

# Transparente Repeater für das GSM Netzwerk

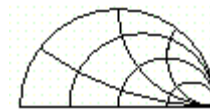
Diplomarbeit

Manthos Spanos

04.06.2009

Universität Duisburg-Essen  
HFT

Fachgebiet Hochfrequenztechnik  
Fakultät für Ingenieurwissenschaften  
Universität Duisburg-Essen



H F T

Betr.: Prof. Dr.-Ing. Klaus Solbach

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

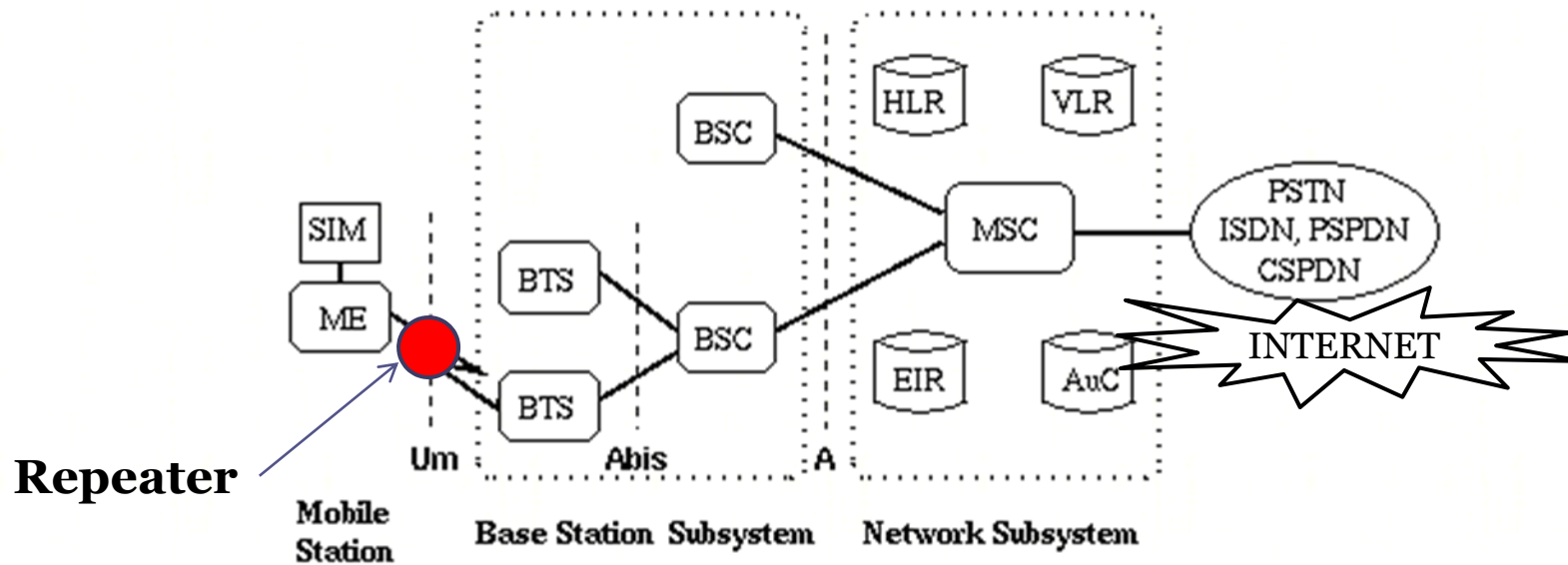
### 3. Repeater-Schaltung

Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

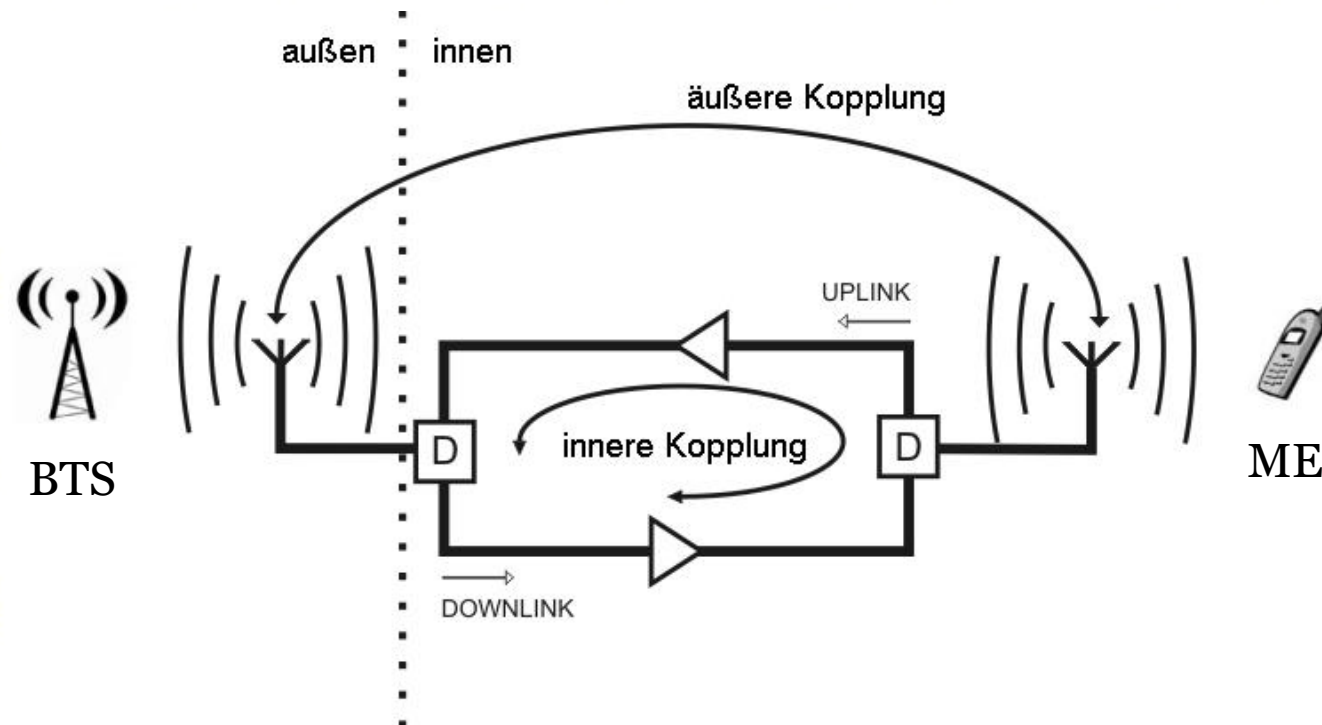
# Prinzip - GSM Architektur



SIM	Subscriber Identity Module	BSC	Base Station Controller	MSC	Mobile services Switching Center
ME	Mobile Equipment	HLR	Home Location Register	EIR	Equipment Identity Register
BTS	Base Transceiver Station	VLR	Visitor Location Register	AuC	Authentication Center

- **Um-Schnittstelle:** Schnittstelle zwischen Mobile-Einheit und BTS (Funkschnittstelle).
- **GSM Frequenzband(GSM-1800):** Downlink 1805 – 1880 MHz, Uplink 1710 – 1785 MHz

# Prinzip - Problematik



- **Transparent:** Die einkommende Welle hat die selbe Frequenz mit der ausgehenden Welle.
- **Äussere Kopplung:** Das schon verstärkte und von der inneren Antenne abgestrahlte Signal wird von der äußeren Antenne empfangen, noch mal verstärkt usw., und umgekehrt.
- **Innere Kopplung:** Ein Teil des Downlink-Signals das durch dem Duplexer zur Inneren Antenne gelangt, fließt in den Uplink-Zweig und wird noch mal von dem Uplink-Verstärker verstärkt.: loop. Und umgekehrt.

# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

### 3. Repeater-Schaltung

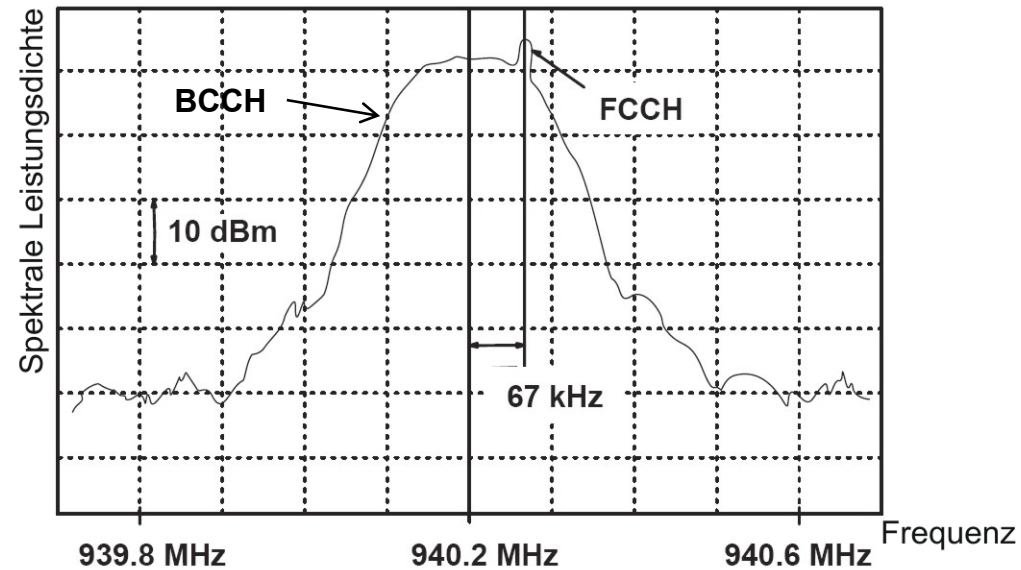
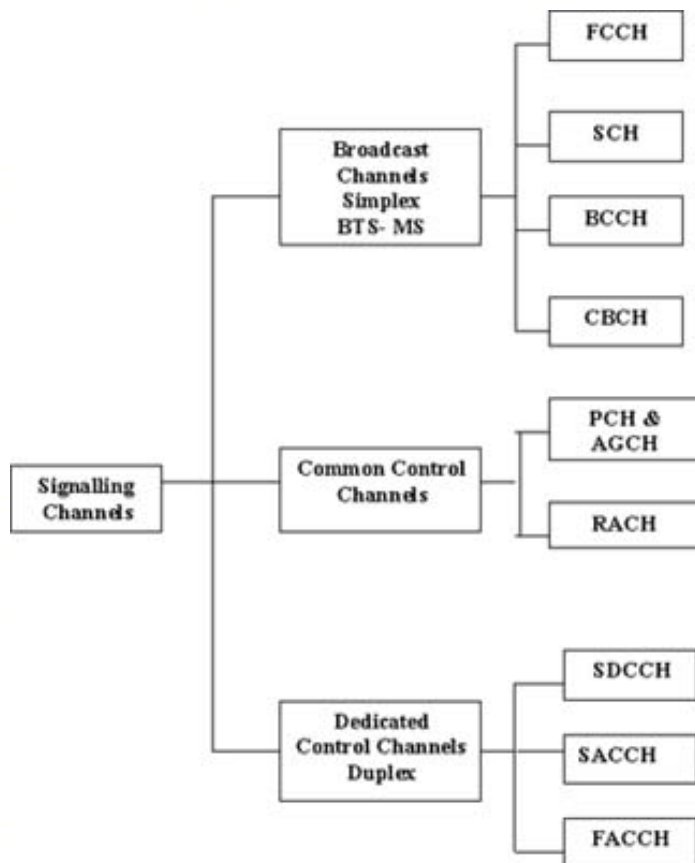
Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

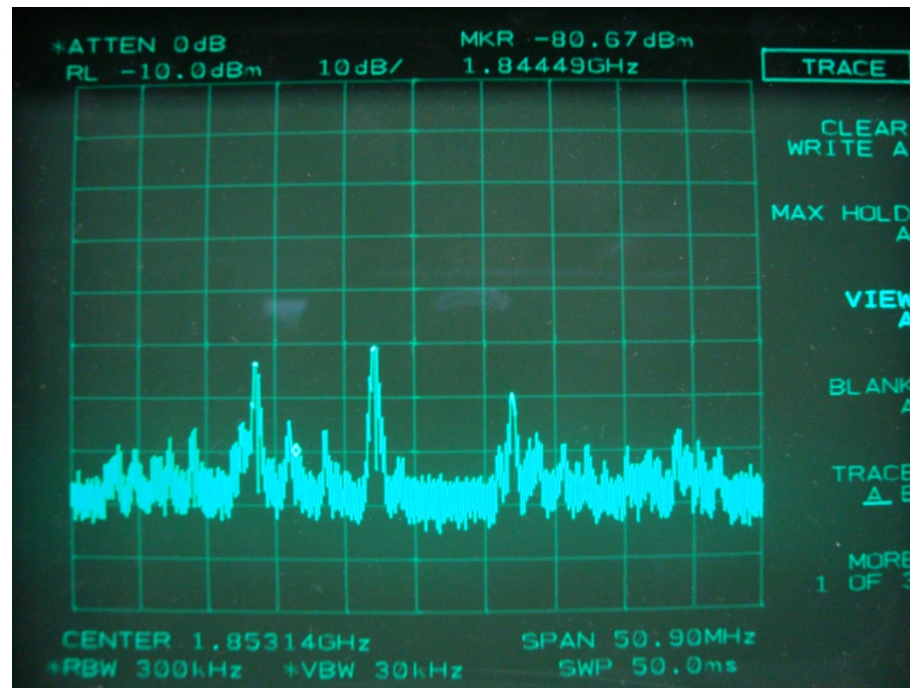
## 5. Diskussion

# Messungen

- GSM: Logische & Physikalische Kanäle
- Physikalische Kanäle: TDMA
- Logische Kanäle: Art der Information.
- Logische Kanäle: Traffic & Control
- Control Kanäle:

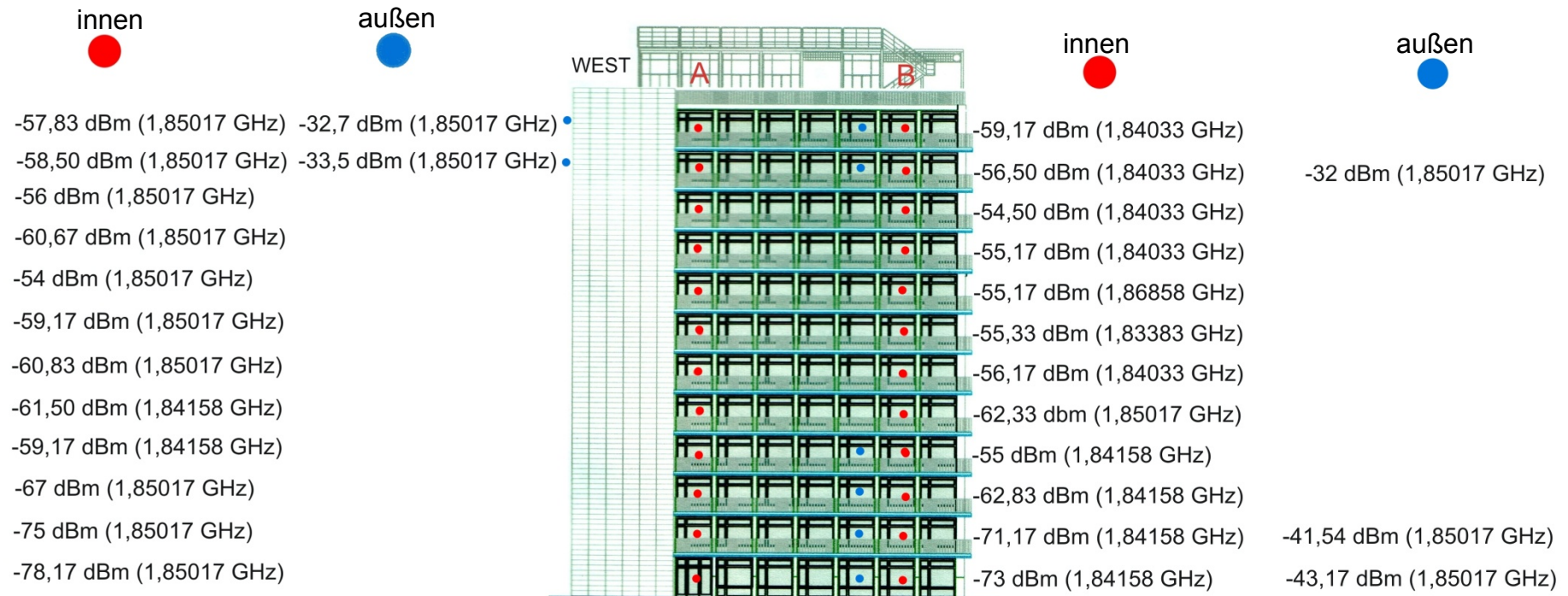


- **Broadcast Control Channel (BCCH)**  
Wird als Orientierungshilfe **ständig** gesendet und enthält Informationen über Kanalstruktur, Frequenzen, Frequenzsprungfolge, Gebiet (Location Area) etc.
- **Frequency Correction Channel (FCCH)**  
Dieses Kanal wird von der MS als Frequenzreferenz benutzt.



- Dipolantenne: Richtcharakteristik TORUS
- An jeder Mess-Stelle:
  - Antenne ca. 2m vom Boden gebracht
  - „Maximum hold“ einschalten
  - Antenne vertikal: TORUS horizontal
  - Antenne horizontal: TORUS vertikal
  - Um 360° Drehung
  - Max. Wert eingetragen

# Messungen



- Außen – Innen Leistungsdifferenz ist ca. 25-30 dBm
- Je tiefer die Etage desto schwächer das Signal
- Max. Leistung auf der 10ten Etage
- Absoluter Minimum im Erdgeschoß an der Stelle A (-78,17 dBm)
- Maximum Wert ist nicht immer an der selben Frequenz
- Dominierende BTS an 1,85017 GHz



# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

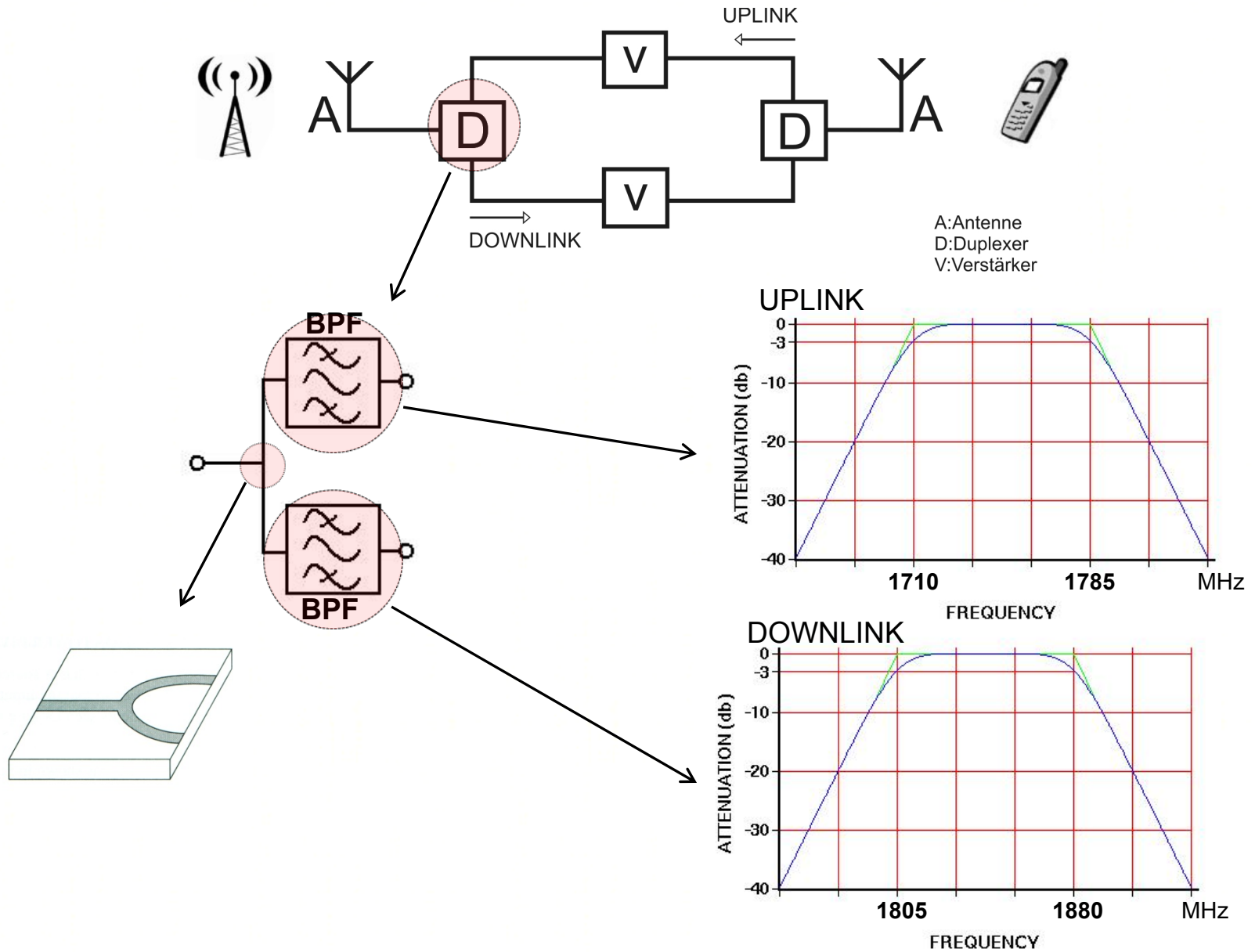
### 3. Repeater-Schaltung

Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

## Entwurf



# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

### 3. Repeater-Schaltung

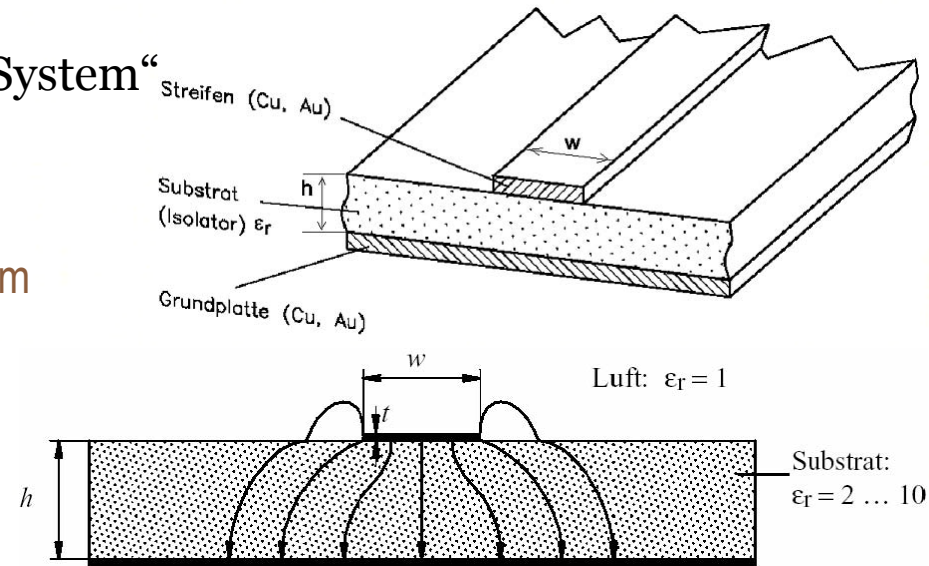
Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

# Entwurf - Filter

- Filter Entwurf: Agilent „Advanced Design System“
- Material: Streifenleitung (microstrip)
  - $\epsilon_r = 3,55$   $\tan\delta = 0,0027$   $h = 1,524\text{mm}$   $t = 0,035\text{mm}$
- EM-Simulationsschema: MoM  
Method Of Moments (momentum)  
Schaltungs-Sim. v. EM-Sim.
- BPF microstrip Strukturen:



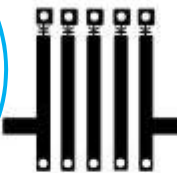
Modified end-coupled



End-coupled



Tapped interdigital



Comblin filter



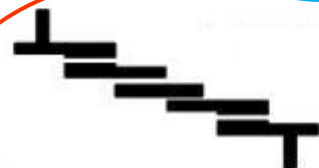
Hairpin filter



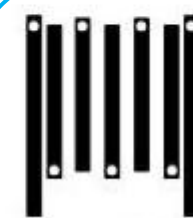
hort-circuited stub lines



Parallel-coupled line

Rotated parallel-coupled  
line filter

Tapped parallel-coupled

Cross-coupled ring  
resonator

Interdigital filter



Pseudo-combine

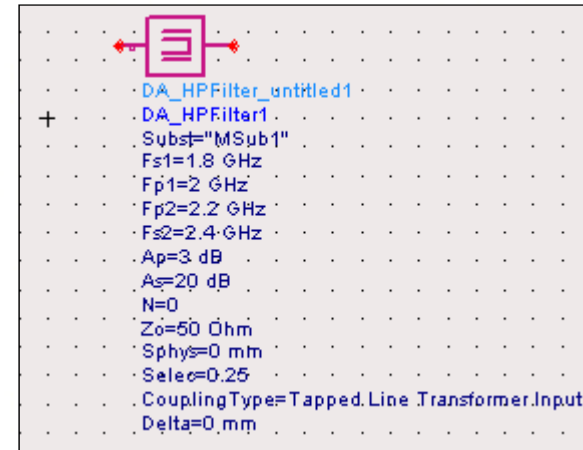
# Entwurf - Filter

## Konventioneller Entwurf:

- Erstellen des lowpass-Prototyps
  - „Image method“ oder „Network synthesis method, [MYJ]\*
- zB. Network synthesis: aus der Skizze **Dämpfungscharakteristik** (Butterworth, Chebyshev,...), **ripple** und **n** (n: Grad, number of reaktive elements)
- Aus der Tabelle Werte der Elemente des Ladder-Typs Filter (circuit parameters,  $g_0$  ...  $g_{n+1}$ )
- Lowpass in Bandpass-Filter wandeln mit Hilfe der sog. „mapping functions“
- Mit Hilfe der Literatur kann man aus dem Ladder-Typ BPF die gewünschte BPF-Struktur (z.B. Hairpin) gewinnen.
- Optimieren mit Hilfe der EM-Simulation
- Optimierte Struktur erstellen lassen.

