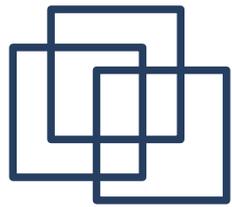


Filterentwurf

Patrick Seiler

*Präsentation im Rahmen des Projektlabors der TU Berlin
im Sommersemester 2009*

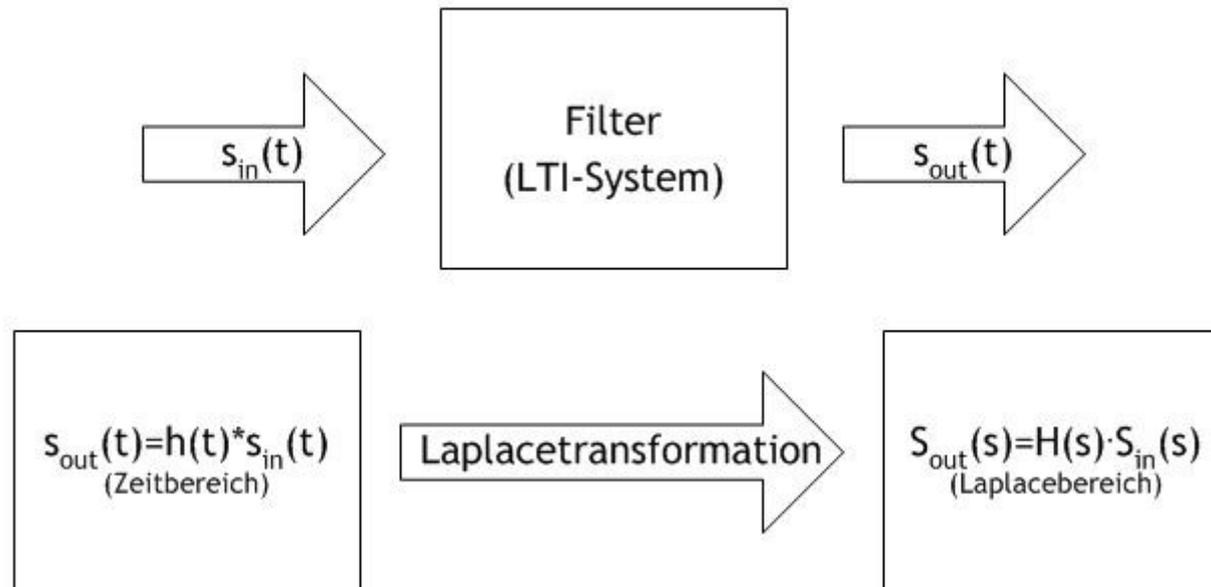
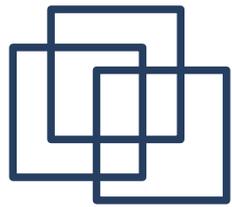


1. Was sind Filter?
2. Grundlagen: Charakteristika/Kenngrößen
3. Filterentwurf
 - 3.1 Anforderungen
 - 3.2 Entwurf
 - 3.3 Realisierung
 - 3.3.1 passive Filter
 - 3.3.2 aktive Filter
4. Realisierung unseres Projekts
 - 4.1 Filterlab
 - 4.2 Projekt „Lichtorgel“

Was sind Filter?

*„Frequenzfilter sind Netzwerke mit vorgegebenem frequenzabhängigem Übertragungsverhalten (**Frequenzgang**), die bestimmte Frequenzbereiche des Eingangssignals unterdrücken (**Sperrbereich**) und/oder andere Bereiche bevorzugt übertragen (**Durchlassbereich**).“*

(Wikipedia)

