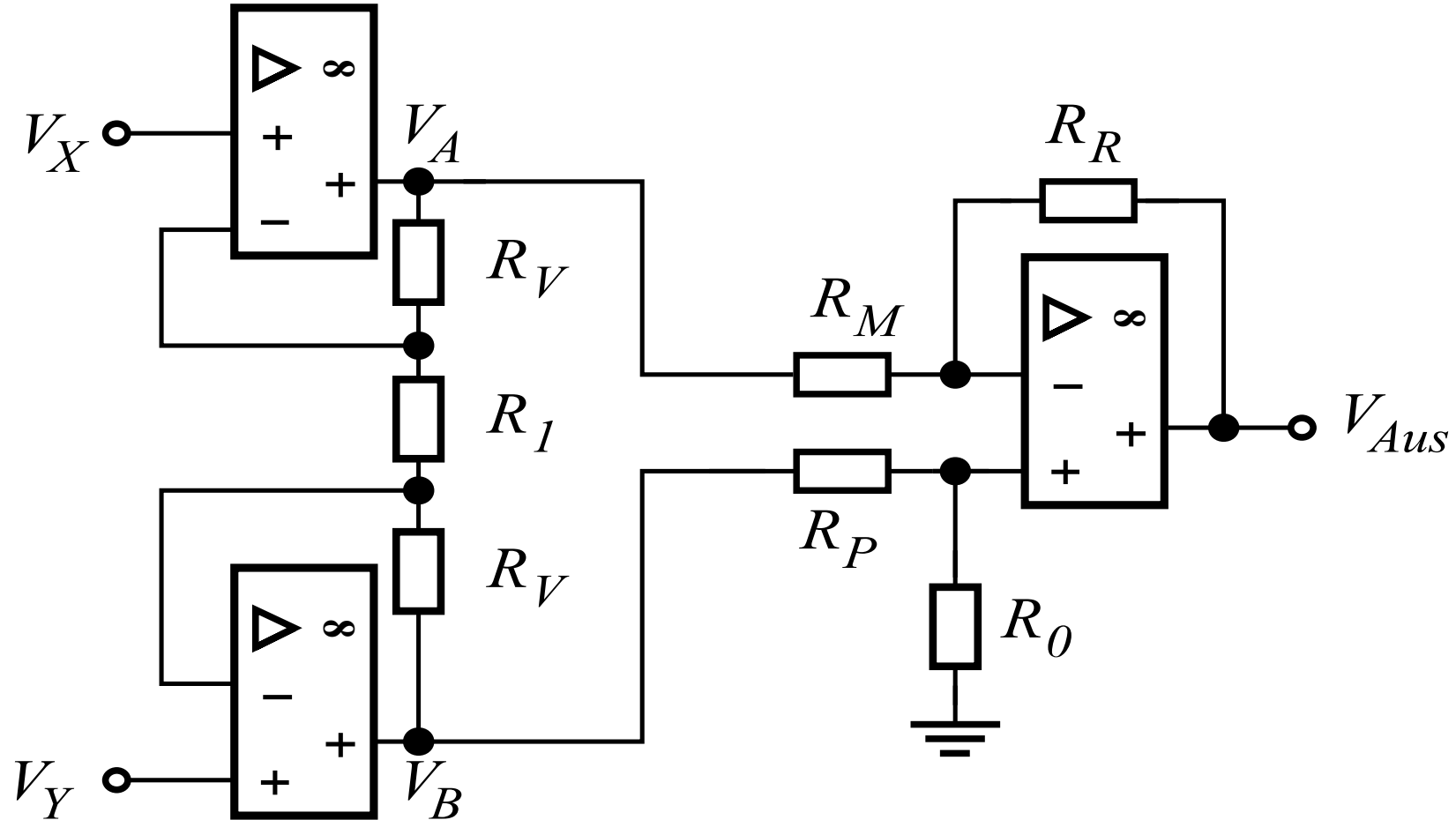
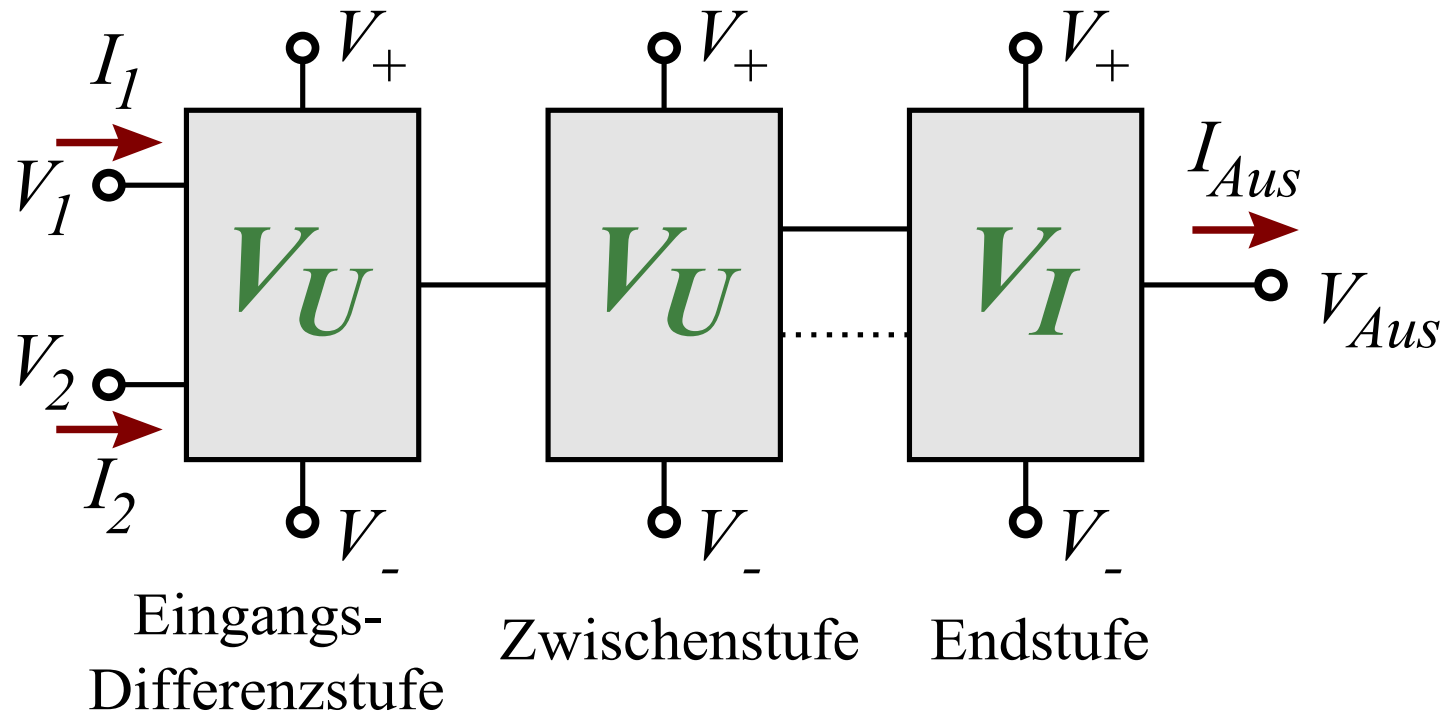


Operationsverstärker



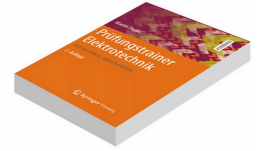


Bipolar OP Struktur

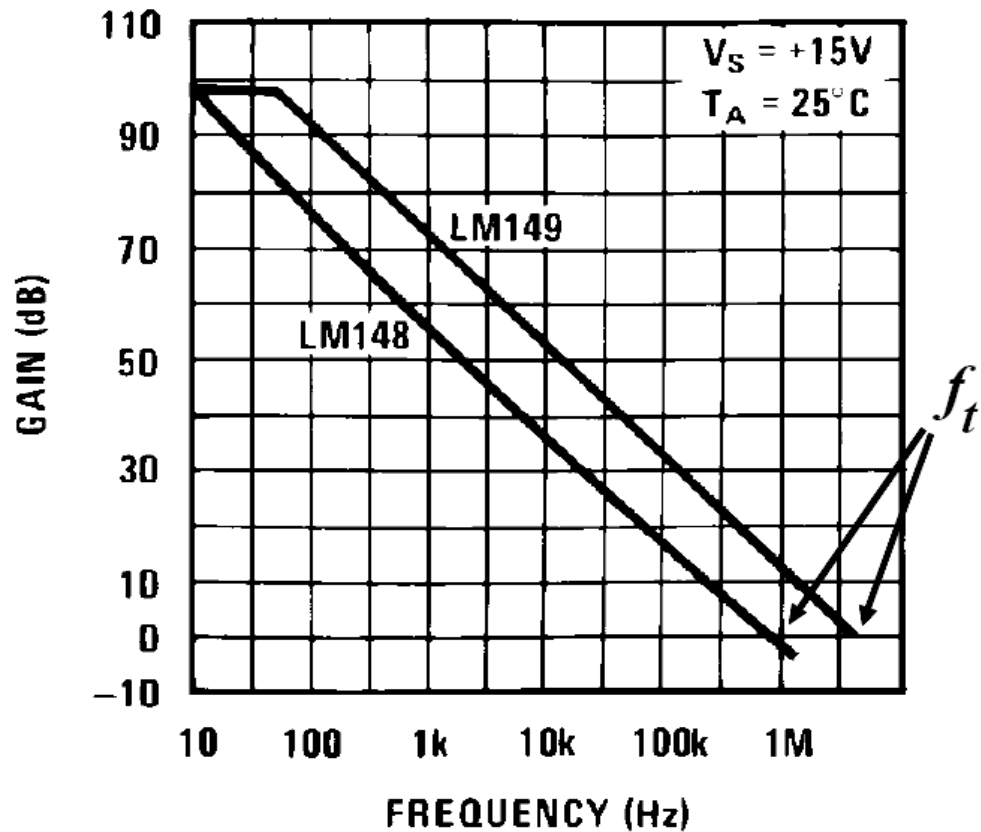


Grundsätzlicher Aufbau von Operationsverstärkern. Die ersten beiden Stufen sind spannungsverstärkend, die Endstufe ist oft ein reiner Stromverstärker. Bei Endstufen aus Bipolar-Transistoren ist eine zweite Ansteuerungsleitung (gepunktete Linie) nötig

