



Diplomarbeit

FIR-Filter für Ultra Wide Bandwidth Beamformer

Guido Joormann

Universität Duisburg-Essen - Hochfrequenztechnik

Prof. Dr.-Ing. K. Solbach

Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- Wachsendes Interesse an breitbandigen Systemen in der modernen Nahbereichs-Kommunikationstechnik

Motivation

- Wachsendes Interesse an breitbandigen Systemen in der modernen Nahbereichs-Kommunikationstechnik
- Ultra Wide Bandwidth (UWB):
Frequenzbereich: 3,1 - 10,6 GHz,
Datenrate: Bis zu 10 Gbps,
Entfernung: 5 - 10 m

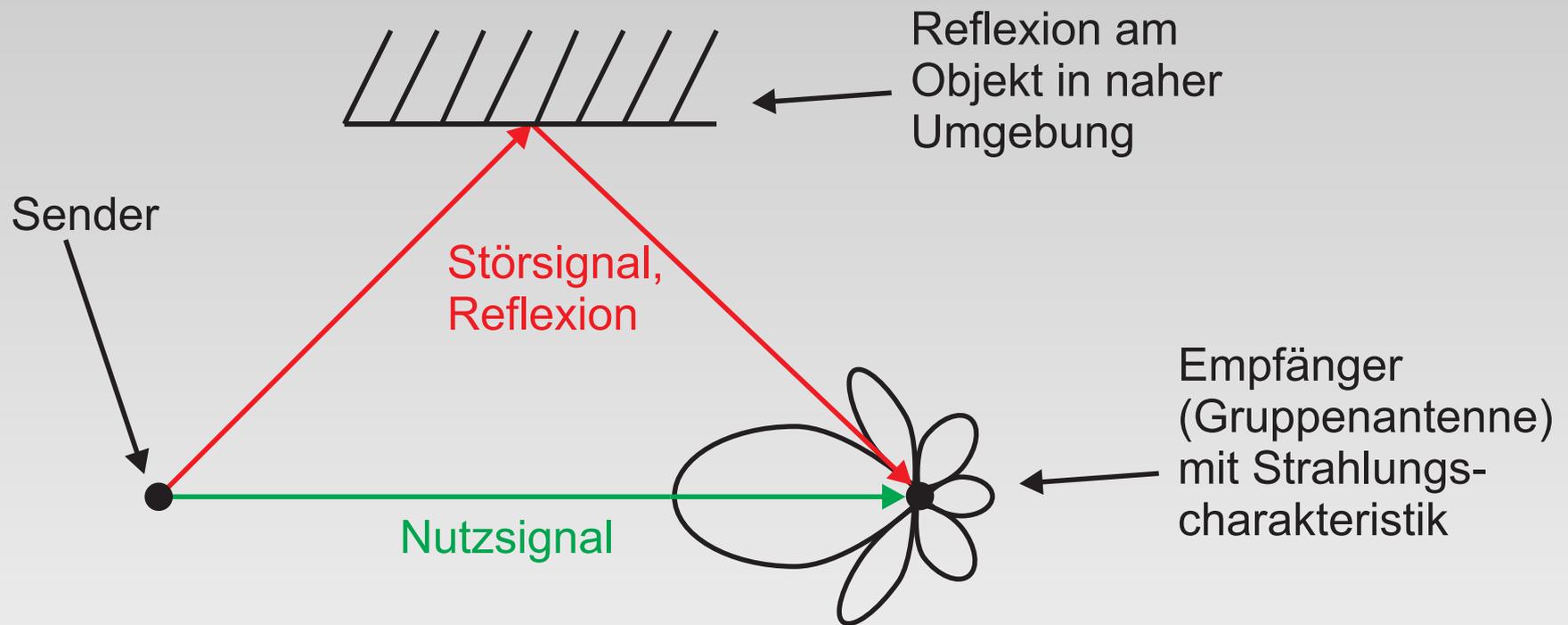
Motivation

- Wachsendes Interesse an breitbandigen Systemen in der modernen Nahbereichs-Kommunikationstechnik
- Ultra Wide Bandwidth (UWB):
Frequenzbereich: 3,1 - 10,6 GHz,
Datenrate: Bis zu 10 Gbps,
Entfernung: 5 - 10 m
- Störende Reflexionen bei Übertragung und bei Positionierung / Lokalisierung
⇒ Datenrate sinkt

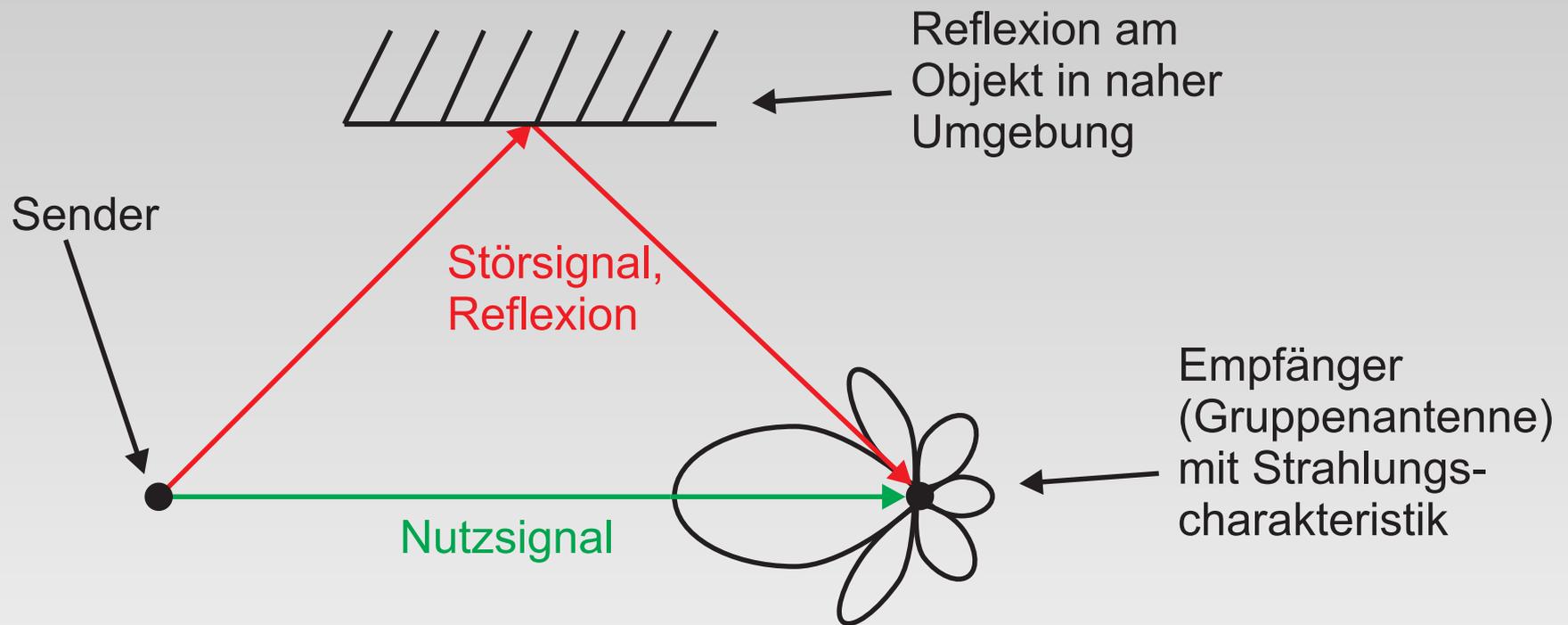
Motivation

- Wachsendes Interesse an breitbandigen Systemen in der modernen Nahbereichs-Kommunikationstechnik
- Ultra Wide Bandwidth (UWB):
Frequenzbereich: 3,1 - 10,6 GHz,
Datenrate: Bis zu 10 Gbps,
Entfernung: 5 - 10 m
- Störende Reflexionen bei Übertragung und bei Positionierung / Lokalisierung
⇒ Datenrate sinkt
- Lösung: Beamforming

Einleitung - Beamforming

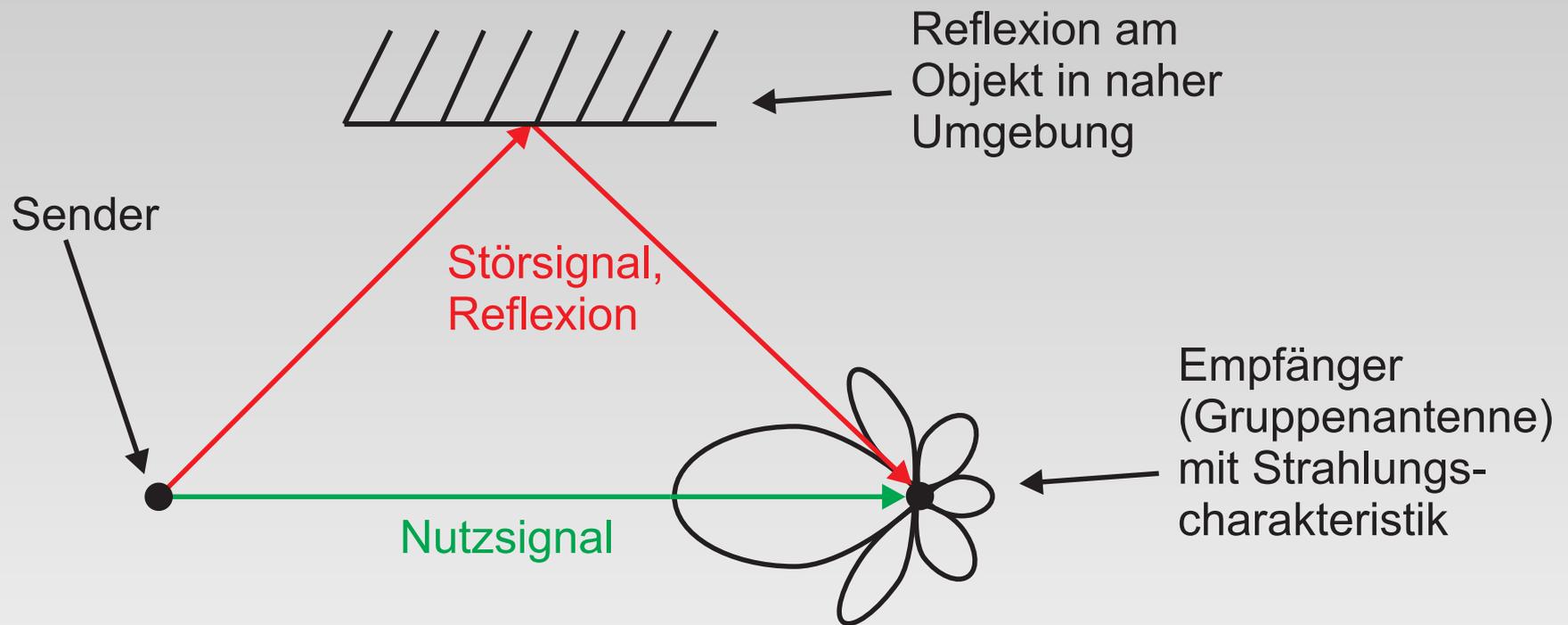


Einleitung - Beamforming



- Verstärkung des Nutzsignals

Einleitung - Beamforming



- Verstärkung des Nutzsignals
- Unterdrückung des Störsignals

Einleitung - Beamforming

- Ziel: konstante Strahlungscharakteristik über einen weiten Frequenzbereich

Einleitung - Beamforming

- Ziel: konstante Strahlungscharakteristik über einen weiten Frequenzbereich
- Zeitlich sehr kurze Pulse \Rightarrow für digitales Beamforming wäre sehr hohe Sampling-Rate erforderlich

Einleitung - Beamforming

- Ziel: konstante Strahlungscharakteristik über einen weiten Frequenzbereich
- Zeitlich sehr kurze Pulse \Rightarrow für digitales Beamforming wäre sehr hohe Sampling-Rate erforderlich
- Schmalbandiges Beamforming mittels komplexen Gewichtungsfaktoren vor jedem Antennenelement

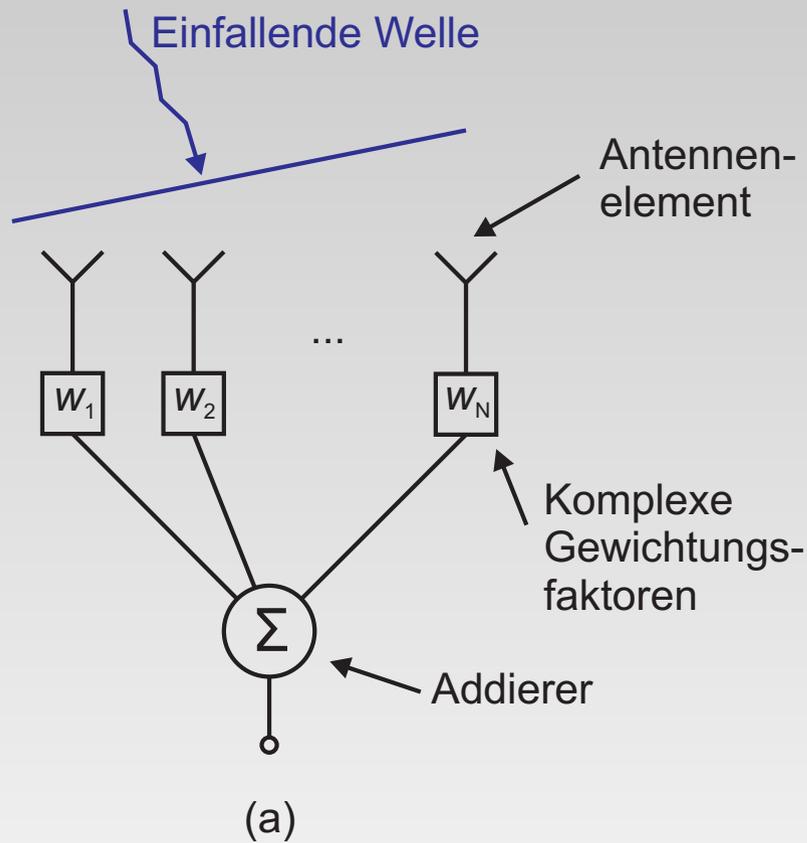
Einleitung - Beamforming

- Ziel: konstante Strahlungscharakteristik über einen weiten Frequenzbereich
- Zeitlich sehr kurze Pulse \Rightarrow für digitales Beamforming wäre sehr hohe Sampling-Rate erforderlich
- Schmalbandiges Beamforming mittels komplexen Gewichtungsfaktoren vor jedem Antennenelement
- Breitbandiger Betrieb: Aufweitung der Hauptkeule und Verschiebung der Nebenzipfel und Nullstellen

Einleitung - Beamforming

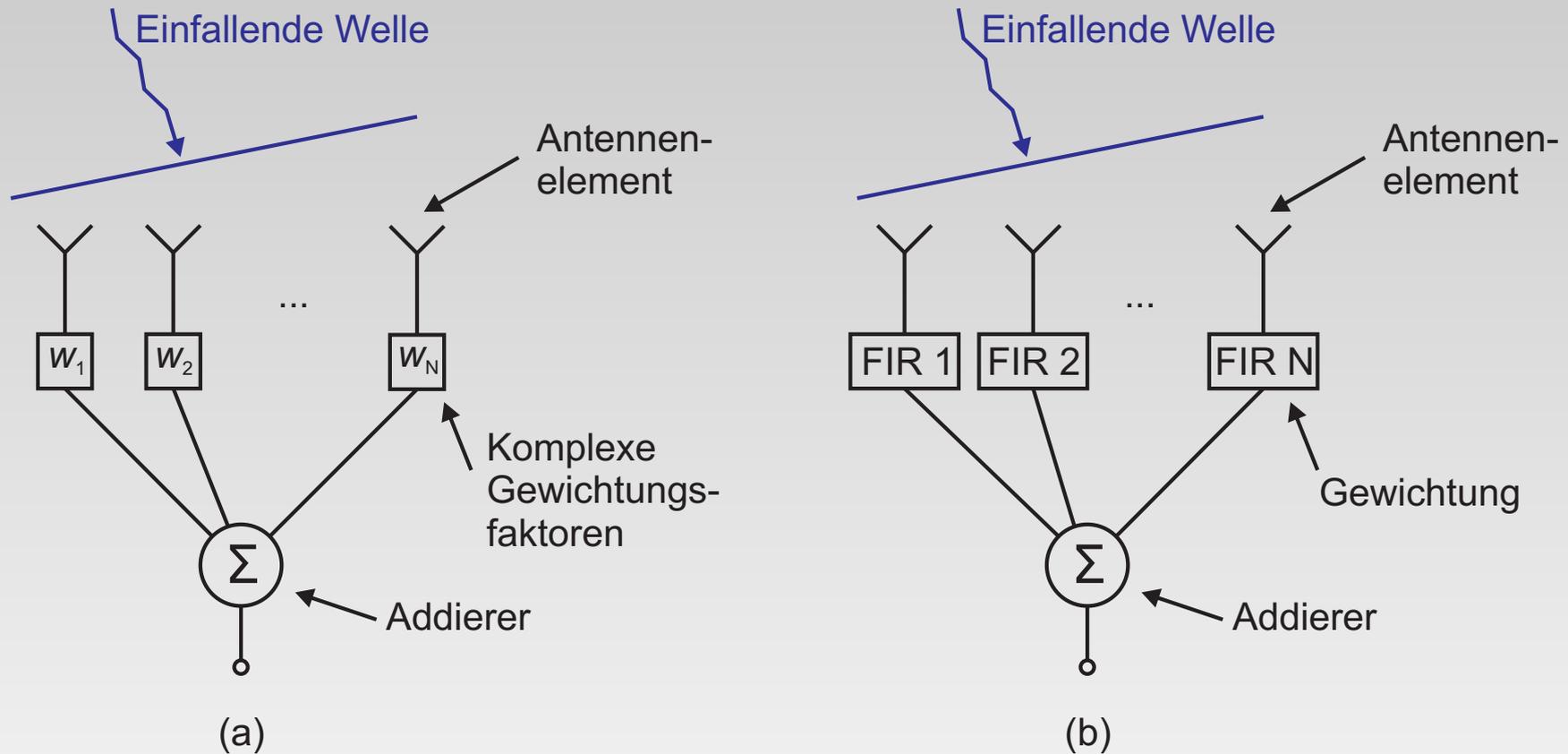
- Ziel: konstante Strahlungscharakteristik über einen weiten Frequenzbereich
- Zeitlich sehr kurze Pulse \Rightarrow für digitales Beamforming wäre sehr hohe Sampling-Rate erforderlich
- Schmalbandiges Beamforming mittels komplexen Gewichtungsfaktoren vor jedem Antennenelement
- Breitbandiger Betrieb: Aufweitung der Hauptkeule und Verschiebung der Nebenzipfel und Nullstellen
- Lösung: Einsatz von analogen FIR-Filtern

