

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

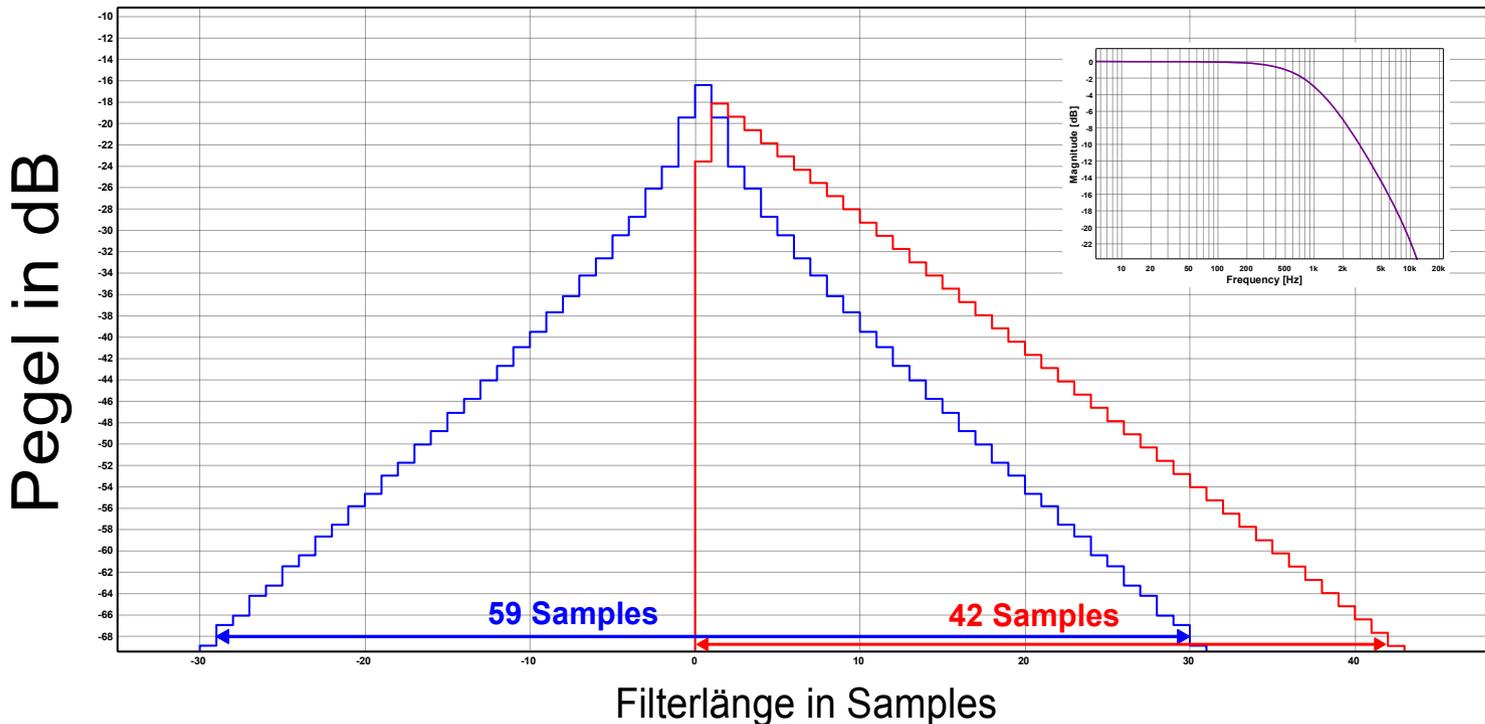
minimales Einschwingen

frequenzabhängige
Gruppenlaufzeit

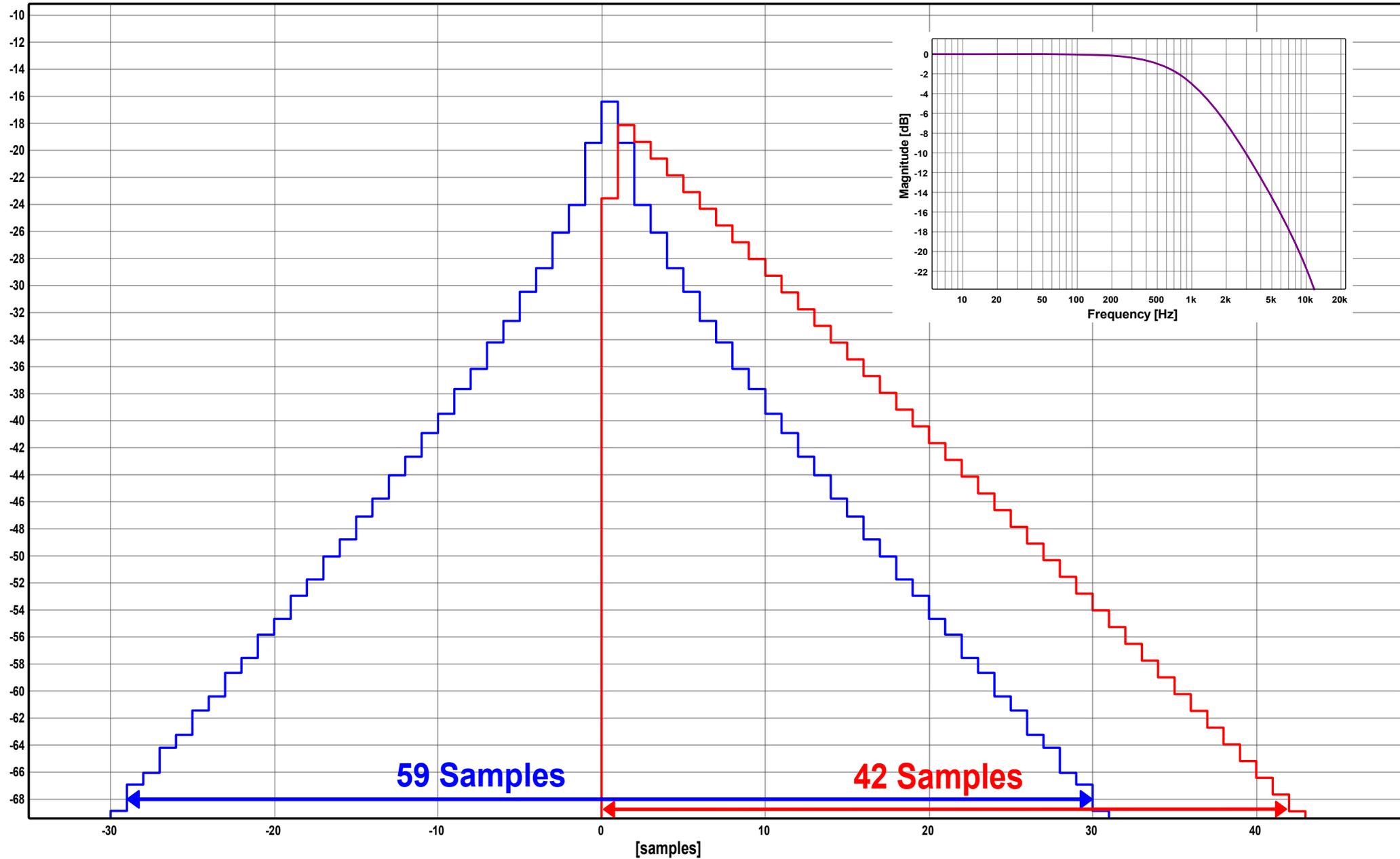