Frequenzgang, unbelastet



Open Loop Frequency Response

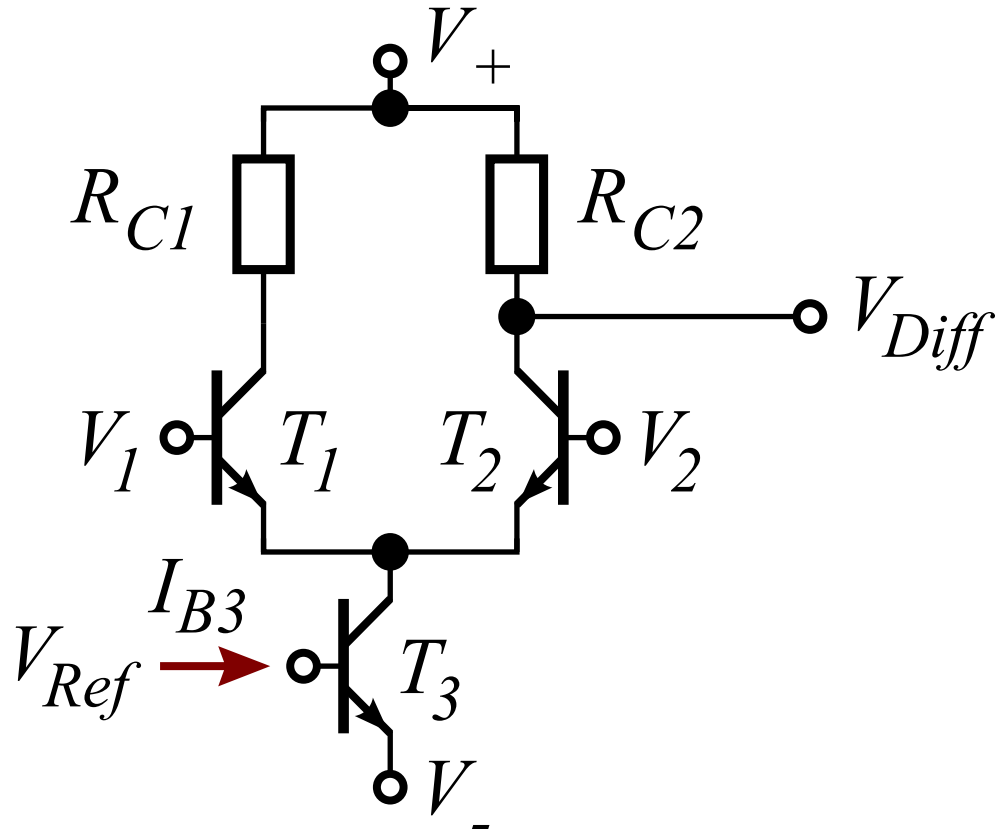


Differenzverstärkung zweier Operationsverstärker.
Die Transitfrequenz ist mit f_t bezeichnet

(Quelle: National Semiconductors)



Differenzstufe

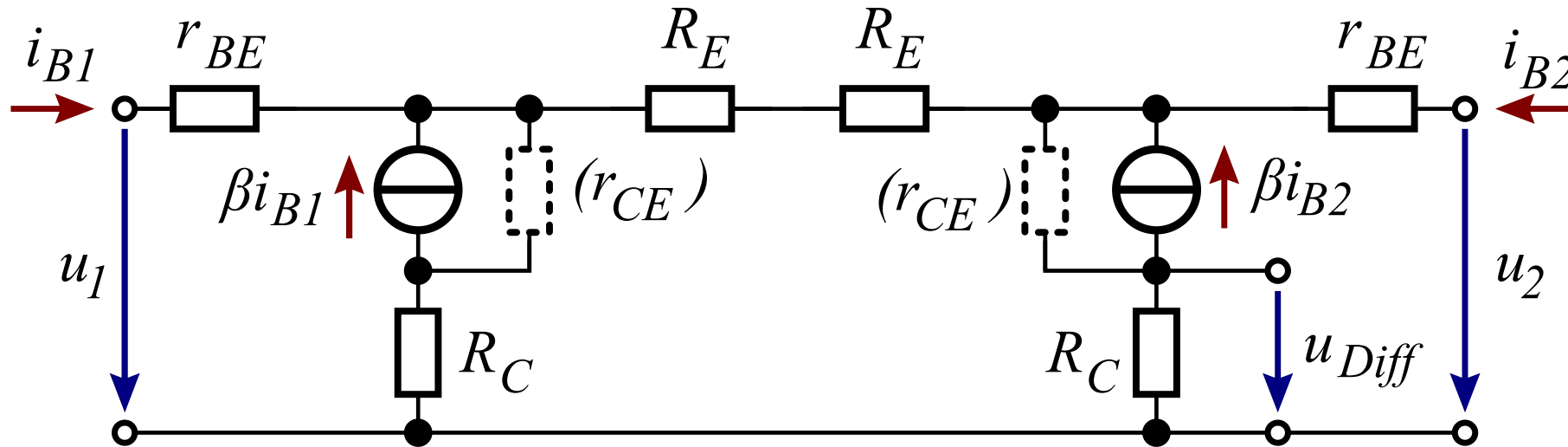


Differenzstufe mit Bipolar-Transistoren.

Sie besteht aus zwei gegengekoppelten Emitterschaltungen, die durch eine gemeinsame Stromsenke (Transistor T_3) verbunden sind



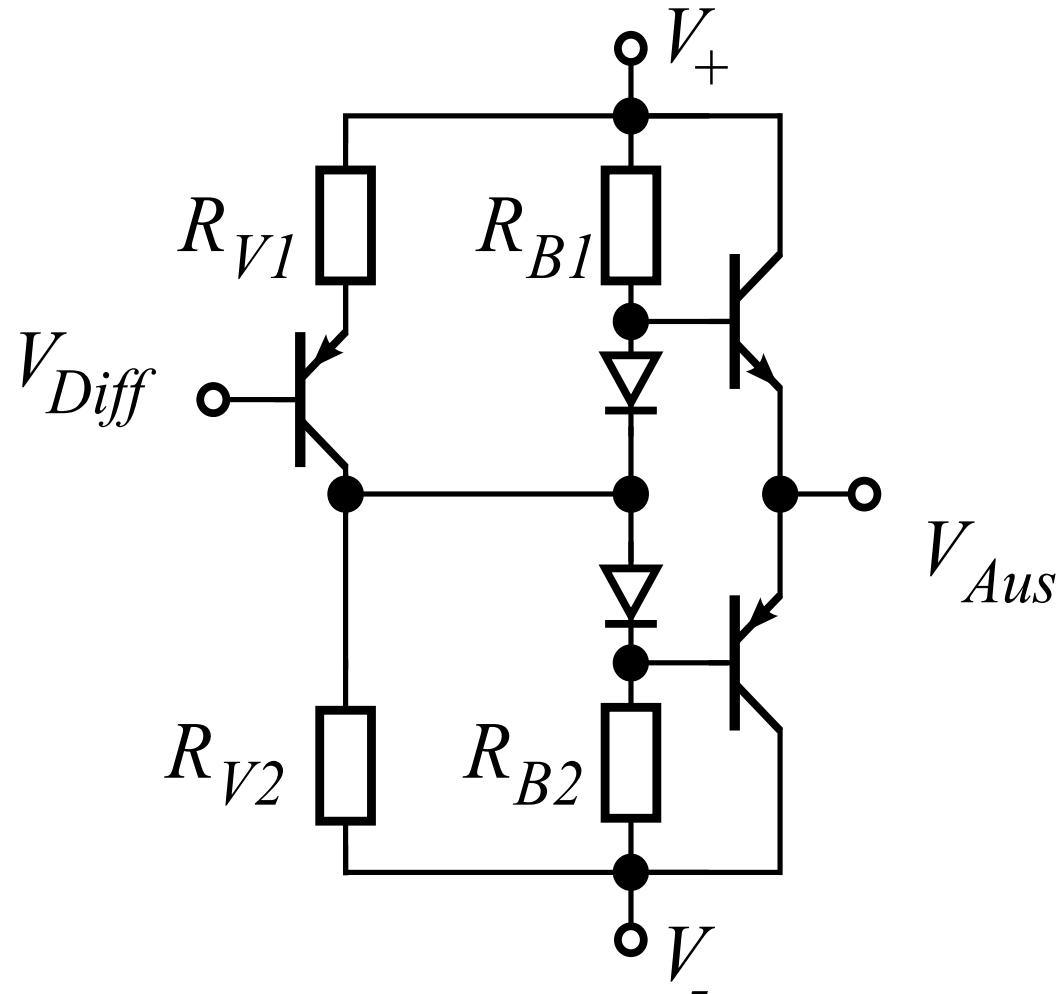
Differenzstufe, Kleinsignal



Kleinsignal-Ersatzschaltbild der in Differenzstufe. Es kommt ohne den Transistor T_3 aus, wenn man diesen als ideale Stromsenke betrachtet. i_{B1} und i_{B2} sind Basisströme der Transistoren T_1 und T_2