Einleitung - Beamforming



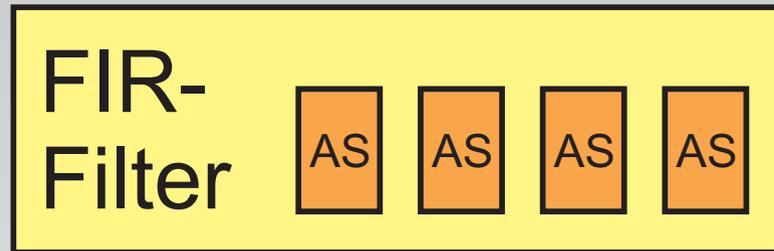
- (a) schmalbandiges Beamforming

Einleitung - Beamforming



- (a) schmalbandiges Beamforming
- (b) breitbandiges Beamforming

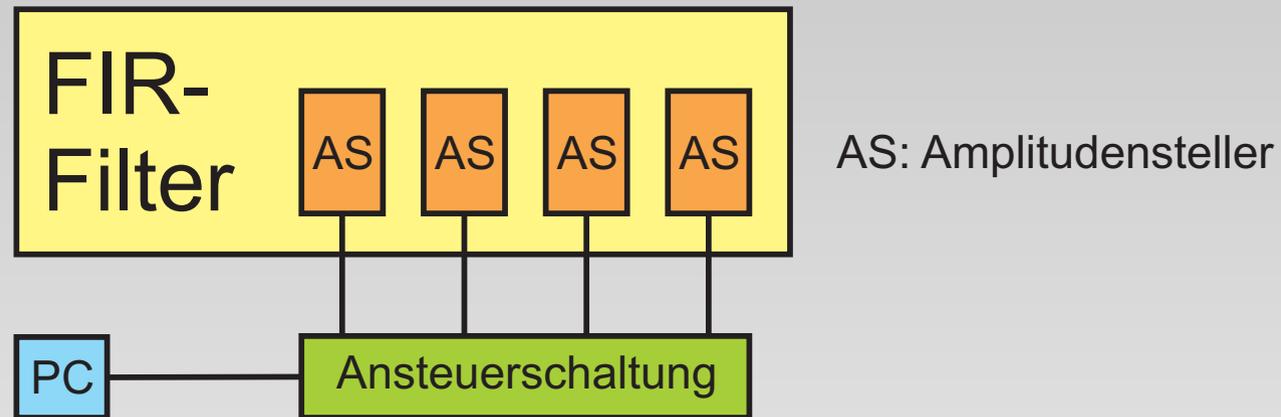
Einleitung - Aufgabenstellung



AS: Amplitudensteller

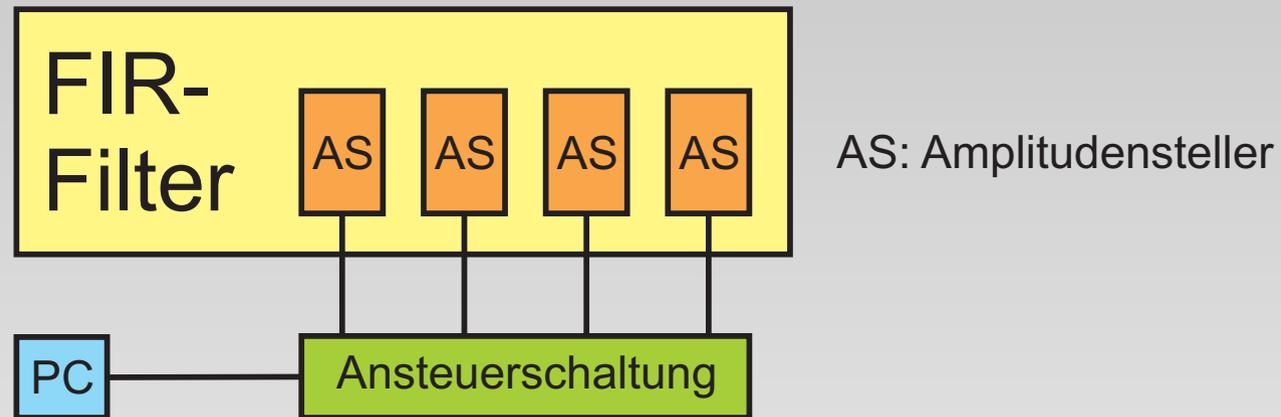
- Entwicklung und Aufbau eines analogen vierstufigen FIR-Filters

Einleitung - Aufgabenstellung



- Entwicklung und Aufbau eines analogen vierstufigen FIR-Filters
- Entwurf und Aufbau einer elektronischen Ansteuerschaltung mit Schnittstelle zum PC

Einleitung - Aufgabenstellung



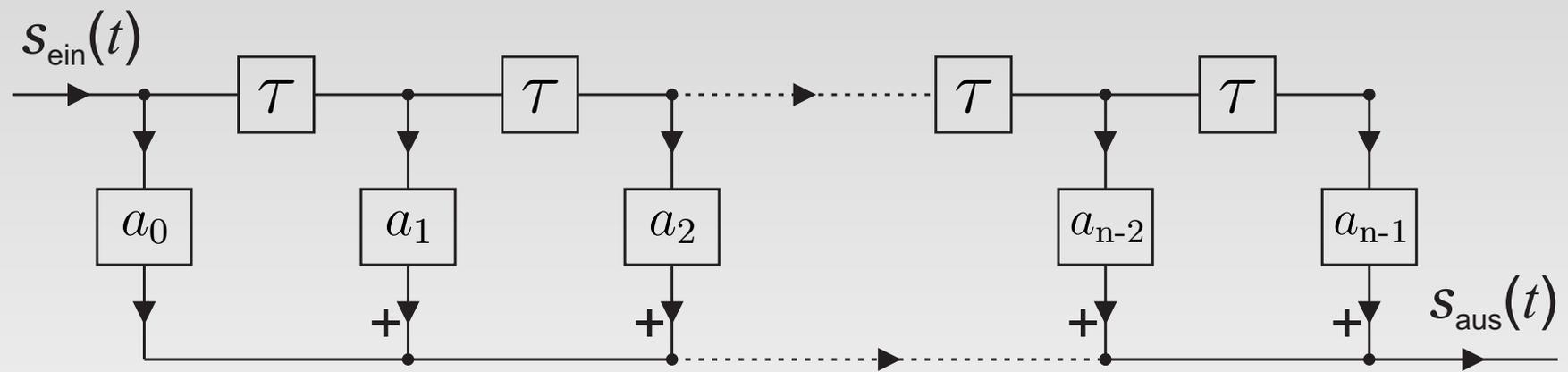
- Entwicklung und Aufbau eines analogen vierstufigen FIR-Filters
- Entwurf und Aufbau einer elektronischen Ansteuerschaltung mit Schnittstelle zum PC
- Vergleich von Simulations- und Messergebnissen

Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

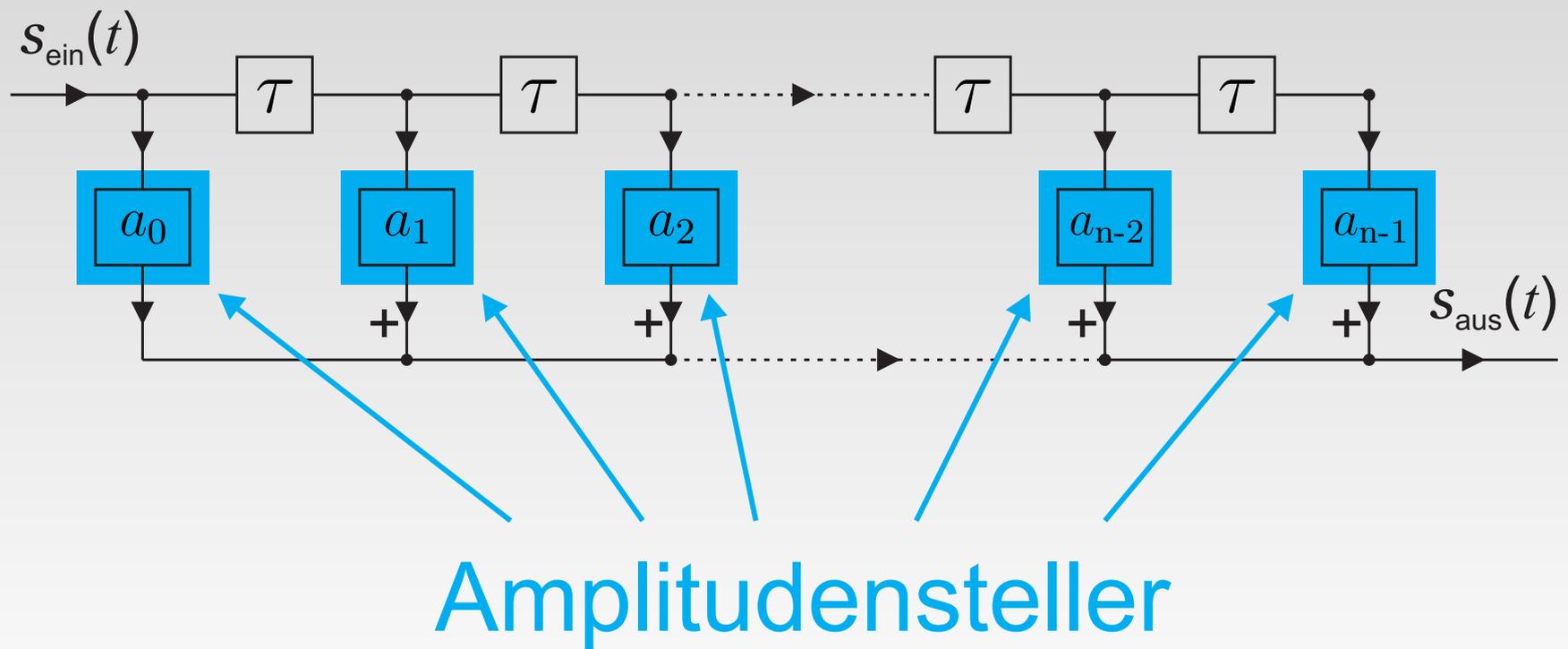
Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)



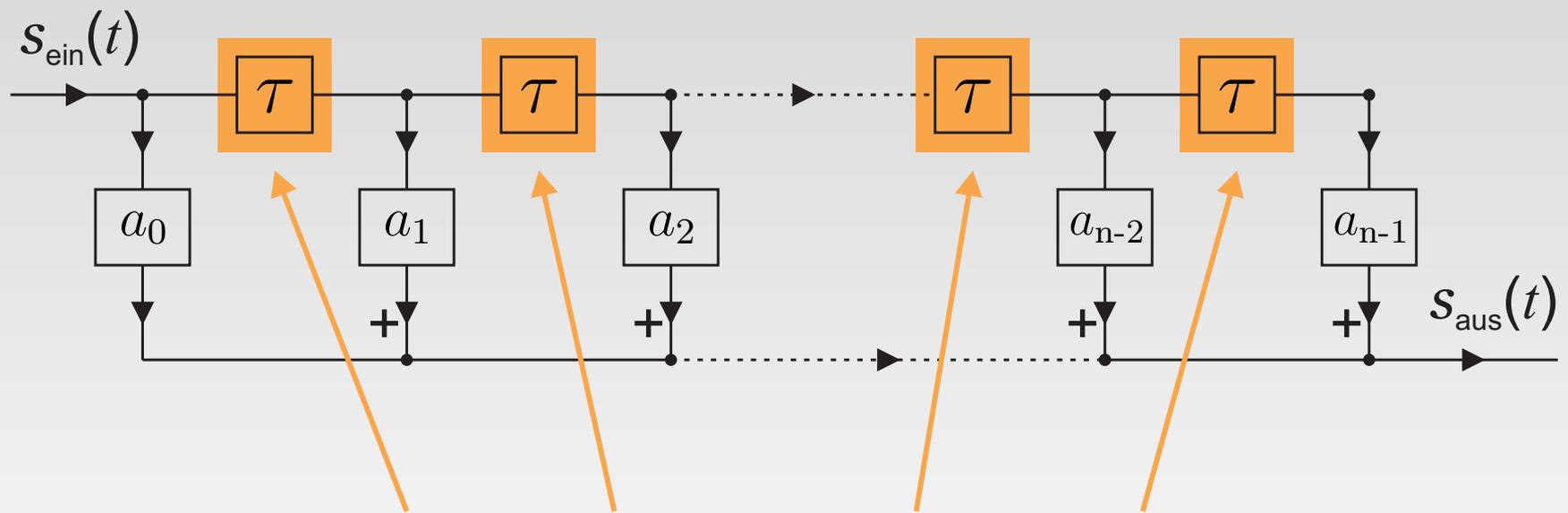
Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)



Grundlagen zum FIR-Filter

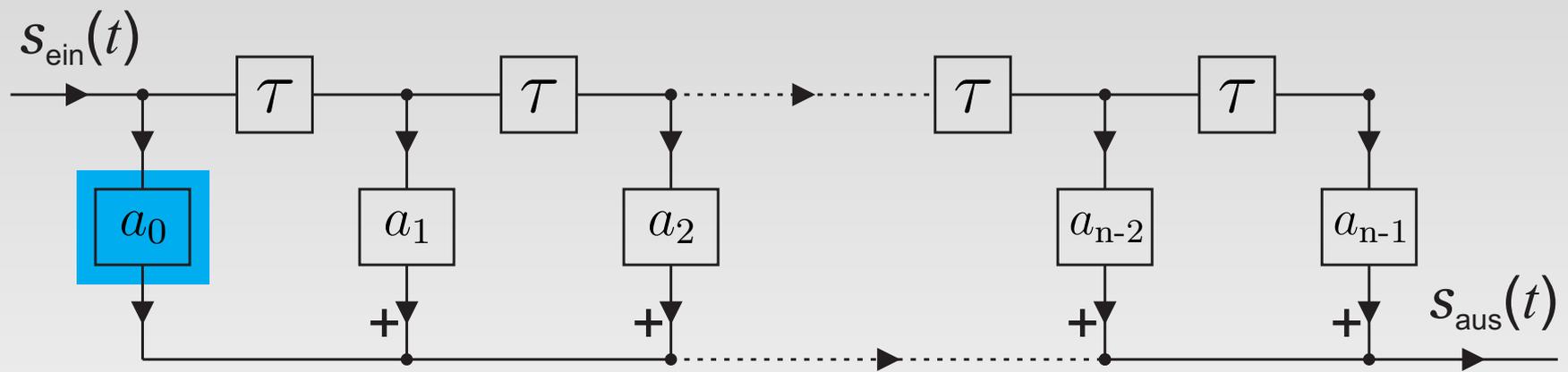
- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)



Verzögerungsglieder

Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)

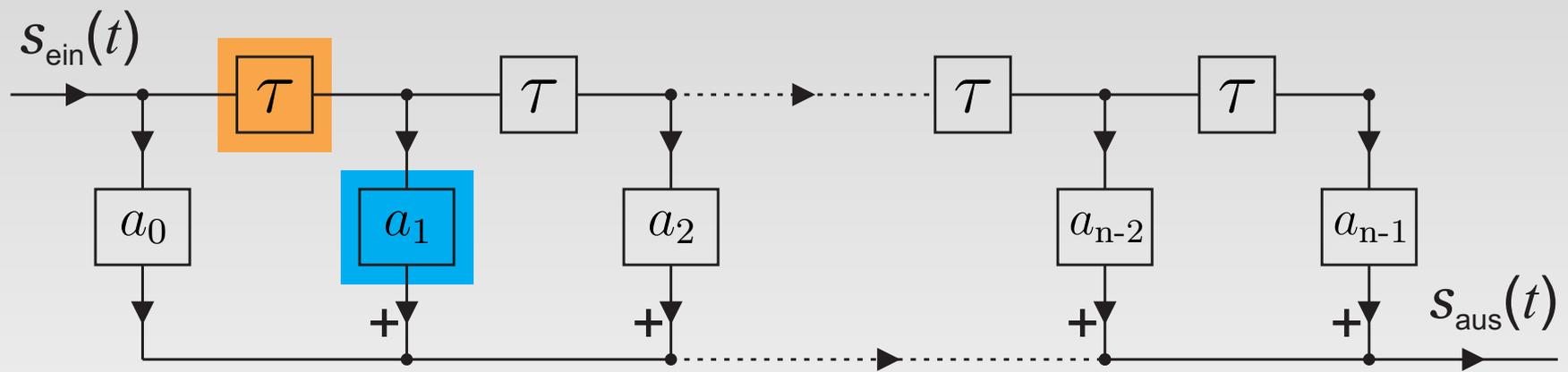


$$s_{\text{aus}}(t) = a_0 \cdot s_{\text{ein}}(t) + a_1 \cdot s_{\text{ein}}(t - \tau) + a_2 \cdot s_{\text{ein}}(t - 2 \cdot \tau) + \dots$$

$$+ a_{n-1} \cdot s_{\text{ein}}(t - (n - 1) \cdot \tau) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot s_{\text{ein}}(t - k \cdot \tau)$$

Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)

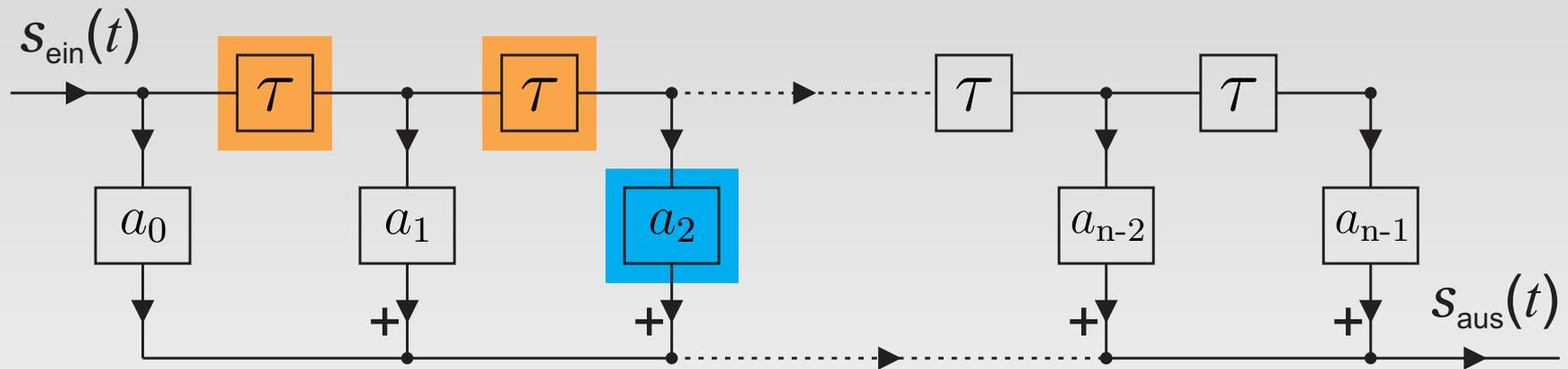


$$s_{\text{aus}}(t) = a_0 \cdot s_{\text{ein}}(t) + a_1 \cdot s_{\text{ein}}(t - \tau) + a_2 \cdot s_{\text{ein}}(t - 2 \cdot \tau) + \dots$$

$$+ a_{n-1} \cdot s_{\text{ein}}(t - (n - 1) \cdot \tau) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot s_{\text{ein}}(t - k \cdot \tau)$$

Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)

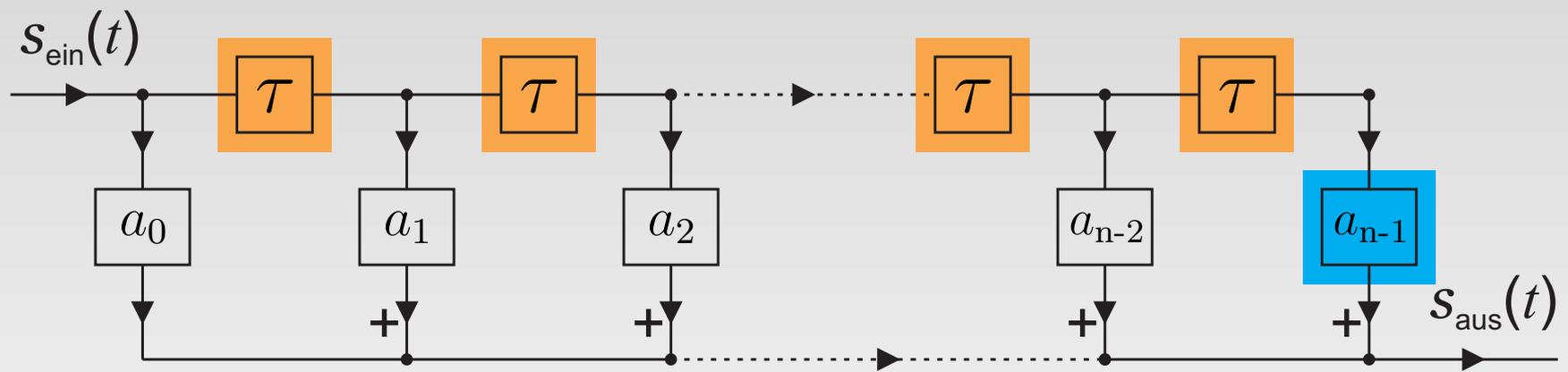


$$s_{\text{aus}}(t) = a_0 \cdot s_{\text{ein}}(t) + a_1 \cdot s_{\text{ein}}(t - \tau) + a_2 \cdot s_{\text{ein}}(t - 2 \cdot \tau) + \dots$$

$$+ a_{n-1} \cdot s_{\text{ein}}(t - (n - 1) \cdot \tau) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot s_{\text{ein}}(t - k \cdot \tau)$$

Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)

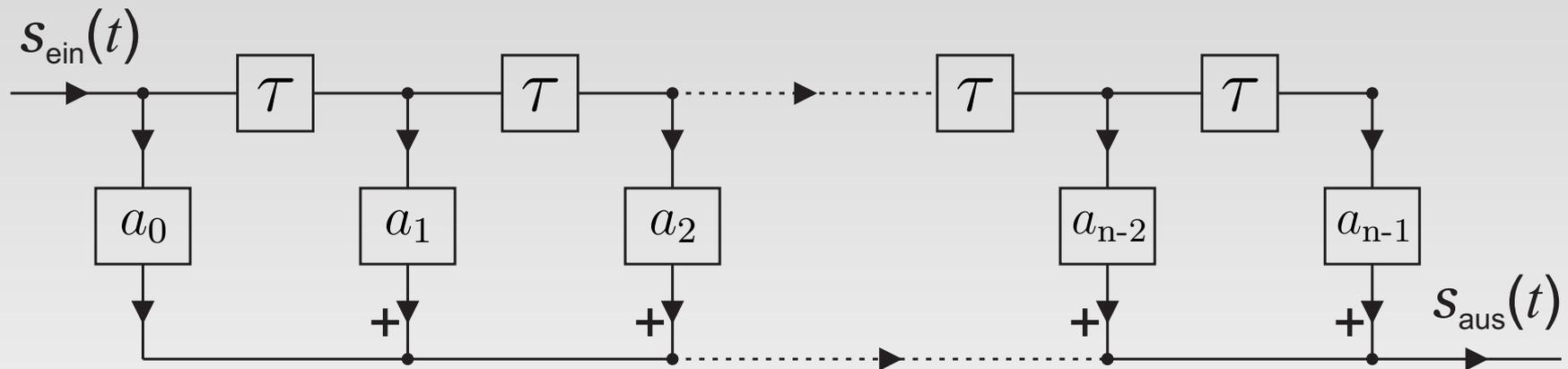


$$s_{\text{aus}}(t) = a_0 \cdot s_{\text{ein}}(t) + a_1 \cdot s_{\text{ein}}(t - \tau) + a_2 \cdot s_{\text{ein}}(t - 2 \cdot \tau) + \dots$$

$$+ a_{n-1} \cdot s_{\text{ein}}(t - (n - 1) \cdot \tau) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot s_{\text{ein}}(t - k \cdot \tau)$$

Grundlagen zum FIR-Filter

- Das Finite Impulse Response Filter (FIR-Filter)

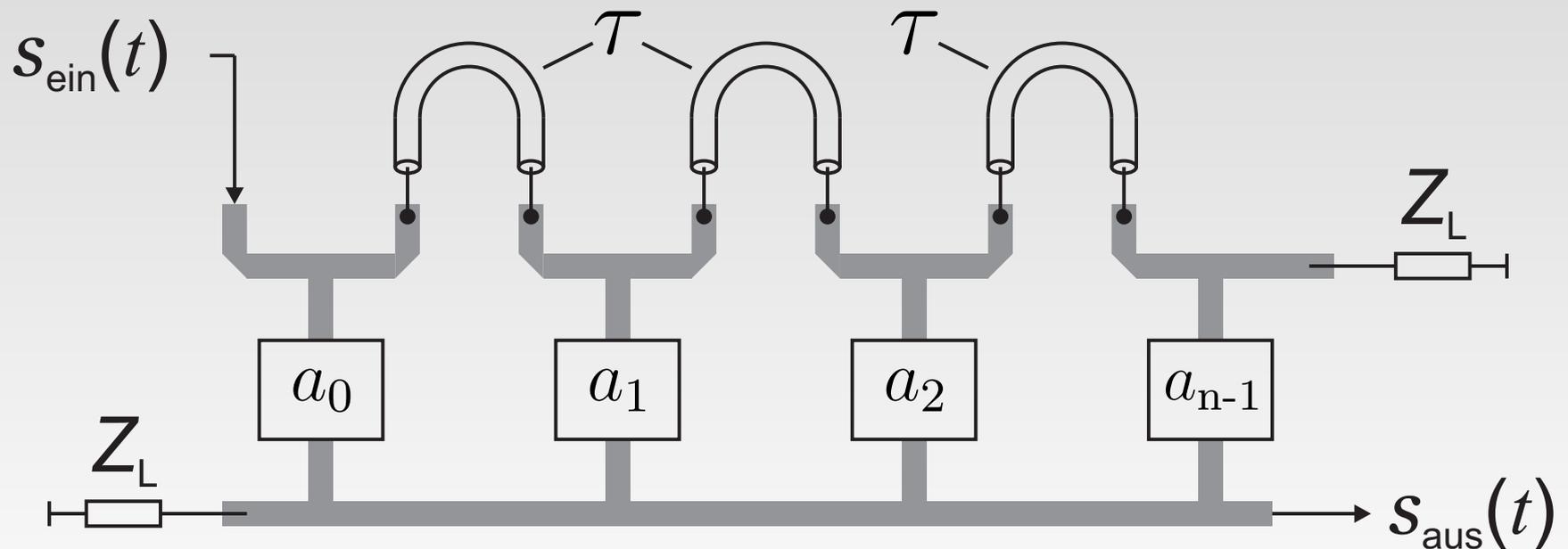


$$S_{\text{aus}}(\omega) = S_{\text{ein}}(\omega) \cdot \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot e^{-jk\omega\tau}$$

$$-1 \leq a_k \leq 1$$

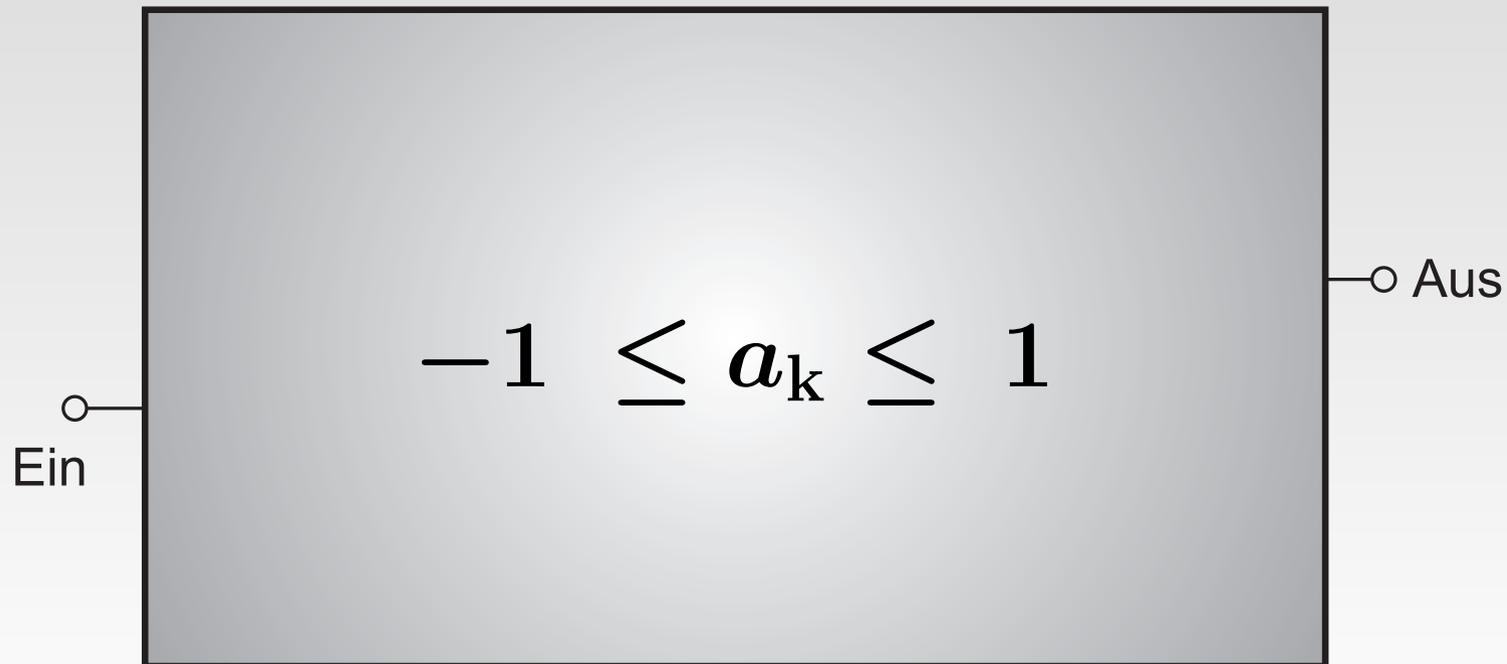
Grundlagen zum FIR-Filter

- Schaltungskonzept des vierstufigen analogen FIR-Filters im Mikrowellenbereich



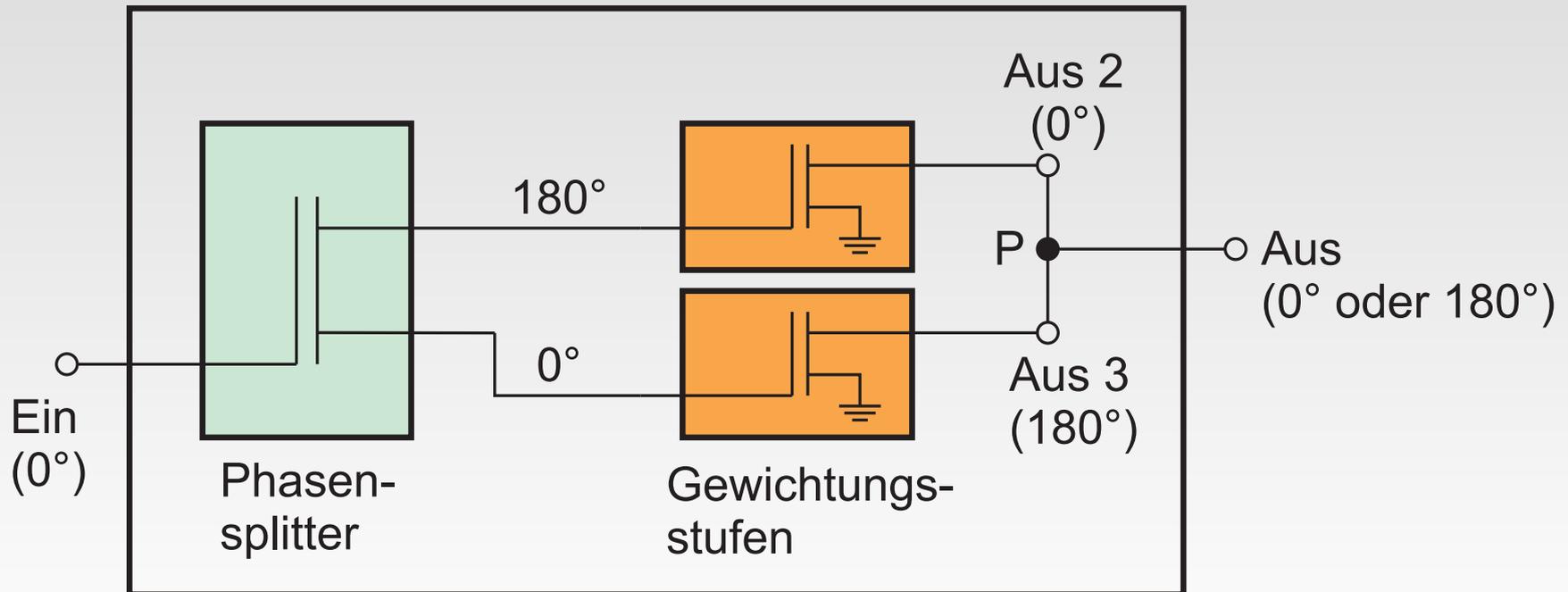
Grundlagen zum FIR-Filter

- Anforderung an Amplitudensteller:
Breitbandige variable Gewichtung



Grundlagen zum FIR-Filter

- Anforderung an Amplitudensteller:
Breitbandige variable Gewichtung
- Aufbau eines Amplitudenstellers des
FIR-Filters im Mikrowellenbereich



Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Die Ansteuerschaltung

- Steuerung der Amplitudensteller via PC

Die Ansteuerschaltung

- Steuerung der Amplitudensteller via PC
- Eingabe der gewünschten Gewichtungen
 $-1 \leq a_k \leq 1$ in MATLAB

Die Ansteuerschaltung

- Steuerung der Amplitudensteller via PC
- Eingabe der gewünschten Gewichtungen
 $-1 \leq a_k \leq 1$ in MATLAB
- Variable Spannungen für die Gate-Anschlüsse der FETs in den Gewichtungsstufen

Die Ansteuerschaltung

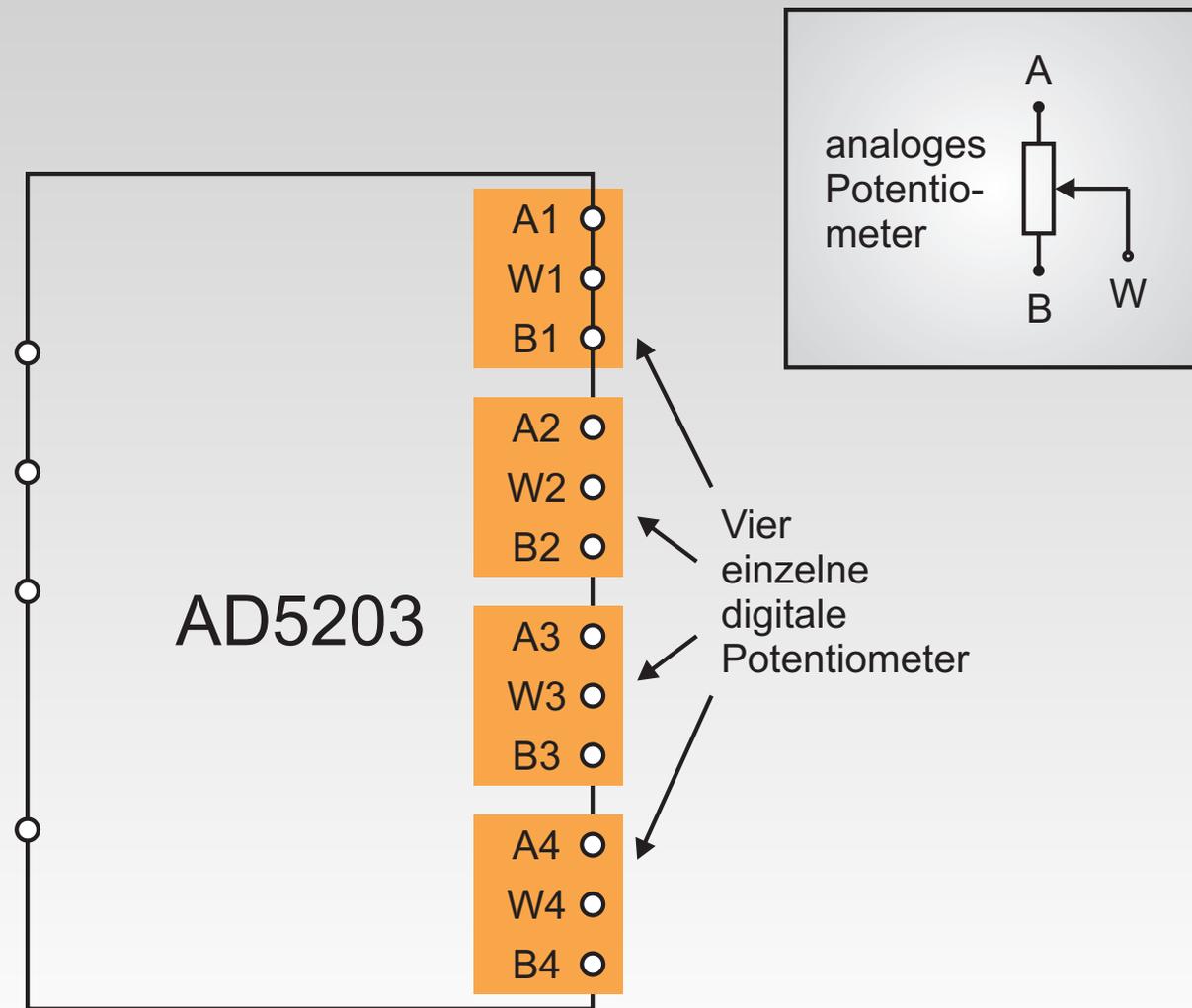
- Steuerung der Amplitudensteller via PC
- Eingabe der gewünschten Gewichtungen
 $-1 \leq a_k \leq 1$ in MATLAB
- Variable Spannungen für die Gate-Anschlüsse der FETs in den Gewichtungsstufen
- hier: Vier Amplitudensteller mit jeweils zwei FETs in den Gewichtungsstufen
⇒ Acht variable Gate-Spannungen

Die Ansteuerschaltung

- Steuerung der Amplitudensteller via PC
- Eingabe der gewünschten Gewichtungen
 $-1 \leq a_k \leq 1$ in MATLAB
- Variable Spannungen für die Gate-Anschlüsse der FETs in den Gewichtungsstufen
- hier: Vier Amplitudensteller mit jeweils zwei FETs in den Gewichtungsstufen
⇒ Acht variable Gate-Spannungen
- Erweiterbarkeit