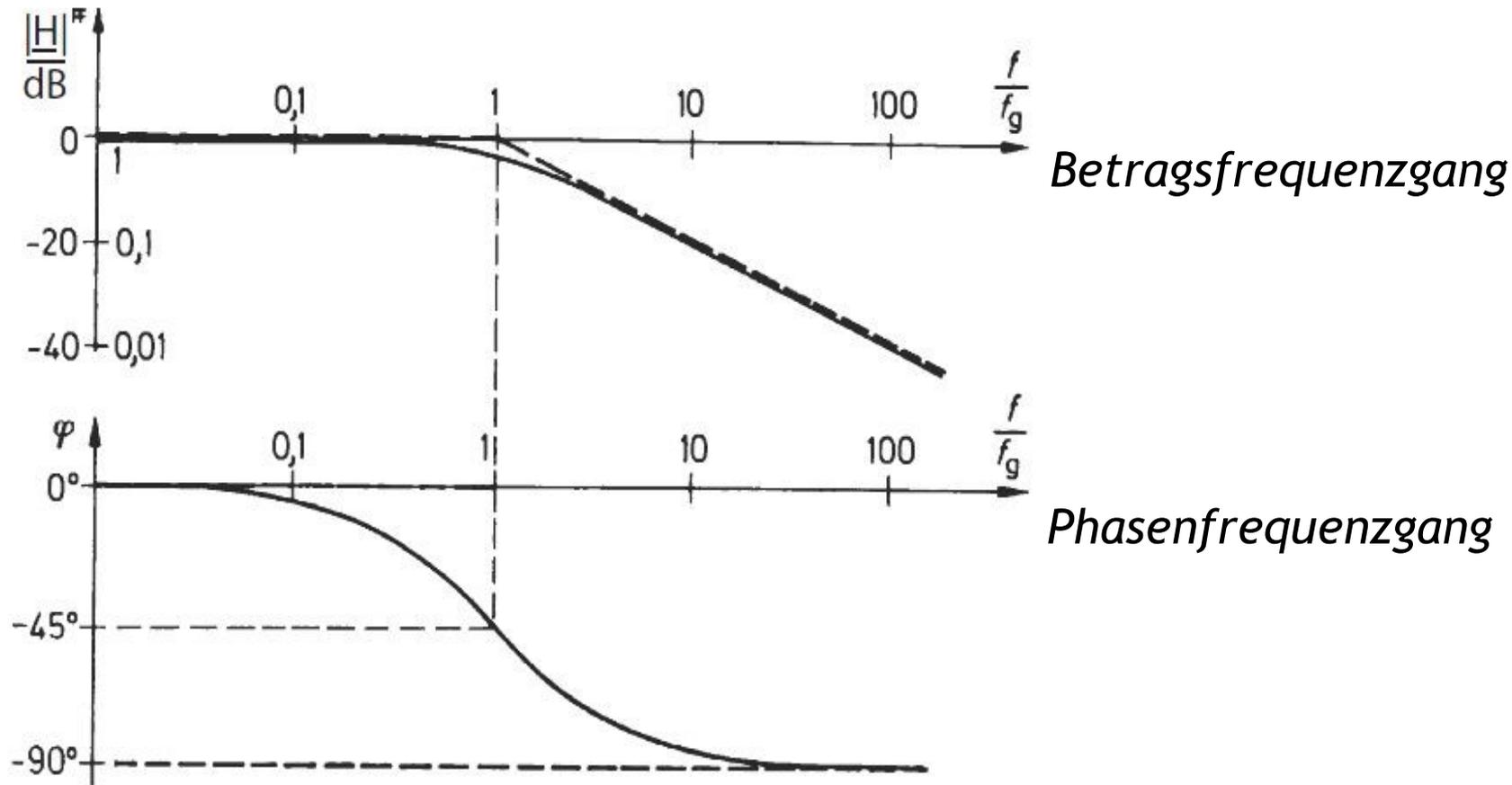


$$H(s) = \frac{S_{out}(s)}{S_{in}(s)}$$

- Übertragungsfunktion H beschreibt LTI-System vollständig
- Bestimmung von H :
 - rechnerisch als Teil des Filterentwurfs
 - messtechnisch in Näherung über die Sprungantwort
- Übergang von $H(s)$ zu $H(\omega)$ schafft Frequenzgang

$$\underline{H}(\omega) = |\underline{H}(\omega)| e^{i\varphi(\omega)}$$

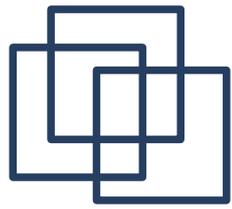
Tiefpass erster Ordnung



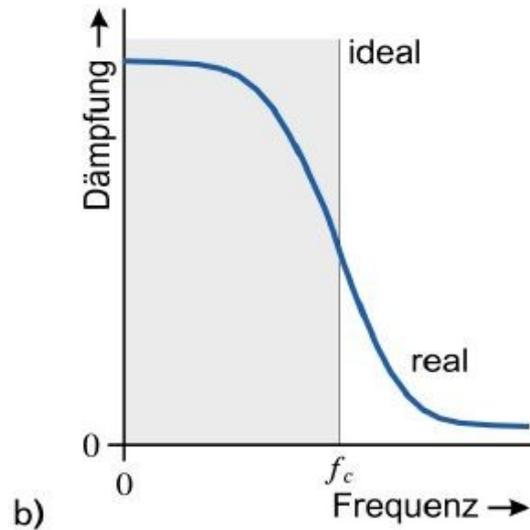
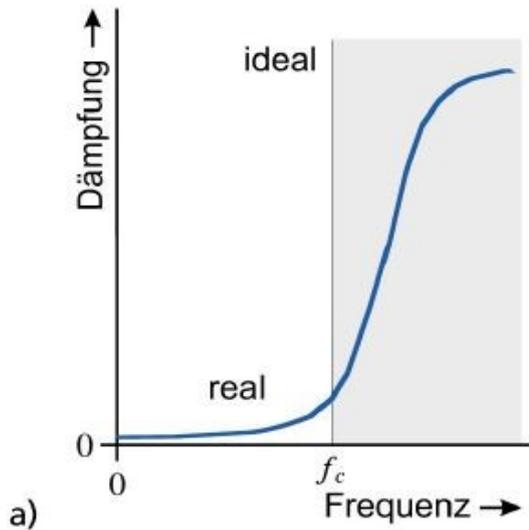
Grenzfrequenz: Ausgangsgröße 3dB unter Bezugswert

Steilheit: Ordnung * 20 dB pro Dekade (\rightarrow Trennschärfe)

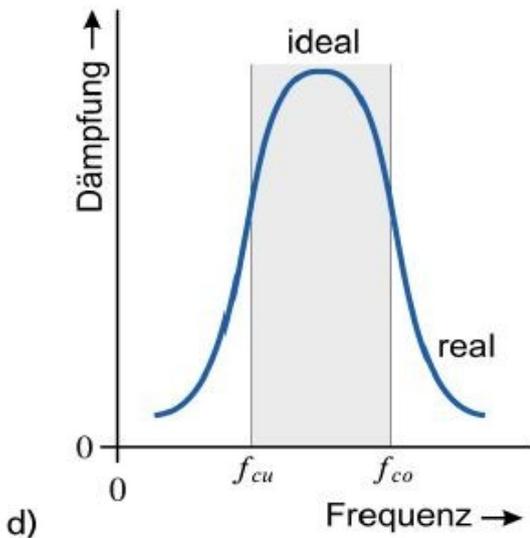
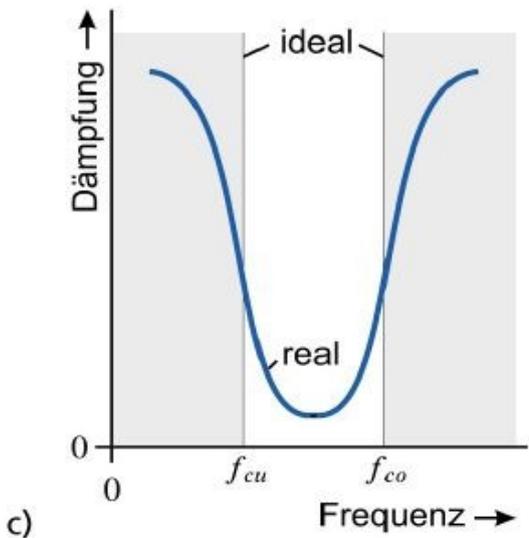
Güte: Überschwingen nahe der Grenzfrequenz



Grundlegende Filtermodelle



- a) Tiefpass
- b) Hochpass
- c) Bandpass
- d) Bandsperre



Lineare Filter:

- pegel- und zeitunabhängig
→ *keine Verzerrung*

Nicht-lineare Filter:

- pegel- und zeitabhängig
→ *Verzerrung*

Passive Filter:

- rein passive Bauelemente
→ *keine externe Spannungsversorgung notwendig*

Aktive Filter:

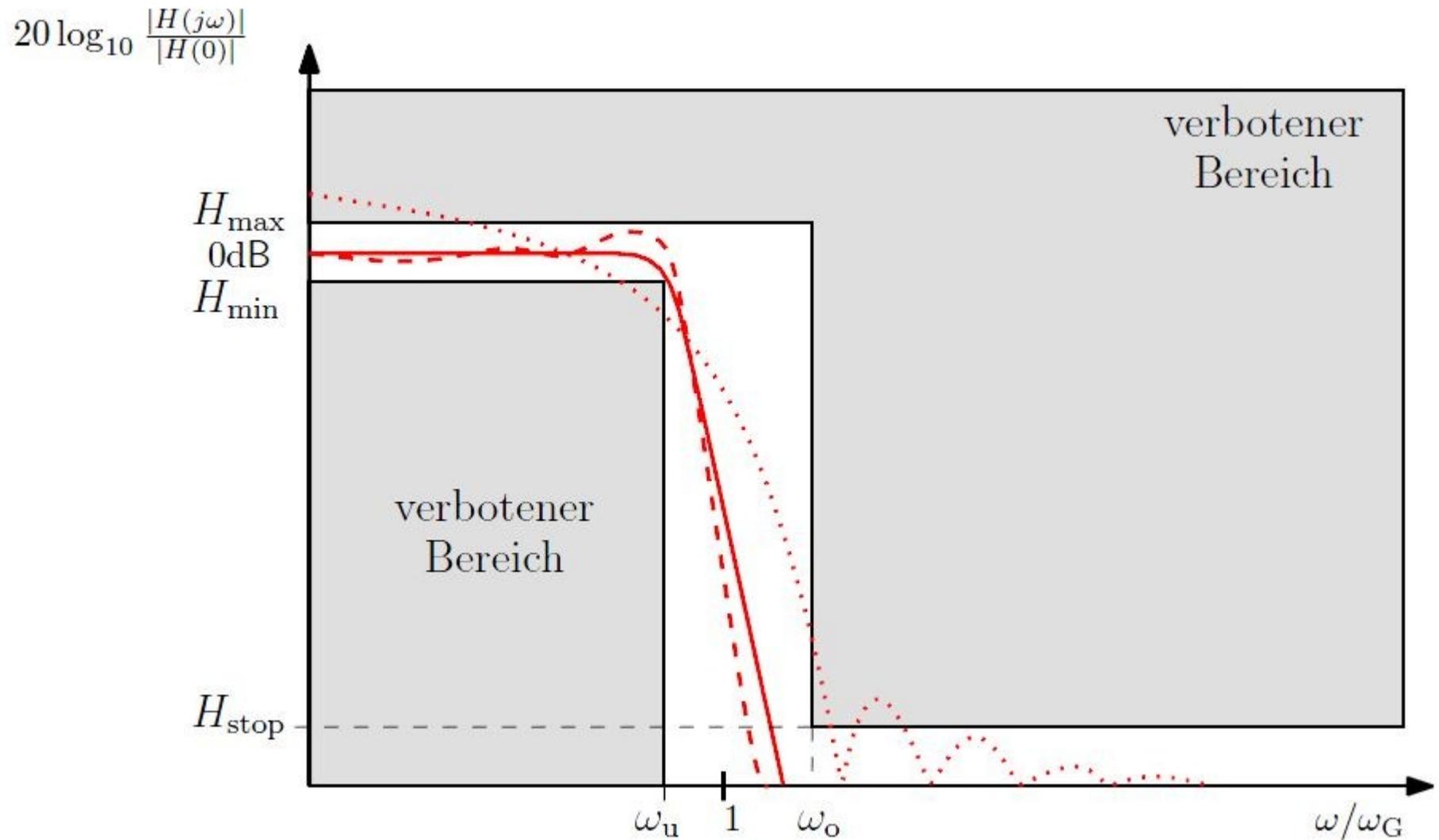
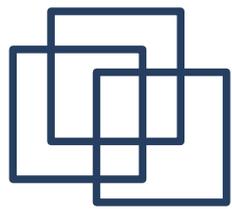
- mindestens ein aktives Bauelement
→ *externe Spannungsversorgung vonnöten*

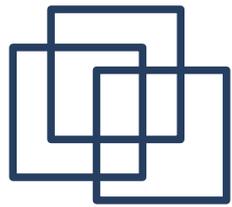
Ordnung:

- Filter höherer Ordnung (→ Flankensteilheit) durch Kaskadierung

Güte:

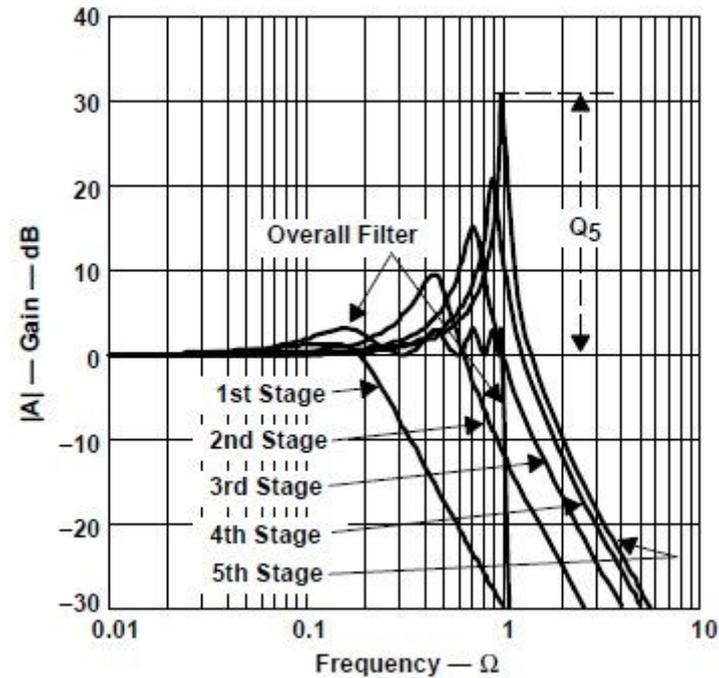
- Güte wird abhängig von der Filtertopologie durch Bauelemente oder die gewählte Verstärkung (bei aktiven Filter) beeinflusst





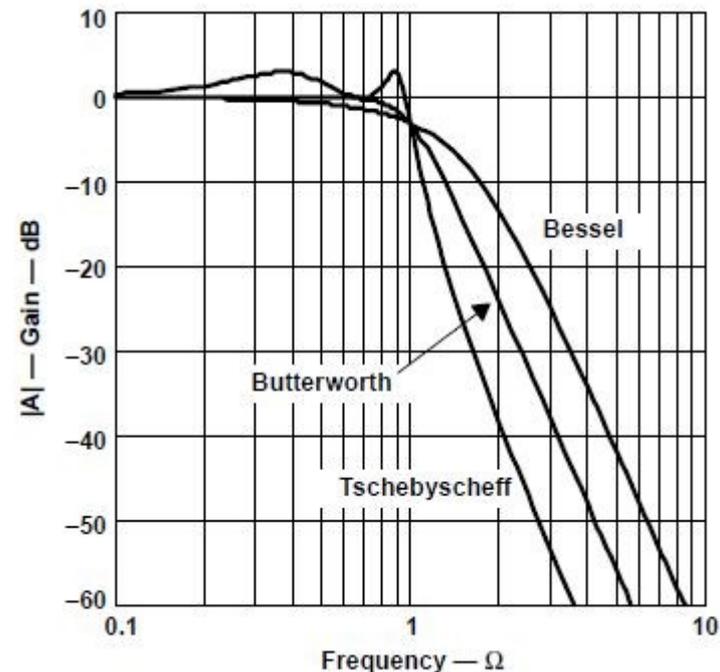
Gütefaktor

Tschebyscheff-Filter 10. Ordnung:



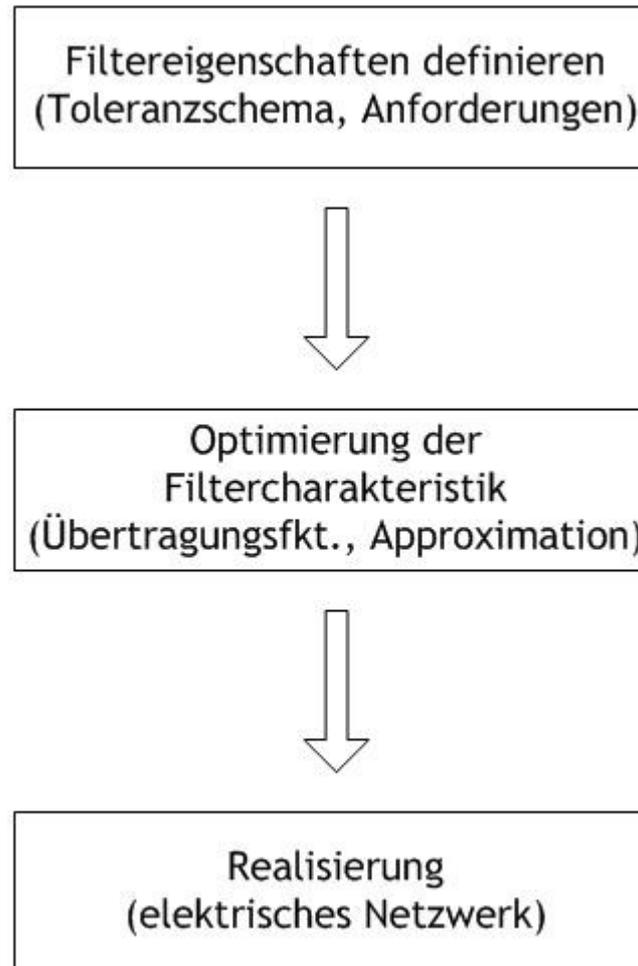
- Filtercharakteristik wird berechnet bzw. durch optimierte Frequenzgänge approximiert:

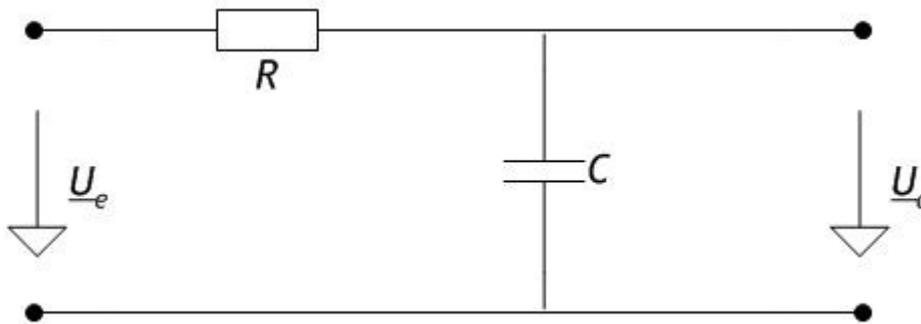
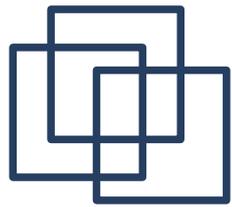
- Butterworth
- Tschebyscheff
- Bessel
- Cauer
- Gauß



- verschiedene Eigenschaften bringen bestimmte Vor- und Nachteile mit sich, die Filterparameter betreffend

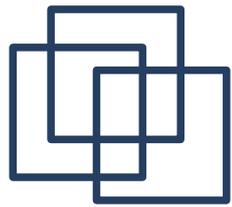
→ *Amplitudenverhalten/Welligkeit, Flankensteilheit ...*





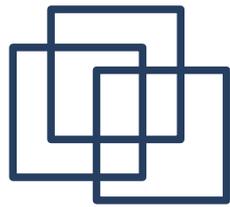
passives RC-Glied eingesetzt
als Tiefpass erster Ordnung

$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{U}_a(\omega)}{\underline{U}_e(\omega)} = \frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_R + \underline{Z}_C} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$



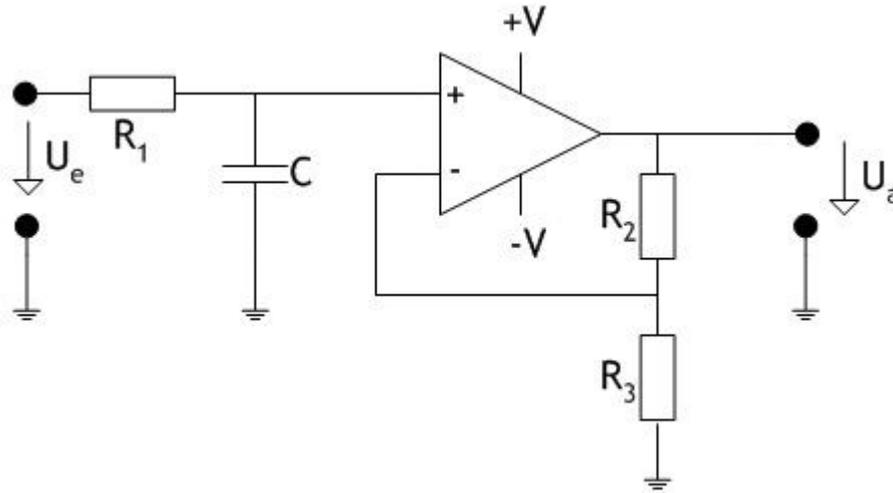
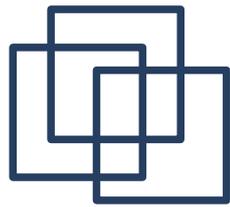
Probleme:

- passive Filter sind belastungsanfällig;
→ *Änderung der Übertragungsfunktion bei Last*
- ein Filter belastet folglich das vorhergehende Filter;
→ *Problem: Kaskadierung*
- mit zunehmender Ordnung passiver Filter werden höhere Bauelementwertigkeiten benötigt (Induktivitäten → Eisenkern);
→ *Größe, Gewicht, Kosten*
- passive Filter haben keine zusätzliche Spannungsversorgung
→ *maximale Verstärkung vom Faktor Eins*