linearphasig

symmetrische Impulsantwort

konstante Gruppenlaufzeit
für alle Frequenzen



Vergleich Linear-/Minimalphasigkeit



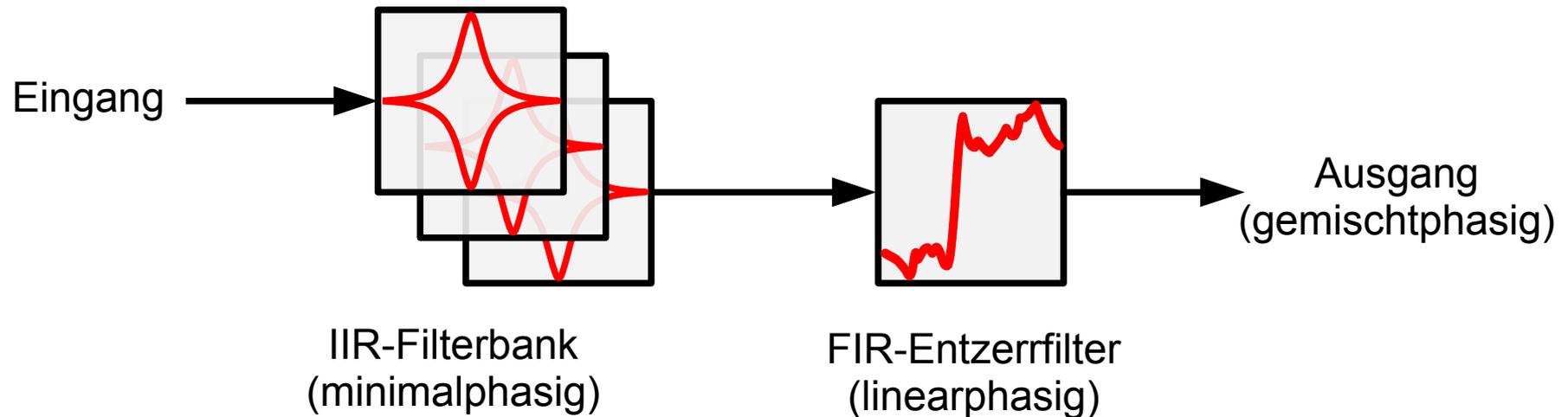
Motivation

Gesucht:

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

Bekannte Ansätze

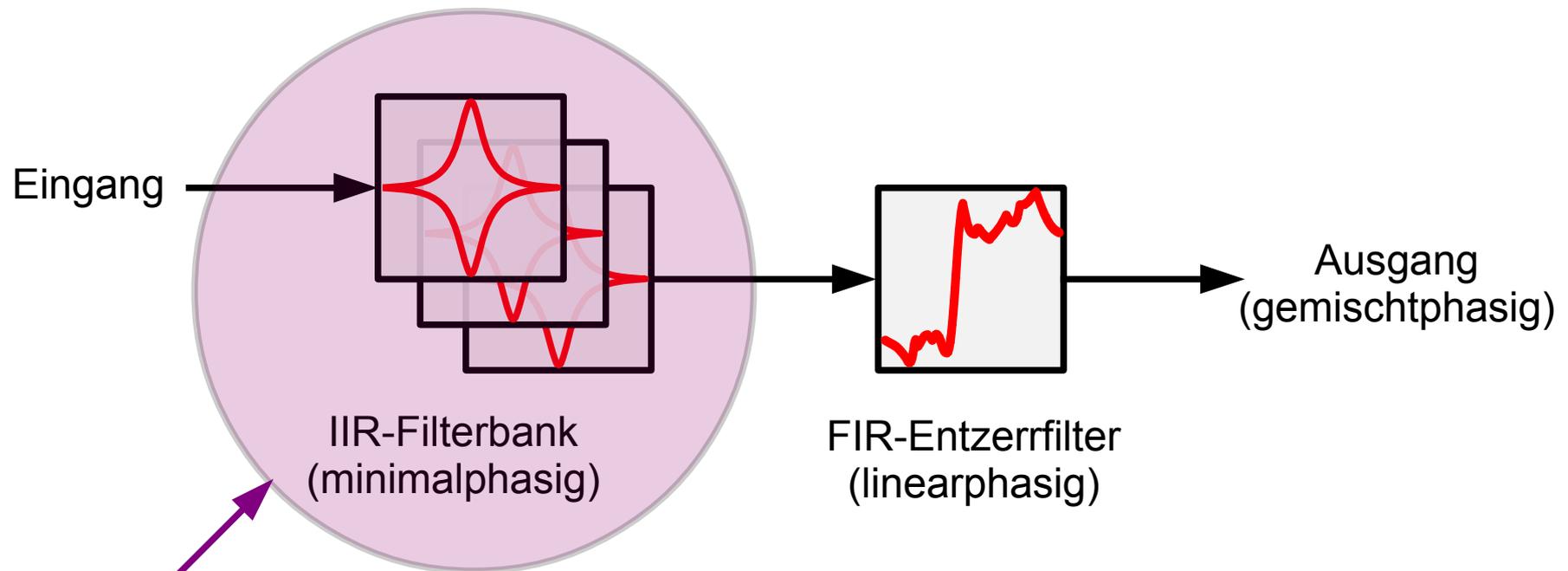
Kaskadierung von IIR- und FIR Filter