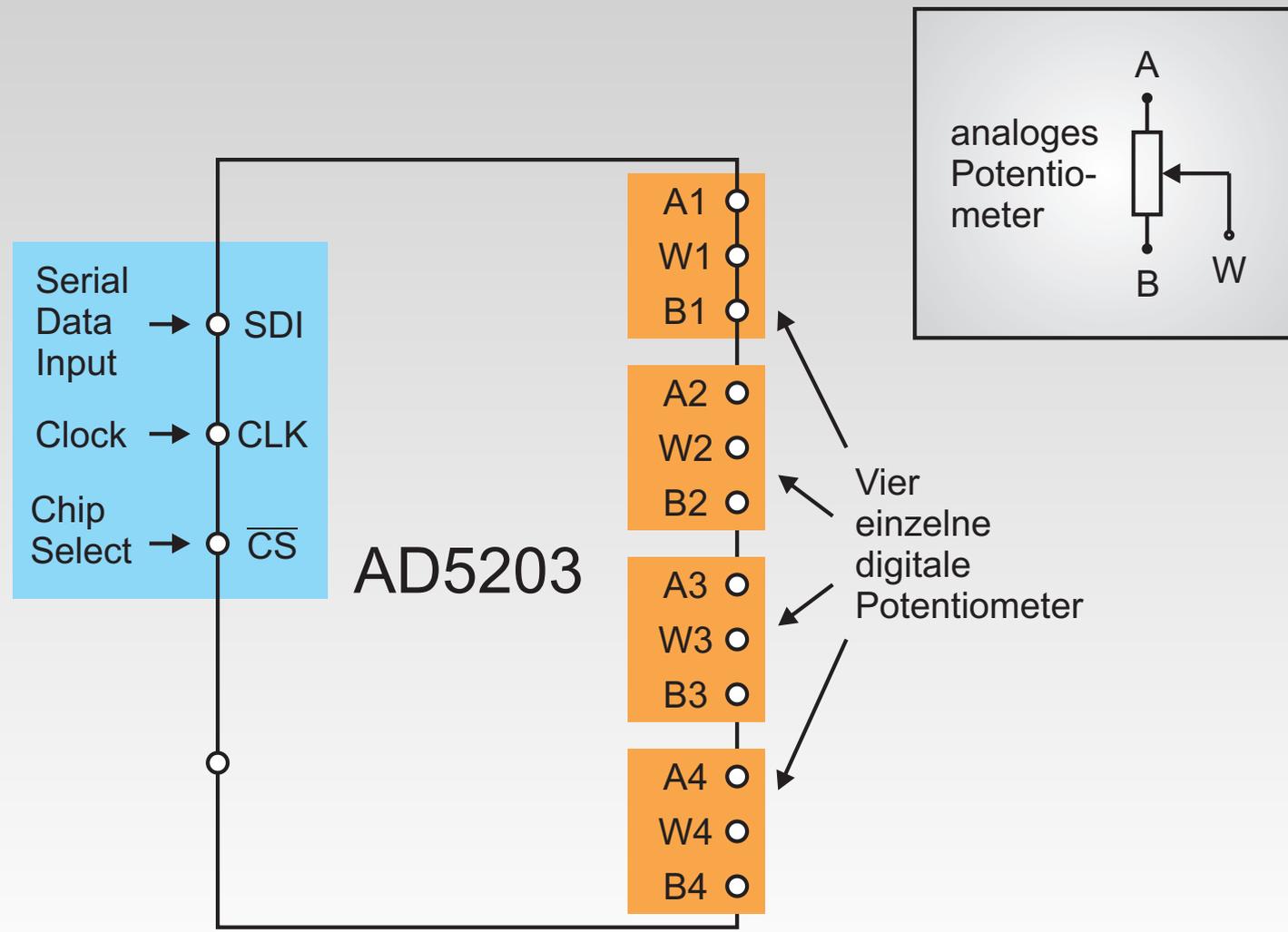
Die Ansteuerschaltung

- Anschlüsse des digitalen Vierfachpotentiometers



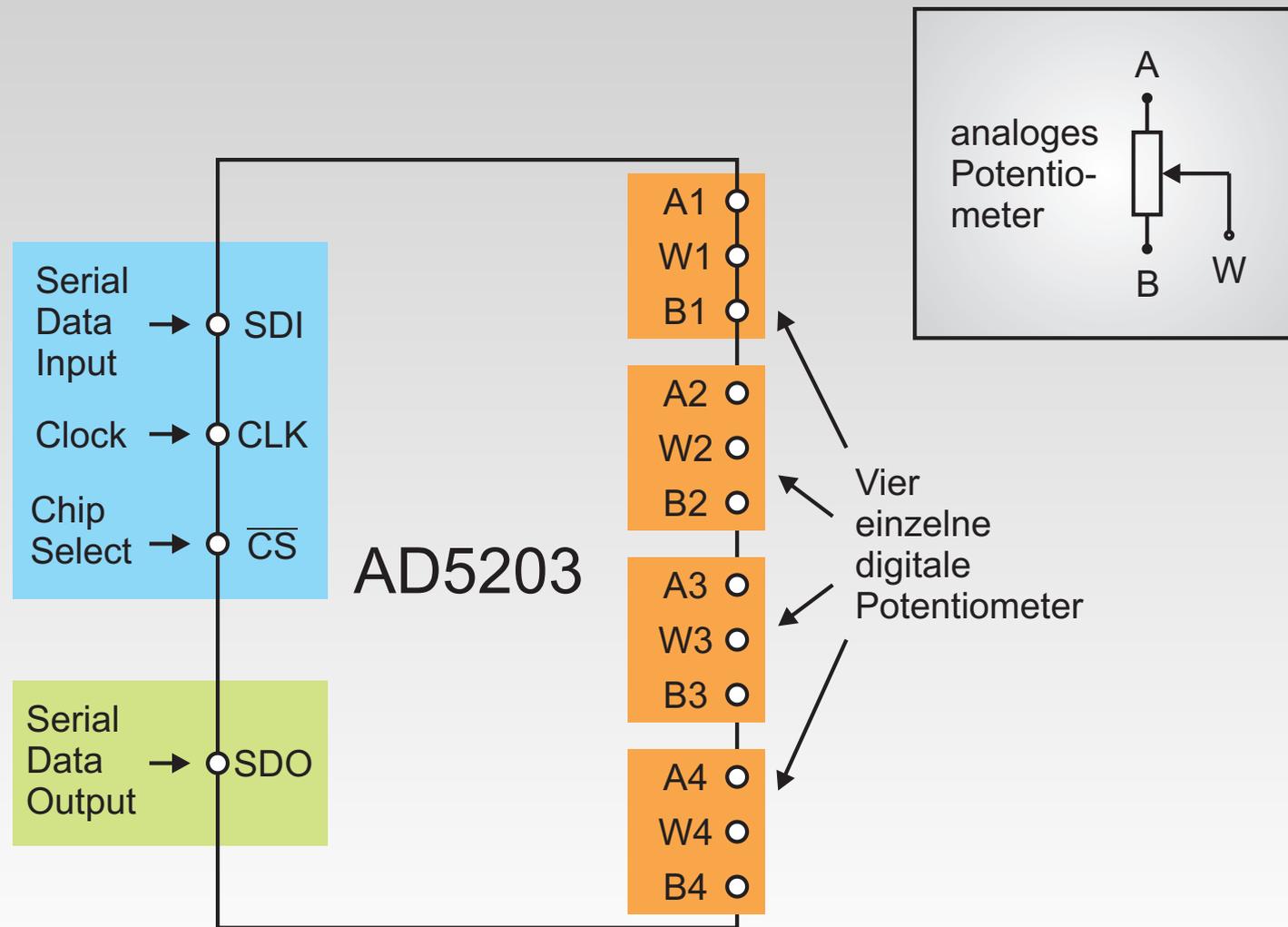
Die Ansteuerschaltung

■ Anschlüsse des digitalen Vierfachpotentiometers



Die Ansteuerschaltung

■ Anschlüsse des digitalen Vierfachpotentiometers



Die Ansteuerschaltung

- Format des digitalen SDI-Wortes

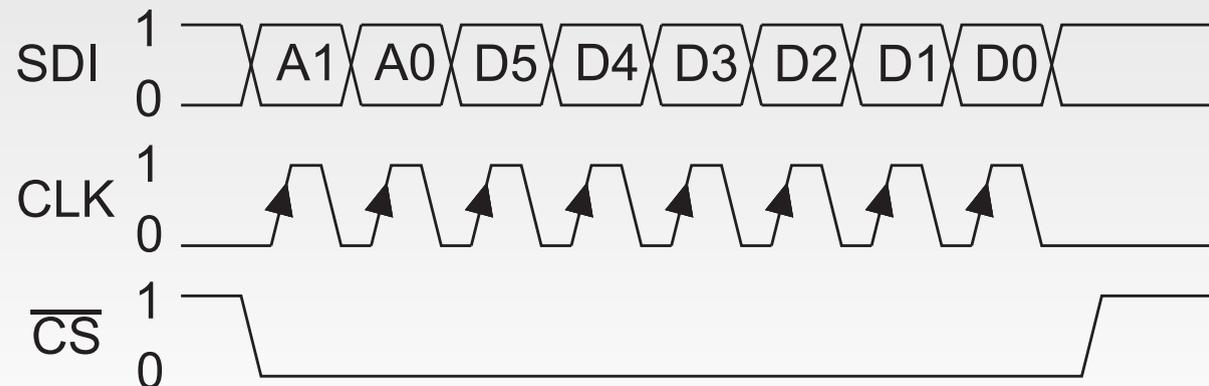
Adresse		Daten					
A1	A0	D5	D4	D3	D2	D1	D0
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

Die Ansteuerschaltung

■ Format des digitalen SDI-Wortes

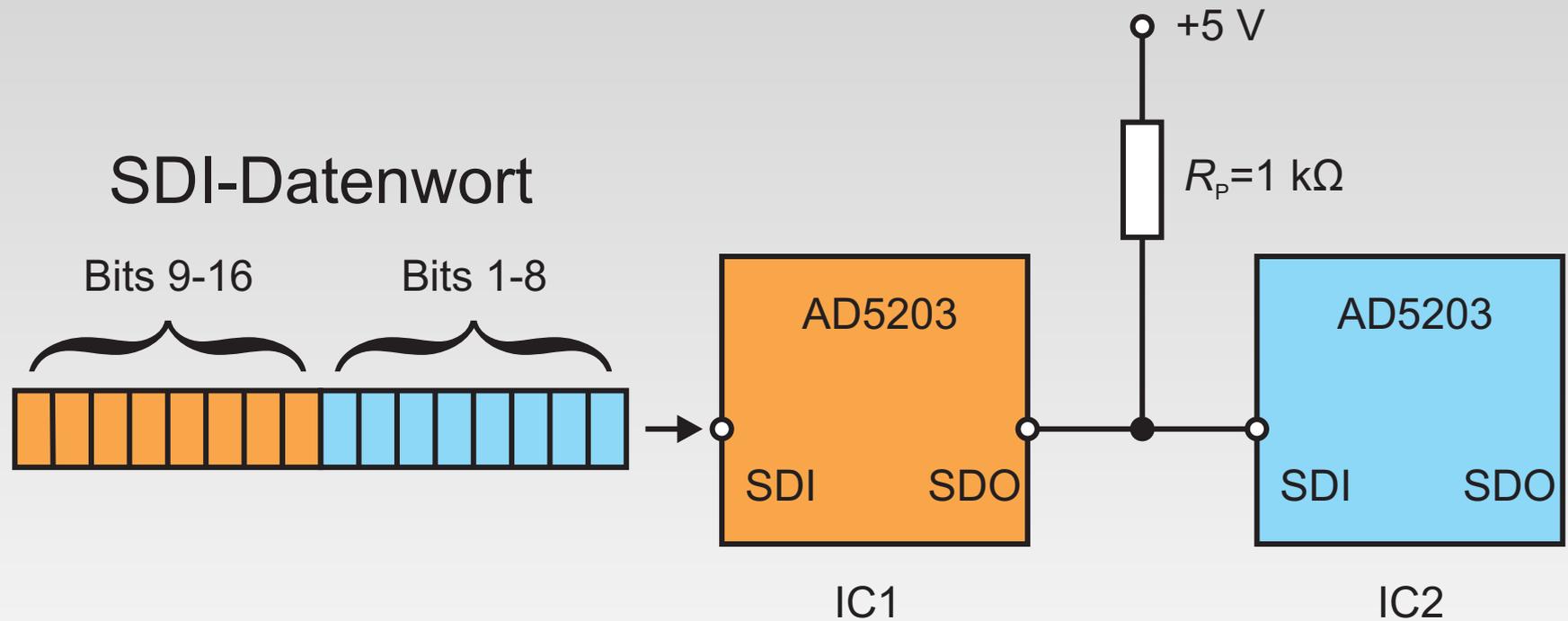
Adresse		Daten					
A1	A0	D5	D4	D3	D2	D1	D0
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

■ Zeitlicher Verlauf der Eingangssignale



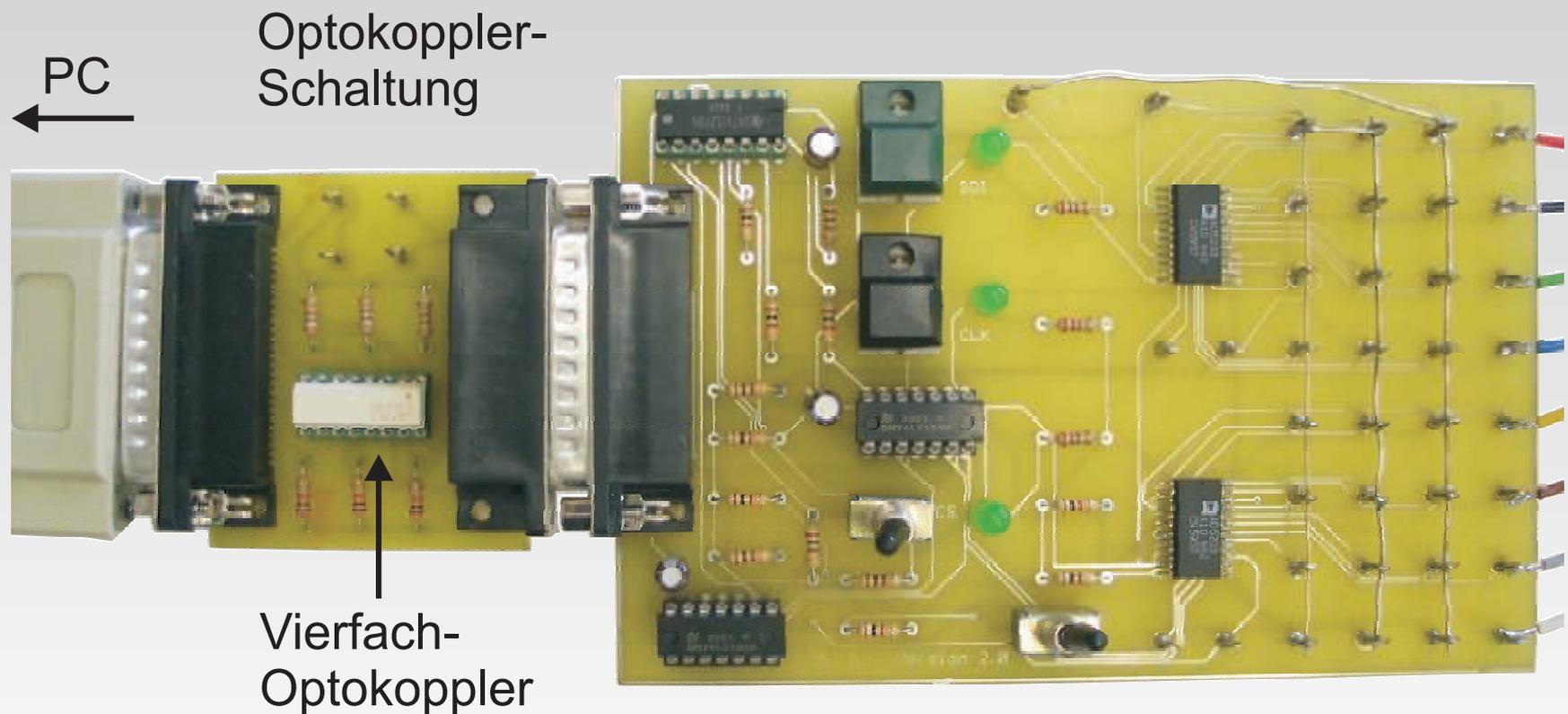
Die Ansteuerschaltung

- SDI-Datenwort zur Daisy Chained Verkettung von zwei digitalen Vierfachpotentiometern AD5203