Endstufe

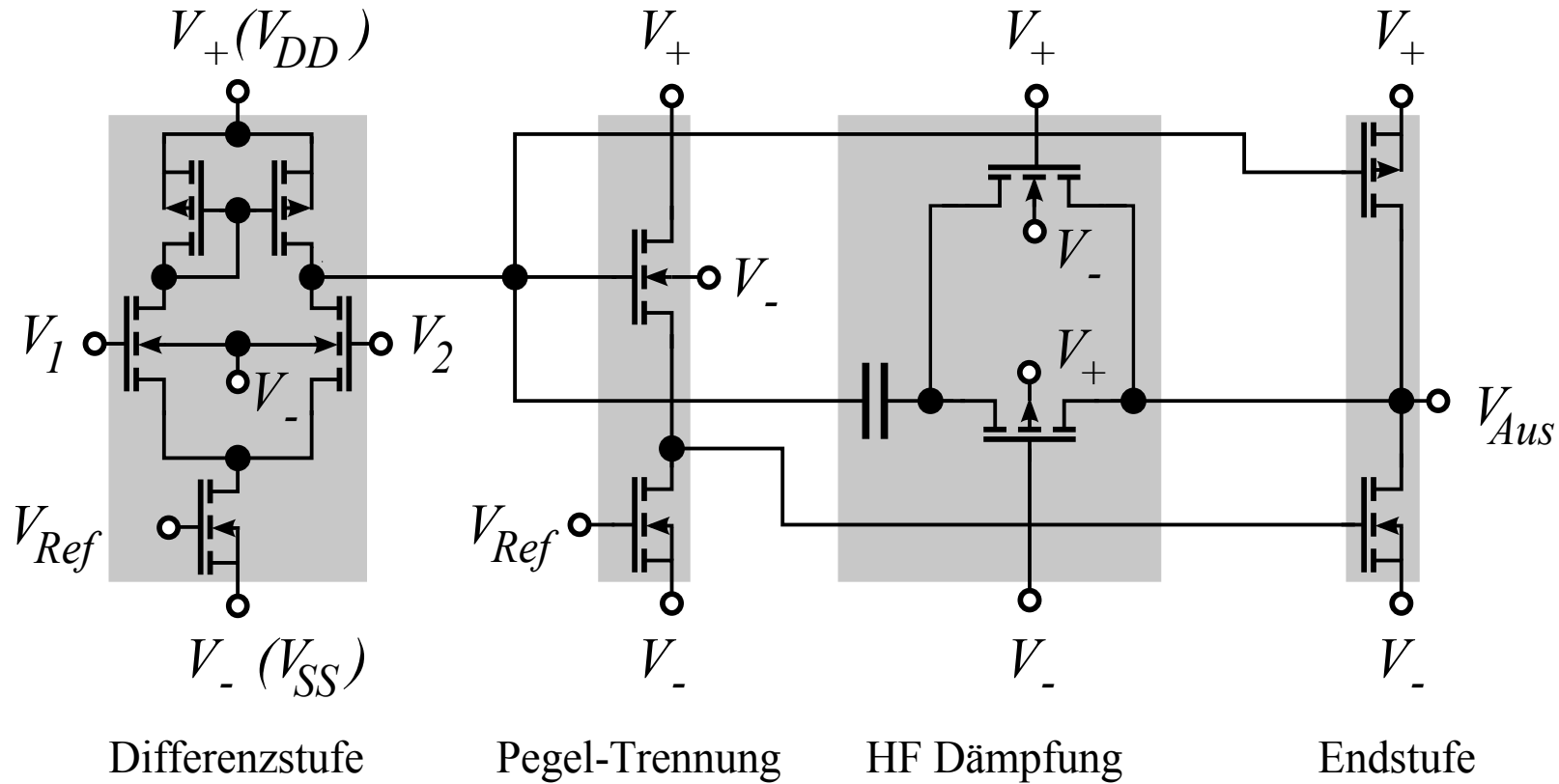


Bipolare Endstufe, aus drei Teilen bestehend:

1. Pegel-Verschiebung und Verstärkung,
2. Signalteilung für den NPN- und den PNP-Transistor der Endstufe,
3. Stromverstärkung in einer Gegentakt-Kollektorschaltung

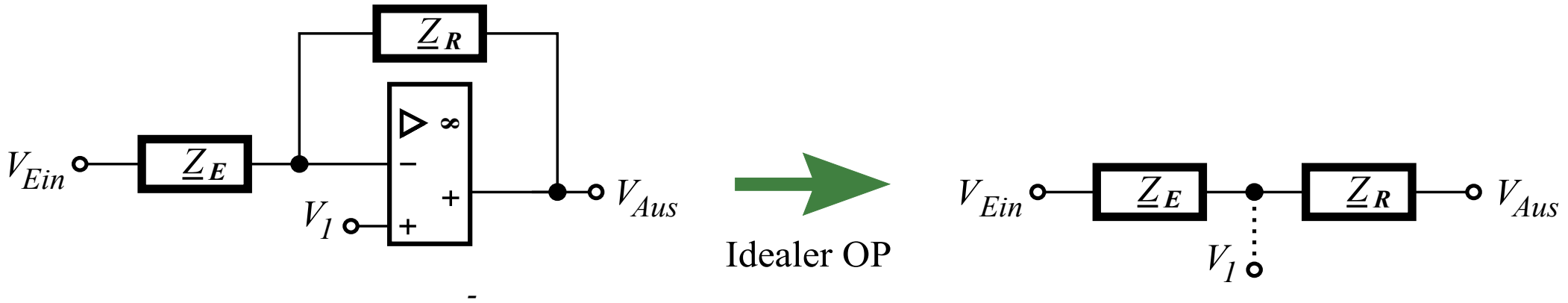
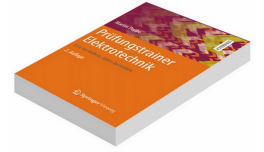


MOS OP Struktur



Beispiel eines dreistufigen CMOS-Operationsverstärkers mit zusätzlicher HF-Dämpfung gegen unerwünschte Schwingen

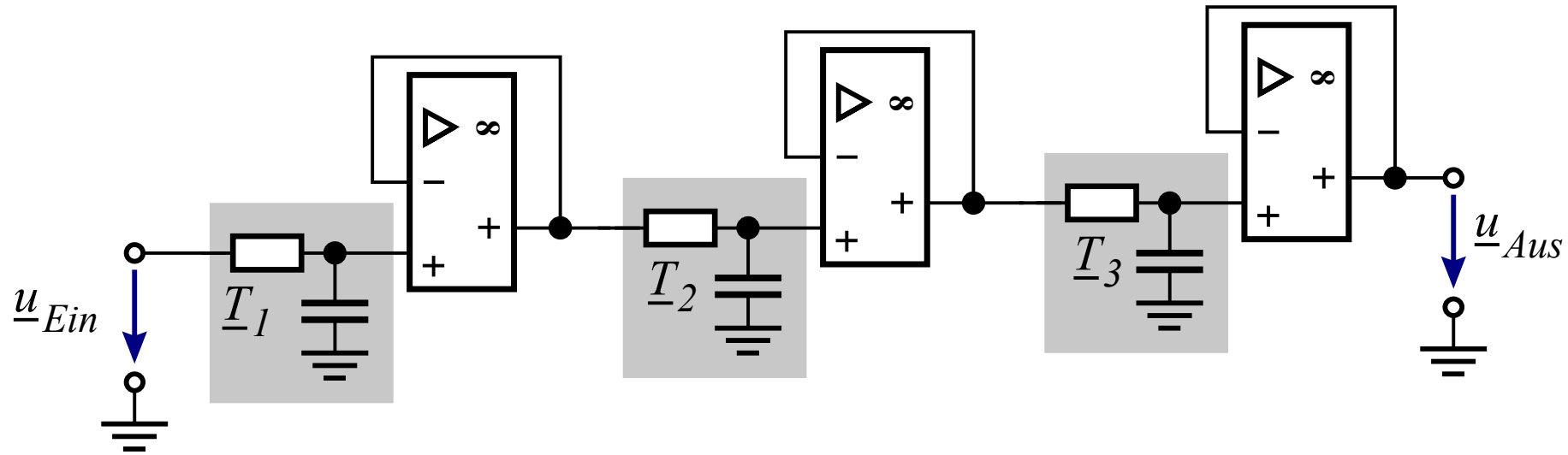
Berechnung idealer OP Schaltungen



Ersatzschaltung zur Berechnung negativ rückgekoppelter Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern. Die gepunktete Linie deutet an, dass das Potenzial fest liegt, ohne dass eine leitende Verbindung zum nicht invertierenden Eingang besteht



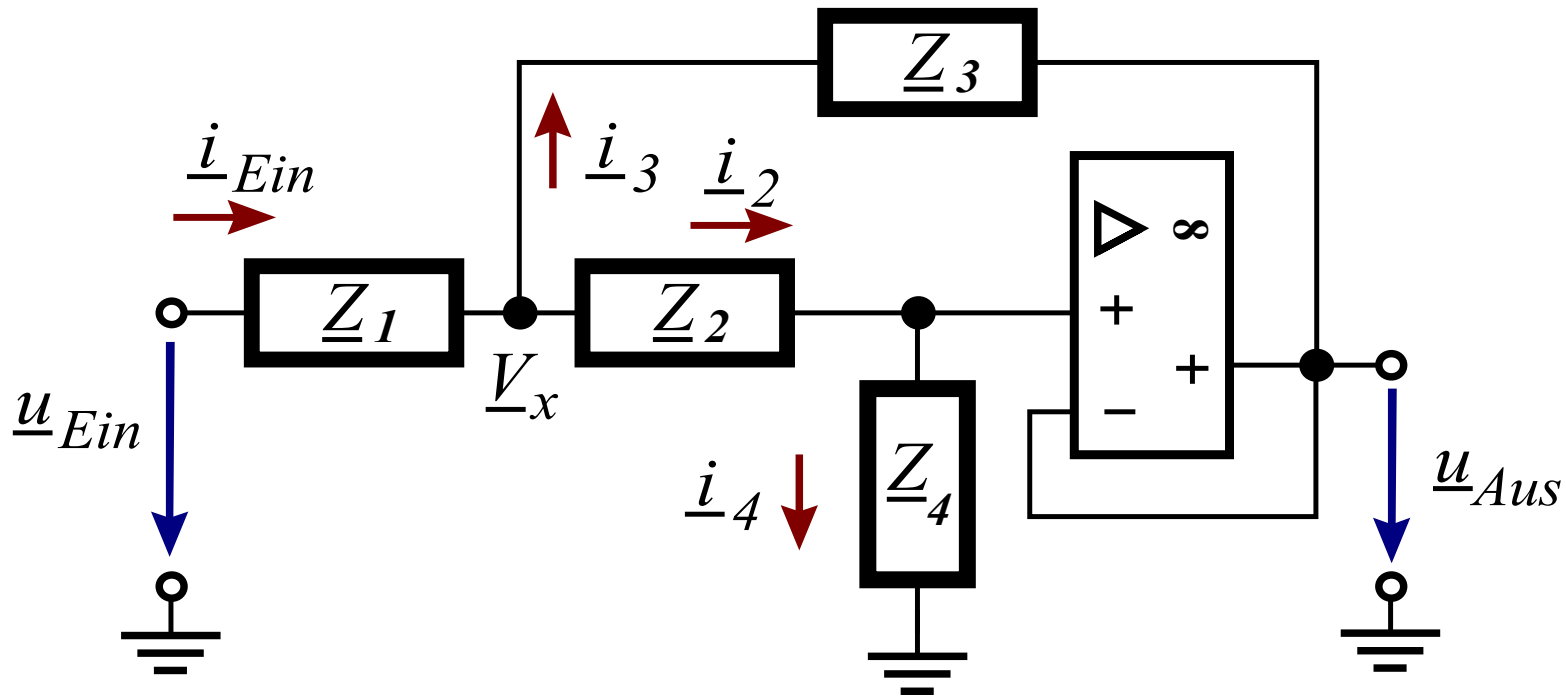
OP als Trennverstärker



Dreistufiger Tiefpass mit Stromtrennung durch Operationsverstärker.

