

# **Gemischtphasige Filter**

Dipl.-Ing. Christian-W. Budde

# Hintergrund

## IIR Filter

unendlich lange Impulsantwort

minimalphasig

Analogtechnik

parametrisierbar

einfach zu realisieren

(numerisch kritisch)



## FIR Filter

endliche Impulsantwort

(meist) linearphasig

Digitaltechnik

nahezu beliebig einstellbar

hoher Rechenaufwand



# Hintergrund

## IIR Filter

unendlich lange Impulsantwort

minimalphasig

Analogtechnik

parametrisierbar

einfach zu realisieren

(numerisch kritisch)



## FIR Filter

endliche Impulsantwort

(meist) linearphasig

Digitaltechnik

nahezu beliebig einstellbar

hoher Rechenaufwand



# Hintergrund

## minimalphasig

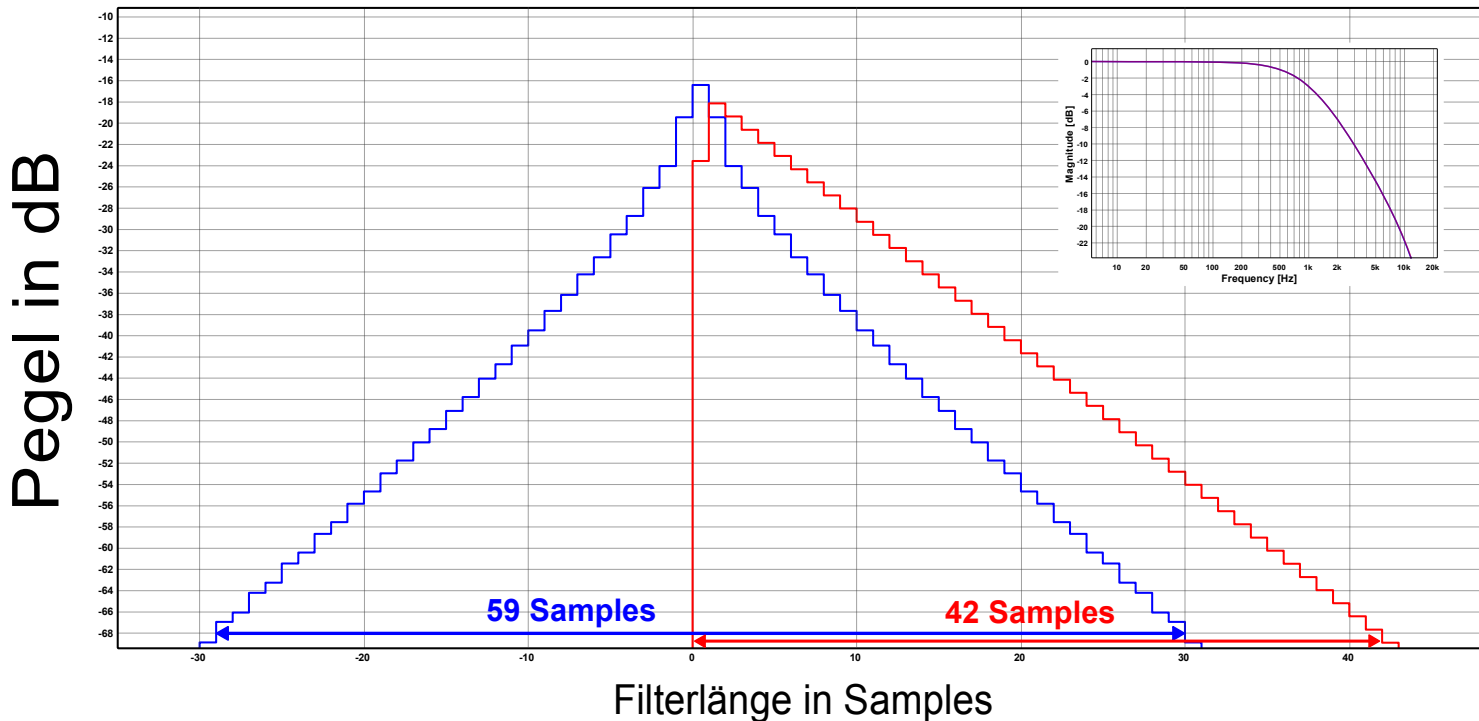
minimales Einschwingen

frequenzabhängige  
Gruppenlaufzeit

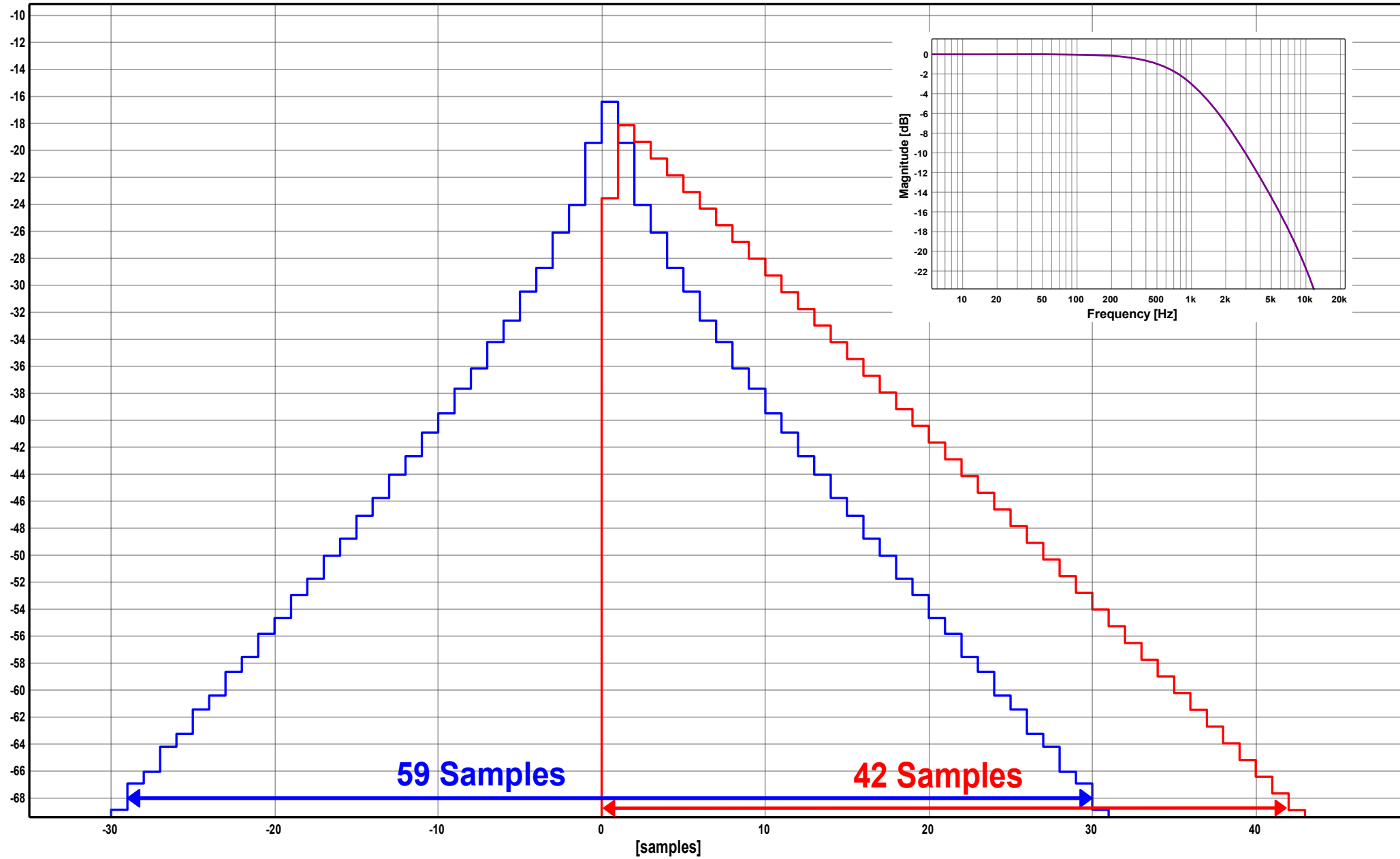
## linearphasig

symmetrische Impulsantwort

konstante Gruppenlaufzeit  
für alle Frequenzen



# Vergleich Linear-/Minimalphasigkeit



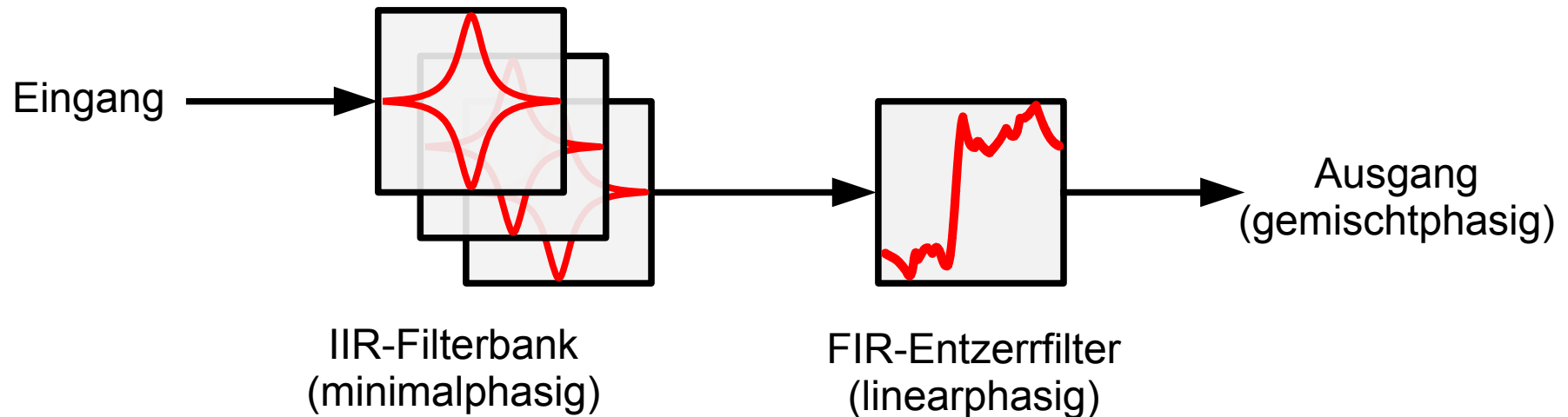
# Motivation

Gesucht:

- beliebig kontinuierlicher Übergang zwischen Minimal-, Linear- und Maximalphasigkeit
- optimal kurze Impulsantwort
- frequenzselektives Einstellen
- beliebiger Frequenzgang