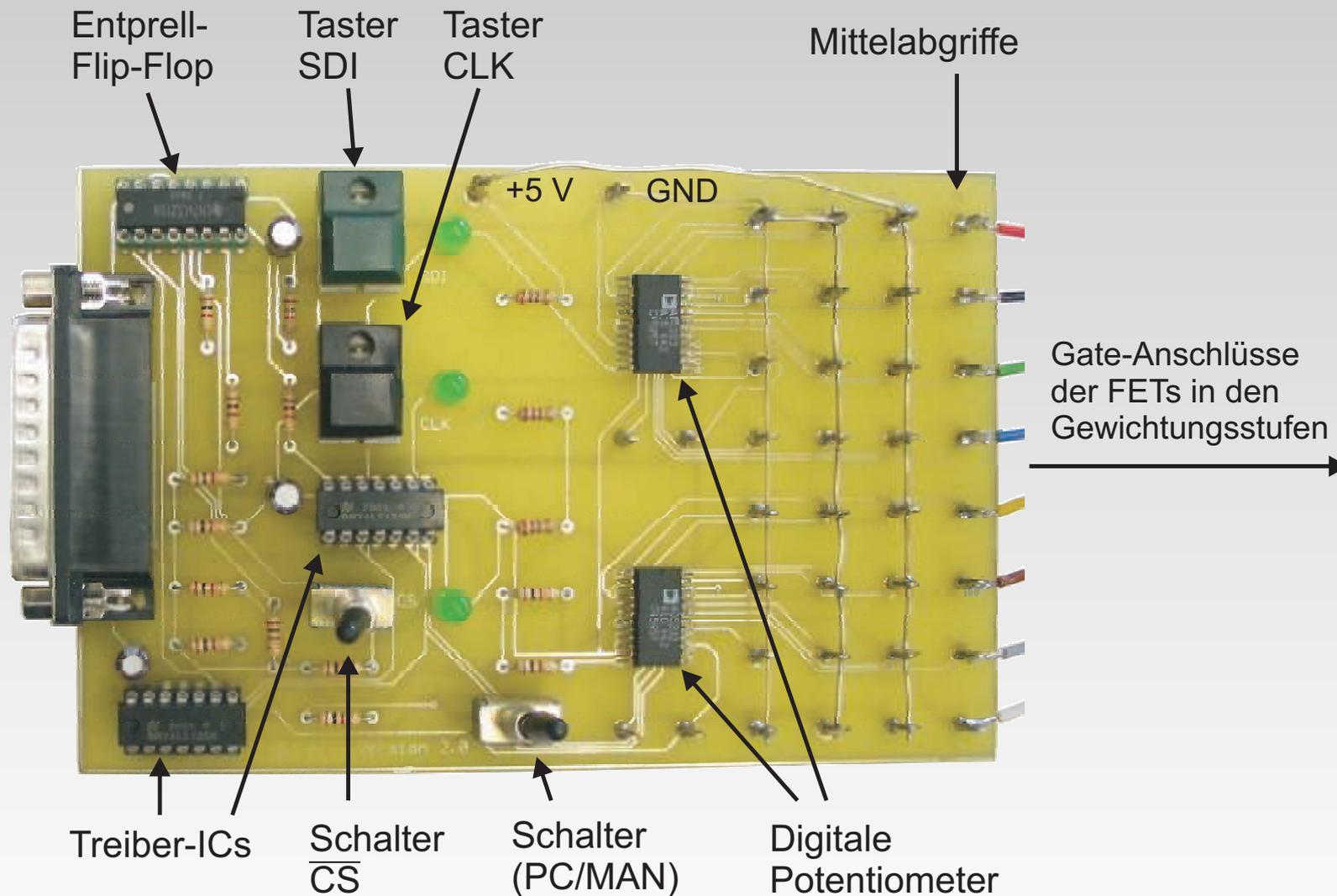


Die Ansteuerschaltung

- Die Ansteuerschaltung mit Optokoppler-Schaltung



Die Ansteuerschaltung

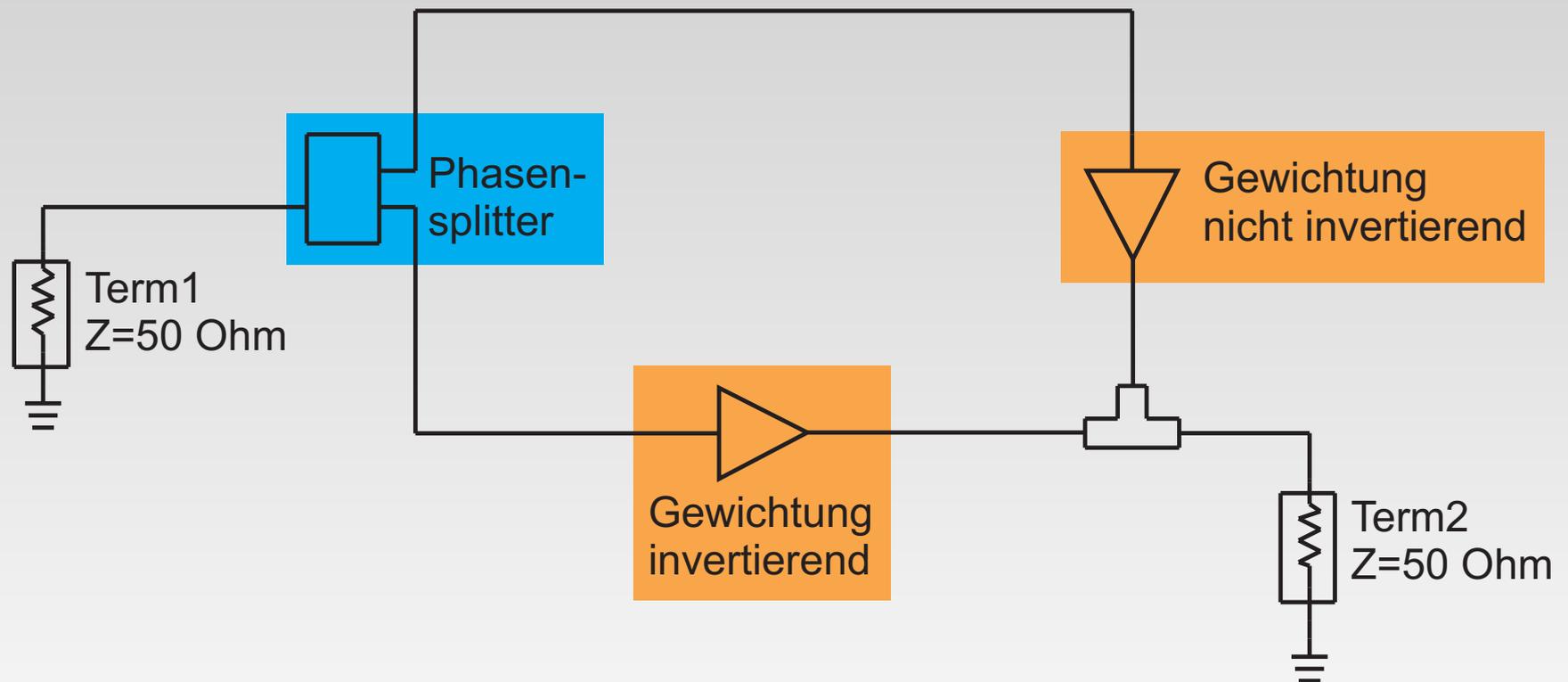


Gliederung

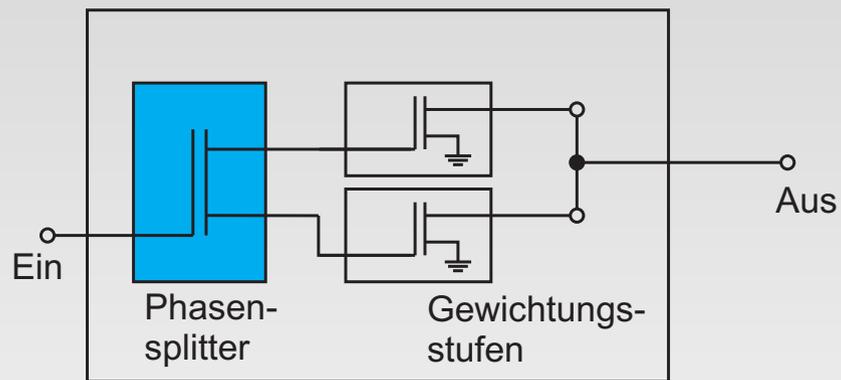
- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Simulation & Aufbau des FIR-Filters

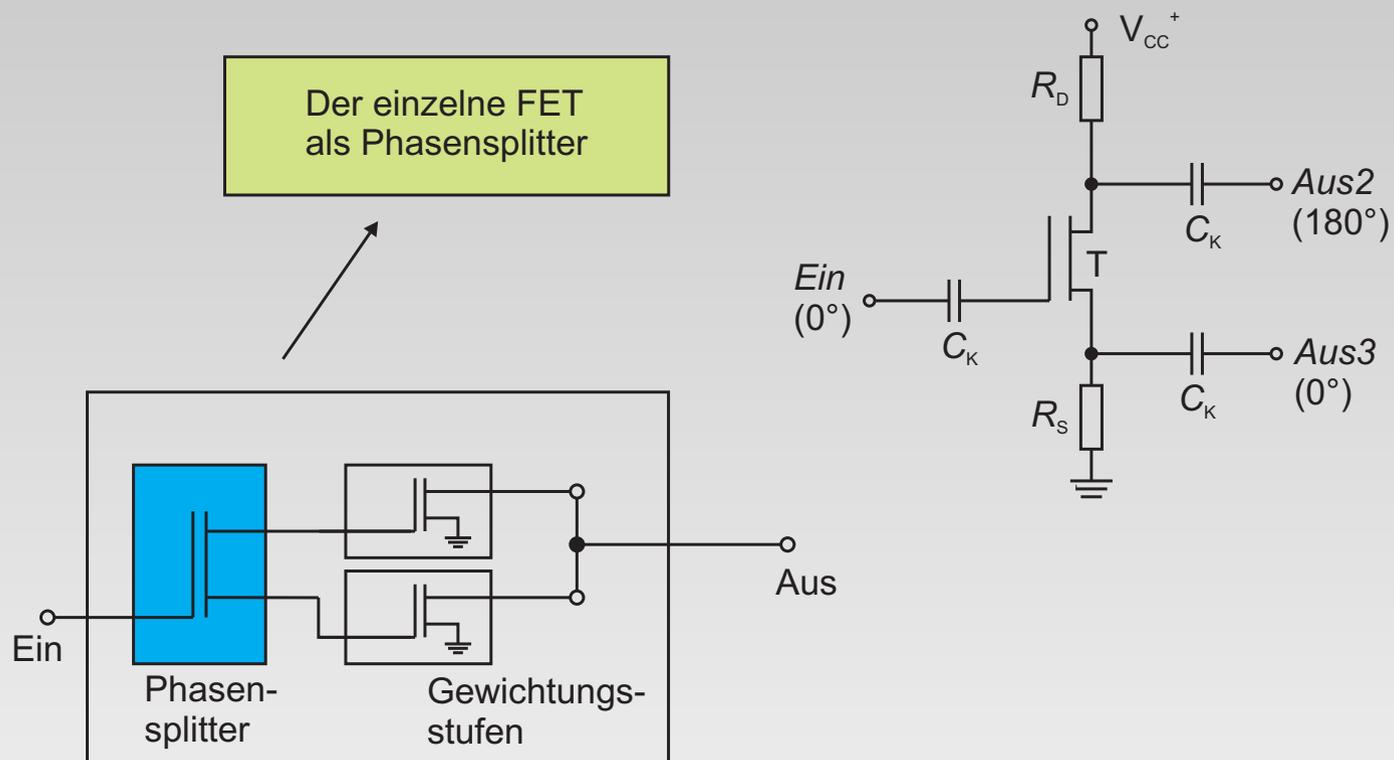
■ Schaltplan zum Amplitudensteller



Simulation & Aufbau des FIR-Filters

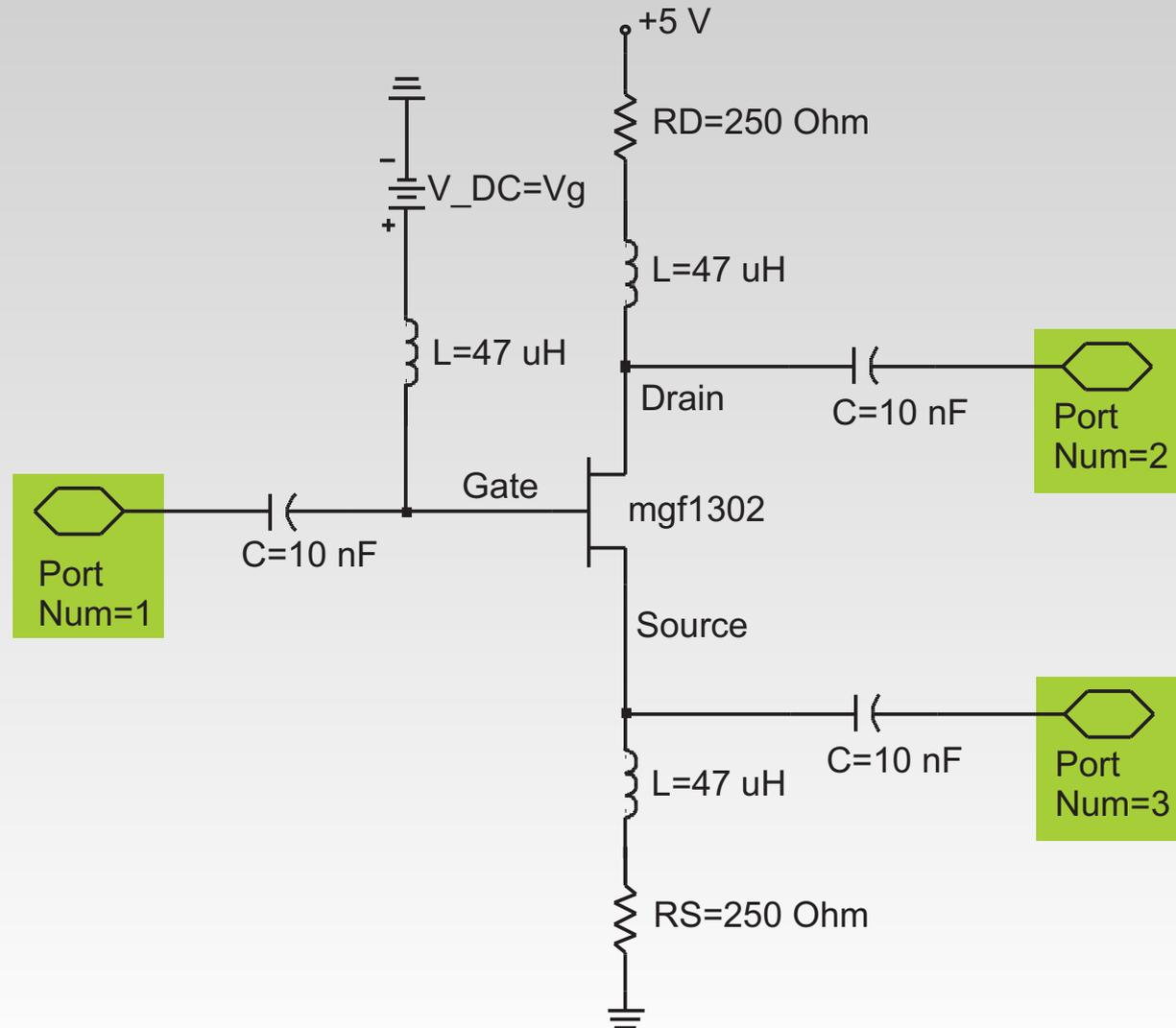


Simulation & Aufbau des FIR-Filters



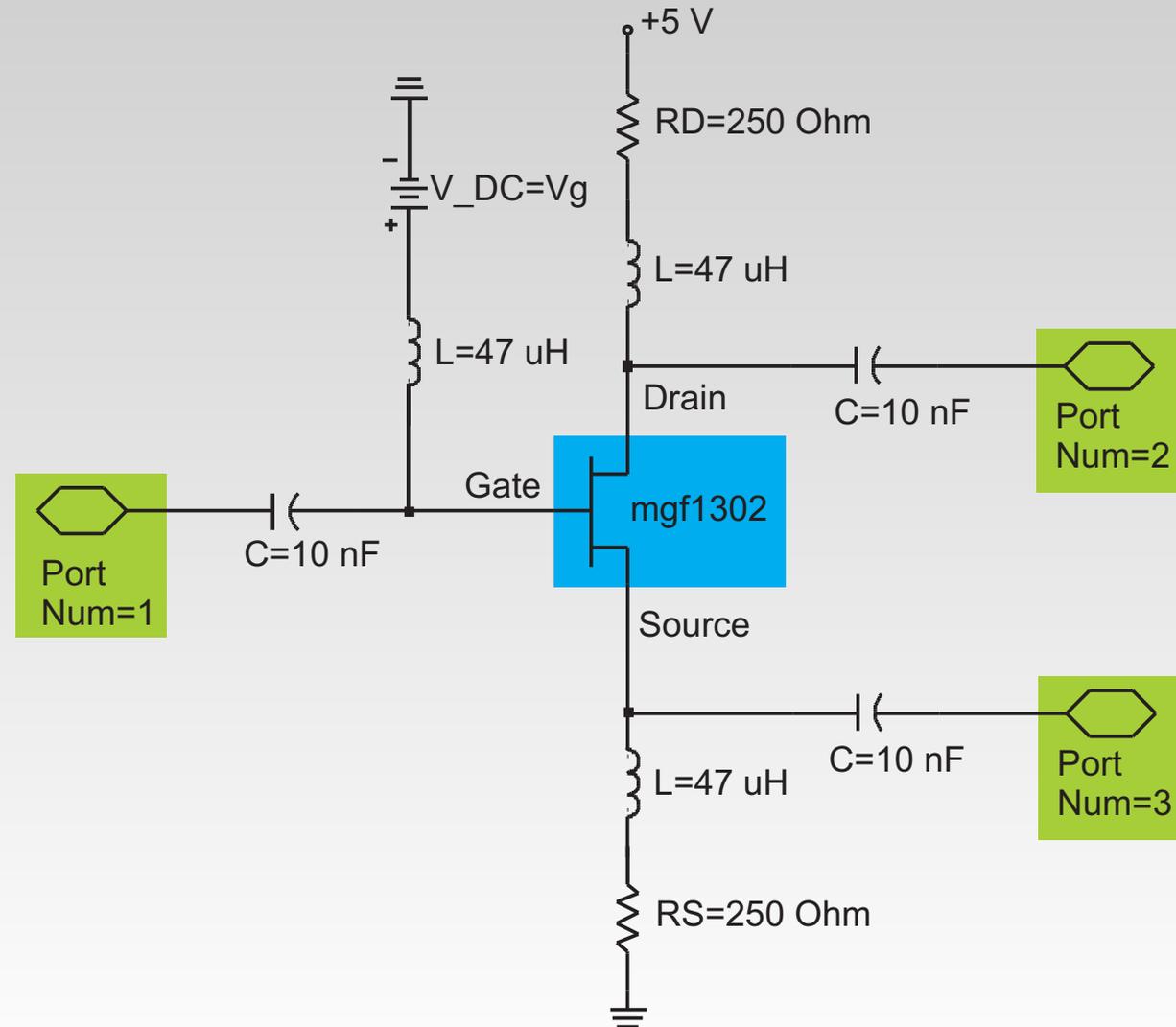
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Schaltplan zum Phasensplitter (einzelner FET)



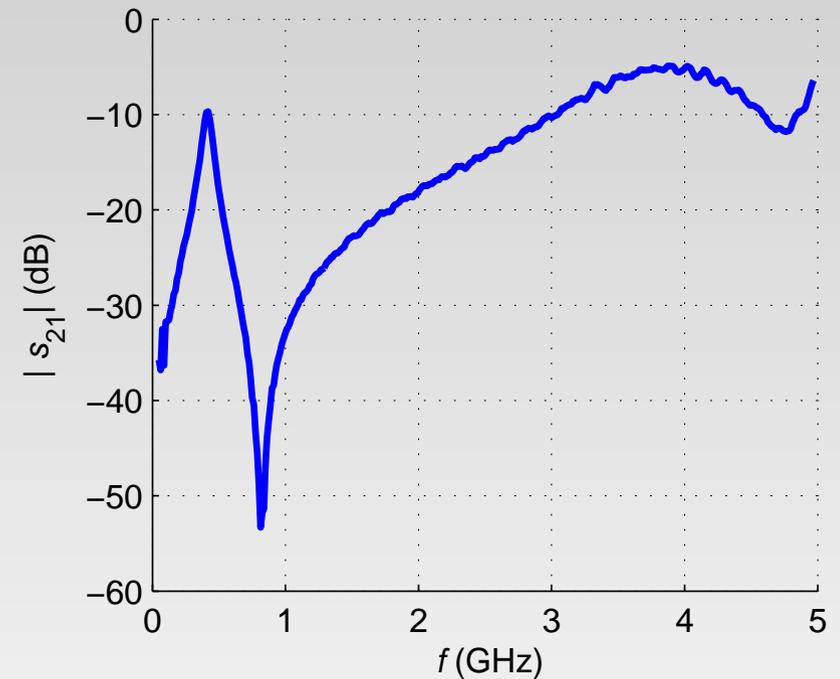
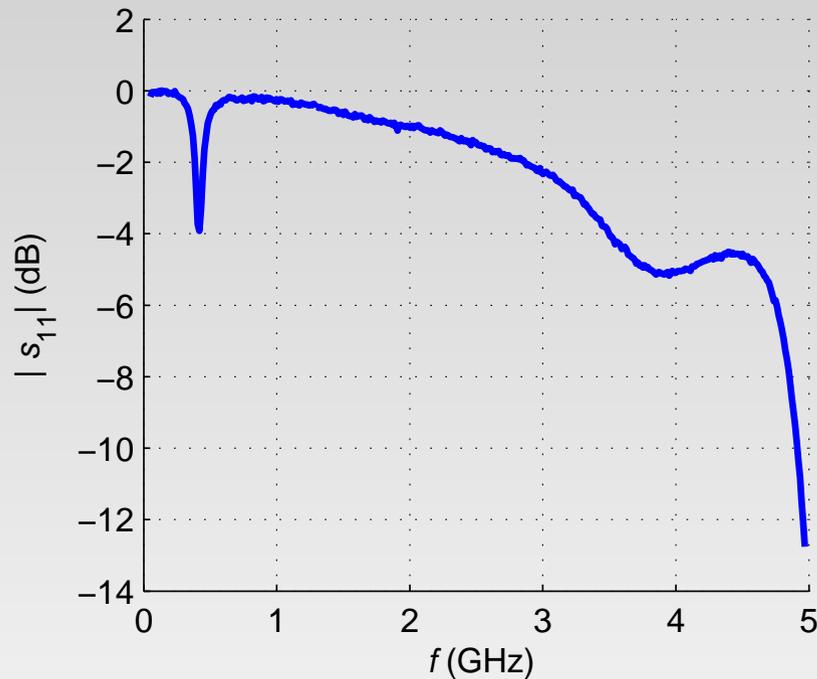
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Schaltplan zum Phasensplitter (einzelner FET)