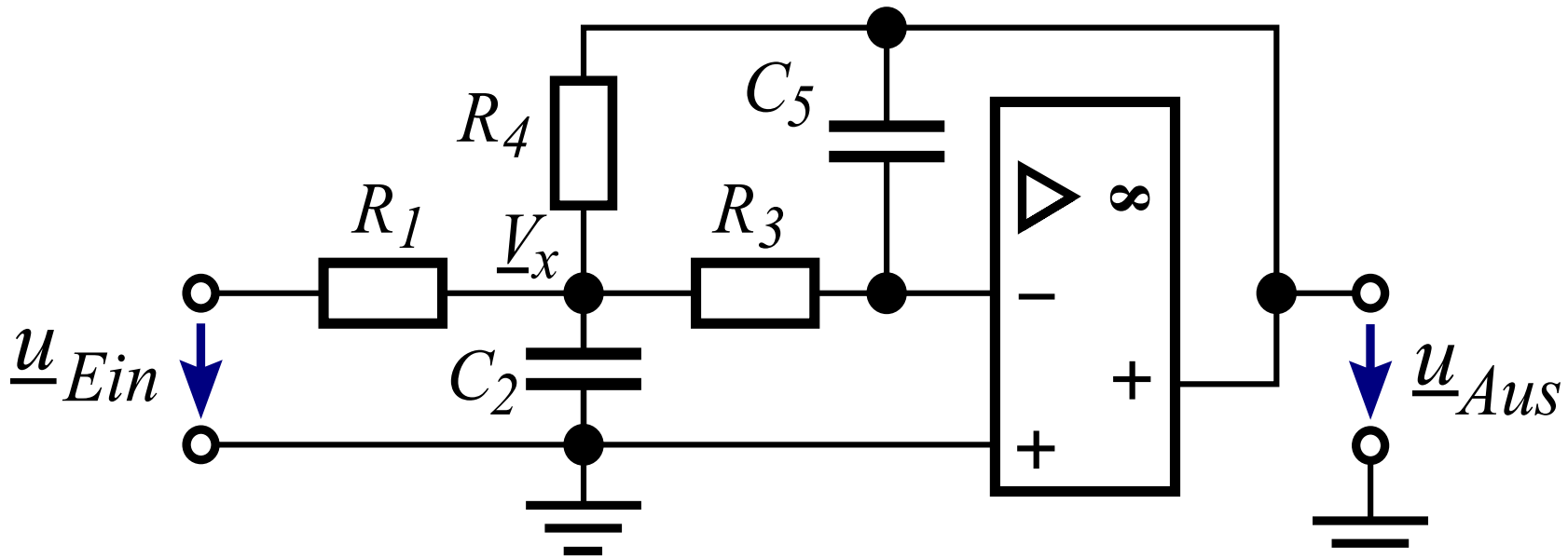
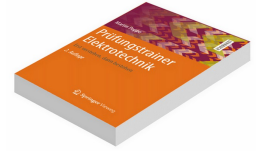


Sallen-Key-Filter



Aktive Filterschaltung mit einer Rückkopplung in den Eingangszweig hinein

Mehrfach-Rückkopplung

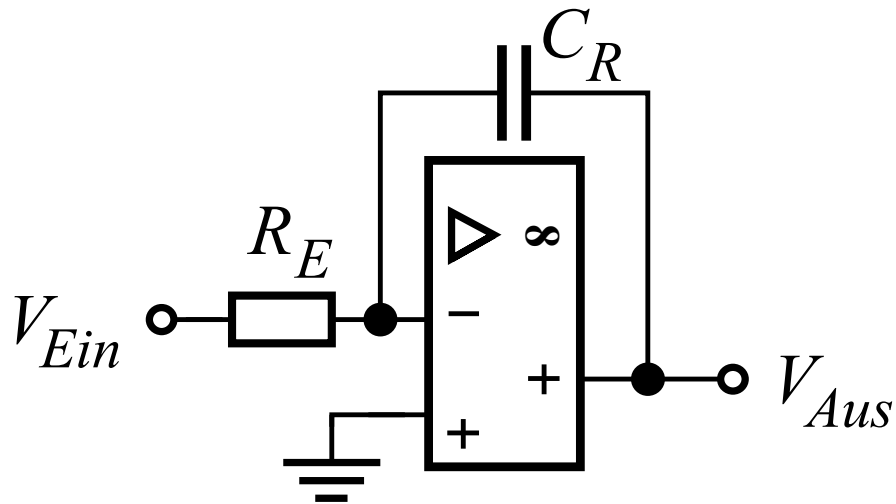


Aktive
Filterschaltung
mit doppelter
Rückkopplung in
den Eingangszweig
hinein;

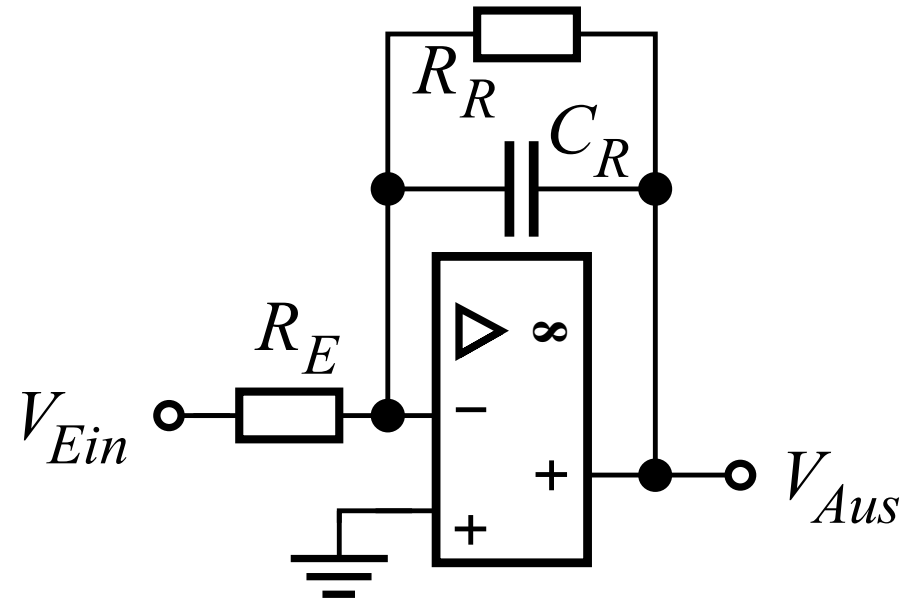
hier ein Tiefpass



Tiefpass ohne DC Divergenz

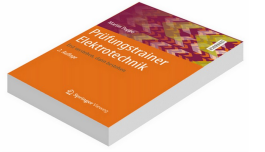


DC Katastrophen-Tiefpass

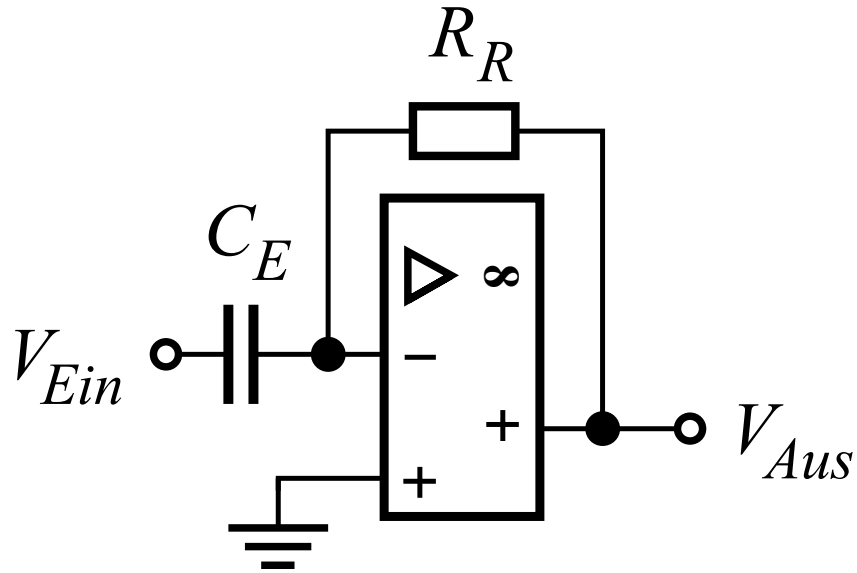


verbesserter Tiefpass

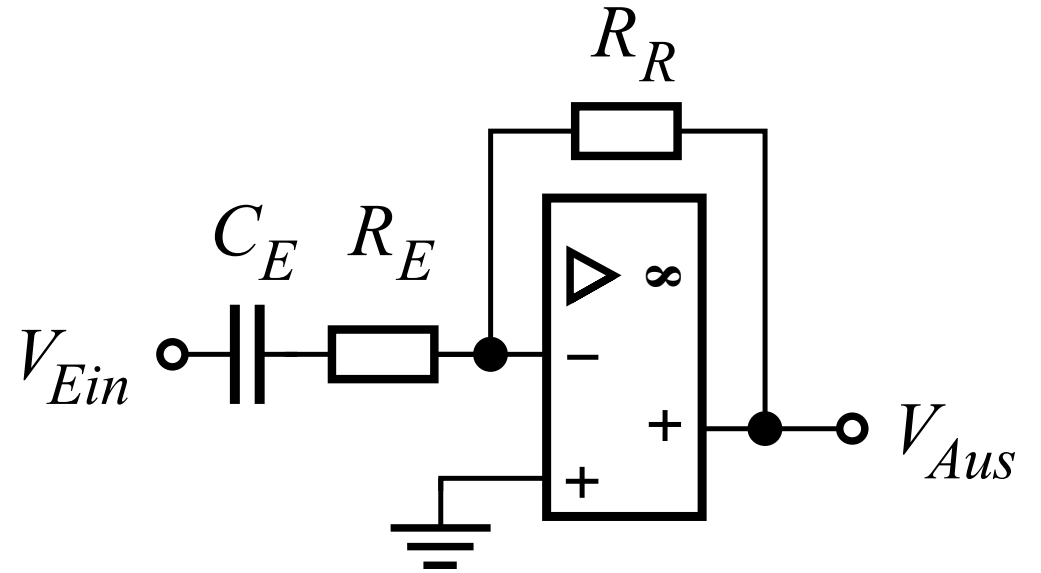
Auf der linken Seite ist der einfachst mögliche aktive Tiefpass gezeigt. Dessen Übertragungsfunktion divergiert jedoch bei kleinen Frequenzen.



