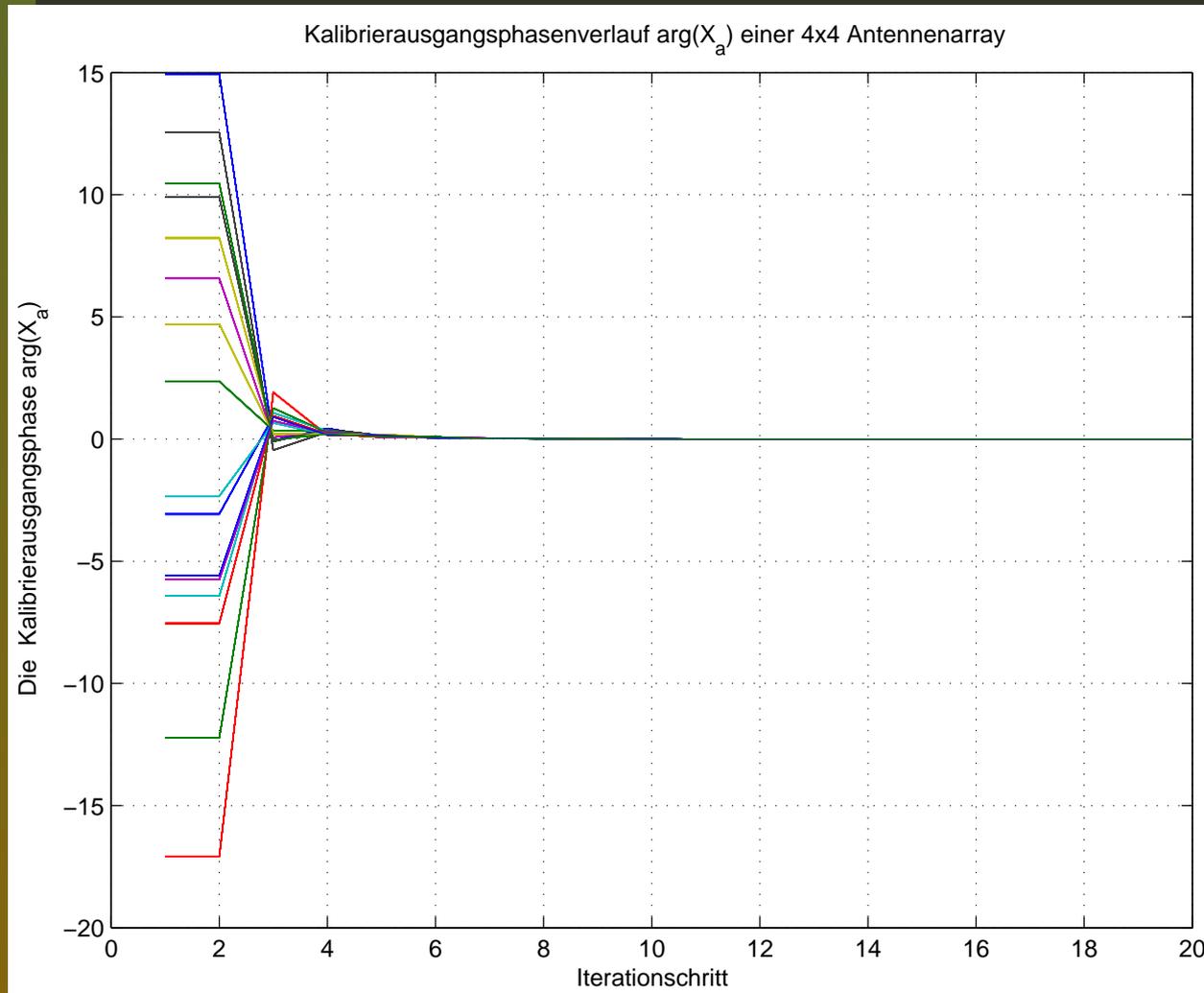
Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Simulationsergebnisse in Matlab:



Kalibrierung von Gruppenantenne

Kalibrieralgorithmus - Simulationsergebnisse in Matlab:



Kalibrierung von Gruppenantenne

Diskussion

- Die Kalibrierung konvergiert bereits nach einigen Schritten sehr gut. Dies gilt für die Phasen und noch schneller für die Amplituden

Kalibrierung von Gruppenantenne

Diskussion

- Die Kalibrierung konvergiert bereits nach einigen Schritten sehr gut. Dies gilt für die Phasen und noch schneller für die Amplituden
- Auf dem Ersatzschaltbild wurden die S-Parameter S_p des 4x4 Antennenmoduls gezeigt, die in den Algorithmus integriert werden können.

Kalibrierung von Gruppenantenne

Diskussion

- Die Kalibrierung konvergiert bereits nach einigen Schritten sehr gut. Dies gilt für die Phasen und noch schneller für die Amplituden
- Auf dem Ersatzschaltbild wurden die S-Parameter S_p des 4x4 Antennenmoduls gezeigt, die in den Algorithmus integriert werden können.
- Diese Kalibrierung gilt für eine bestimmte Frequenz. Um eine Kalibrierung eines ganzen Frequenzbandes zu erreichen, können mehrere Kalibrierungen für verschiedene Frequenzen innerhalb des Frequenzbandes durchgeführt werden.

Zusammenfassung

- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.

Zusammenfassung

- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.
- Optimale Positionierung der Kalibriersonden und deren Durchmesser

Zusammenfassung

- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.
- Optimale Positionierung der Kalibriersonden und deren Durchmesser
- Das entsprechende Netzwerk wurde an die neuen besseren Sondenpositionen angepasst und optimiert.

Zusammenfassung

- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.
- Optimale Positionierung der Kalibriersonden und deren Durchmesser
- Das entsprechende Netzwerk wurde an die neuen besseren Sondenpositionen angepasst und optimiert.
- Ein Kalibrierverfahren wurde aus der Literatur ausgewählt und auf die Gruppenantenne adaptiert.

Zusammenfassung

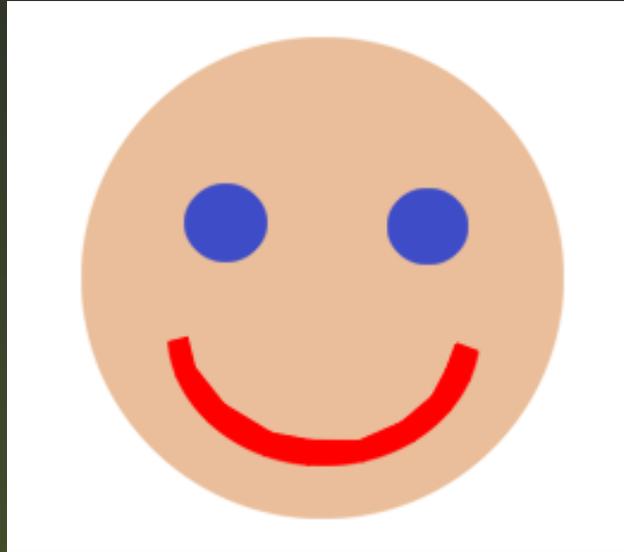
- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.
- Optimale Positionierung der Kalibriersonden und deren Durchmesser
- Das entsprechende Netzwerk wurde an die neuen besseren Sondenpositionen angepasst und optimiert.
- Ein Kalibrierverfahren wurde aus der Literatur ausgewählt und auf die Gruppenantenne adaptiert.
- Das Kalibrieralgorithmus wurde bzgl. seiner Konvergenz analysiert und optimiert.

Zusammenfassung

- Die Untersuchung zur automatisierbaren Kalibrierung eines 4x4 Antennensendemoduls.
- Optimale Positionierung der Kalibriersonden und deren Durchmesser
- Das entsprechende Netzwerk wurde an die neuen besseren Sondenpositionen angepasst und optimiert.
- Ein Kalibrierverfahren wurde aus der Literatur ausgewählt und auf die Gruppenantenne adaptiert.
- Das Kalibrieralgorithmus wurde bzgl. seiner Konvergenz analysiert und optimiert.
- Die Ergebnisse von Matlab haben gezeigt, das 4x4 Antennenarray ist sehr gut zu kalibrieren.

Ende

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



Danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!