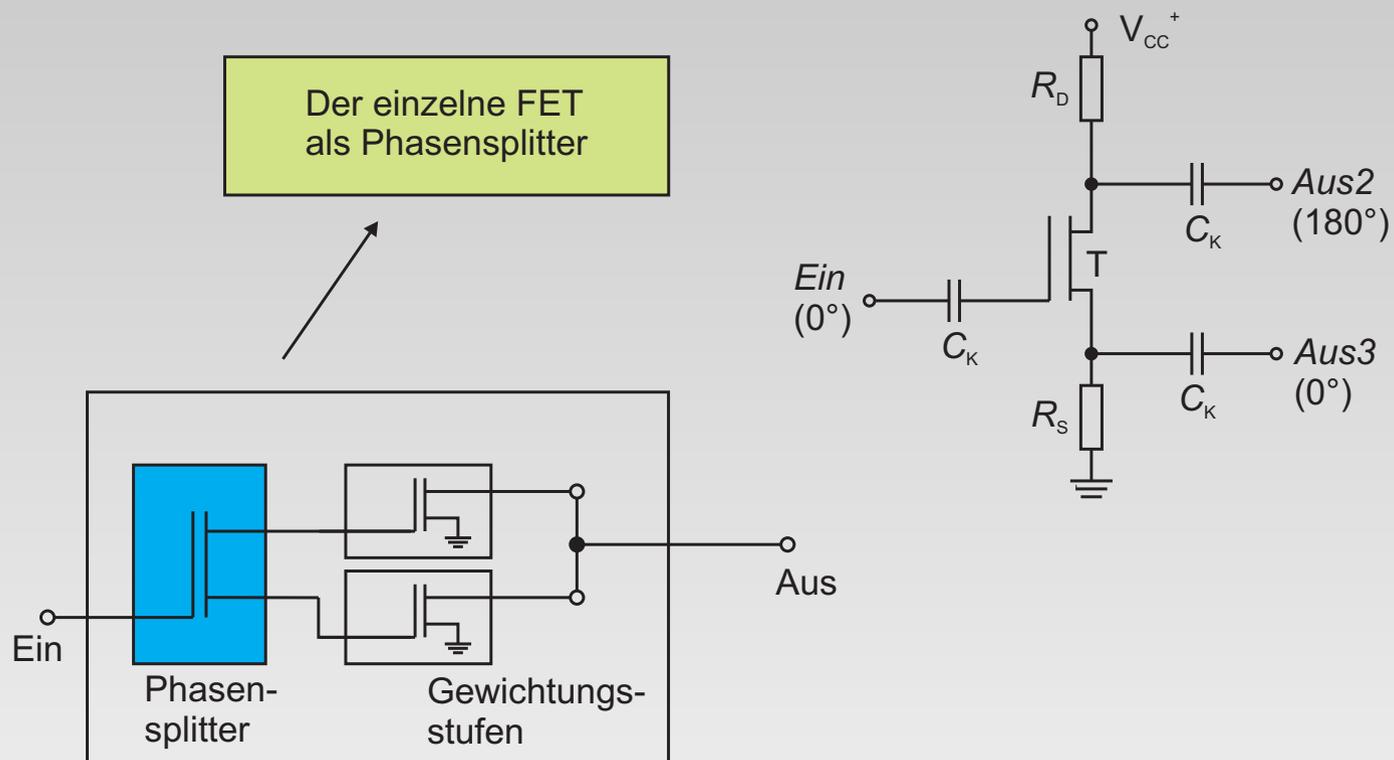


Simulation & Aufbau des FIR-Filters

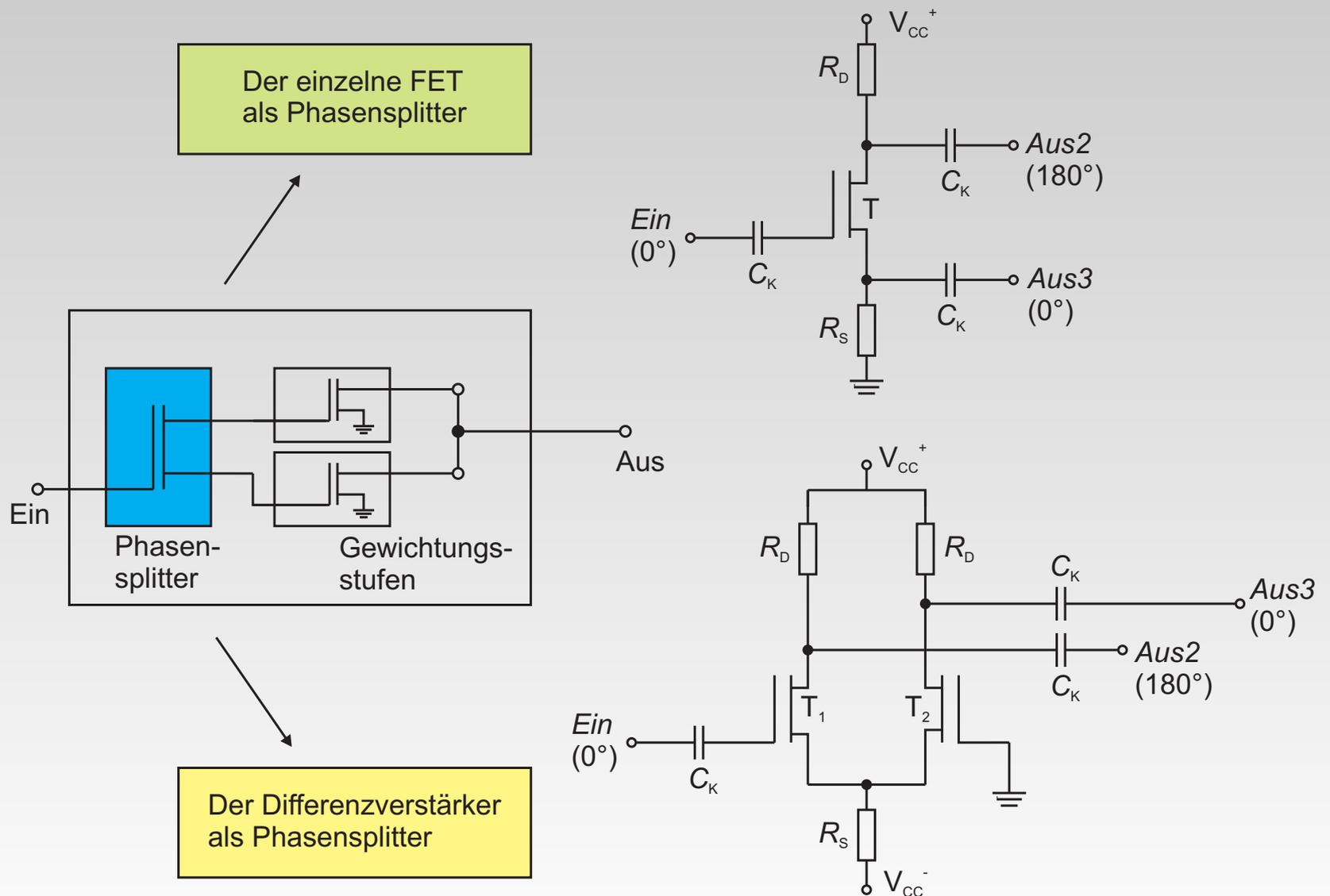
■ Die RF-Coke ADCH-80 von MINI-CIRCUITS



Simulation & Aufbau des FIR-Filters

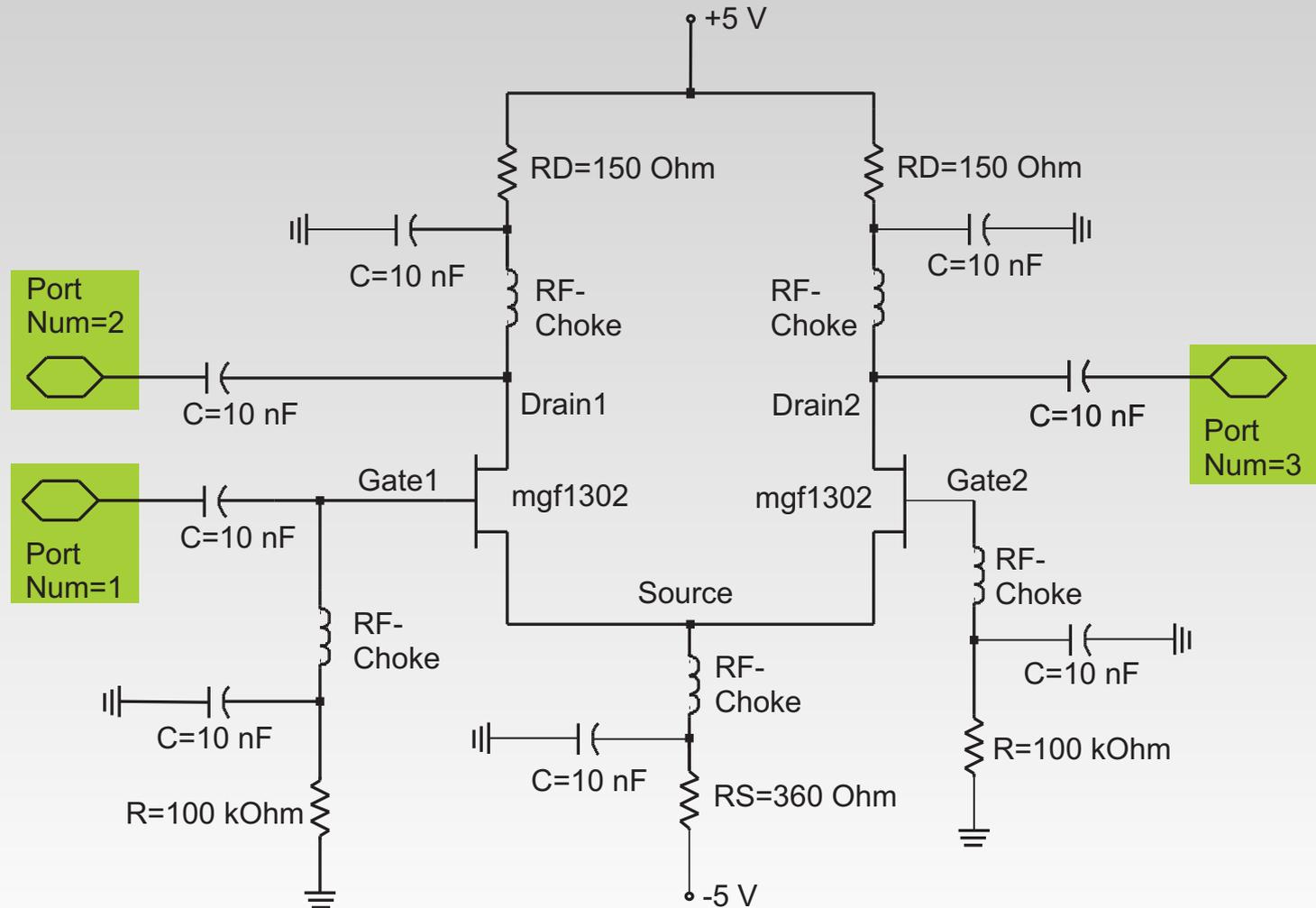


Simulation & Aufbau des FIR-Filters



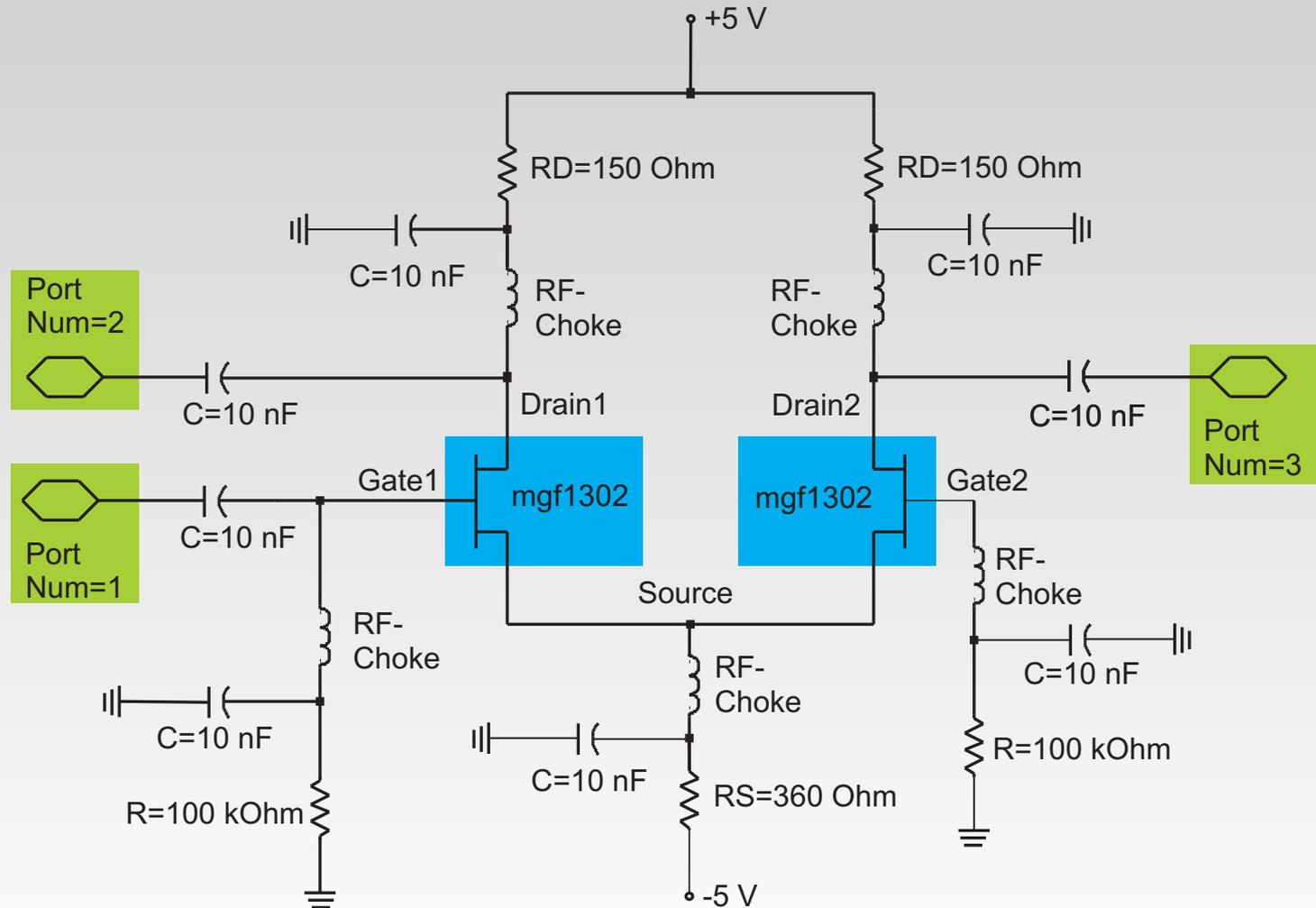
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

- Schaltplan zum Phasensplitter (Differenzverstärker)



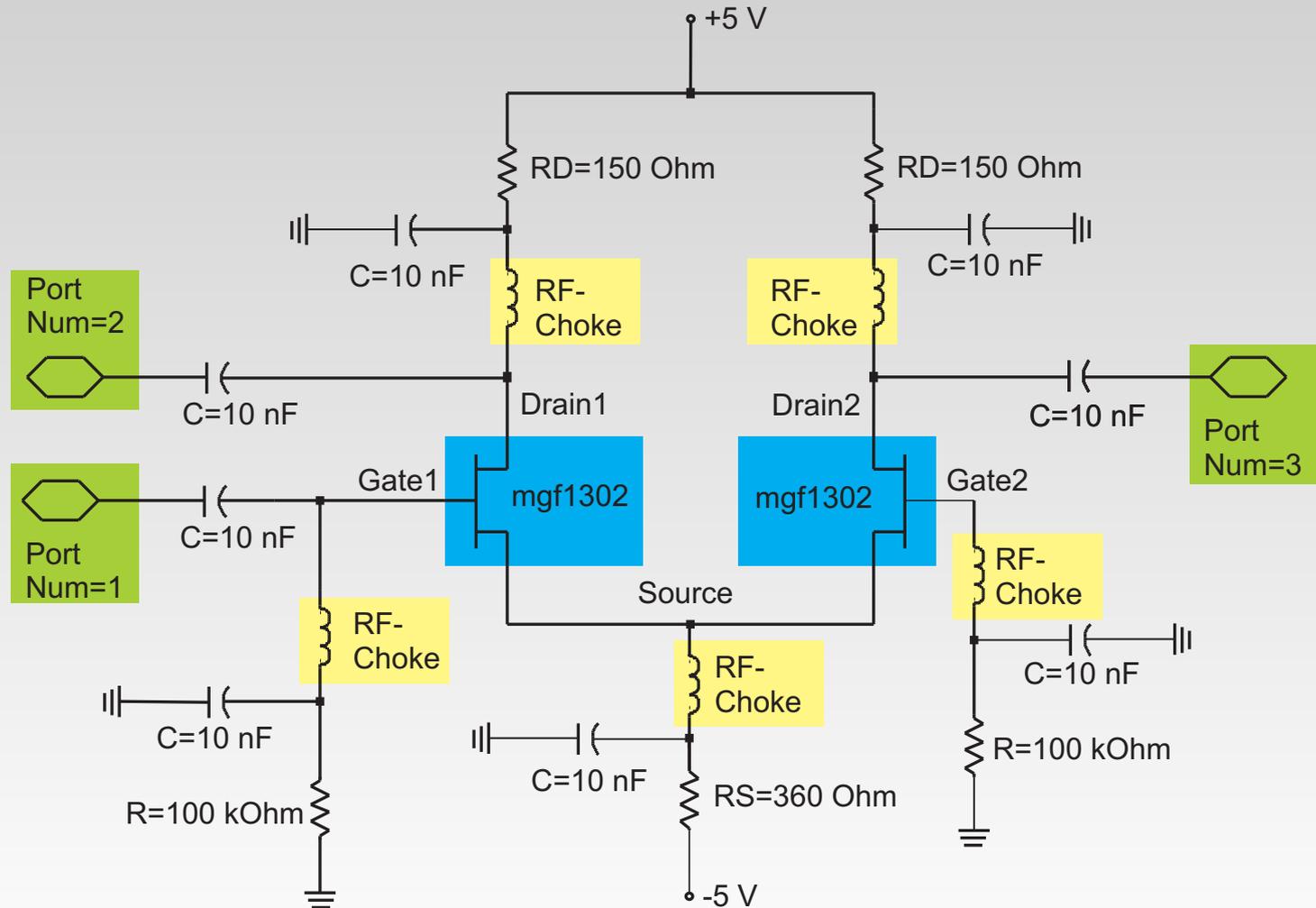
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

- Schaltplan zum Phasensplitter (Differenzverstärker)



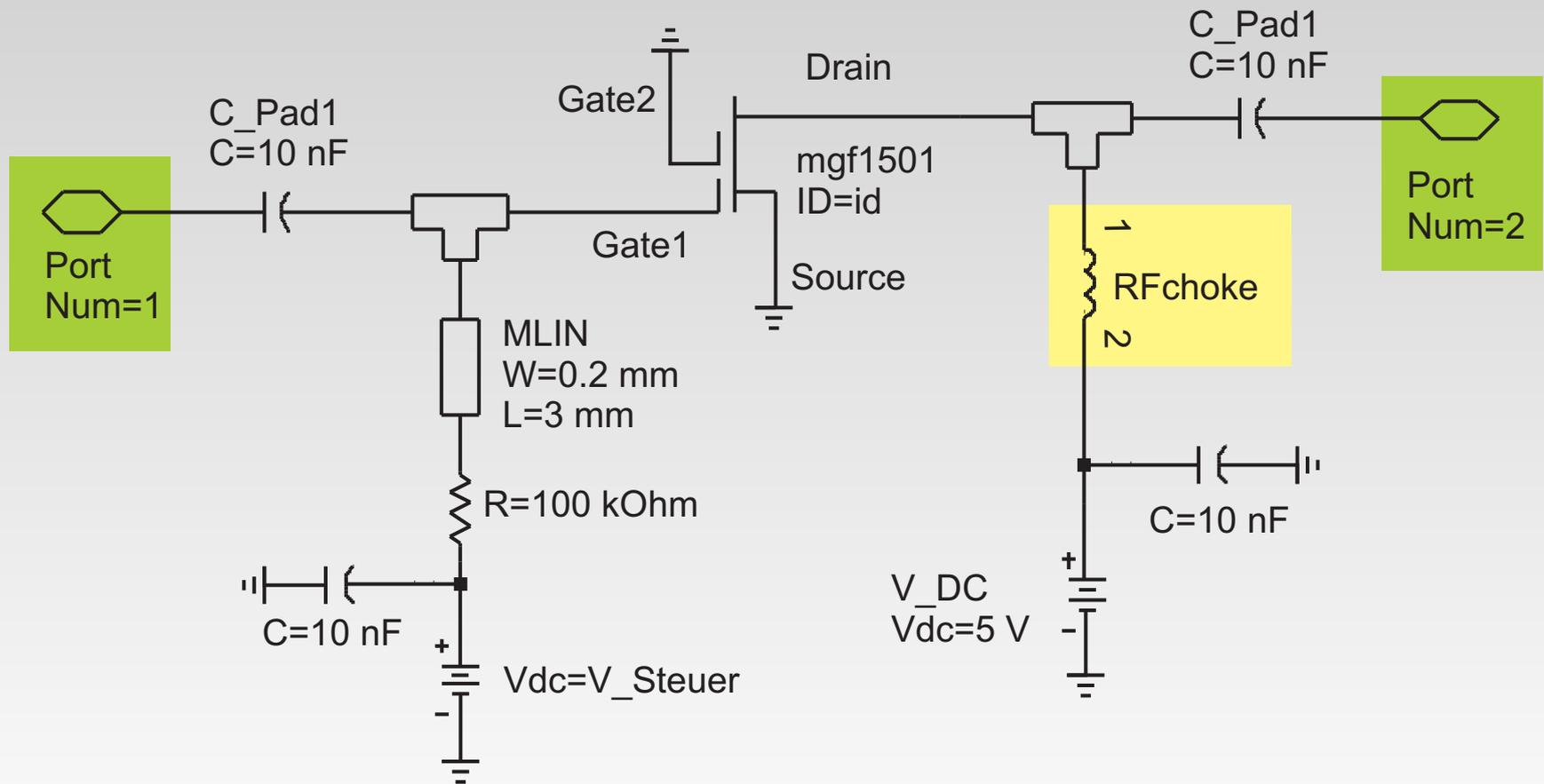
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