Tiefpass ohne HF Divergenz



HF Katastrophen-Hochpass

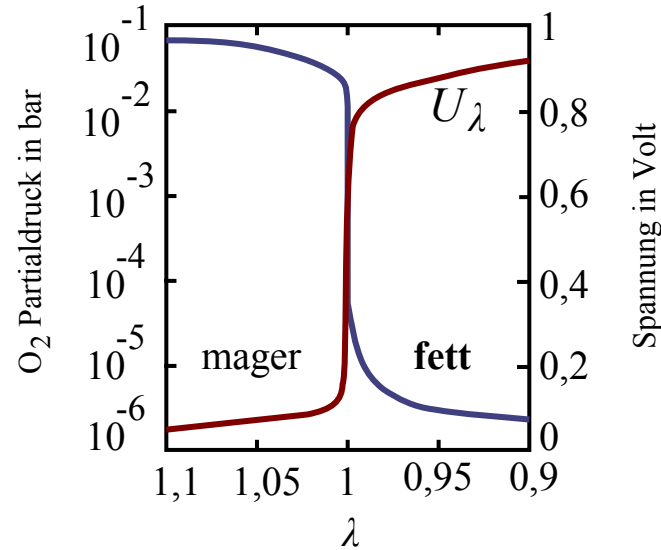


verbesserter Hochpass

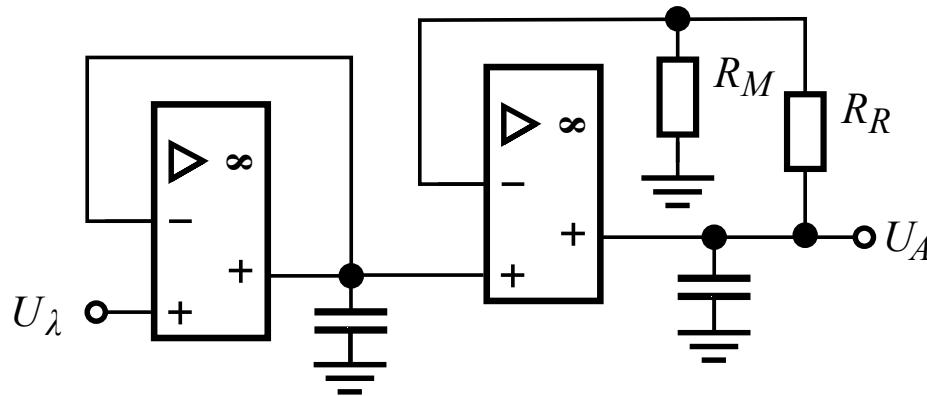
Auf der linken Seite ist der einfachst mögliche aktive Hochpass gezeigt. Dessen Übertragungsfunktion divergiert jedoch bei großen Frequenzen. Daher wird der Hochpass rechts verwandt



Lambda-Sonde



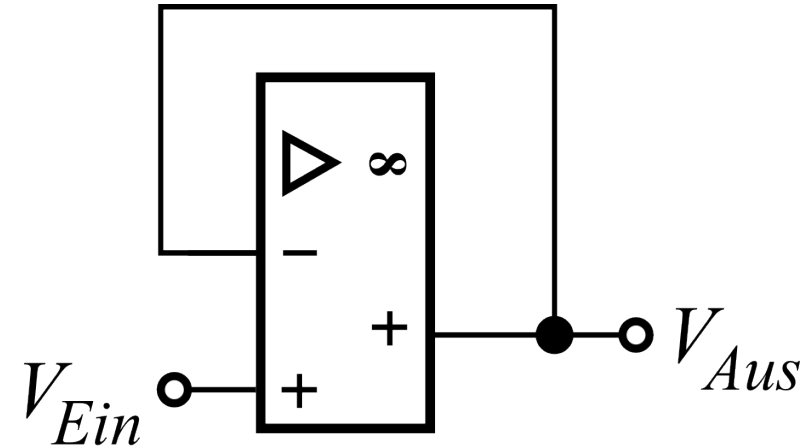
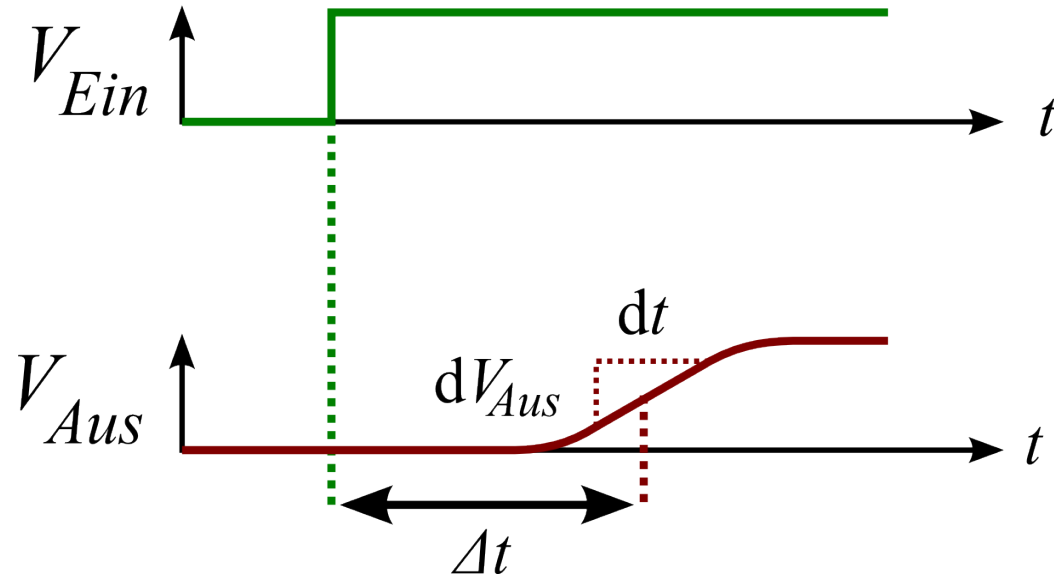
Oben:
Eine Lambda-Sonde links und ihre Kennlinie rechts. Durch die Löcher dringen Abgase ein und werden mit der Außenluft verglichen (Foto: Bosch)



Unten:
Anbindung an die Fahrzeugelektronik durch Impedanzwandler- und Verstärkerstufe



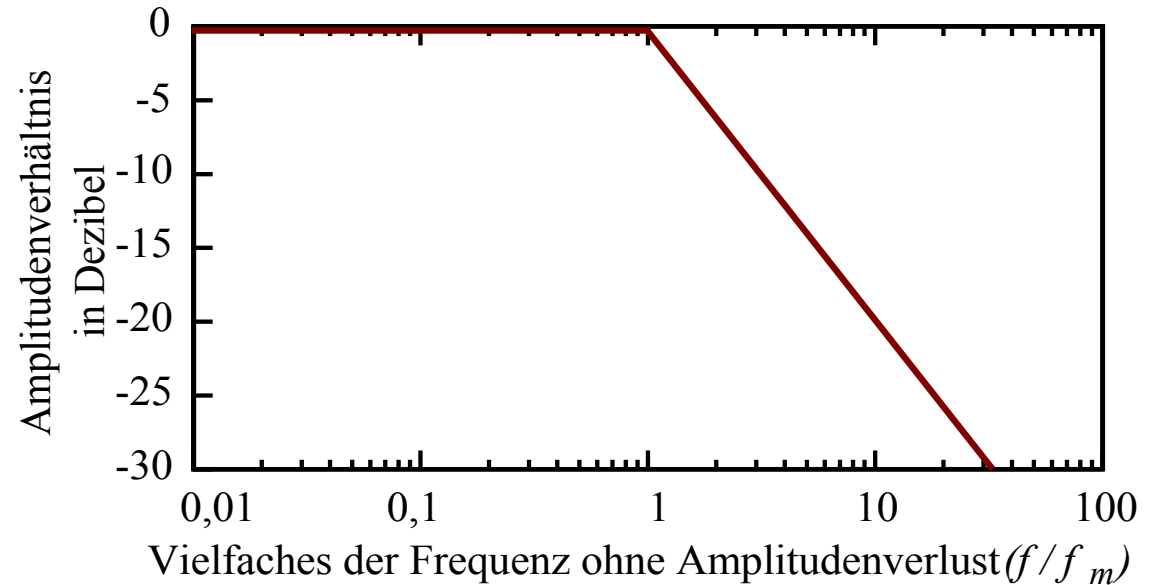
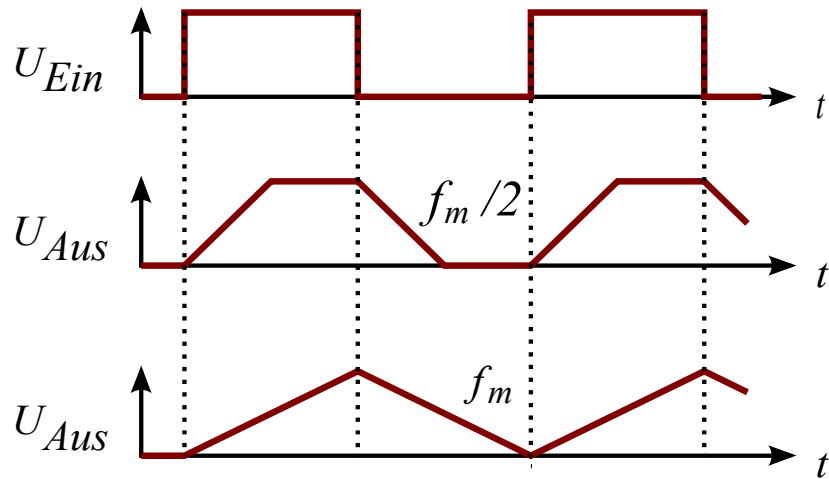
Verzögerungszeit und Slew Rate



Anschauliche Bedeutung der Verzögerungszeit Δt . Unter der Verzögerungszeit wird die Zeit bis zum Erreichen der halben Sollspannung am Ausgang verstanden.