## Entwurf mit Hilfe von ADS Werkzeuge (Design Guide & smart comp.)

- Mit „Design Guide“ die Filter-Struktur nach den gewünschten Angaben erstellen lassen.
- Optimieren mit Hilfe der EM-Simulation
- Optimierte Struktur erstellen lassen



\*[MYJ] Mathaei, Young, Jones, „Microwave Filters, impedance matching networks & coupling structures“

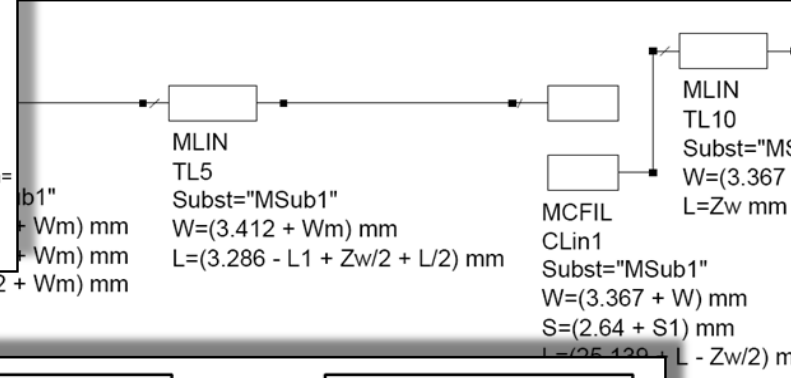
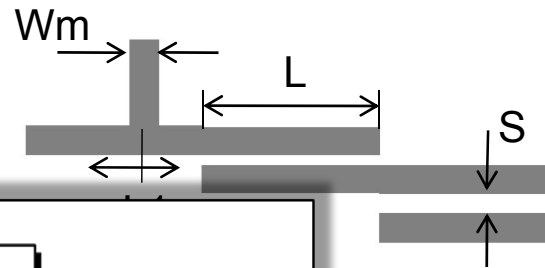
# Entwurf - Filter - Optimierung

- ADS bietet eine automatische Optimierung die mittels der Schaltung-Simulation erfolgt. (Schaltungssimulation: mathematisch, ideale Komponente)
- Vorteil: sehr schnell
- Nachteil: ungenau
- Die Ungenauigkeit der Optimierung mittels Schaltungssimulation erfordert unbedingt eine endgültige Optimierung mittels EM-Simulation. (EM-Simulation: Feldberechnung)
- Automatische Optimierung mittels EM-Simulation auch möglich, allerdings nicht während dieser Arbeit verwendet. (für Beschreibung siehe Dokument)

## Entwurfsschritte:

- Erstellung der Initialstruktur mittels „Design Guide“ & „smart components“
- Die zweite Ebene des Filters (smart Komponente) in die Schematic kopieren und für Schaltungsoptimierung einrichten.
- Optimieren mittels Schaltungssimulation
- Layout erstellen.
- Optimieren mittels EM-Simulation

# Entwurf - Filter - Optimierung



**OPTIM**

Optim  
Optim1  
OptimType=Gradient  
MaxIters=50  
DesiredError=0.0  
StatusLevel=4  
FinalAnalysis="None"  
NormalizeGoals=no  
SetBestValues=yes  
SaveSols=yes  
SaveGoals=yes  
SaveOptimVars=no  
UpdateDataset=yes  
SaveNominal=no  
SaveAllIterations=no  
OptVar[1]=  
GoalName[1]="OptimGoal1"

GoalName[2]="OptimGoal4"  
GoalName[3]="OptimGoal3"  
SaveCurrentEF=no

**SWEEP PLAN**

SweepPlan  
SwpPlan1  
Start=1.700 GHz Stop=1.795 GHz Step=0.001 GHz Lin=  
UseSweepPlan=yes  
SweepPlan="SwpPlan2"  
Reverse=no

**SWEEP PLAN**

SweepPlan  
SwpPlan2  
Start=1.805 GHz Stop=1.880 GHz Step=0.001 GHz Lin=  
UseSweepPlan=  
SweepPlan=  
Reverse=no

**OPTIM**

Optim  
Optim1  
OptimType=Gradient  
MaxIters=50  
DesiredError=0.0  
StatusLevel=4  
FinalAnalysis="None"  
NormalizeGoals=no  
SetBestValues=yes  
SaveSols=yes  
SaveGoals=yes  
SaveOptimVars=no  
UpdateDataset=yes  
SaveNominal=no  
SaveAllIterations=no  
OptVar[1]=  
GoalName[1]="OptimGoal1"

GoalName[2]="OptimGoal4"  
GoalName[3]="OptimGoal3"  
SaveCurrentEF=no

**SWEEP PLAN**

SweepPlan  
SwpPlan1  
Start=1.700 GHz Stop=1.795 GHz Step=0.001 GHz Lin=  
UseSweepPlan=yes  
SweepPlan="SwpPlan2"  
Reverse=no

**SWEEP PLAN**

SweepPlan  
SwpPlan2  
Start=1.805 GHz Stop=1.880 GHz Step=0.001 GHz Lin=  
UseSweepPlan=  
SweepPlan=  
Reverse=no

**Var Eqn**  
VAR  
VAR13  
M=0

**Var Eqn**  
VAR  
VAR12  
Zw=6.0

**Var Eqn**  
VAR  
VAR6  
L1=0 {t} {o}

**GOAL**

Goal  
OptimGoal4  
Expr="dB(S11) "  
SimInstanceName="SP1"

**GOAL**

Goal  
OptimGoal1  
Expr="dB(S21) "  
SimInstanceName="SP1"

**GOAL**

Goal  
OptimGoal3  
Expr="dB(S21) "  
SimInstanceName="SP1"

**GOAL**

Goal  
OptimGoal4  
Expr="dB(S11) "  
SimInstanceName="SP1"  
Min=  
Max=-15  
Weight=  
RangeVar[1]="freq"  
RangeMin[1]=1.700 GHz  
RangeMax[1]=1.795 GHz

**GOAL**

Goal  
OptimGoal1  
Expr="dB(S21) "  
SimInstanceName="SP1"  
Min=-2  
Max=  
Weight=  
RangeVar[1]="freq"  
RangeMin[1]=1.700 GHz  
RangeMax[1]=1.795 GHz

**GOAL**

Goal  
OptimGoal3  
Expr="dB(S21) "  
SimInstanceName="SP1"  
Min=  
Max=-20  
Weight=  
RangeVar[1]="freq"  
RangeMin[1]=1.805 GHz  
RangeMax[1]=1.880 GHz

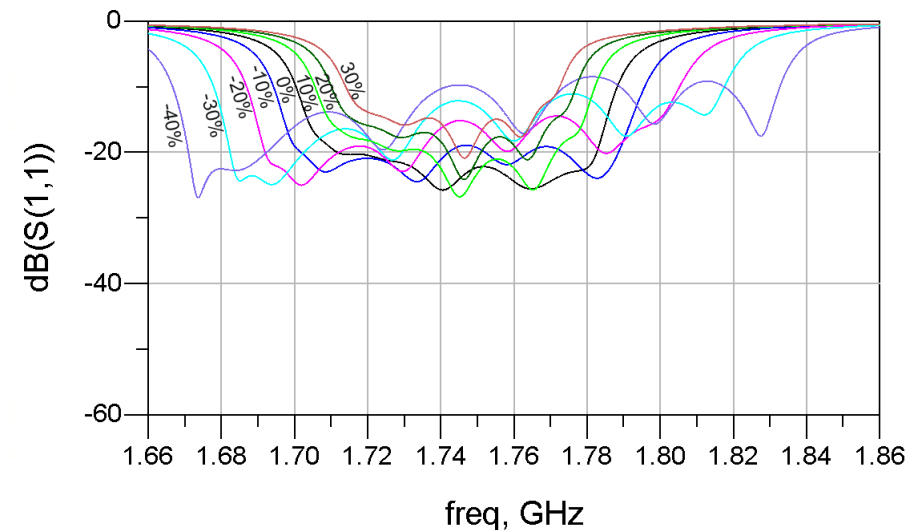
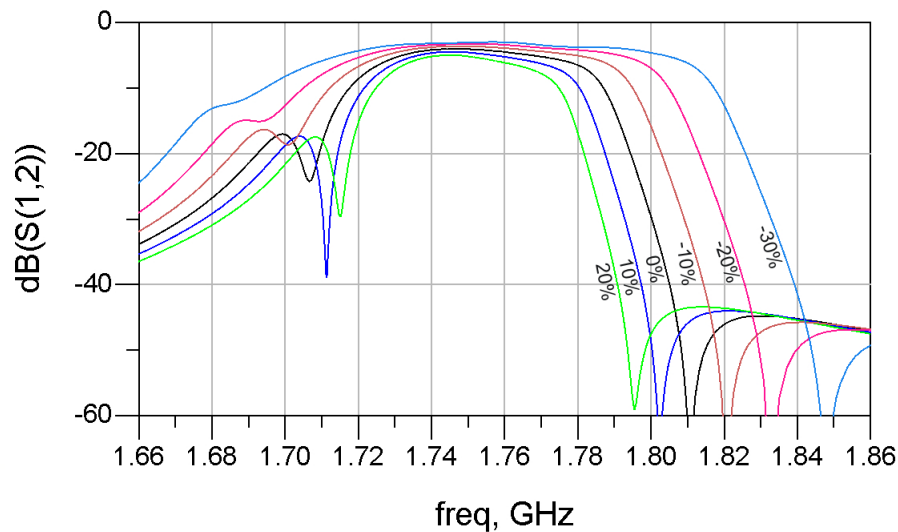
# Entwurf - Filter - Optimierung



- **Resonatorabstand (S)**

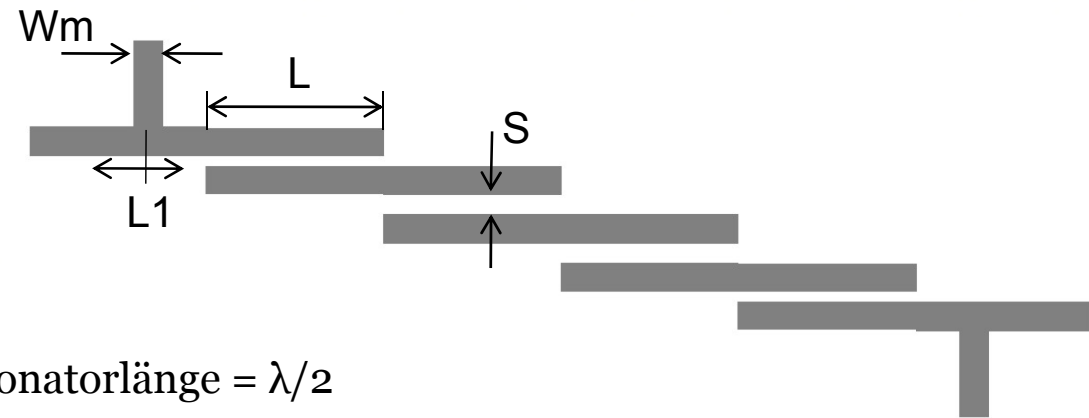
Stärke der Kopplung zwischen der Resonatoren.