Motivation - *Warum aktive Filter?*

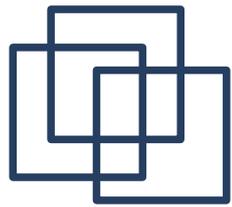
- Übertragungsfunktion ist unabhängig von der Last (OPV)
 - Kaskadierung folglich unproblematisch
 - keine Induktivitäten notwendig
 - Verstärkung mit einem Faktor größer Eins ist möglich (externe Spannungsquelle)
→ *Probleme passiver Filter gelöst*
-
- weiterer Vorteil: Filterparameter sind elektronisch steuerbar



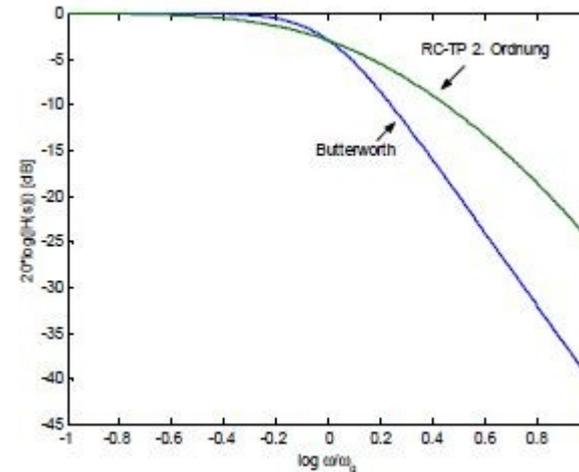
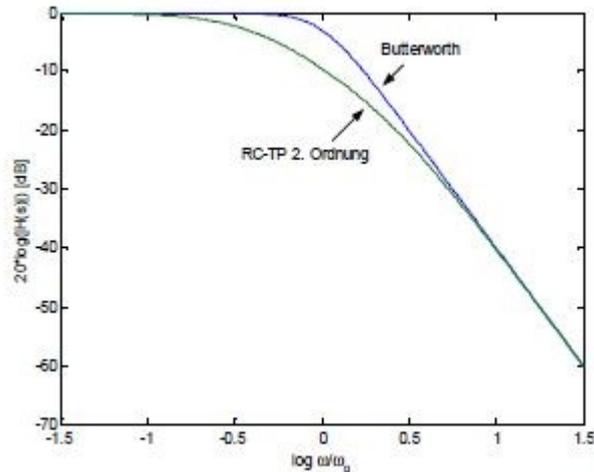
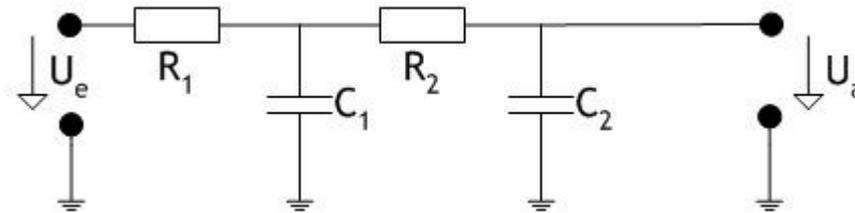
RC-Glied mit OPV eingesetzt
als *aktiver* Tiefpass erster
Ordnung

$$\underline{H}(\omega) = V \cdot \frac{1}{1 + j\omega CR_1}$$

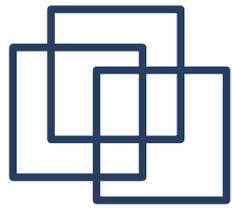
$$V = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$



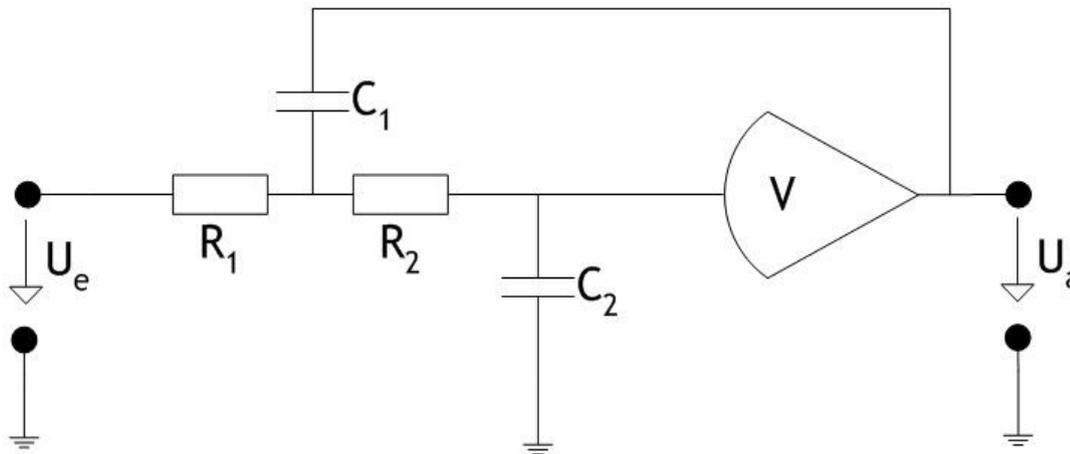
Filter zweiter Ordnung



- Filterverlauf entweder ausgerichtet an der Flankensteilheit oder an der Grenzfrequenz; optimaler Verlauf nicht möglich
- Verstärkung im Bereich der Grenzfrequenz notwendig
→ *Sallen-Key - Filter*