Im Gegensatz dazu bezeichnet die Slew Rate dV_{Aus} / dt die Steigung des Anstiegs

Tiefpassverhalten durch die Slew Rate

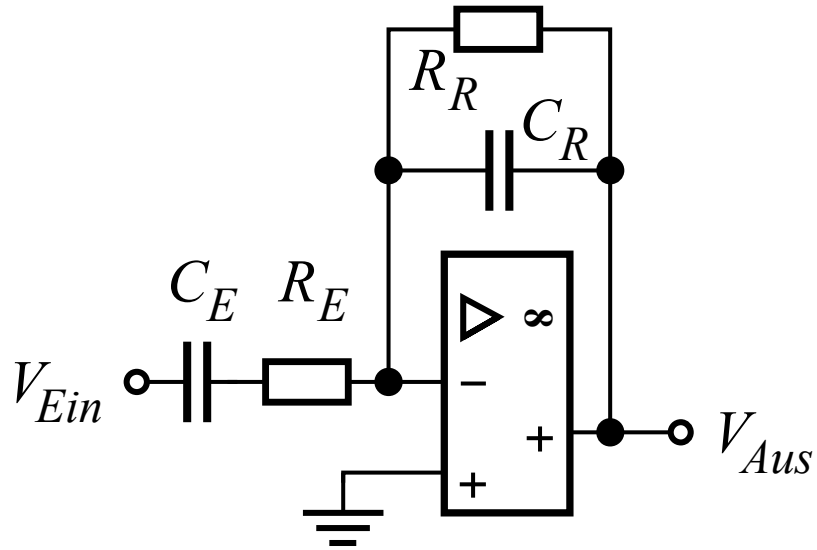
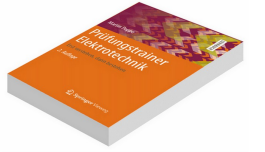


Dämpfung der Spitze-Spitze-Spannung an einem Spannungsfolger durch die Slew Rate eines Operationsverstärkers bei der Speisung durch ein ideales Rechtecksignal.

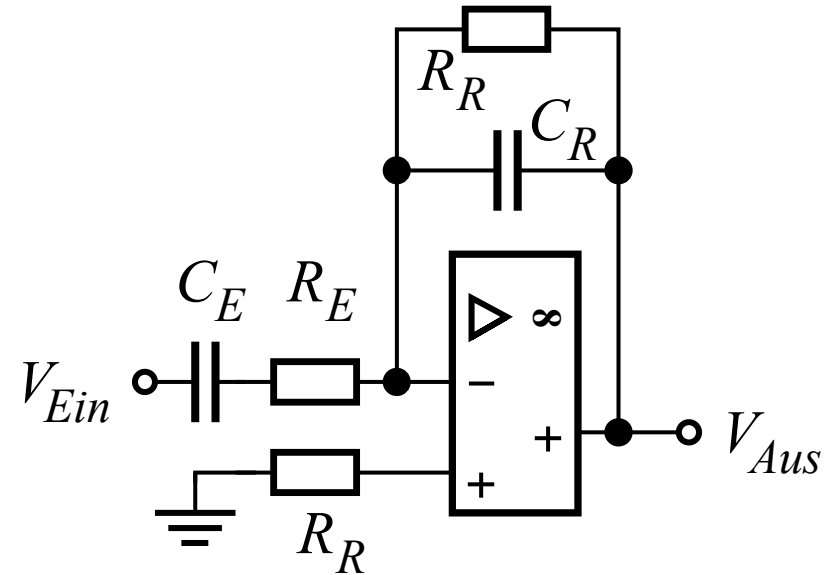
Für $f > f_m$ werden die Ausgangssignale nur bei gleichbleibender Spannungsamplitude deformiert,

ab $f > f_m$ bleiben Dreieckssignale mit immer kleinerer Amplitude

Ausbalancieren von Eingangsstufen



schlecht: sehr unterschiedliche Eingangsströme

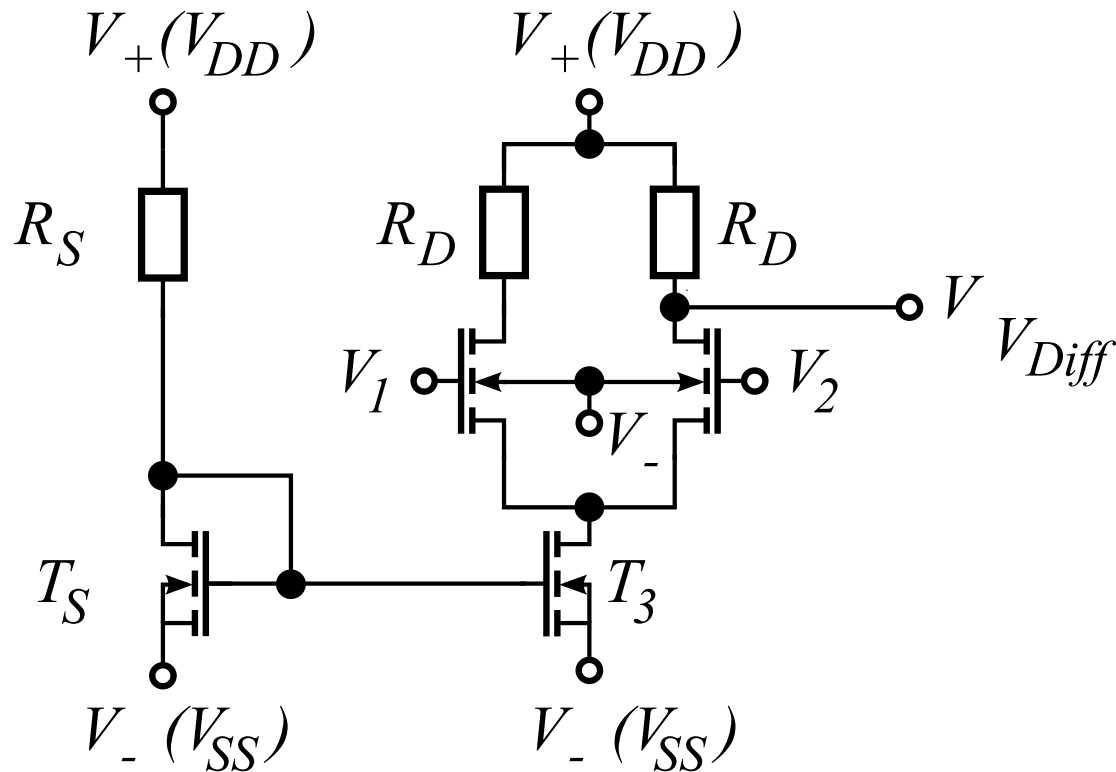


gut: ausbalancierte Eingangsströme

Ausbalancieren der Eingangsströme zur Vermeidung einer von außen aufgezwingenen Offsetspannung



Einfache NMOS Eingangsstufe



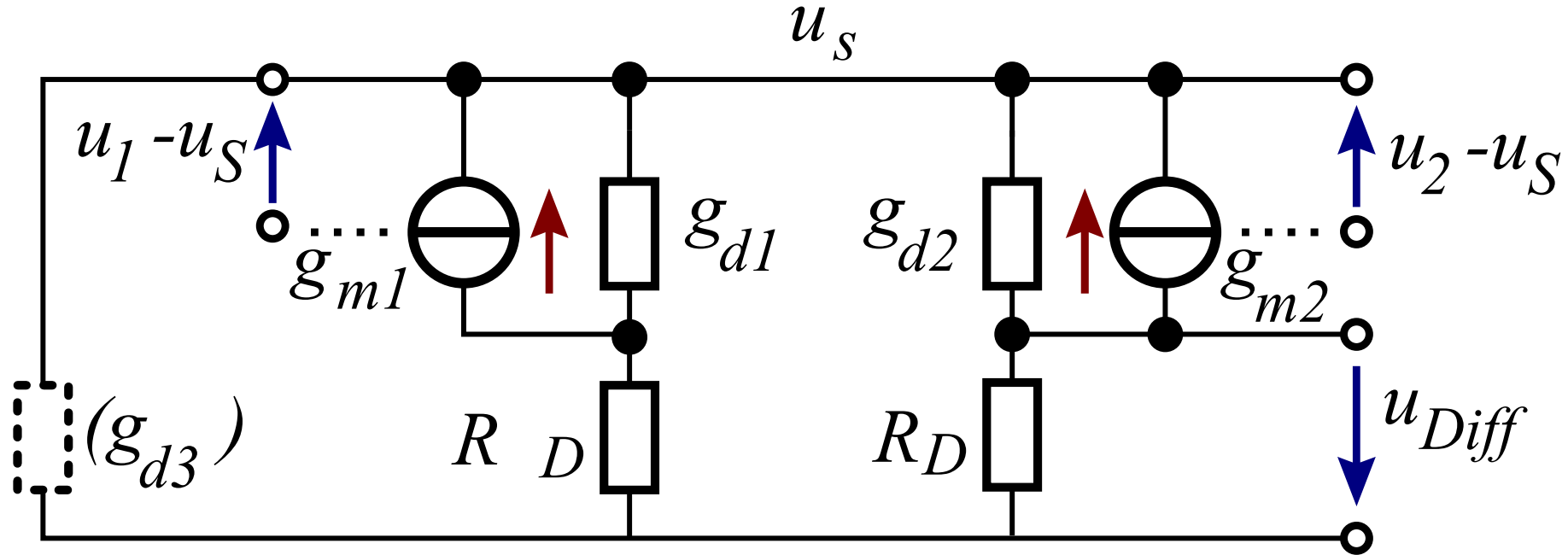
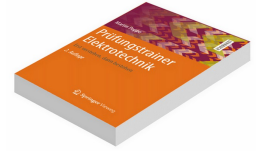
Aufgabe:

Was bestimmt die Verlustleistung?

Welche Transistoren sind in welchem Betriebszustand?

Kleinsignal-Ersatzschaltbild (die unteren beiden Transistoren seien ideale Stromsenken)?