$S$  klein  $\Rightarrow$  mehr Signalleistung wird übertragen  $\Rightarrow$  größere **Bandbreite**





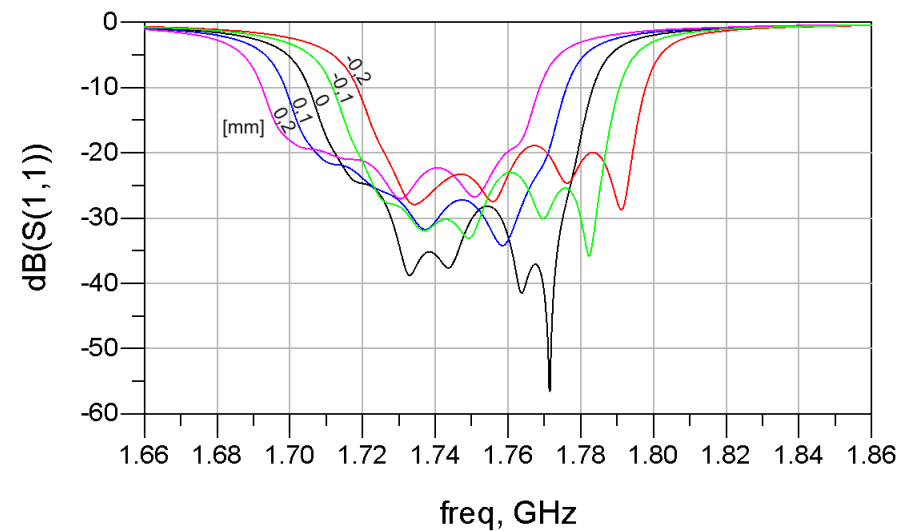
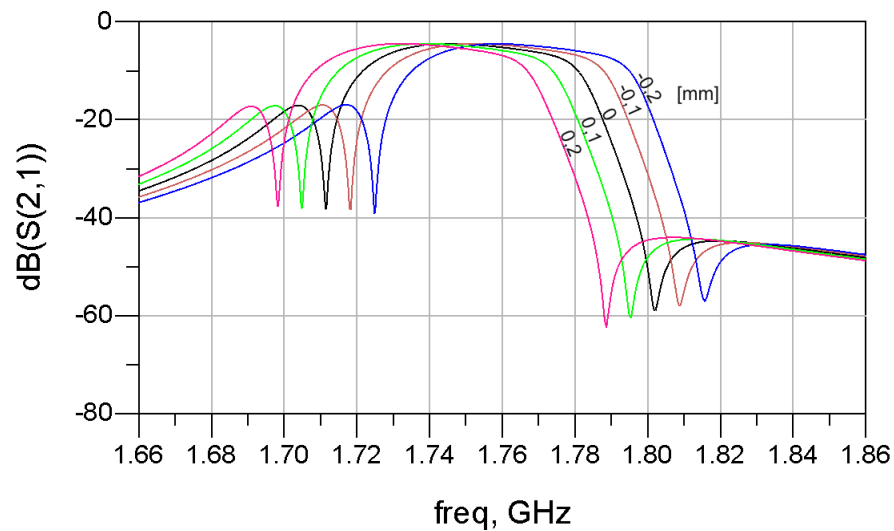
# Entwurf - Filter - Optimierung



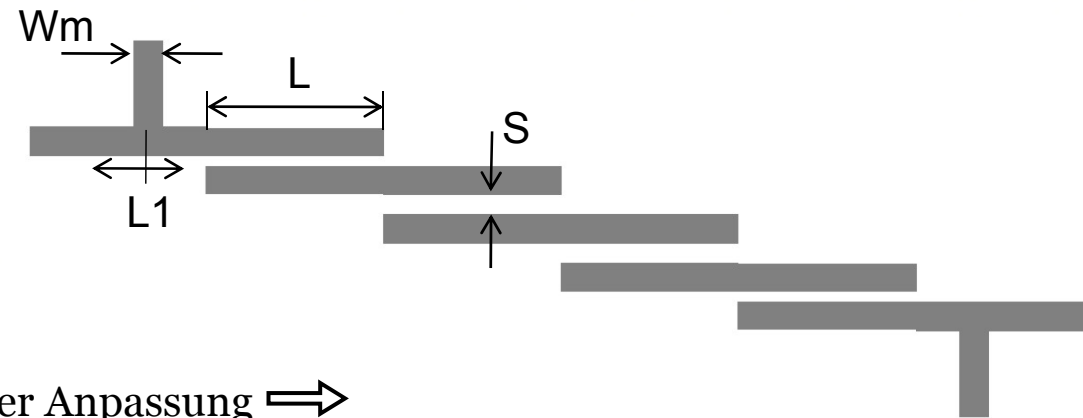
- Resonatorlänge (L)**

parallel coupled (o. Hairpin) BPF: Resonatorlänge =  $\lambda/2$

Änderung der Länge  $\Rightarrow$  Einstellung der Passband

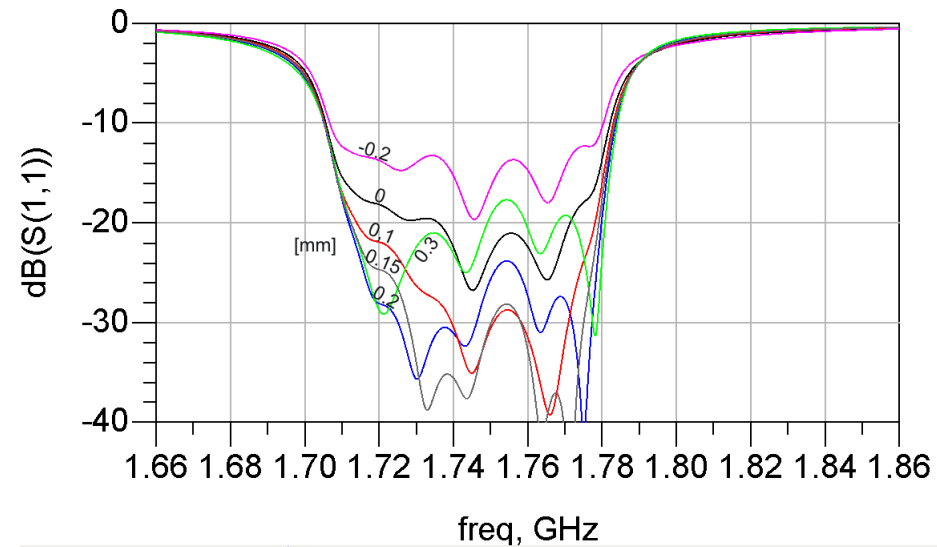
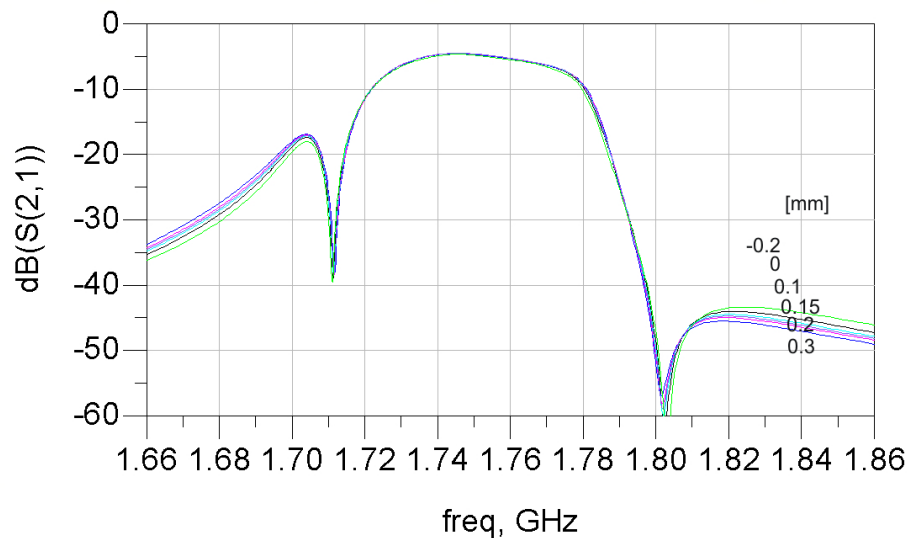


# Entwurf - Filter - Optimierung

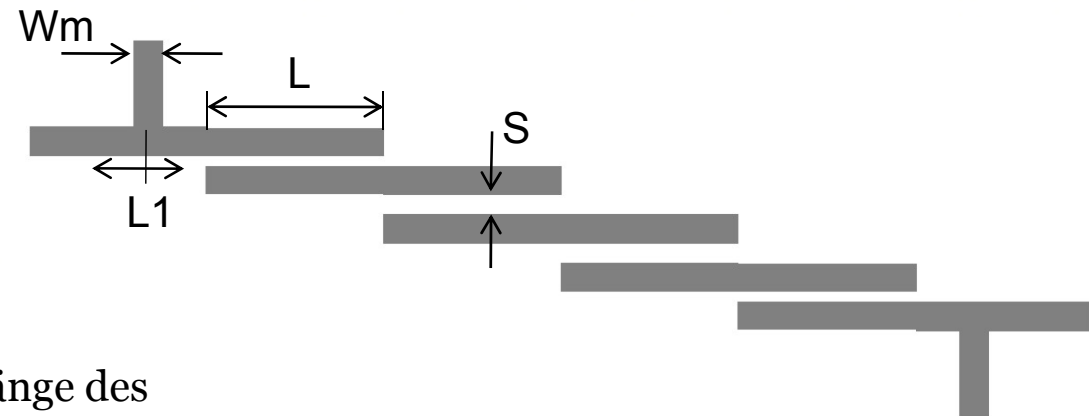


- Ein- & Ausgangsbreite ( $W_m$ )**

Änderung der Breite  $\Rightarrow$  Änderung der Anpassung  $\Rightarrow$   
 Änderung der Reflexion ( $S_{11}$ )

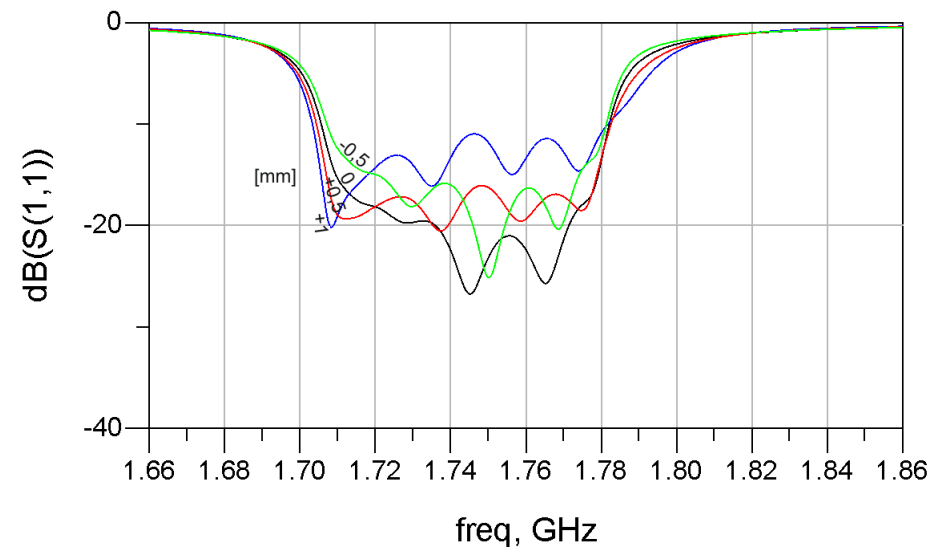
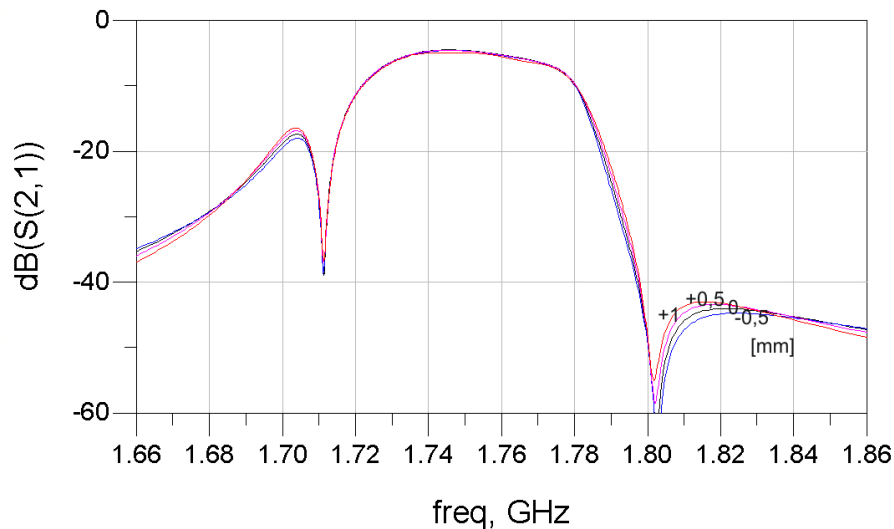