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

Bekannte Ansätze

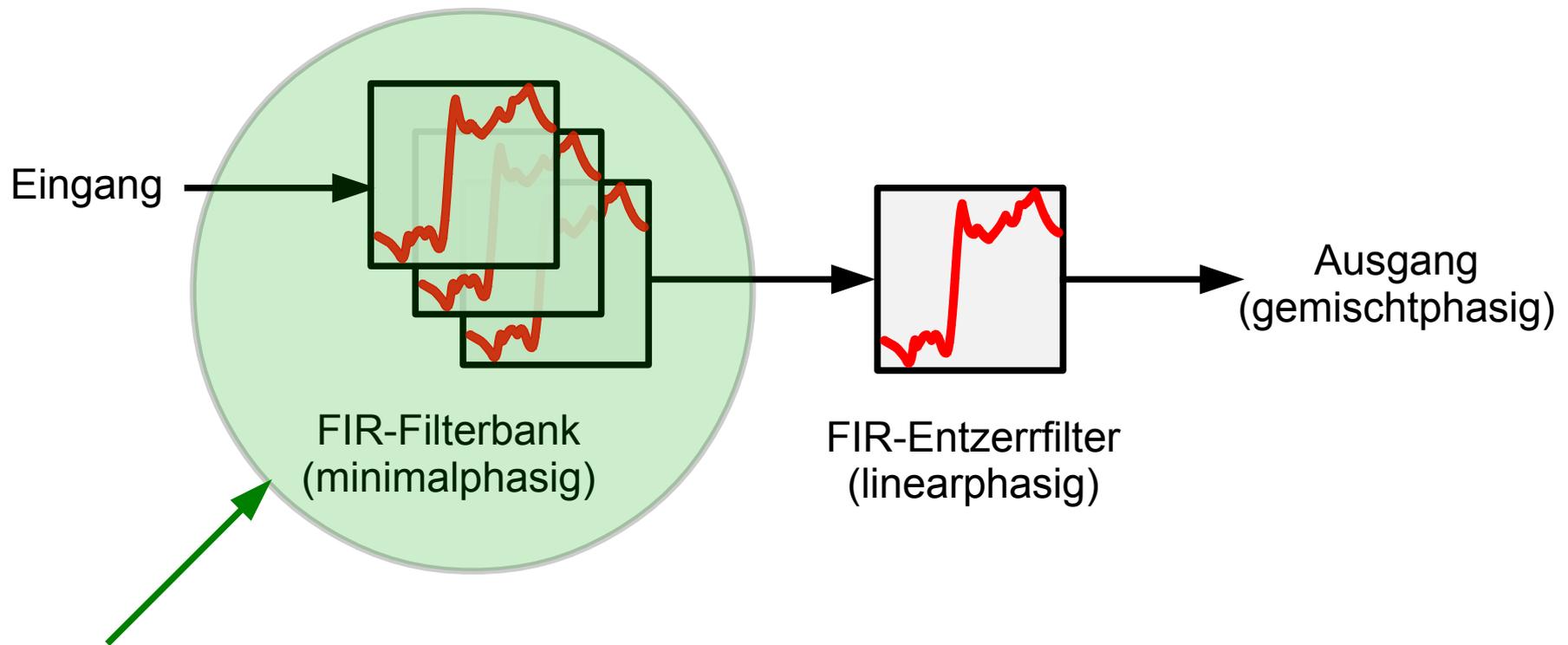
Kaskadierung von IIR- und FIR Filter



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

Neuer Ansatz

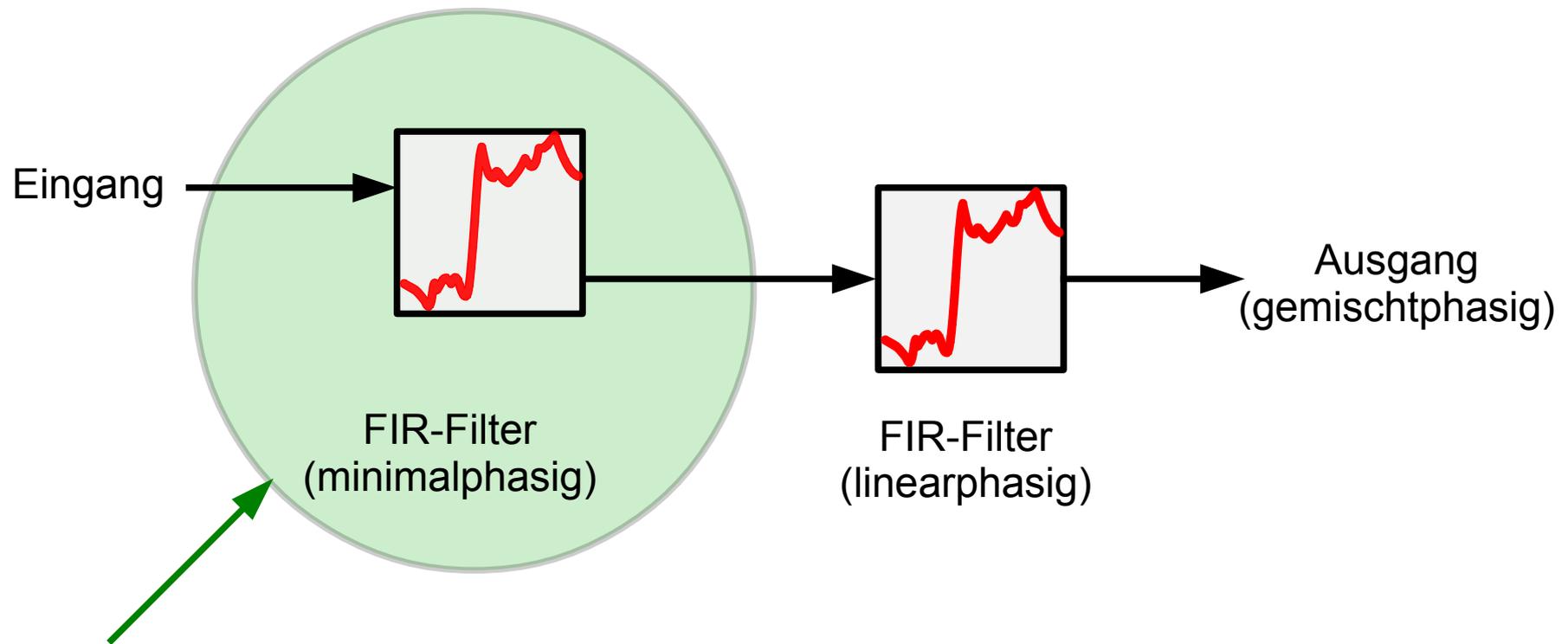
Ersetzung der IIR Filter durch FIR Filter



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