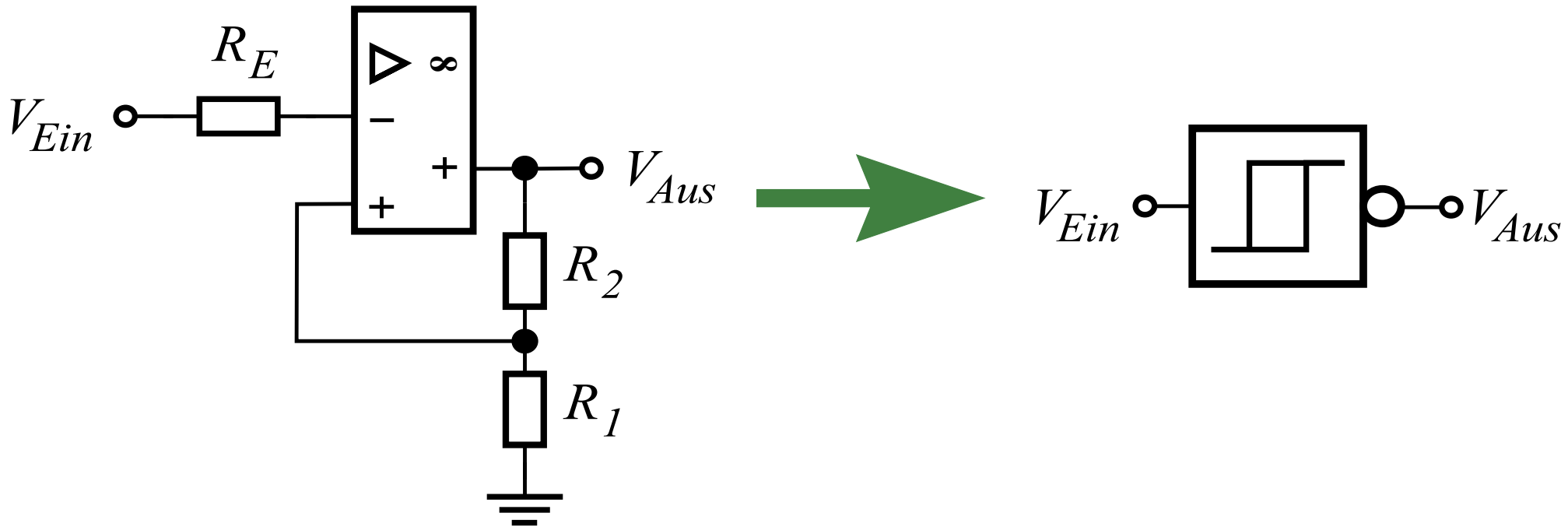
Einfache NMOS Eingangsstufe Kleinsignal Ersatzschaltbild



Lösung: Die Transistoren, welche als Stromquellen fungieren fallen heraus. Die gepunkteten Linien geben an, welche Spannungen welche Quellen steuern.



Schmitt Trigger



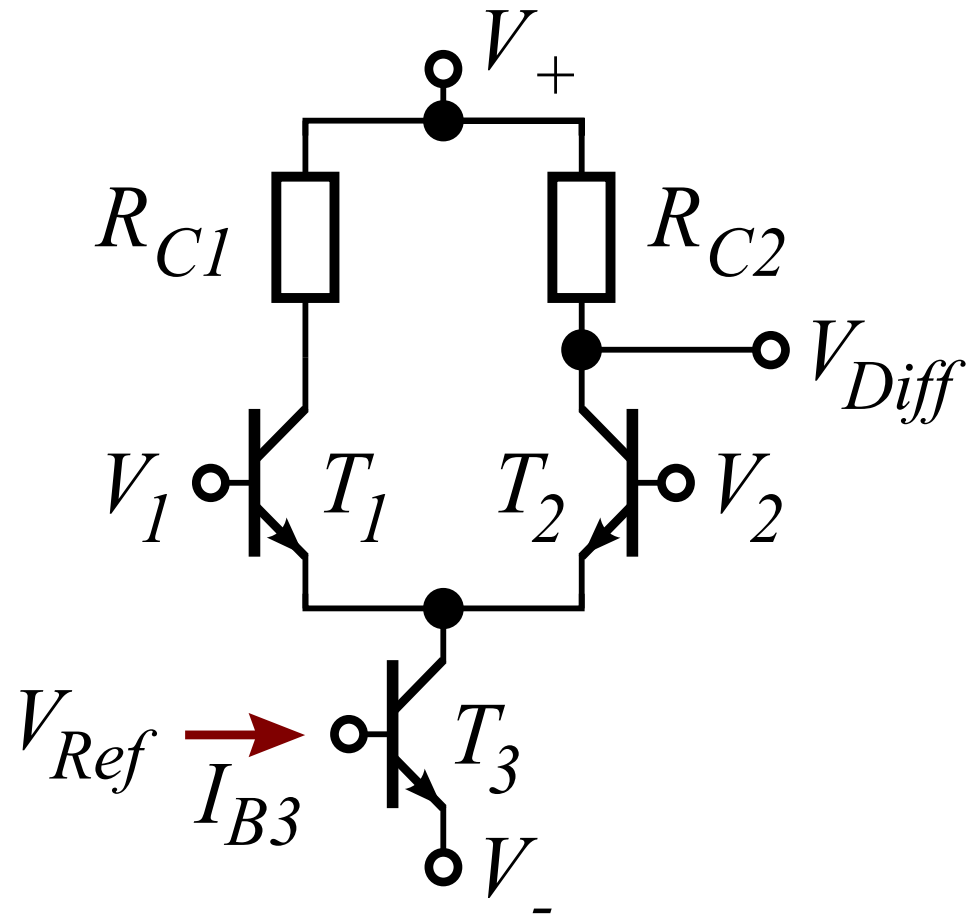
Aufgabe:

Invertierender Schmitt-Trigger (links) und dessen Schaltsymbol (rechts).

Wo liegen die Umschaltunkte?



Einfache Bipolar Differenzstufe

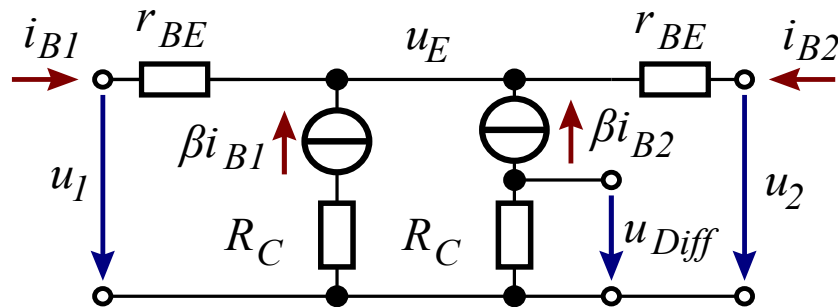
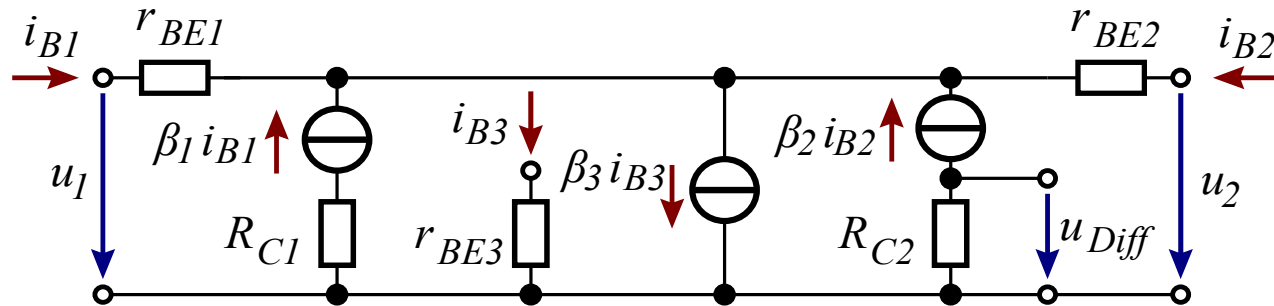
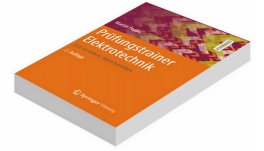


Aufgabe:
Einfache Differenzstufe
in Bipolar-Technik

Welche Betriebszustände sollten
die Transistoren haben?

Zeichnen Sie das Kleinsignal-
Ersatzschaltbild unter der
Annahme, dass der Early-Effekt
vernachlässigt werden kann.

Einfache Bipolar Differenzstufe Kleinsignal Ersatzschaltbild



Lösung:

Oben ist das Kleinsignal-Ersatzschaltbild einer Differenzstufe mit $1/r_{CE} = 0$ für alle Transistoren gezeigt.

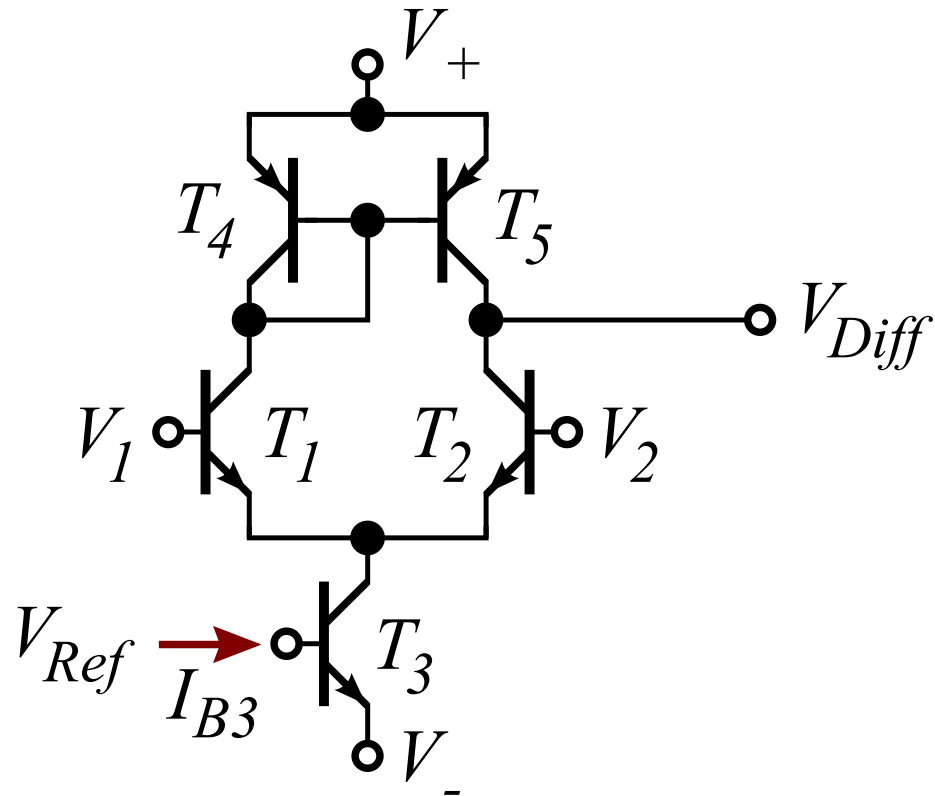
Das Schaltbild wird deutlich einfacher, wenn

$$I_{B3} = \text{konst.} \rightarrow i_{B3} = 0$$

angenommen wird und die Bauteile gleiche Parameter haben (unten)



Bipolar Differenzstufe



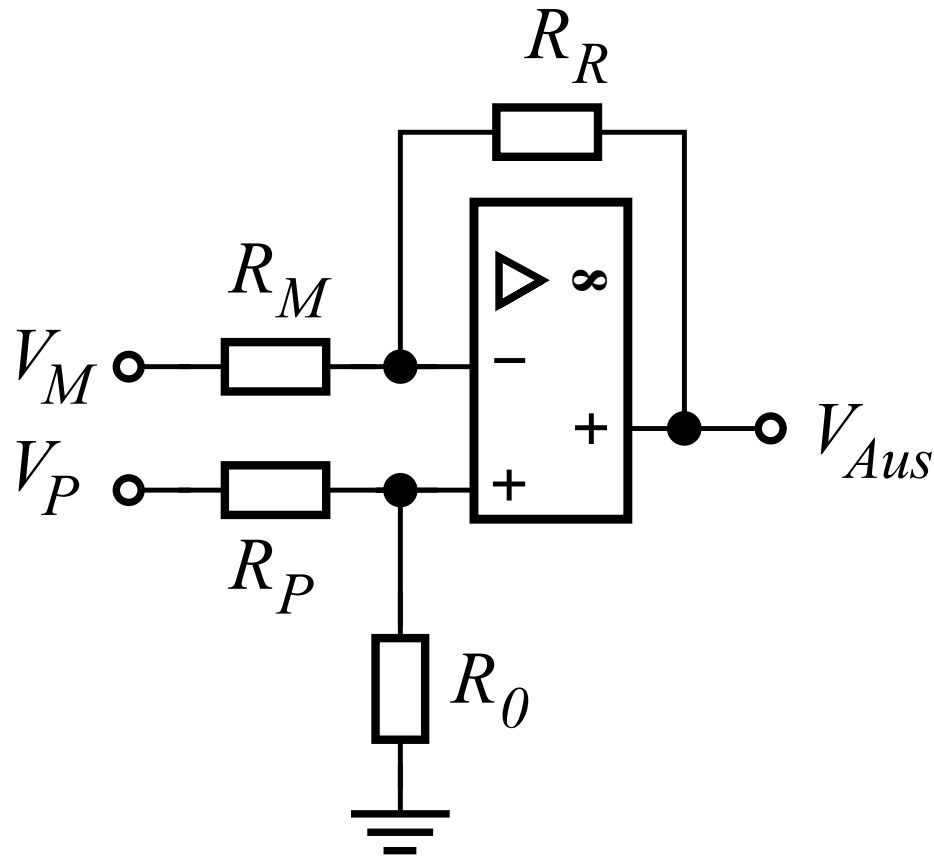
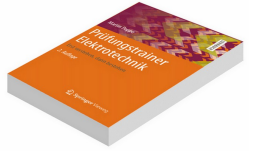
Aufgabe:

Nehmen Sie bitte an, dass am Anfang $V_1 = V_2 = 0$ sei.

Dann wird V_1 etwas erhöht.

Bitte beschreiben Sie alle Konsequenzen für die Transistoren T_1 bis T_5 , die Stromflüsse in beiden Zweigen und den Effekt auf V_{Diff}

Rechenoperationsverstärker



Aufgabe:

Wie müssen die Widerstände gewählt werden, damit die Rechenoperation

$$V_{Aus} = V_P - V_M$$

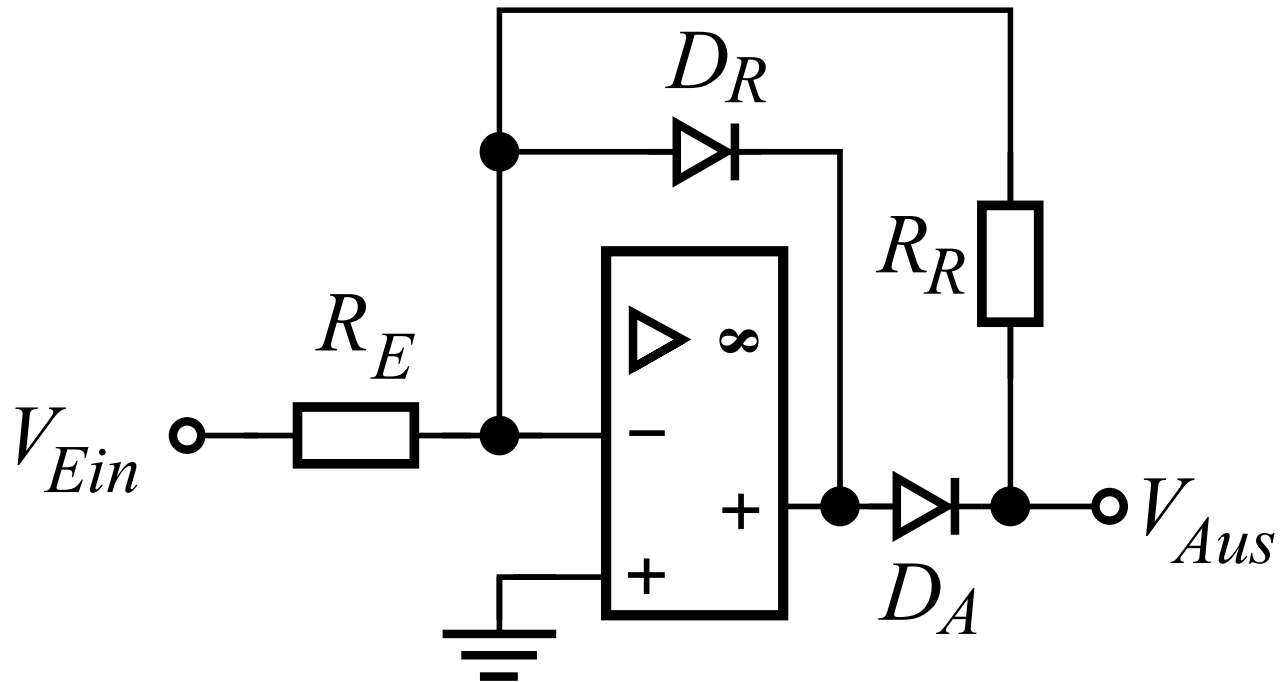
ausgeführt wird?

Mit welchen Dimensionierungen kann die Schaltung auch für die allgemeinere Operation

$$V_{Aus} = \alpha(V_P - V_M)$$

eingesetzt werden?

Aktiver Gleichrichter

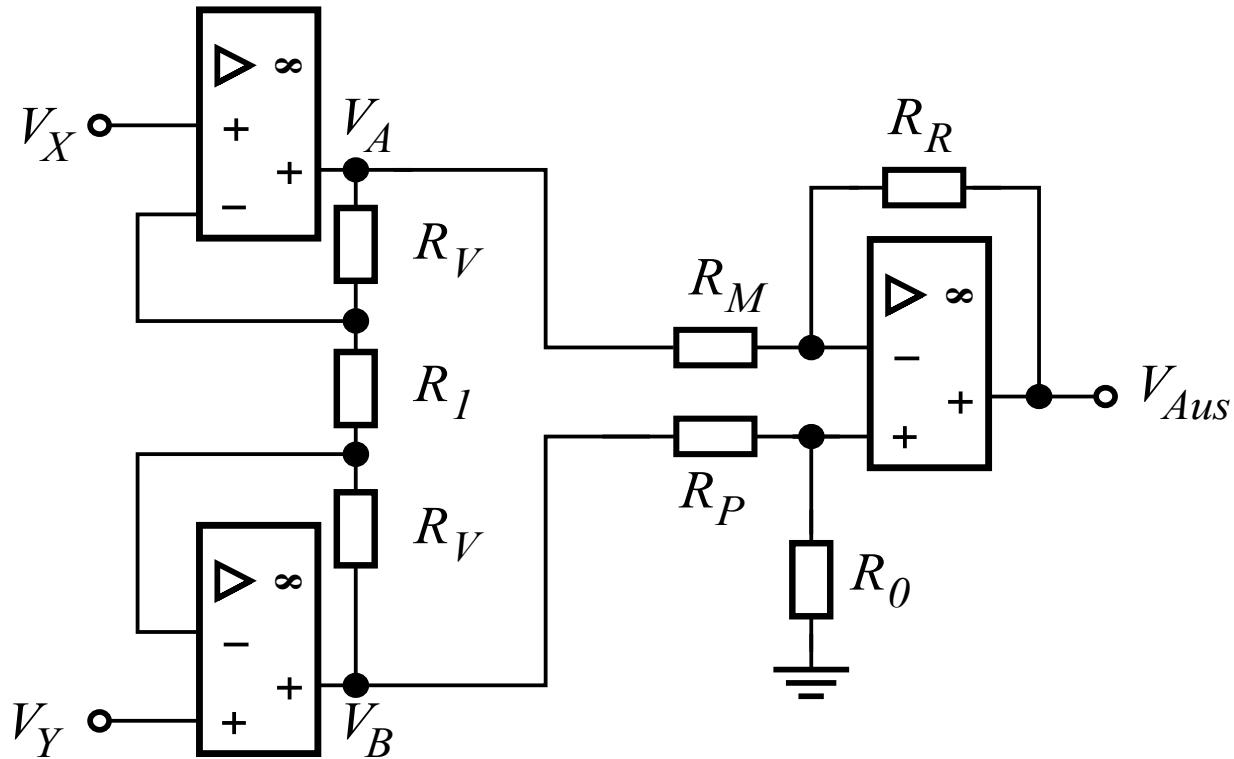


Aufgabe:
Wie sieht die
Kennlinie für

$$R_E = 3 R_R \text{ aus?}$$



Instrumentenverstärker



Aufgabe:

Bitte bestimmen Sie die Ausgangsspannung unter der Annahme idealer Operationsverstärker-Eigenschaften.