# Entwurf - Filter - Optimierung

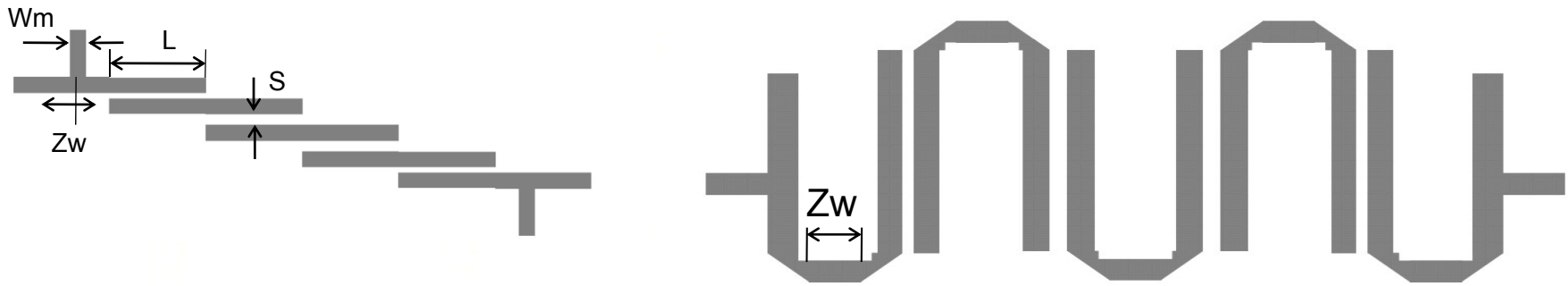


- **Tapping Position ( $L_1$ )**

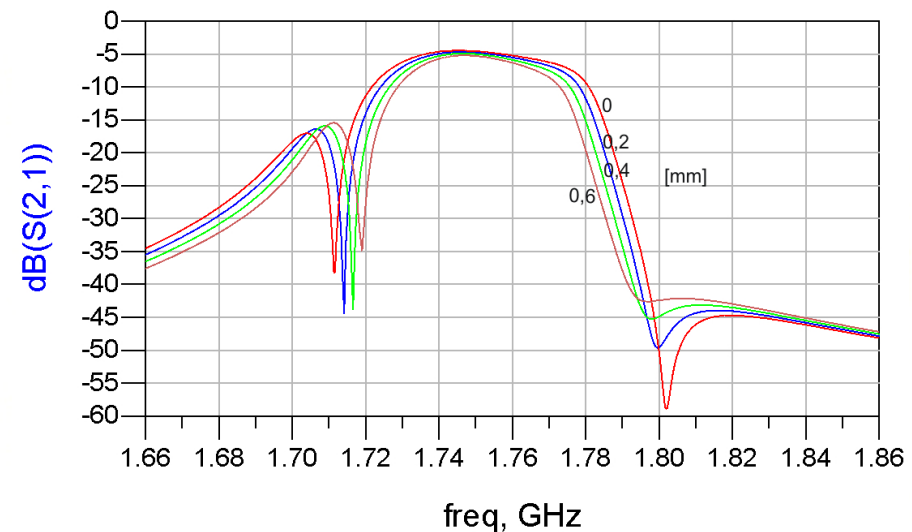
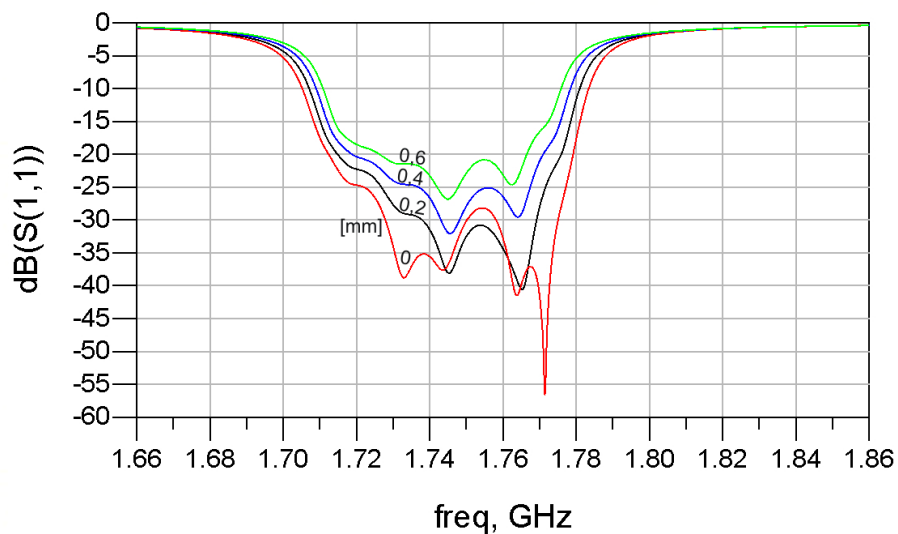
Variation von  $L_1 \Rightarrow$  Variation der Länge des ungekoppelten Teil des Resonators (*matching stub*)  $\Rightarrow$   
Variation der Anpassung  $\Rightarrow$  Variation von  $S_{11}$



# Entwurf - Filter - Optimierung

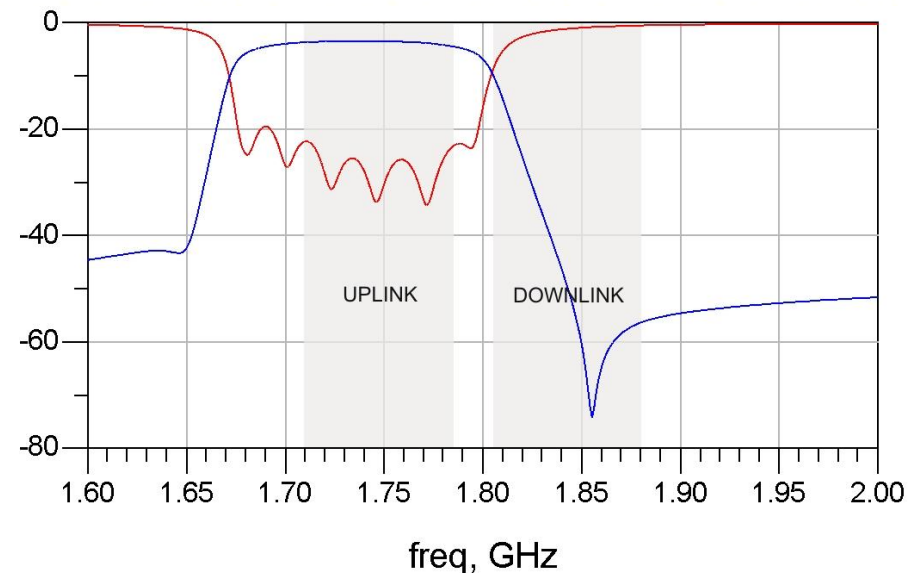
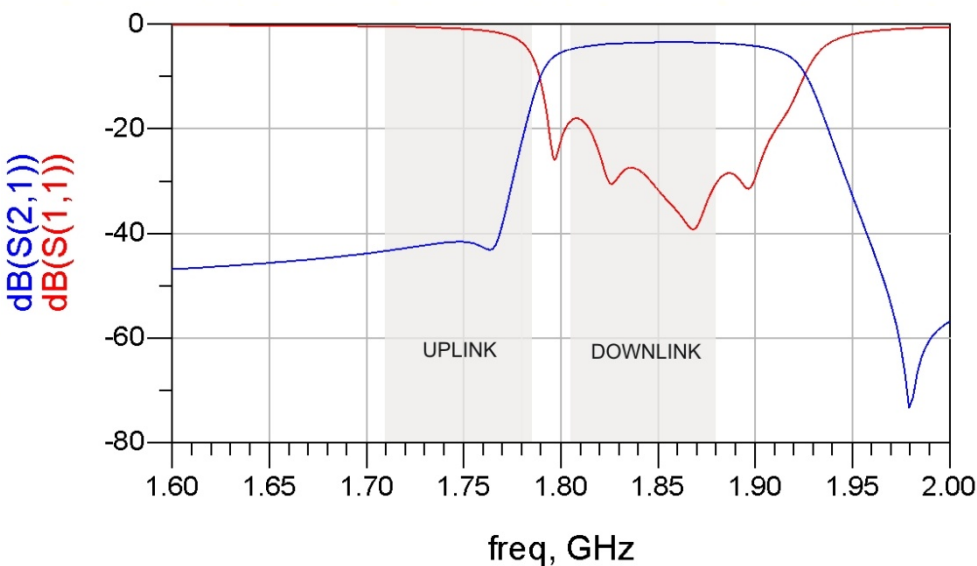


- **Sliding factor ( $Z_w$ )**  
 $Z_w$  größer  $\Rightarrow$  gekoppelter Teil des Resonators wird kleiner  $\Rightarrow$   
 Kopplung kleiner  $\Rightarrow$   $S_{12}$  kleiner ( $S_{11}$  größer)
- Bei **Hairpin**-Struktur existiert eine minimum Grenze  
 $Z_w$  unter Grenze  $\Rightarrow$  Resonatorenenden: self-coupling  $\Rightarrow$  Übertragene Leistung kleiner



# Entwurf - Filter - Optimierung

- Optimierungsalgorithmus:
  - Grobe Änderung + EM-Simulation um das Änderungsintervall zu bestimmen.
  - Feine Änderung der Parameter um die genauere Erwartung zu erfüllen.
- Reihe der Optimierung der Parameter ist sehr wichtig
  - ⇒ Weniger Zeit
  - ⇒ Besseres Ergebnis
- Dominierende Parameter bestimmen:
  - Größer Einfluss auf den Filtereigenschaften (geringe Änderung -> deutlicher unterschied)
  - Gleichzeitig Einfluss an mehreren Filtereigenschaften.
- HIER: S, L, Zw, Wm, L1



# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

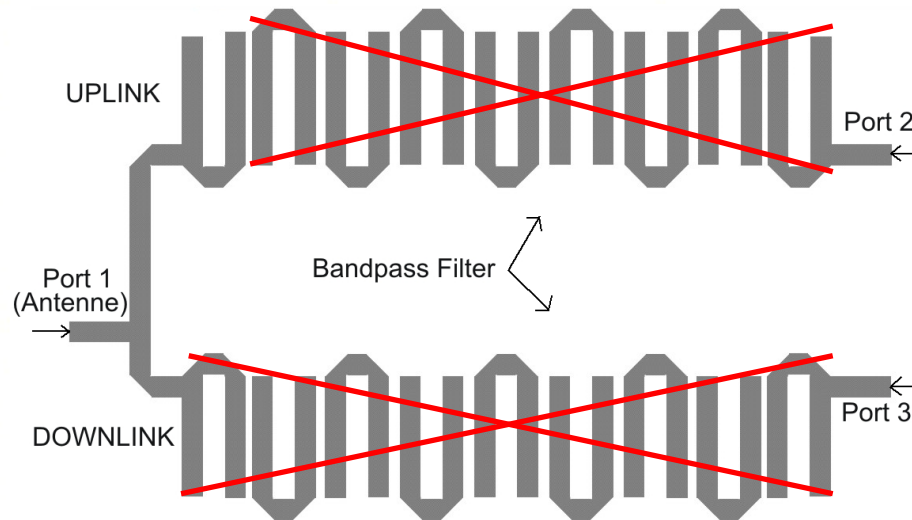
### 3. Repeater-Schaltung

Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

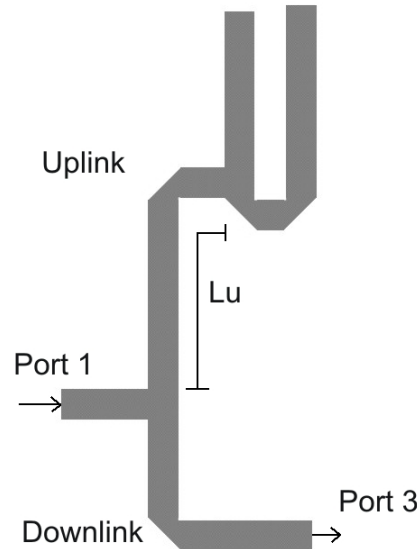
# Entwurf - Duplexer - MLE



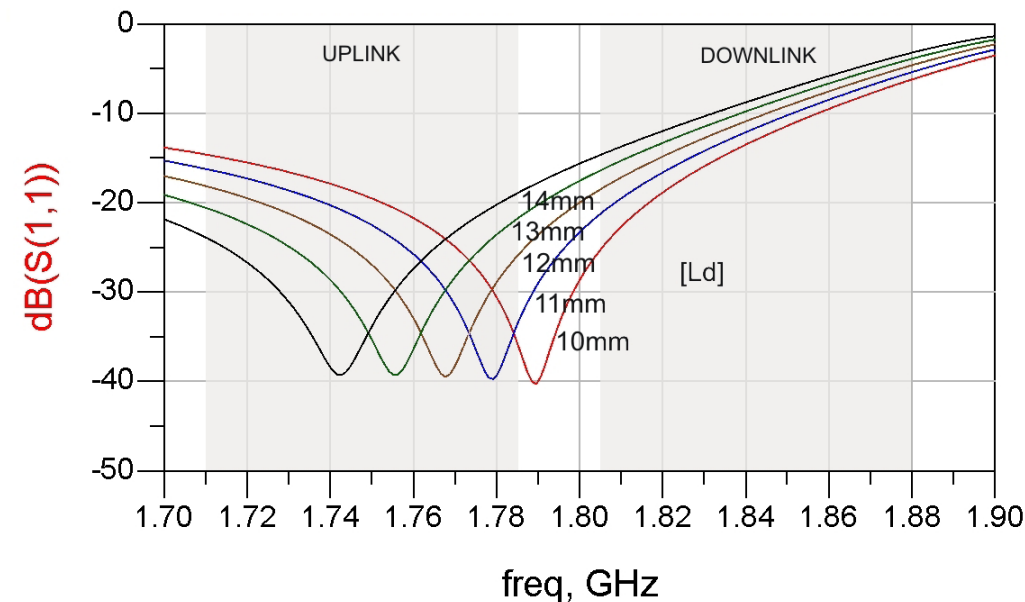
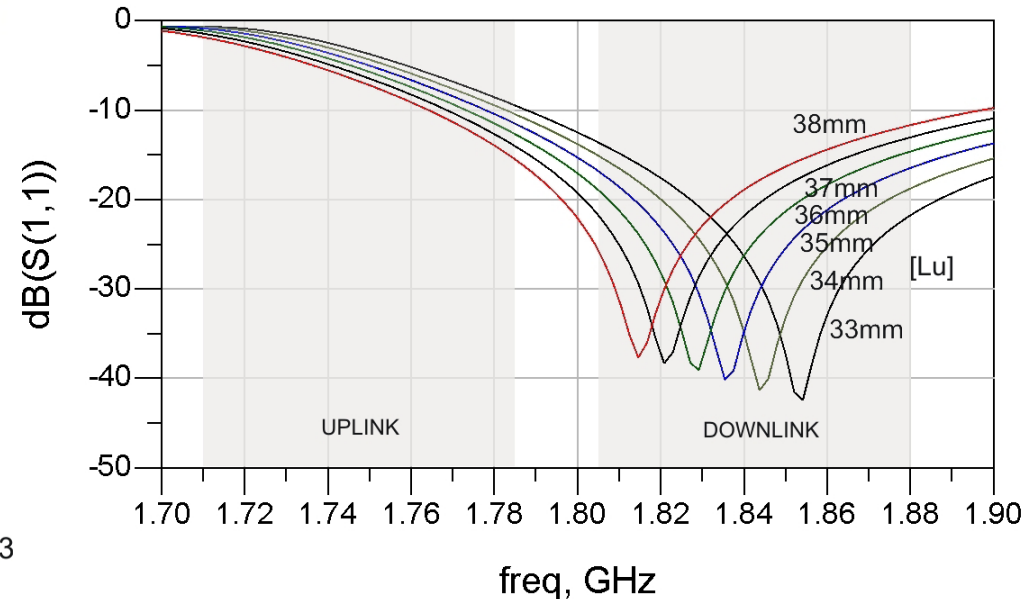
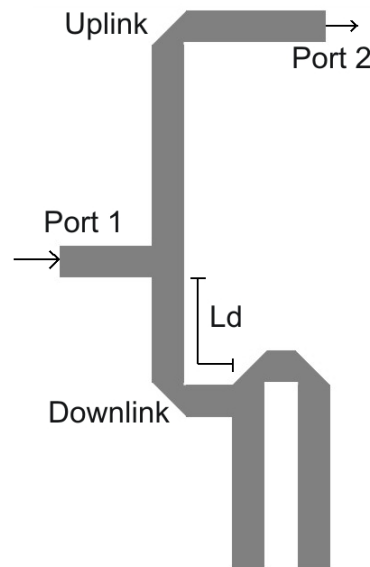
- Durch verbinden mehrere Filter am selben Eingang entstehen Störleistungen zwischen den Filtern, die auf Blind-Reflexionen zurückzuführen sind (**mutual loading effect**)  $\Rightarrow$  Dämpfungen im Passbandbereich der Filter  $\Rightarrow$  Filterperformance wird kräftig beeinflusst
- Lösung: Der jeweils nicht verwendete Zweig soll sich dem anderen gegenüber als „Leerlauf“ verhalten  $\Rightarrow$  Führungslängen entsprechend einstellen.

# Entwurf - Duplexer - MLE

- Layout des Duplexer-Abschnittes, der für die Einstellung der Uplink-Führungsleitungslänge zur Minimierung des *mutual loading effects* (*links*).  
Dämpfungsverhalten im Downlink-Band mit der Varrierung der Uplink-Führungsleitungslänge (rechts).

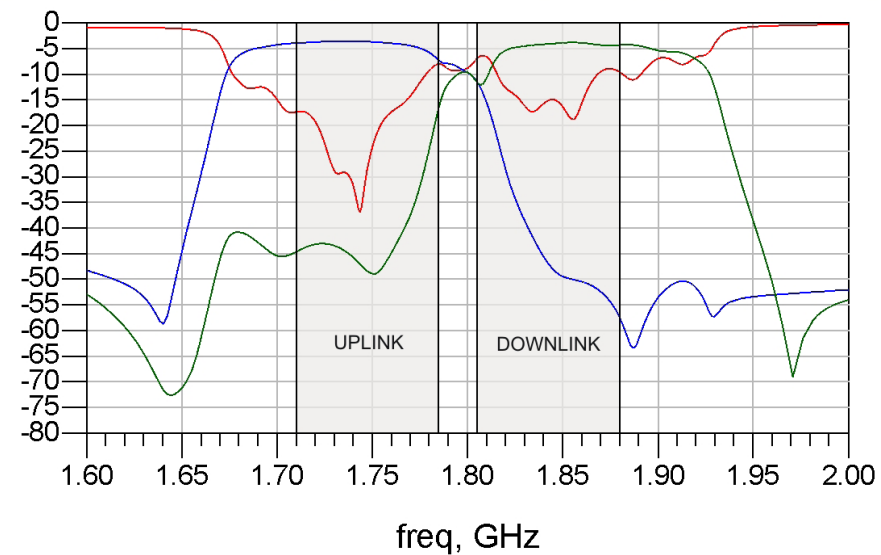
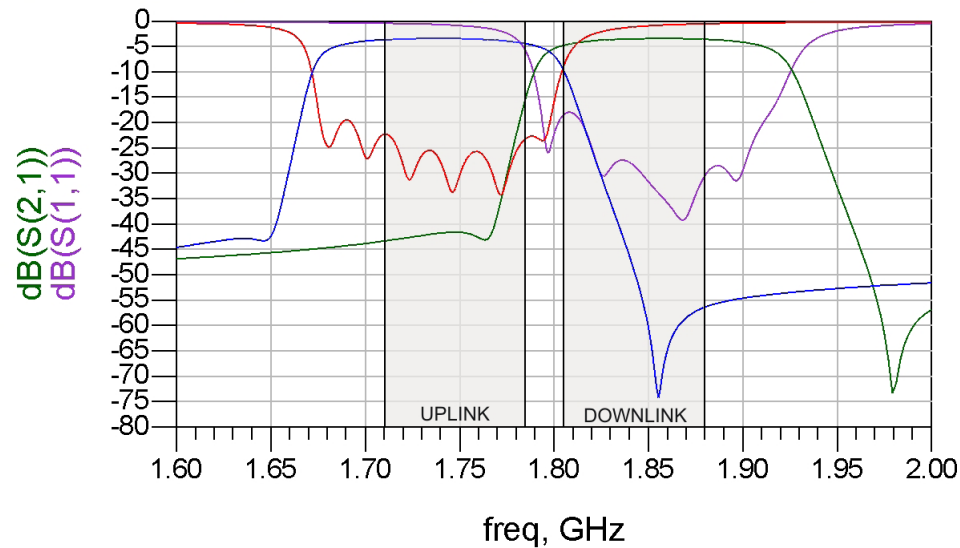


- Layout des Duplexer-Abschnittes, der für die Einstellung der Downlink-Führungsleitungslänge zur Minimierung des *mutual loading effects* (*links*).  
Dämpfungsverhalten im Uplink-Band mit der Variierung der Downlink-Führungsleitungslänge (rechts).



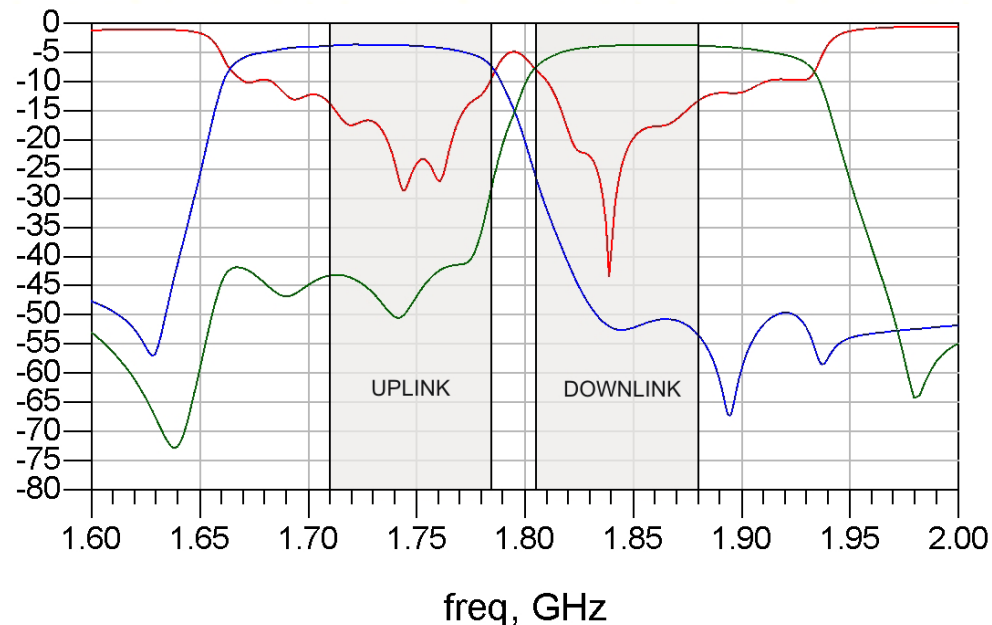


# Entwurf - Duplexer - Optim.



- Destruktives Wechselwirken der Filter erfordert noch eine Optimierung der Filterparameter nachdem die Filter zusammen angeschlossen sind.
- Oben links: Erwartete Duplexerantwort
- Oben rechts: Duplexerantwort vor Optimierung
- Unten: Duplexerantwort nach Optimierung

$\text{dB}(S(3,1))$   
 $\text{dB}(S(2,1))$   
 $\text{dB}(S(1,1))$



# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loadig effect

### 3. Repeater-Schaltung

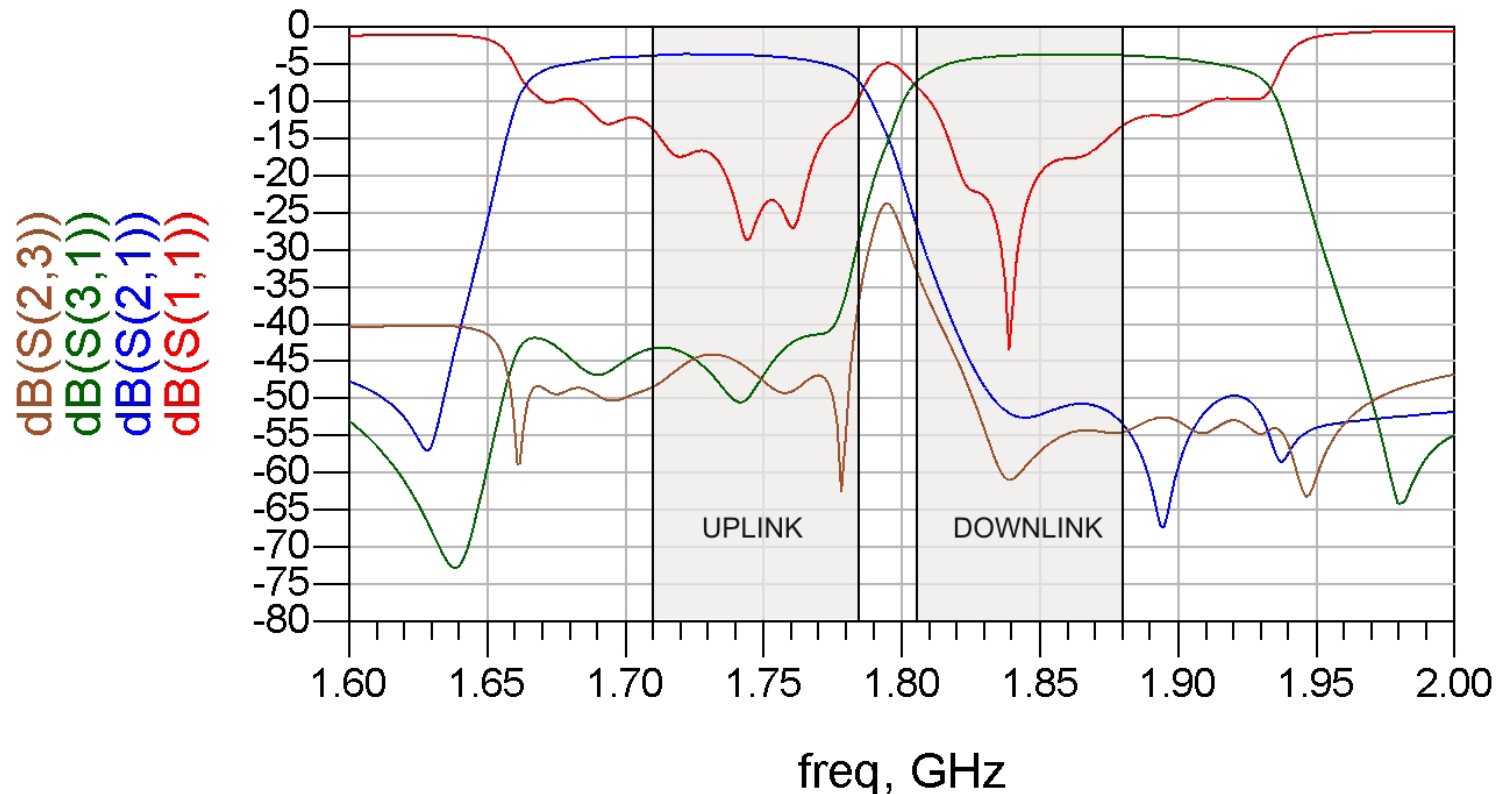
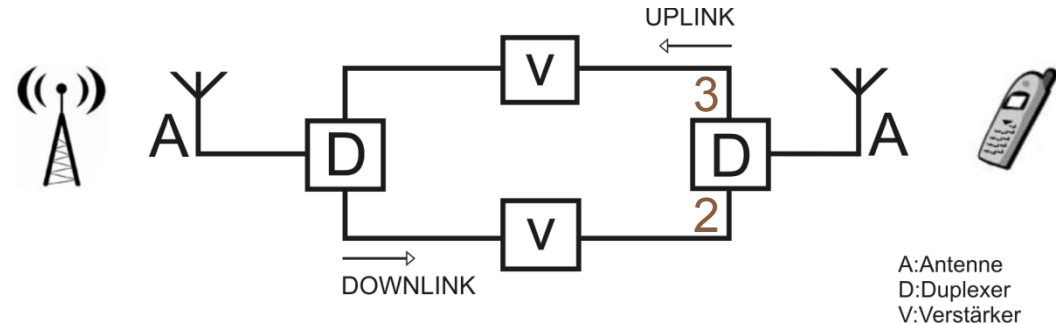
Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

# Entwurf - Repeater - innere K.

- Anteil des verstärkten Signals wird noch mal verstärkt.
- $\text{dB}(S(2,3))_{\text{max}} = -23 \Rightarrow$   
**Verstärkung : maximum 23dB**



# Entwurf - Repeater - äußere K.

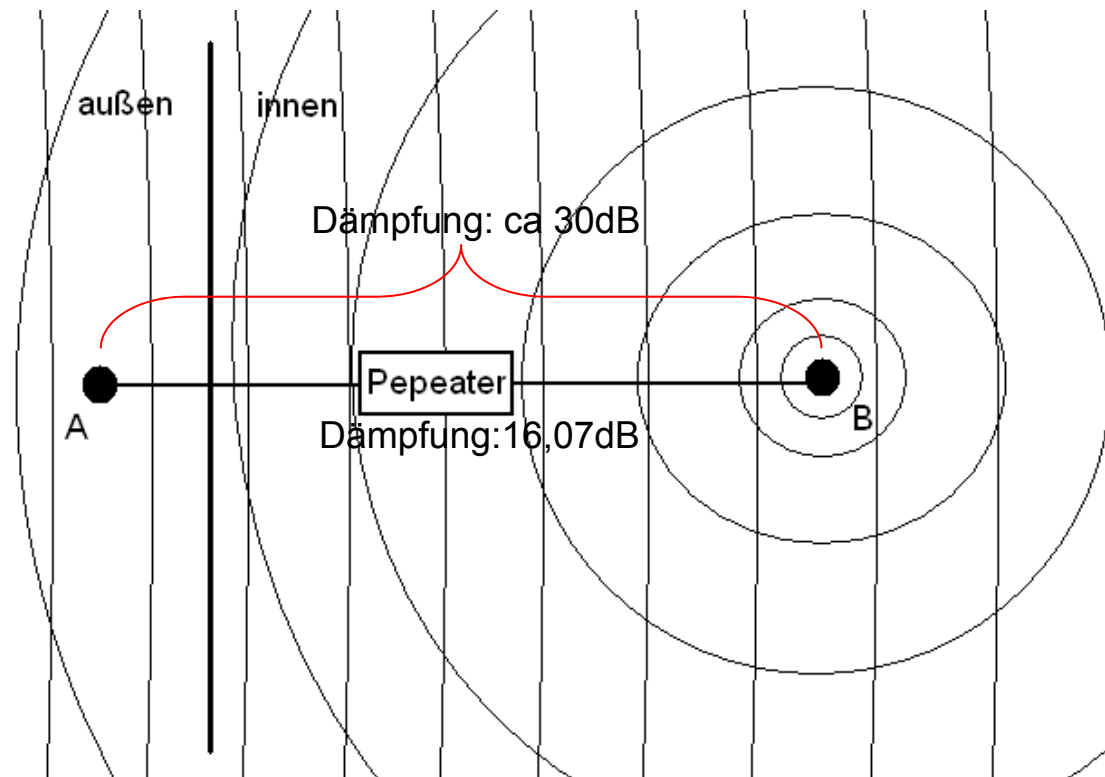
- Messung: Dämpfung zwischen zwei punkte = ca. 30dB
- Pegelplan: Dämpfung zwischen Antennen des Repeaters = ca. 16,07dB
- Sicherheitsabstand: 10dB
- Repeaterdämpfung + Verstärkung + Sicherheitsabstand  $\leq$   
Dämpfung zwischen Punkten A & B  $\Rightarrow$   
Verstärkung  $\leq 16.07\text{dB} + 30\text{dB} - 10\text{dB} \Rightarrow$  **Verstärkung  $\leq 36,07\text{dB}$**

• Dämpfung: Angenommen Fernfeld

$$\sim 1 / r$$

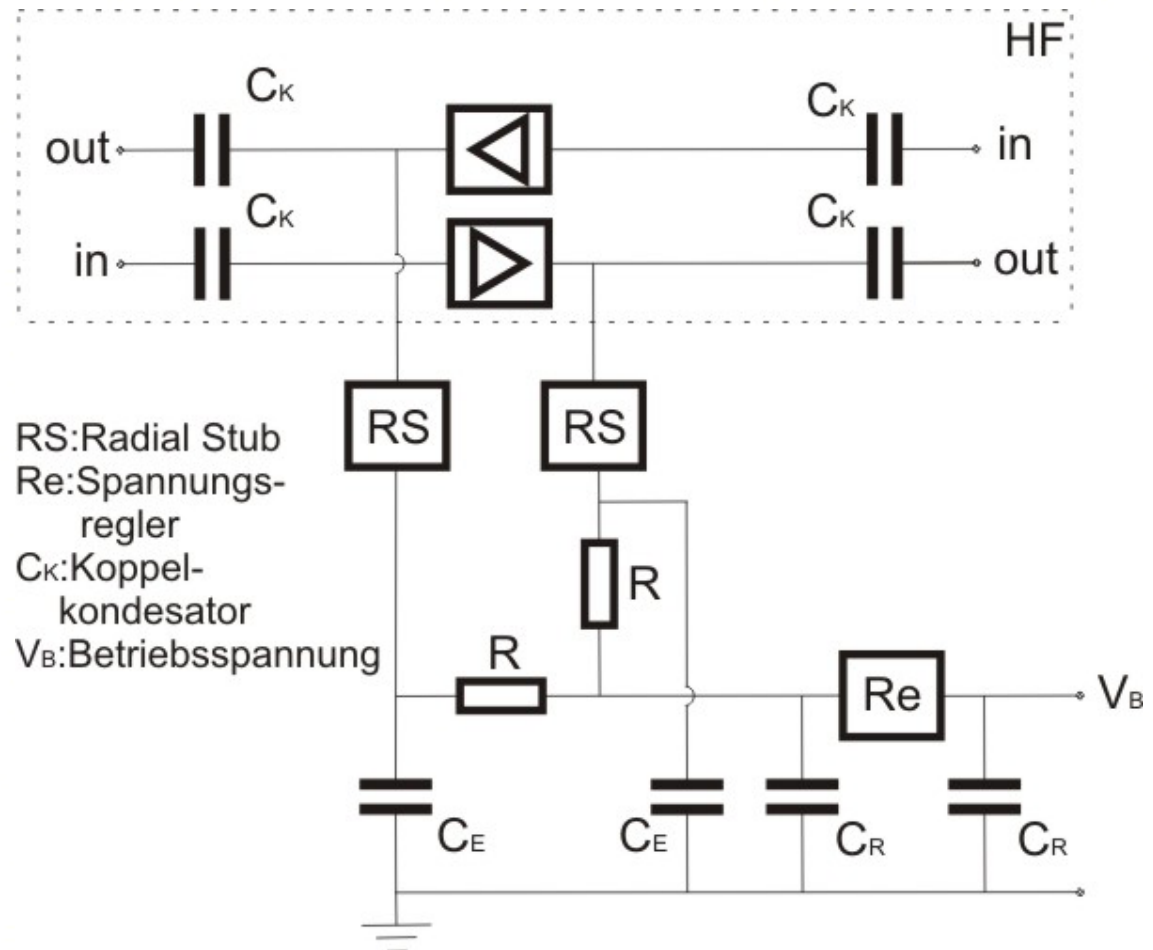
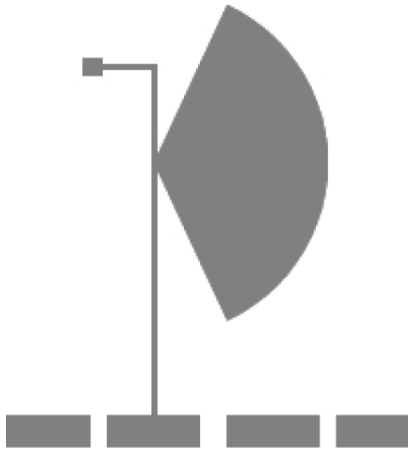
• Entkopplung: Nahfeld

$$\sim 1 / r^2$$



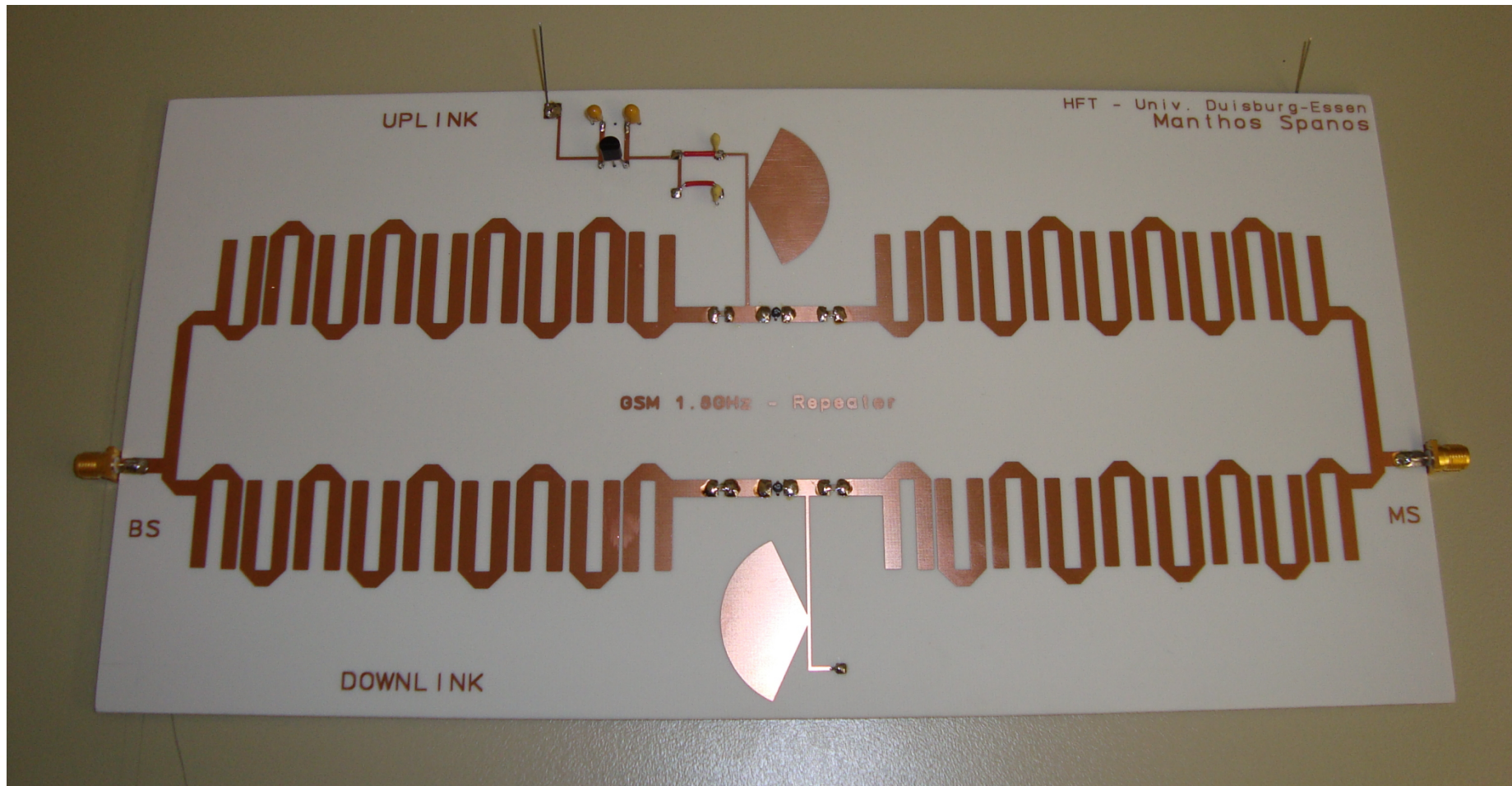
# Entwurf - Repeater - Verstärker

- Verstärker: *mini circuits ERA 5+*
- Gain: **18,5dB** bei 2GHz
- Bias: Radial-Stub



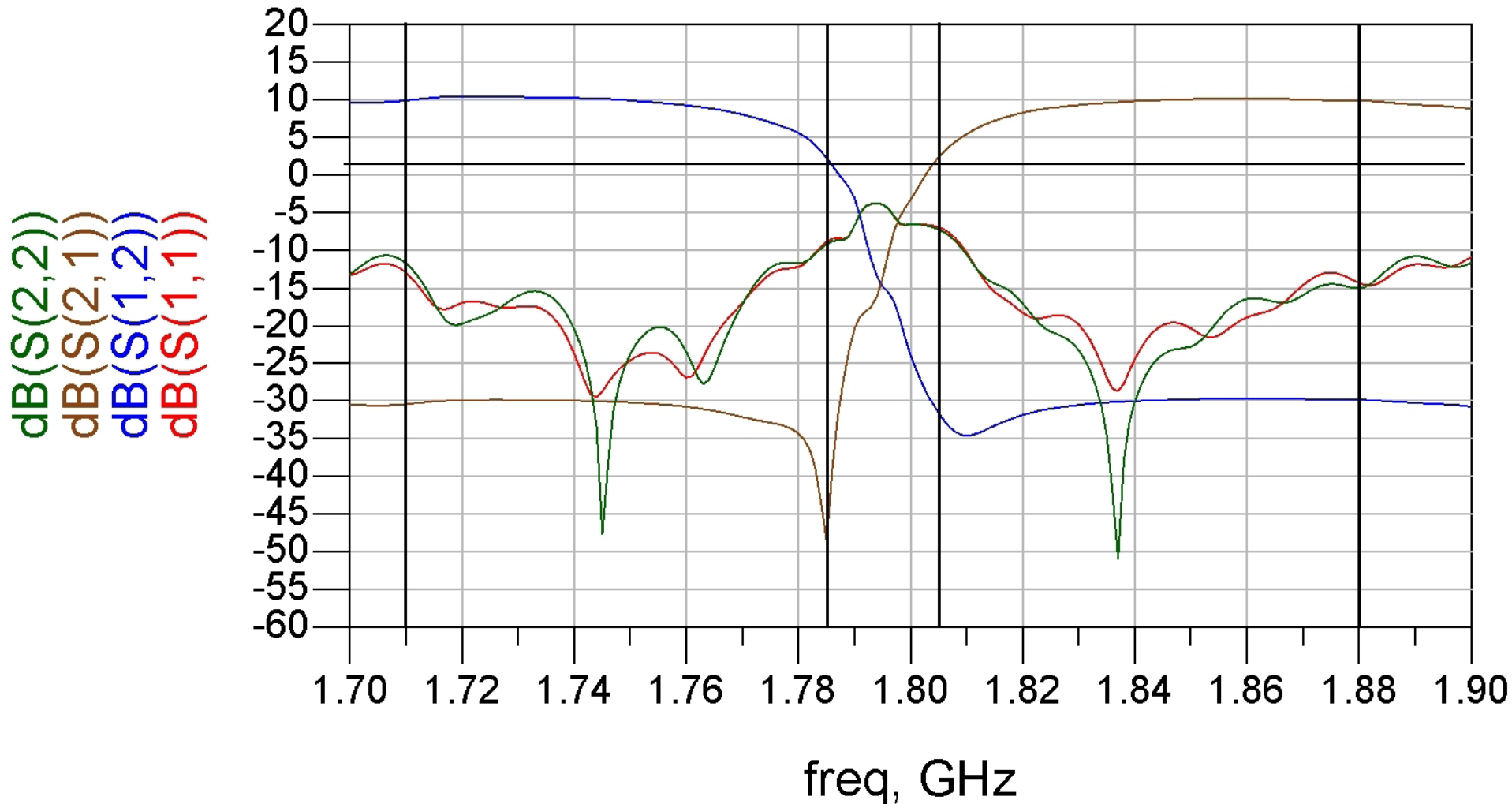
# Entwurf - Repeater

## Repeater Schaltung:



# Entwurf - Repeater

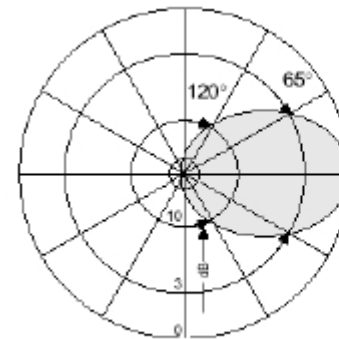
Repeater „full system“ Simulation:



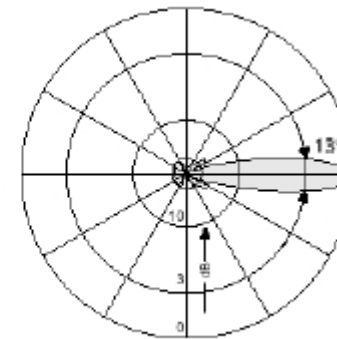
# Entwurf - Repeater - Antennen

- Innere Antenne: breitbandige **Dipolantenne**
- Äußere Antenne: **Sektorantenne**

Halbwellendipole vor einer Reflektorwand angeordnet  $\Rightarrow$  Horizontale & Vertikale Richtcharakteristik



Horizontal



Vertikal



# Aufbau des Vortrages/Inhalt

## 1. Prinzip

Bauweise, Material, Problematik

## 2. Messungen

## 3. Entwurf

### 1. Filter

ADS, Materialkonstanten, Bandpassstrukturen, Simulation, Optimierung

### 2. Duplexer

mutual loading effect

### 3. Repeater-Schaltung

Verstärkung, innere & äußere Kopplung, Bias, Antennen

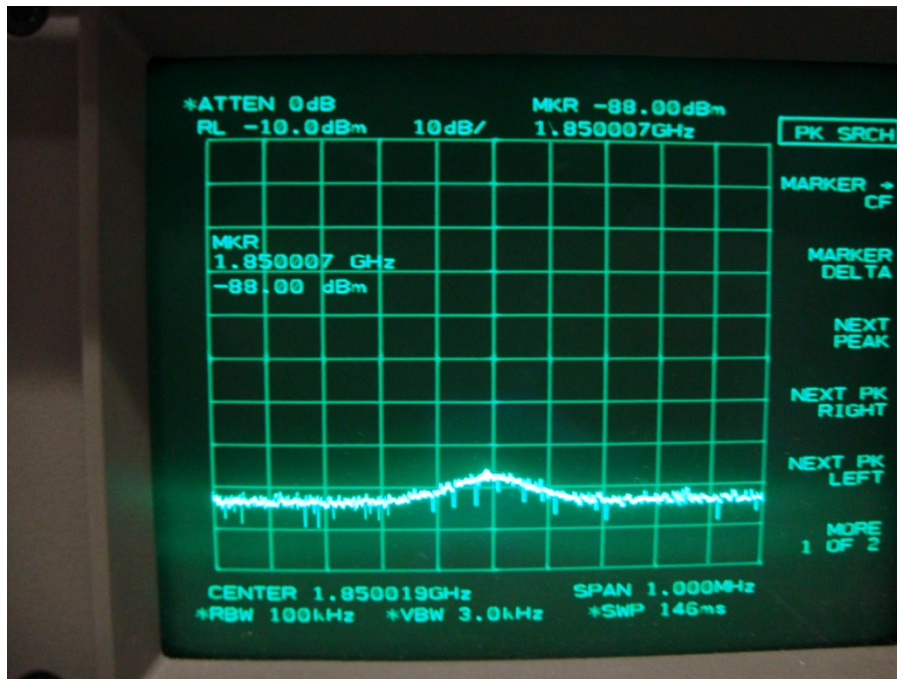
## 4. Aufbau und Validierung

## 5. Diskussion

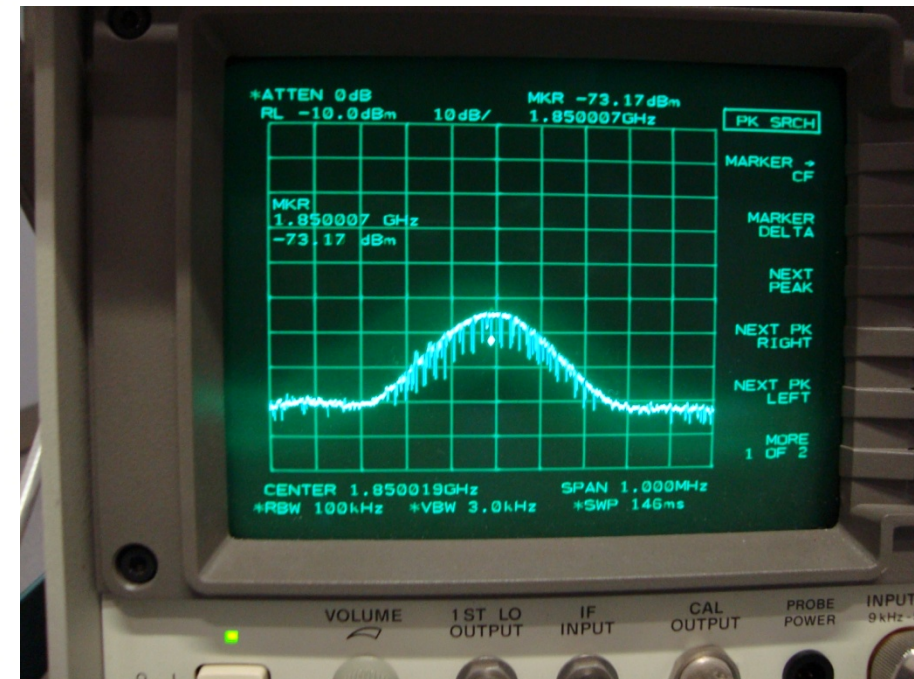
# Validierung - Spektrumanalyser

- Aufbau: Auf der ersten Etage des BB-Gebäudes.
- Leistung im inneren des Gebäudes wurde mit einer Dipolantenne und einem Spektrumanalysator gemessen.

Repeater aus:

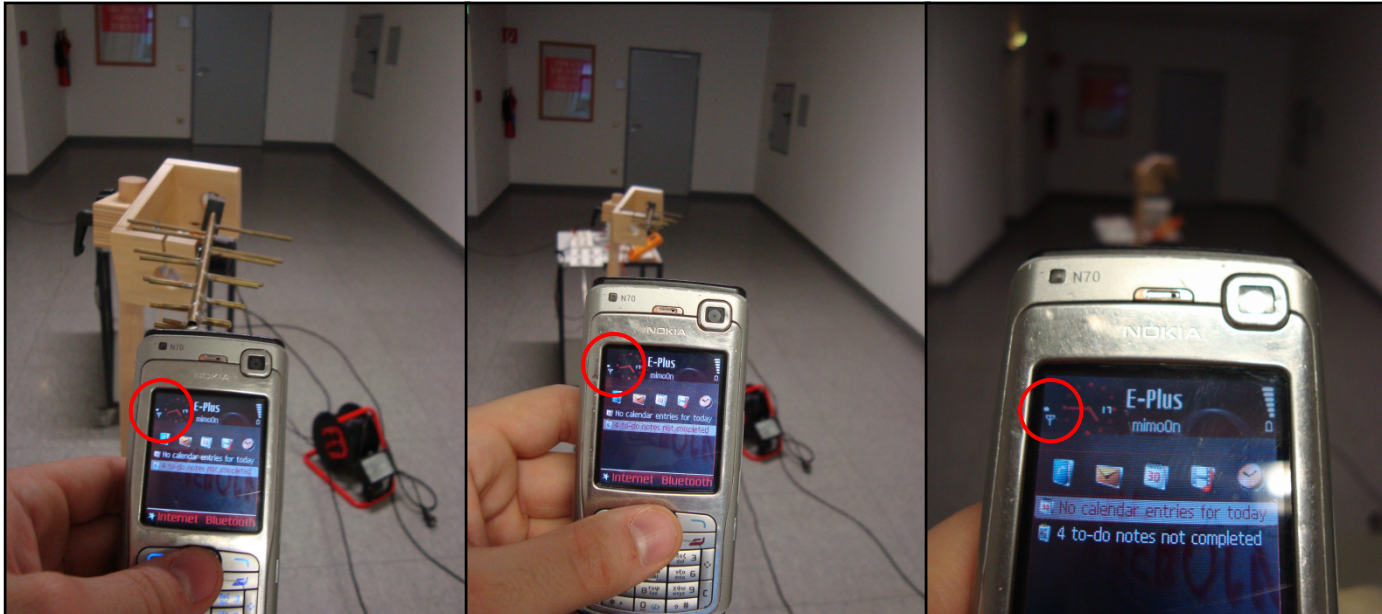


Repeater an:



# Validierung - Handy

Repeater aus:



Repeater an:



# Diskussion

- Mehr Verstärkung erforderlich um einen größeren Bereich zu decken (ca. 50dB)
  - ⇒ andere Filterstrukturen : „Cross coupled ring resonator“  
Struktur
  - ⇒ Frequenznutzung - Größere Bandlücke
- Zwei oder mehrere transparente Repeater können nacheinander geschaltet werden um größere Verstärkung zu erreichen.
- Transparenter Repeater ist jedenfalls eine günstige Alternative von Mobilfunk-Relay Lösungen.

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**