# Bekannte Ansätze

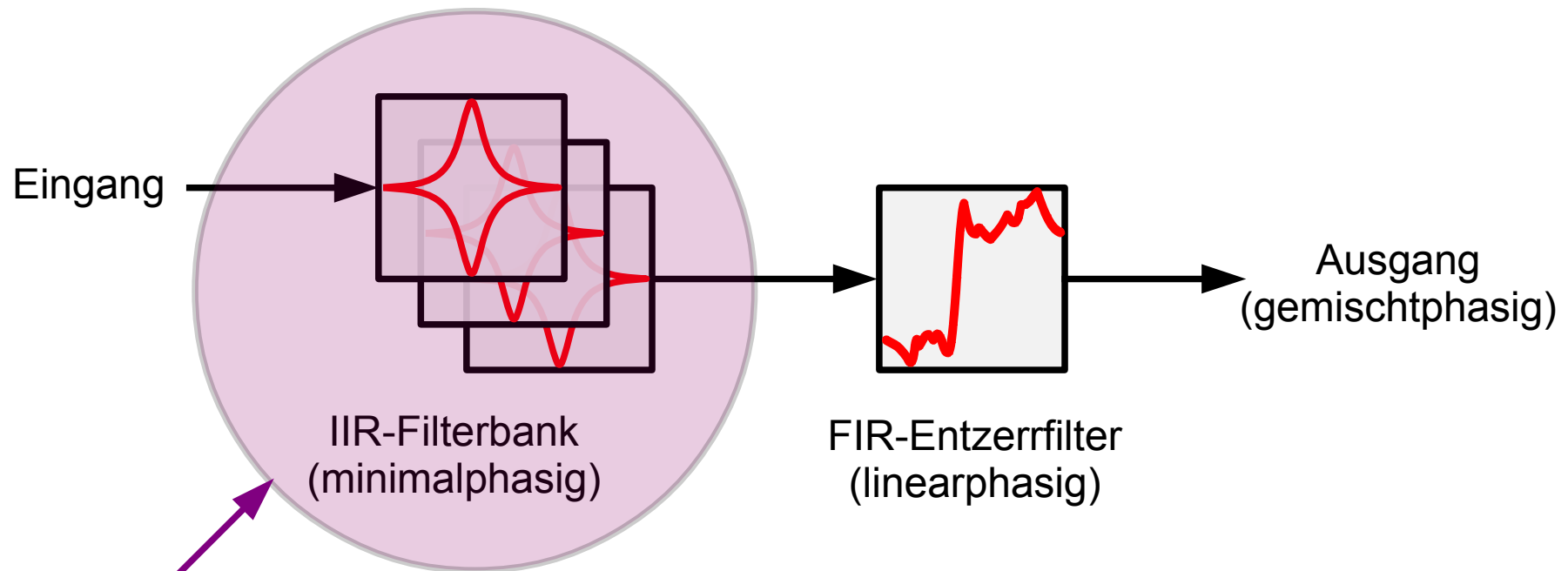
## Kaskadierung von IIR- und FIR Filter



z.B. in „*Linearphasiges Filterdesign und die daraus resultierenden Latenzen*“  
von A.Goertz, J. Kleber, M. Makarski, R. Thaden