- Schaltplan zum Phasensplitter (Differenzverstärker)



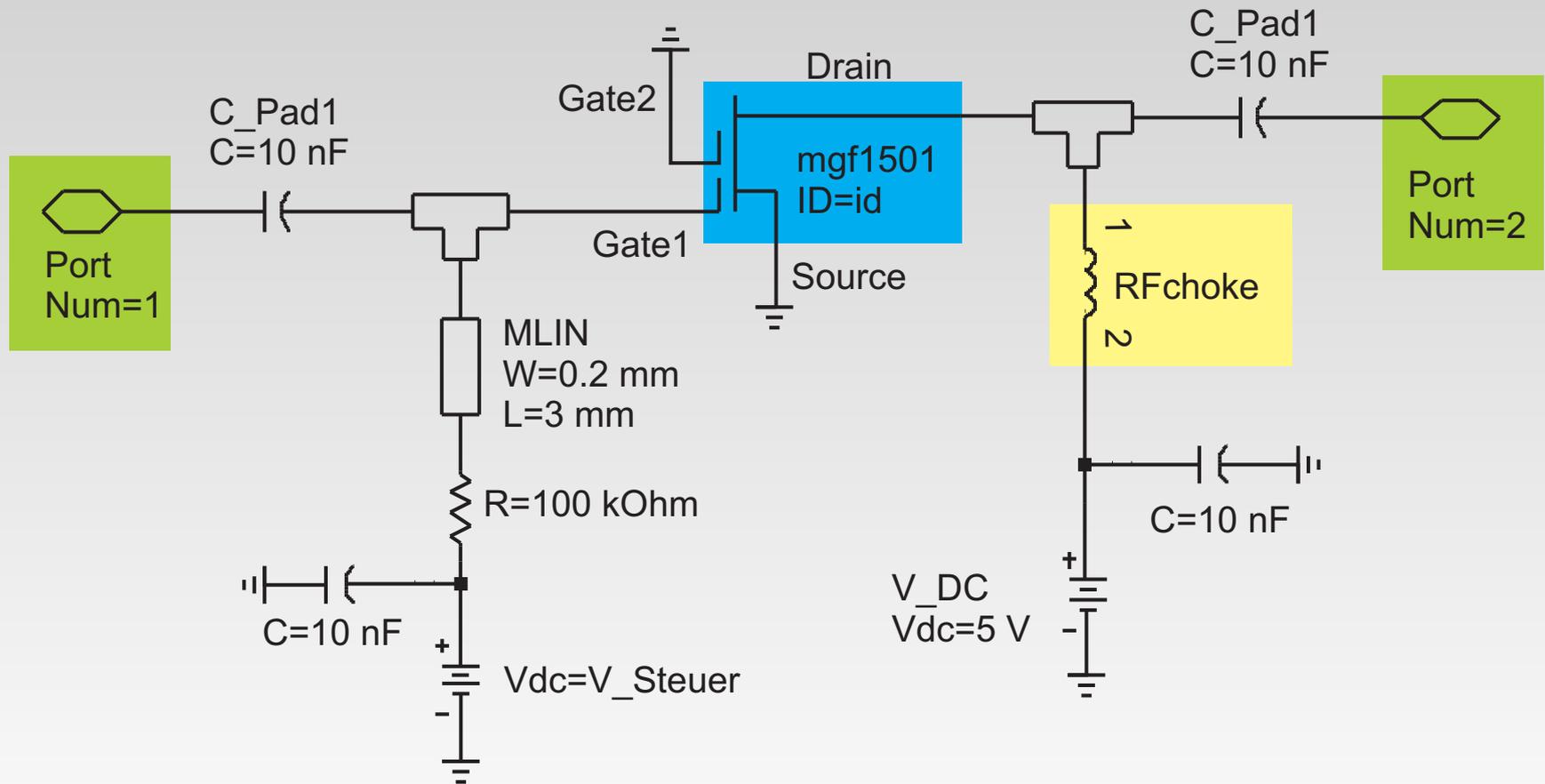
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Schaltplan zur Gewichtungsstufe



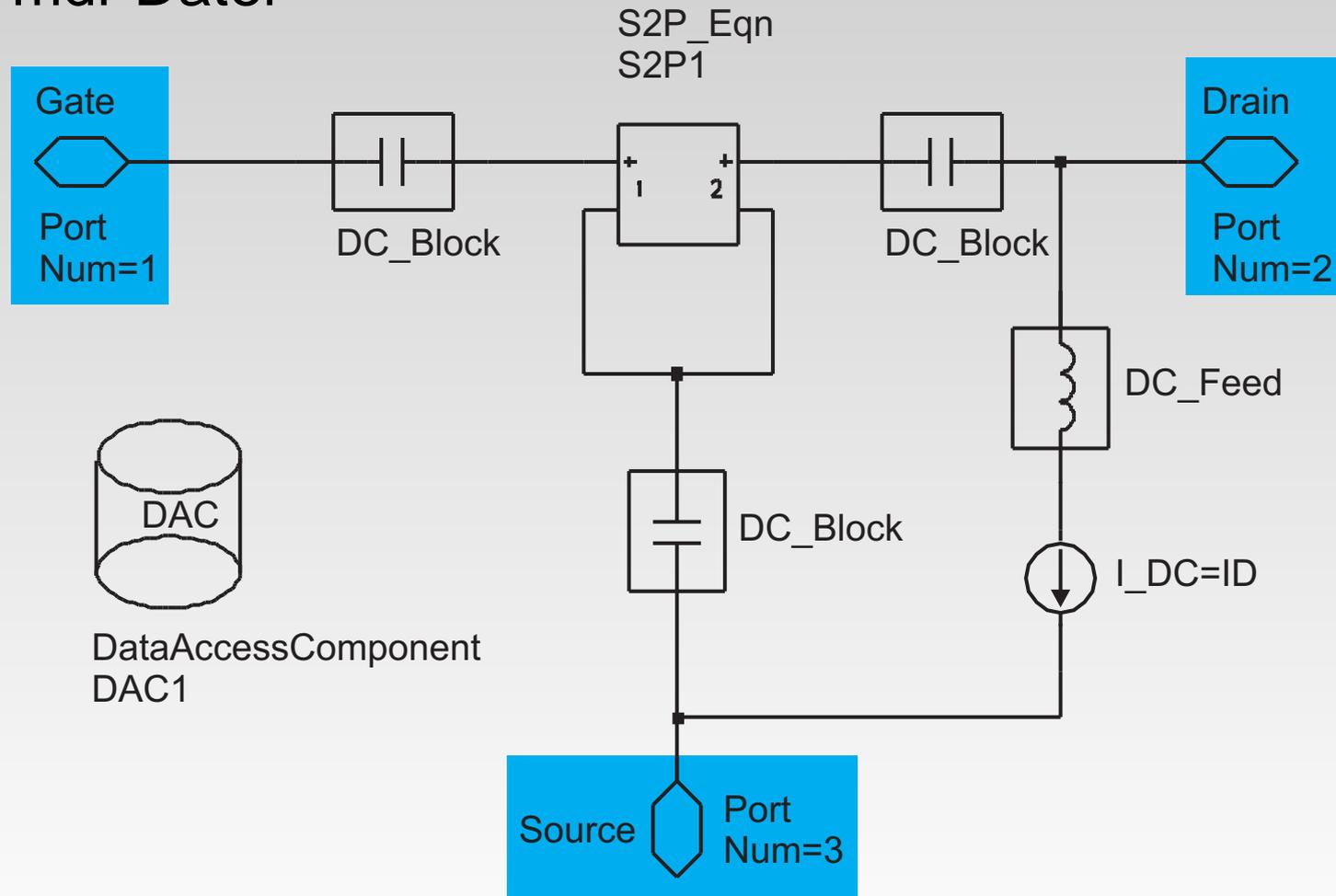
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Schaltplan zur Gewichtungsstufe



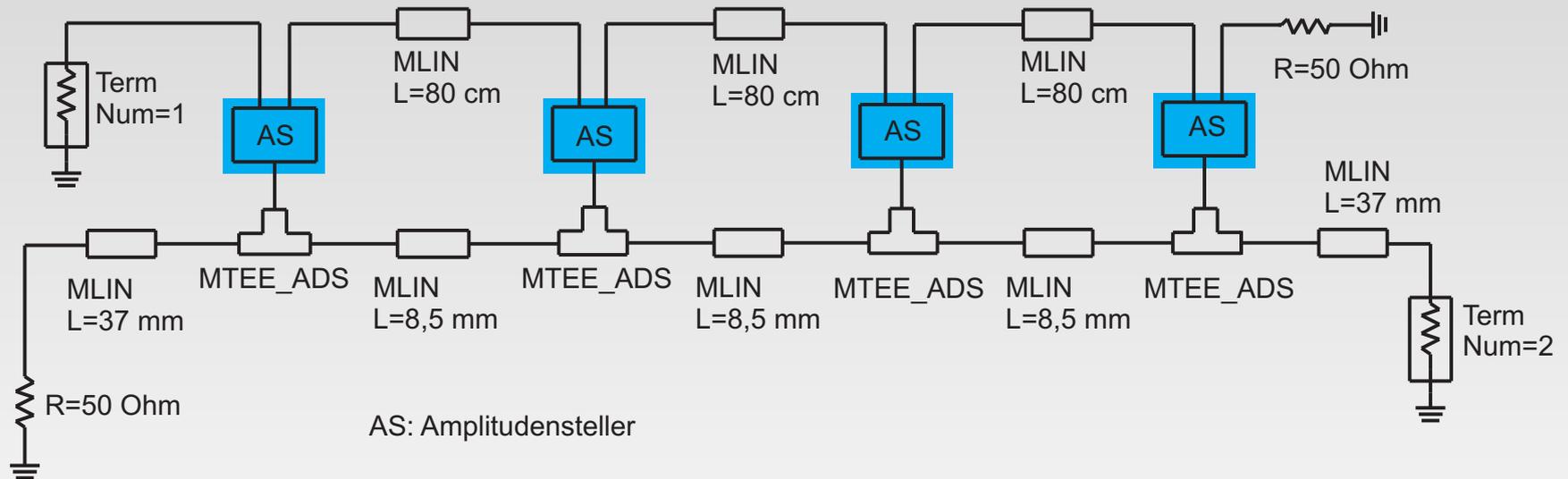
Simulation & Aufbau des FIR-Filters

- Schaltplan zum Transistormodell basierend auf einer mdf-Datei

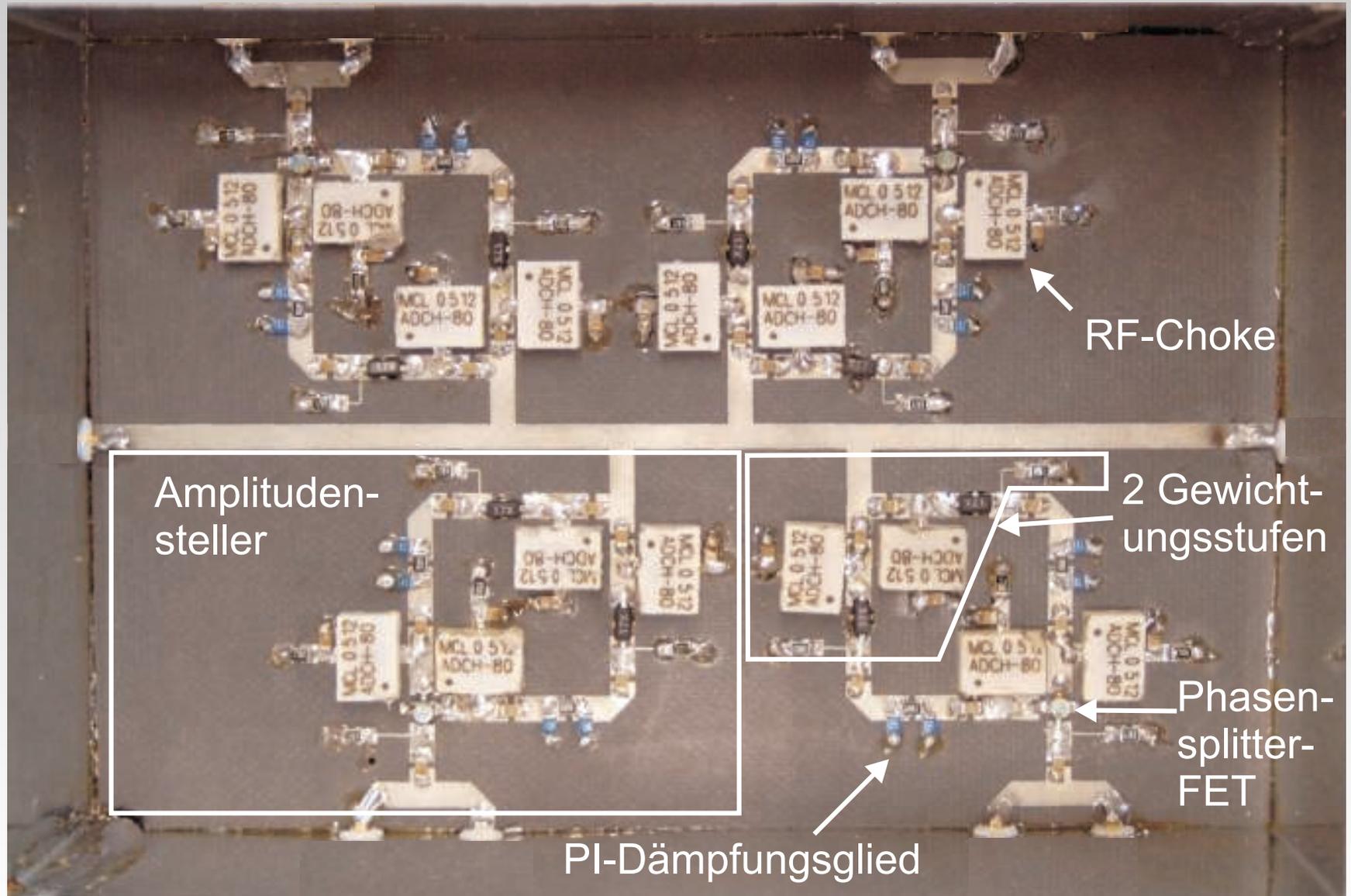


Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Schaltplan zum kompletten FIR-Filter