Sallen-Key - Filter

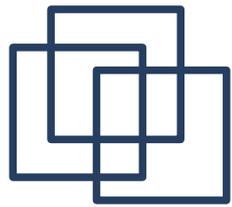


RC-Glied mit OPV
eingesetzt als *aktiver*
Tiefpass zweiter Ordnung

$$\underline{H}(\omega) = V \cdot \frac{1}{1 + j\omega(R_2C_2 + R_1C_2 + R_1C_1(1-V)) - \omega^2 R_1C_1R_2C_2}$$

weitere verbreitete Realisierung aktiver Filter:
Multi Loop Feedback (MLF)

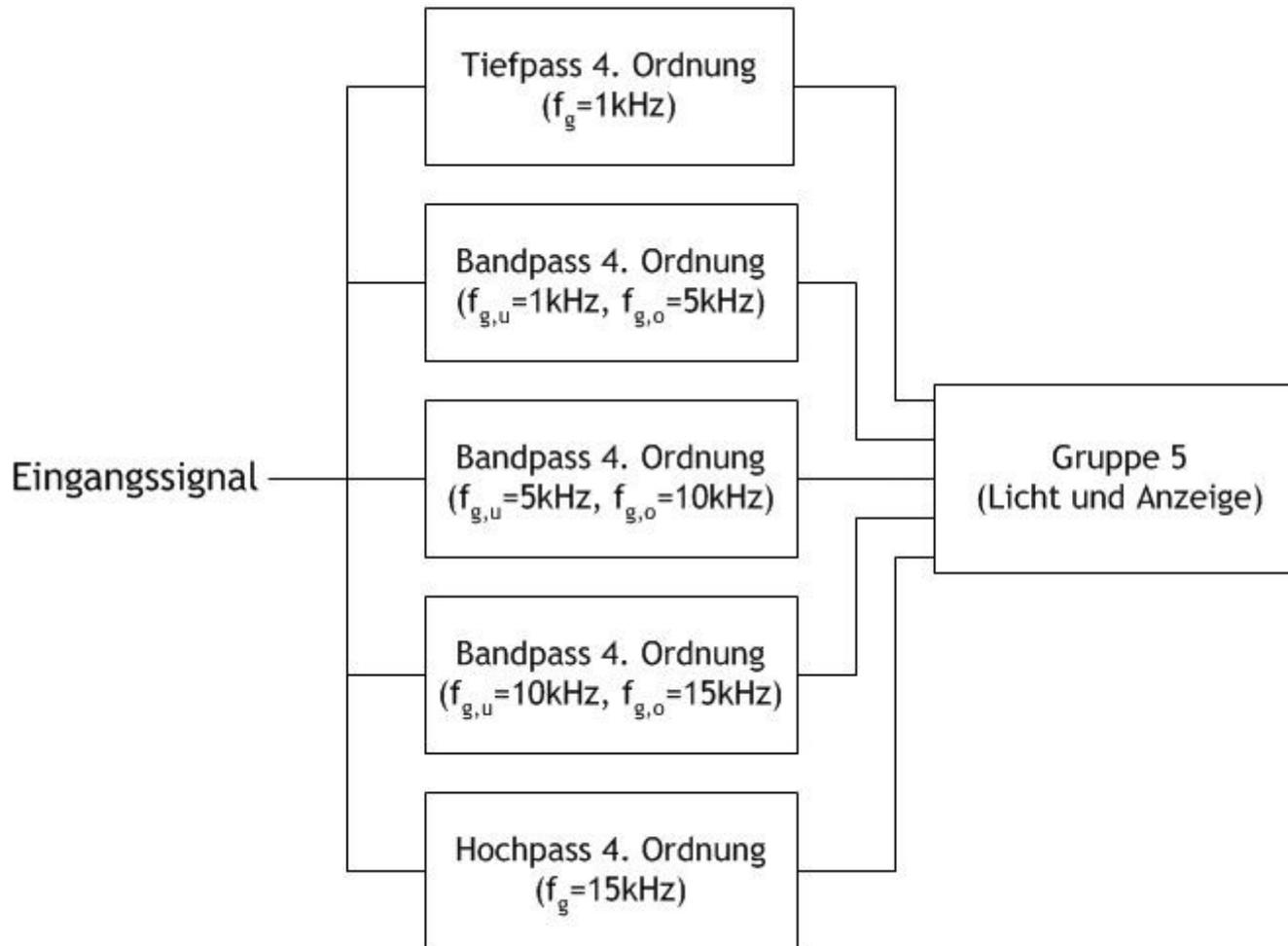
Demonstration außerhalb der Präsentation