# Bekannte Ansätze

## Kaskadierung von IIR- und FIR Filter

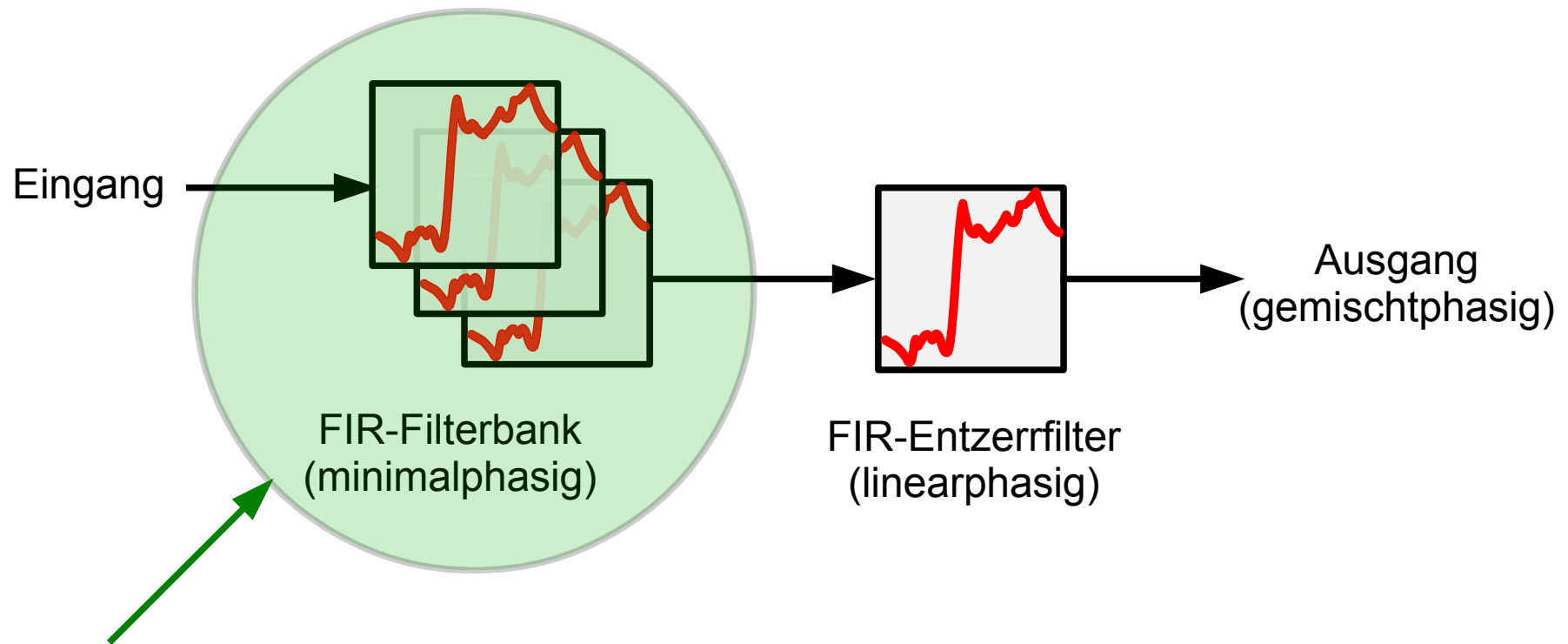


- Problem:**
- IIR Filter nur begrenzt beliebig einstellbar