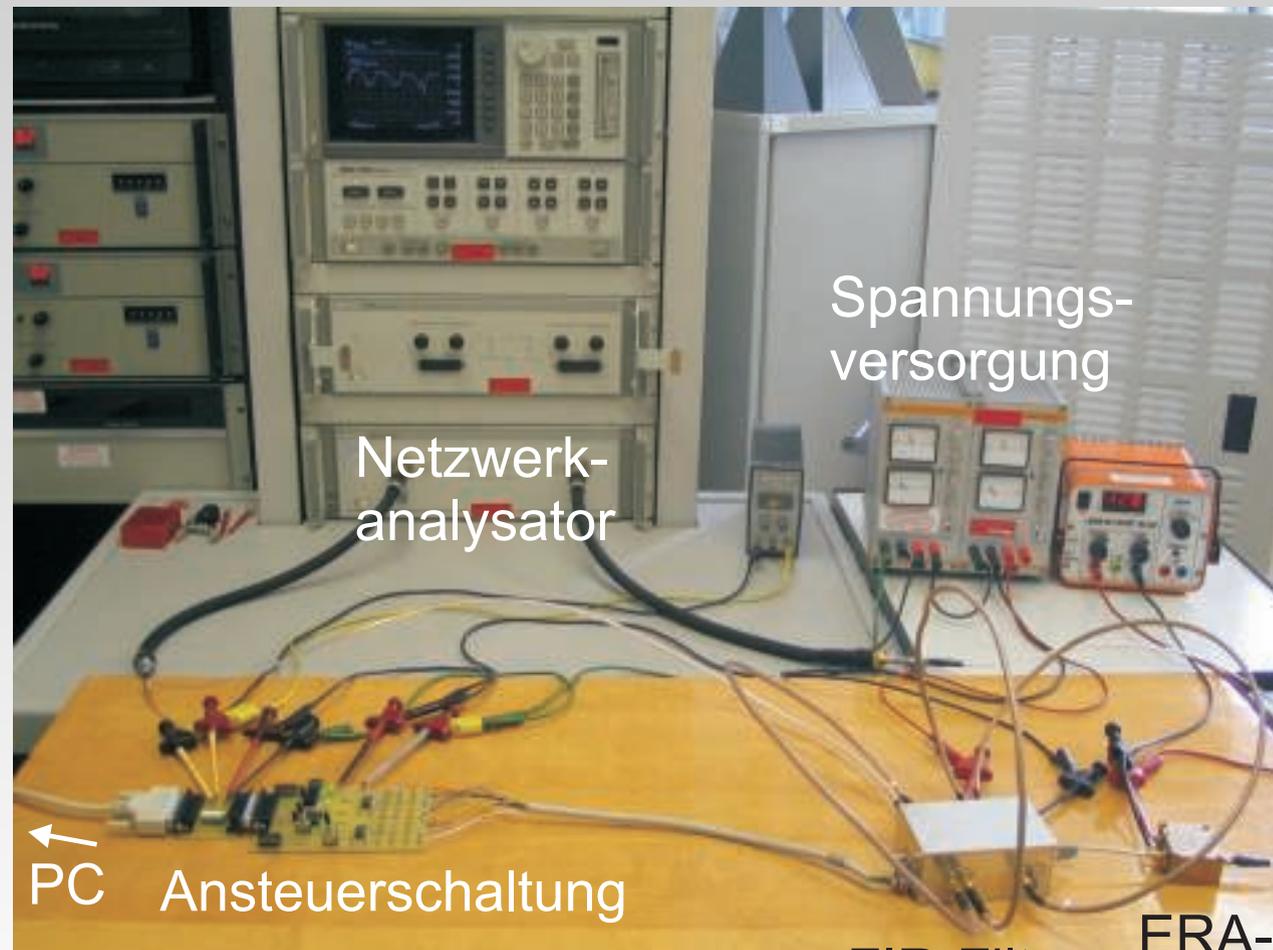


Simulation & Aufbau des FIR-Filters



Simulation & Aufbau des FIR-Filters

■ Messaufbau des FIR-Filters

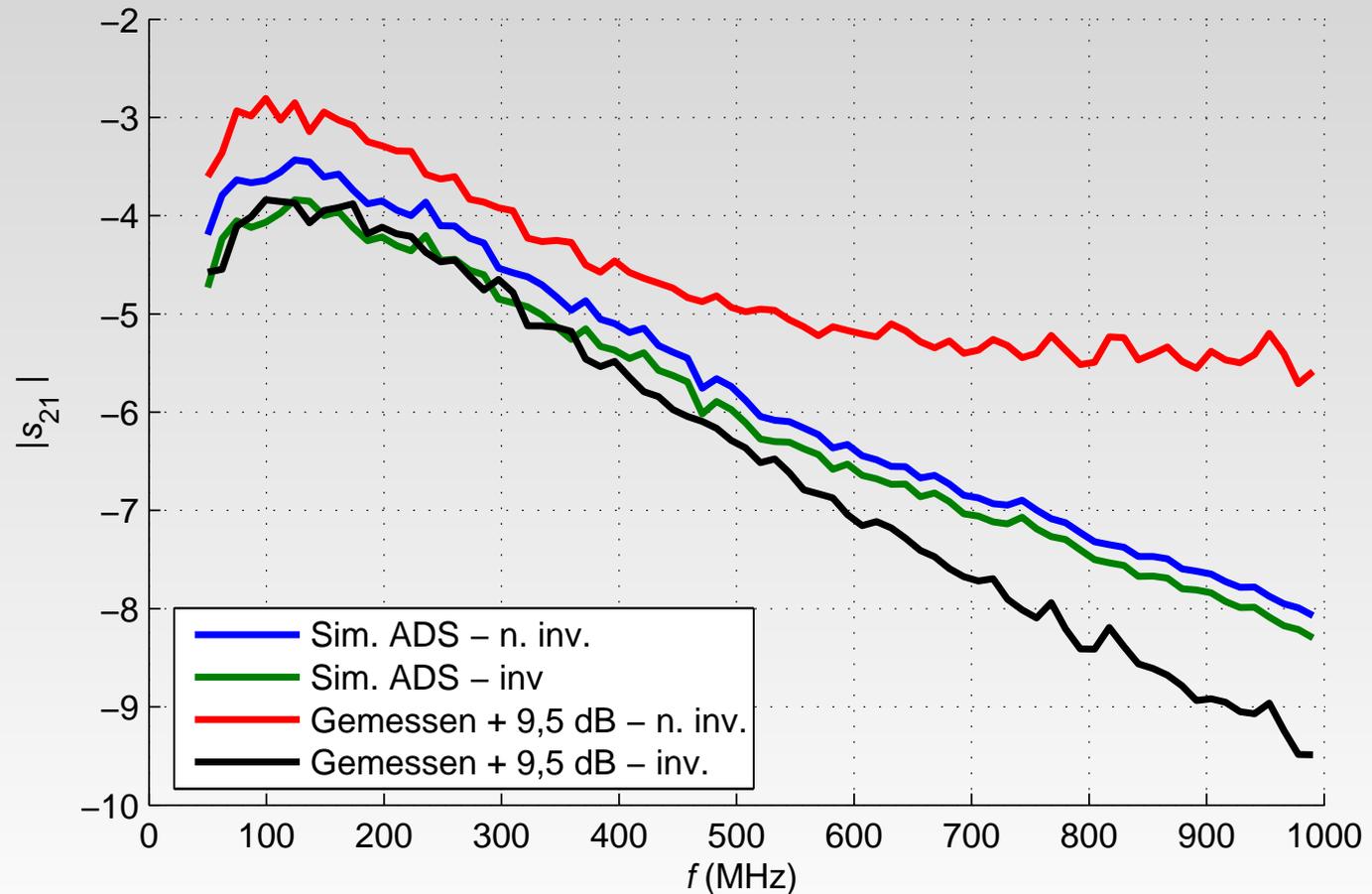


Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- **Ergebnisse**
- Zusammenfassung und Ausblick

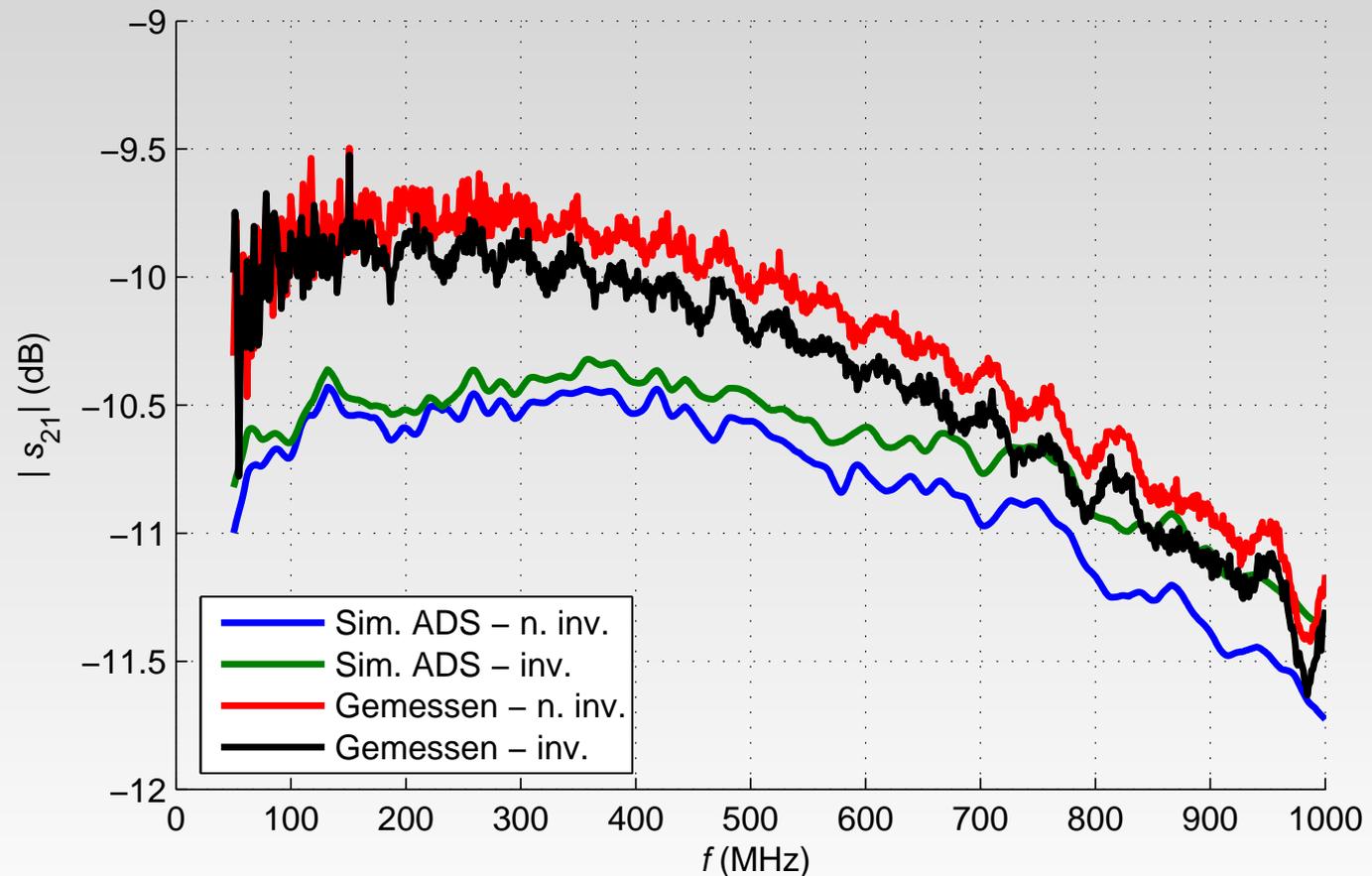
Ergebnisse - Amplitudensteller

- Amplitudensteller mit Differenzverstärker als Phasensplitter



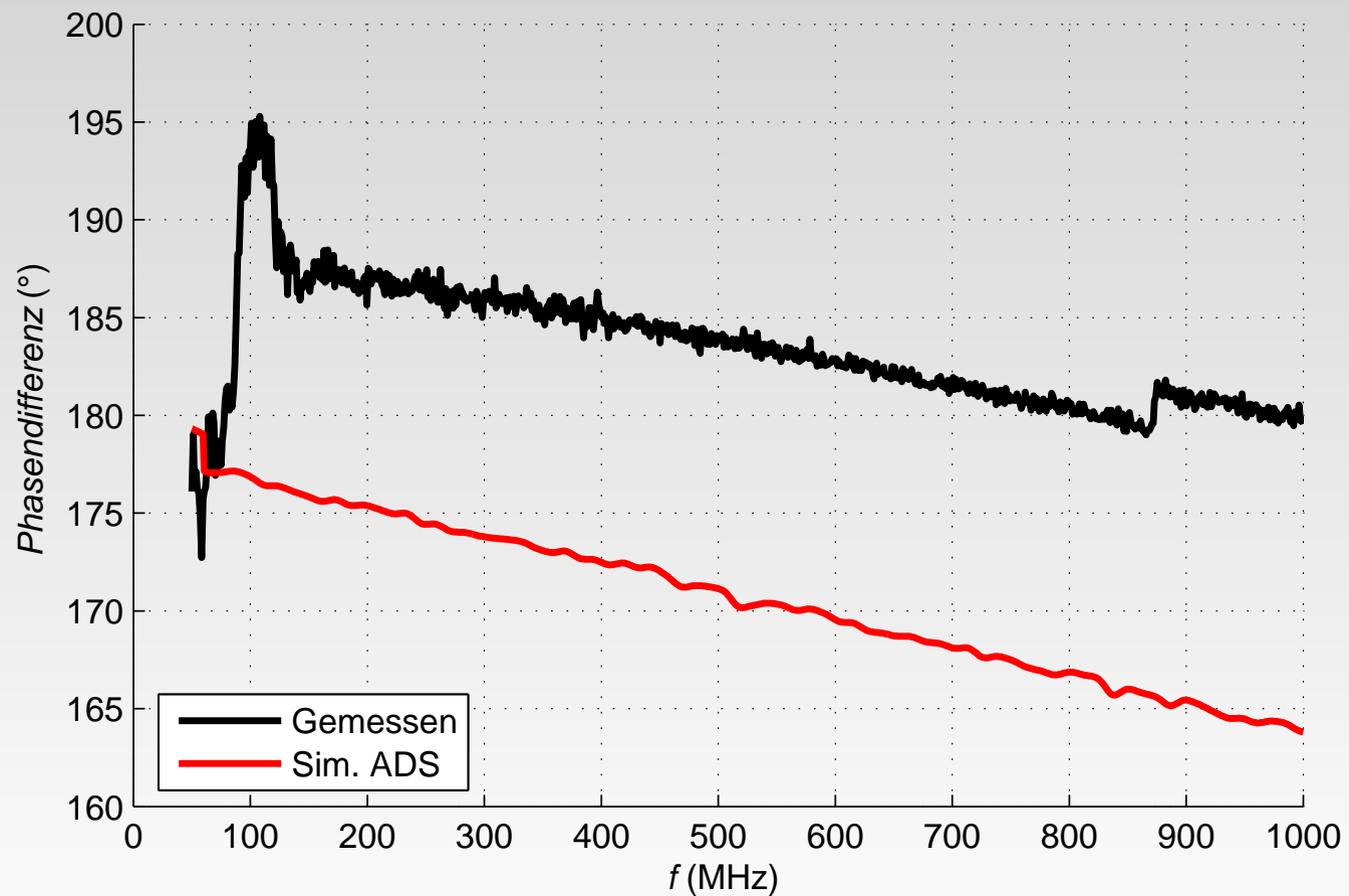
Ergebnisse - Amplitudensteller

- Amplitudensteller mit einzelner FET als Phasensplitter

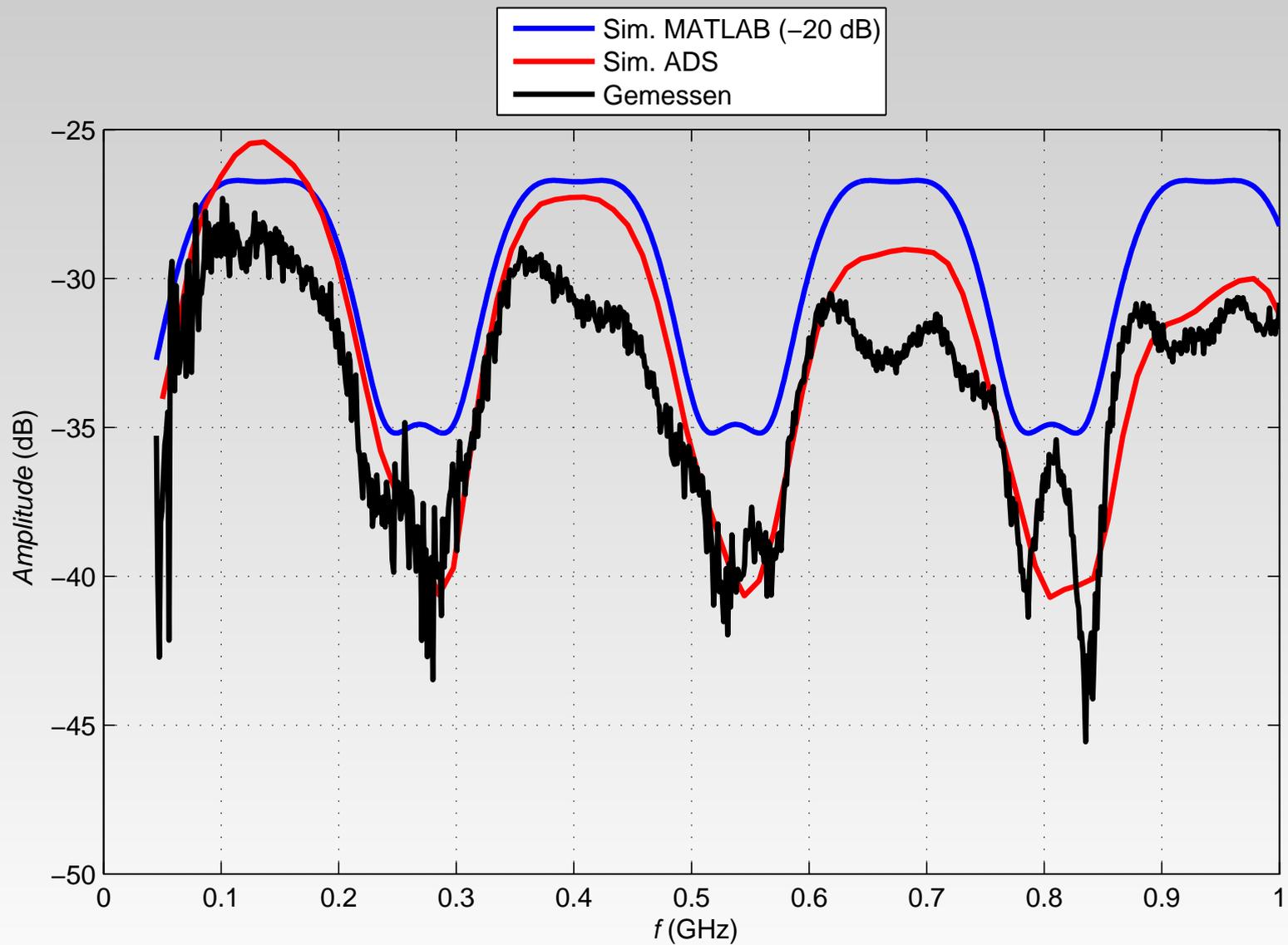


Ergebnisse - Amplitudensteller

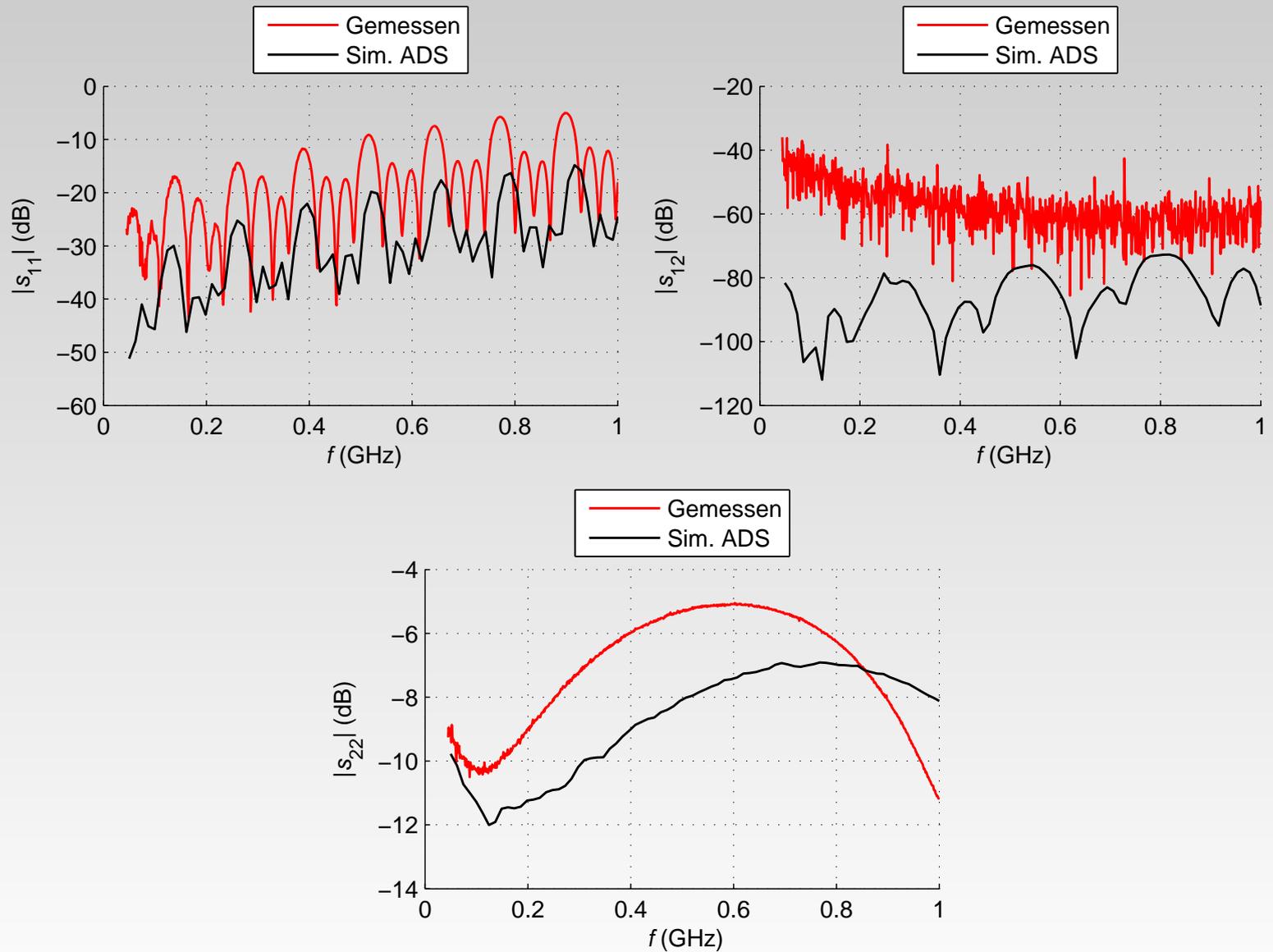
- Amplitudensteller mit einzelner FET als Phasensplitter



Ergebnisse - FIR-Filter



Ergebnisse - FIR-Filter



Gliederung

- Motivation & Einleitung
- Grundlagen zum FIR-Filter
- Die Ansteuerschaltung
- Simulation & Aufbau des FIR-Filters
- Ergebnisse
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung und Ausblick

- Analoges FIR-Filter entwickelt und aufgebaut
- Ansteuerschaltung ermöglicht PC-Steuerung
- Zwei verschiedene Konzepte des breitbandigen Phasensplittings analysiert:
 - Differenzverstärker: große Abweichungen
 - Einzelner FET: gute Übereinstimmung
- Simulation und Messung beim FIR-Filter vergleichbar
- Für höhere Frequenzen nur monolithisch integriert



■ Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!