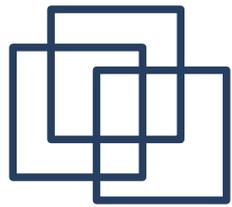


Projekt „Lichtorgel“



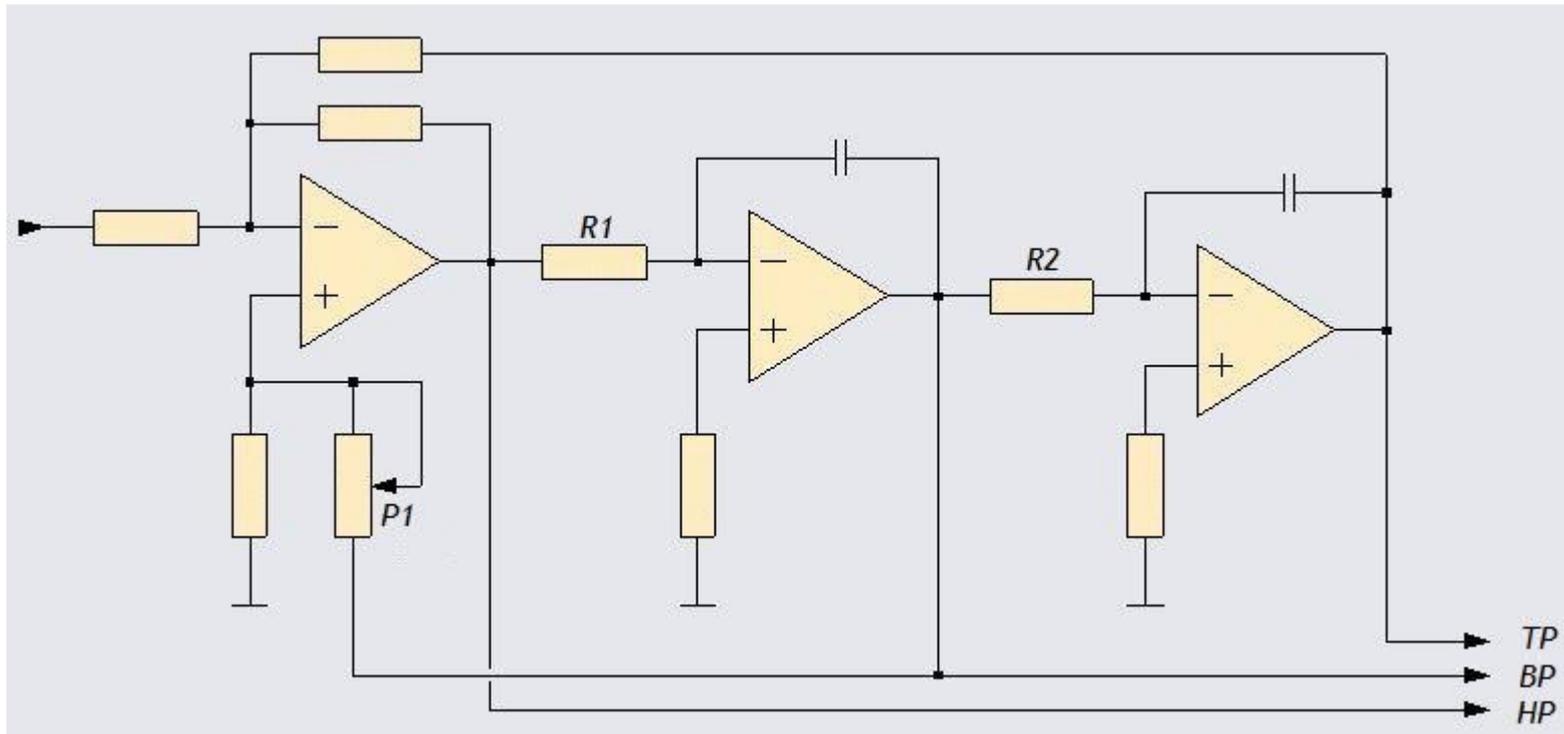
Idee: Sallen-Key bzw. MLF - Filter





Projekt „Lichtorgel“

Idee: Universalfilter mit Tief-, Band- und Hochpass zweiter Ordnung



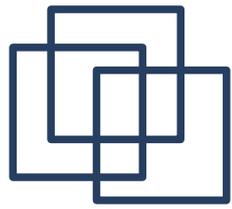
Fragestellungen:

- höhere Ordnung (→ Flankensteilheit → Trennschärfe)
- weiterer Universalfilter hinter dem Bandpass oder weitere Bandpässe für mehr Kanäle

- *Orglmeister, Reinhold: ADELE-Skript, Kapitel 2: Filter, TU Berlin (2008)* (1)
- *Kugelstadt, Thomas: Op Amps for Everyone, Chapter 16: Active Filter Design Techniques, Texas Instruments, Dallas (2008)* (2)
- *Tschirley, Sven: VL „Elektrische Netzwerke“, TU Berlin, (SoSe 2008)* (3)
- *Ferus, Dirk: ITPDG-Skript, TU Berlin, (2006)*
- *[http://de.wikipedia.org/wiki/Filter_\(Elektronik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Filter_(Elektronik)), 1.05.2009*
- *Software Filterlab: <http://www.microchip.com/filterlab/>, 1.05.2009*
- *http://www.vias.org/mikroelektronik/exp_universal_filter.html, 1.05.2009* (4)

Abbildungen:

- (1): S. 16 (unten)
- (2): S. 9, 10
- (3): S. 5, 6, 8
- (4): S. 20
- *selbst erstellt (MS Visio, LaTeX): S. 4, 11, 12, 15, 16 (oben), 17, 19*



... noch Fragen?



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!