  - oft nur „von Hand“ einzustellen



# Neuer Ansatz

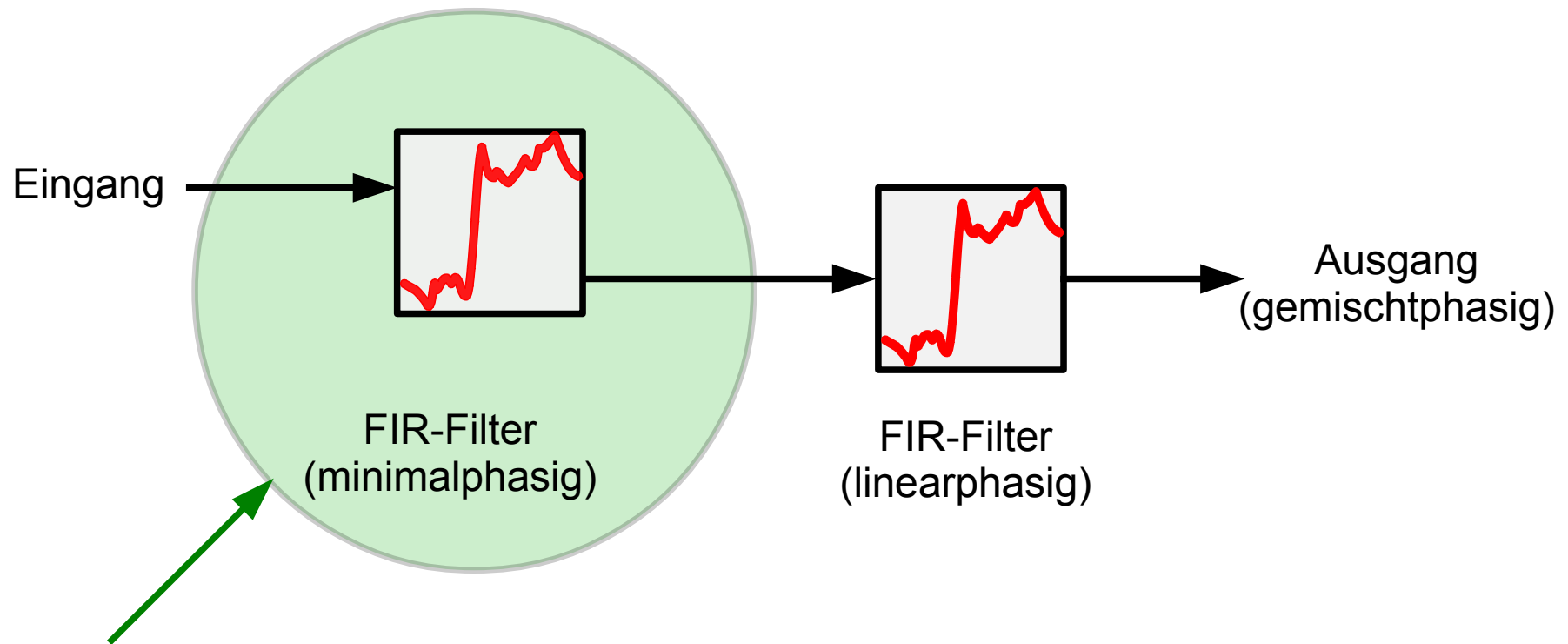
## Ersetzung der IIR Filter durch FIR Filter



Transformation mittels homomorpher Filterung oder ähnlichen Algorithmen







# Neuer Ansatz

## Ersetzung der IIR-Filter durch FIR-Filter









Transformation mittels homomorpher Filterung, spektraler Faktorisierung oder ähnlichen Algorithmen (siehe Fachliteratur)







# Zerlegung des Filters (Variante 1)

1. Umwandlung des Filters in ein minimalphasiges Filter 
  2. Fensterung auf eine gewünschte Länge  $S_A$  
  3. Erweiterung mit Nullen auf Originallänge  $S_{Ges}$  
  4. Transformation in den Frequenzbereich **FFT**
  5. Differenzbildung des Betragsspektrums (in dB)
  6. Phase zu Null setzen (Linearphasigkeit erzwingen) **IFFT**
  7. Transformation der Differenz in den Zeitbereich 
  8. Fensterung der Impulsantwort auf neue Länge  $S_B$  
- gemischtphasiges Filter durch Faltung von Filter A & B 

# Zerlegung des Filters (Variante 2)

1. Umwandlung des Filters in ein linearphasiges Filter 
  2. Fensterung auf eine gewünschte Länge  $S_A$  
  3. Erweiterung mit Nullen auf Originallänge  $S_{Ges}$  
  4. Transformation in den Frequenzbereich **FFT**
  5. Differenzbildung des Betragsspektrums (in dB)
  6. Transformation der Differenz in den Zeitbereich **IFFT**
  7. Umwandlung in minimalphasiges Filter 
  8. Fensterung der Impulsantwort auf neue Länge  $S_B$  
- gemischtphasiges Filter durch Faltung von Filter A & B 

# Zerlegung des Filters (Variante 3)

1. Umwandlung des Filters in ein minimalphasiges Filter 
  2. Fensterung auf eine gewünschte Länge  $S_A$  
  3. Erweiterung mit Nullen auf Originallänge  $S_{Ges}$  
  4. Transformation in den Frequenzbereich **FFT**
  5. Differenzbildung des Betragsspektrums (in dB)
  6. Transformation der Differenz in den Zeitbereich **IFFT**
  7. Umwandlung in maximalphasiges Filter 
  8. Fensterung der Impulsantwort auf neue Länge  $S_B$  
- gemischtphasiges Filter durch Faltung von Filter A & B 

# Probleme bei der Zerlegung

- Fenstern = Filtern
  - gute Wahl der Fensterfunktion ist entscheidend
  - ggf. suboptimale Lösung (bzgl. der Filterlänge)
  - Minimierung durch Rekursion bei der Differenzbildung
- Transformation in minimalphasiges Filter
  - je nach Algorithmus nicht perfekt (Aliasing)
  - rechenintensiv

# Rekursion zur Fehlerminderung

Schritte 1-8 wie gehabt dann aber

9. Erweiterung des Filters B mit Nullen auf Originallänge  $S_{ges}$

10. Transformation in den Frequenzbereich

11. Differenzbildung des Betragsspektrums (in dB)

12. Transformation der Differenz in den Zeitbereich

13. Umwandlung in max./min./lin.-phasiges Filter

14. Fensterung der Impulsantwort auf Länge  $S_A$

15. Wiederholen (mit Filter B) bis Fehler hinreichend klein

→ gemischtphasiges Filter durch Faltung von Filter A & B

# Weitere Optionen

- zusätzliche Frequenzgewichtung möglich
  - z. B. Bassentzerrung minimal-, Höhenentzerrung linearphasig
  - auch fließende Übergänge möglich
  - Worst-Case selten schlechter als linearphasig
- auch in Richtung Maximalphasigkeit anwendbar
- Auch Zerlegung in mehr als 2 Filter möglich (hilfreich bei Rekursion zur Fehlerminderung)



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit