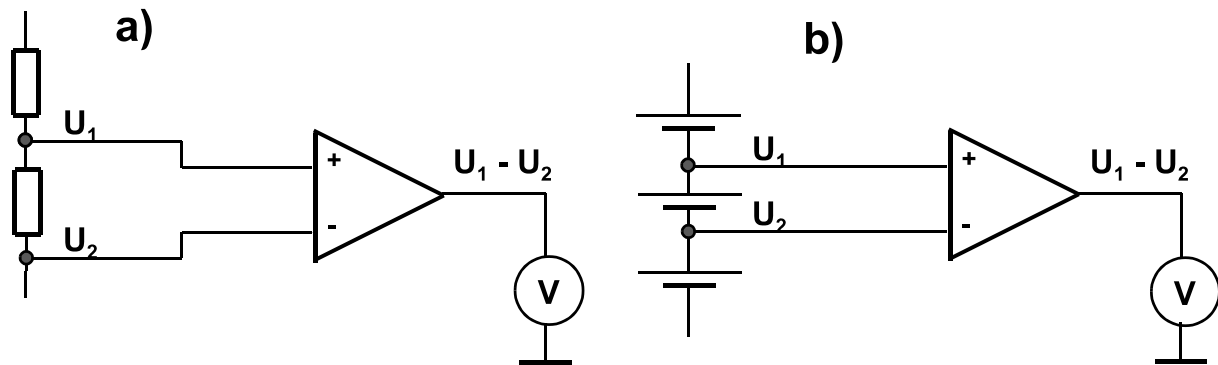


## 4.6 Differenzmeßverstärker (Instrumentation Amplifiers)

Oft steht die Aufgabe,  $x$ -beliebige Spannungswerte zu erfassen, um sie zu messen oder anderweitig weiterzuverarbeiten (Regelung, Analog-Digital-Wandlung usw.). Solche Messungen sind im Grunde Spannungsdifferenzmessungen (Abbildung 4.6.1), da die Messung gegen ein gemeinsames Bezugspotential (sprich: Masse) teils nicht möglich ist, teils viel zu ungenau wäre.



**Abbildung 4.6.1** Elementare Spannungsdifferenzmessungen

*Erklärung:*

a) - Messung des Spannungsabfalls über einem stromdurchflossenen Widerstand. Anwendungsbeispiel: Strommessung. b) - Messung an einer Spannungsquelle. Anwendungsbeispiele: Ausgangsspannungsmessung zu Regelungszwecken (Konstanthaltung), Speisespannungsüberwachung, Batteriekontrolle.

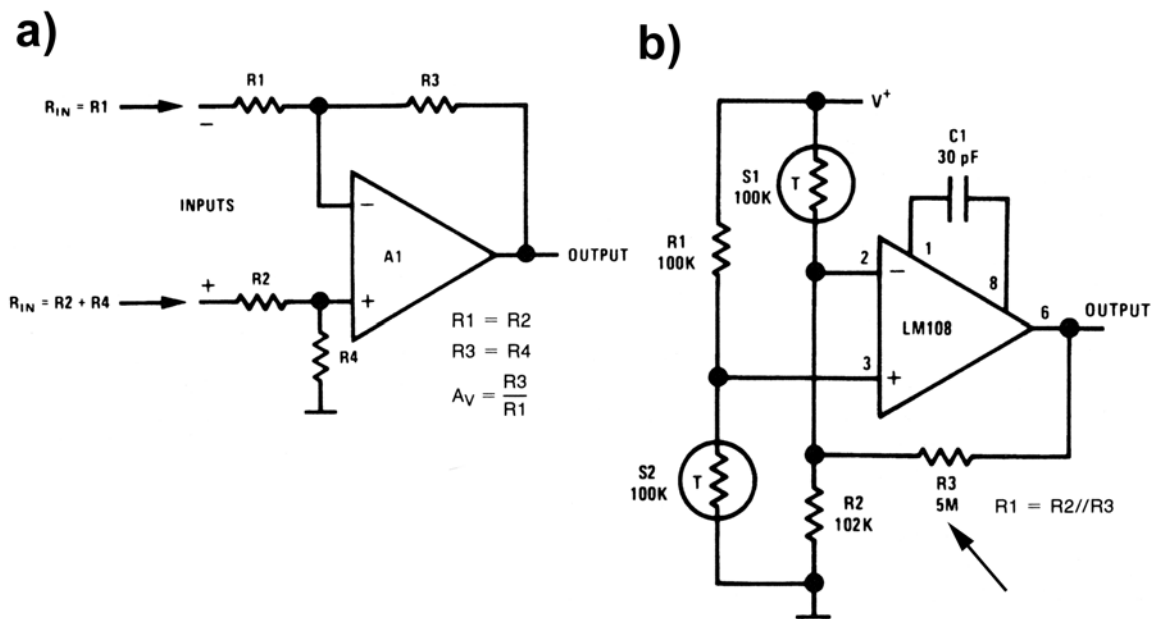
Entsprechende Meßverstärker haben folgenden Aufgaben:

- Verstärkung kleiner Differenzspannungen,
- Bereitstellung einer Meßspannung mit Bezug auf ein gemeinsames Nullpotential (Masse).

Wichtige Anforderungen:

- Gleichtaktunterdrückung (gestattet es, die Eingänge hochzuhängen und unterdrückt eingekoppelte Störungen),
- hohe Eingangswiderstände (geringe Eingangsströme, geringe Belastung der Meßstellen),
- Linearität (konstanter Verstärkungsfaktor über den gesamten Eingangsspannungsbereich),
- Genauigkeit (gleichbleibende Verstärkung auch bei Speisespannungs-, - Temperatur- und Lastschwankungen).

Eine naheliegende Lösung: ein Operationsverstärker, der als Differenzverstärker beschaltet wird. Diese Einfachlösung kommt aber bald an ihre Grenzen (Abbildung 4.6.2).



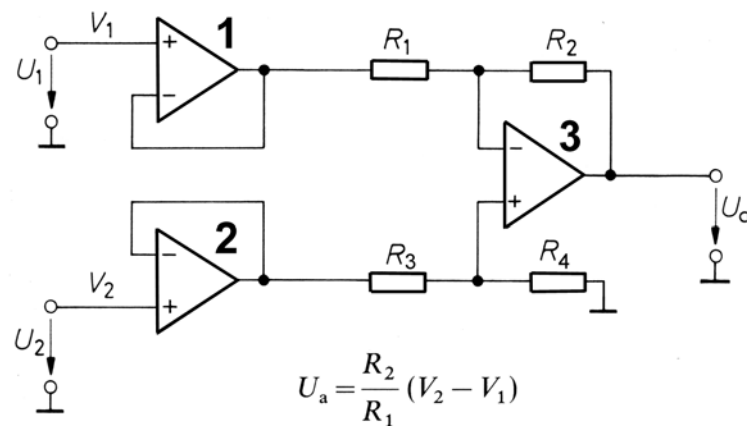
**Abbildung 4.6.2** Der einfache Differenzverstärker als Meßverstärker (nach: National Semiconductor).  
a) Grundschaltung, b) Einsatz in Brückenschaltung (z. B. mit Dehnungsmeßstreifen)

Charakteristische Nachteile der Differenzverstärkerschaltung:

- unterschiedliche Eingangswiderstände,
- besonders niedriger Eingangswiderstand des invertierenden Eingangs ( $= R_1$ ),
- Gleichtaktunterdrückung (CMRR) abhängig von der tatsächlichen paarweisen Gleichheit der Widerstände (Resistor Matching;  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$ ). Beispiel: eine Abweichung von nur 1% (z. B.  $R_1 = 99\%$  von  $R_2$ ) ergibt folgende Werte der Gleichtaktunterdrückung: 46 dB bei Schleifenverstärkung = 1, 60 dB bei Schleifenverstärkung = 10 und 80 dB bei Schleifenverstärkung = 100. Um bei Schleifenverstärkung = 1 eine Gleichtaktunterdrückung von 86 dB\*) zu erreichen, dürfen sich die Widerstandswerte nur um 0,01% voneinander unterscheiden.
- der Innenwiderstand der Meßstellen beeinflusst die paarweise Gleichheit der Widerstandswerte. Dieser Einfluß läßt sich nur verringern, indem man die Eingangswiderstände  $R_1$ ,  $R_2$  sehr hochohmig auslegt. Braucht man eine Verstärkung  $> 1$ , müssen die Widerstände  $R_3$ ,  $R_4$  dann extrem hochohmig sein (vgl.  $R_3$  in Abbildung 4.6.2b (Pfeil)). Beispiel:  $R_1 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ . Verstärkung = 100 erfordert  $R_3 = R_4 = 100 \text{ M}\Omega$ . In dieser Größenordnung ist die paarweise Gleichheit kaum zu verwirklichen. Zudem wirken sich die Streukapazitäten stärker aus, so daß sich die Gleichtaktunterdrückung bei höheren Frequenzen verringert.

\*) :  $20000 : 1 = 1 \text{ mV}$  Offsetspannung am Ausgang bei 20 V Gleichtaktspannung an den Eingängen.

Abbildung 4.6.3 zeigt eine naheliegende Abhilfe.



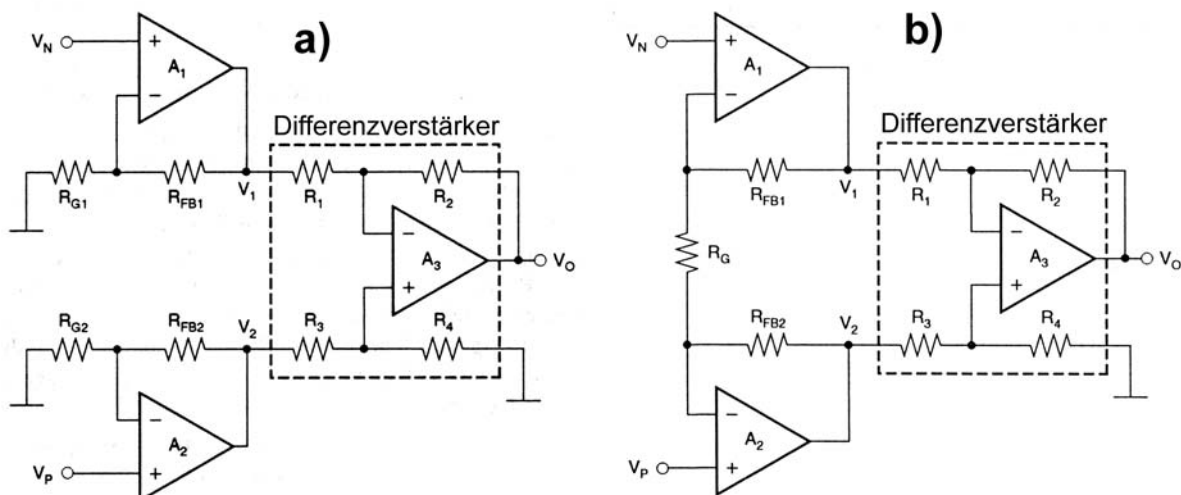
**Abbildung 4.6.3** Der Differenzverstärker wird vom Einfluß der Meßstellen isoliert (nach: Tietze/Schenk)

*Erklärung:*

1, 2 - Impedanzwandler; 3 - Differenzverstärker. Der Differenzverstärker 3 „sieht“ an seinen Eingängen nur die (gleichbleibenden) Innenwiderstände der Impedanzwandler 1, 2. Somit können die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  niederohmiger ausgelegt werden.

Bei hoher Verstärkung unterscheiden sich aber nach wie vor  $R_1$  und  $R_2$  beträchtlich voneinander ( $R_2 = \text{Verstärkung} \cdot R_1$ ). Beispiel: Verstärkung = 100,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ . Somit ist es immer noch problematisch, die paarweise Gleichheit mit geringer Toleranz zu verwirklichen.

Ein Ausweg: Wir verlagern zumindest einen Teil der  $V$ verstärkung in die Vorstufen 1, 2, die somit aus Impedanzwandlern zu nichtinvertierenden Verstärkern werden (Abbildung 4.6.4). Im Extremfall übernehmen die Vorstufen die gesamte Verstärkung, und der Differenzverstärker hat eine Verstärkung von Eins (Abbildung 4.6.5). Dann gilt  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , so daß alle vier Widerstände auf exakt gleichen Wert zu bringen sind - eine fertigungstechnisch eher zu beherrschende Aufgabe).



**Abbildung 4.6.4** Der „klassische“ Differenzmeßverstärker (Instrumentation Amplifier; nach: Burr-Brown)

Erklärung zu Abbildung 4.6.4:

- a) eine naheliegende, aber typischerweise ungünstige Lösung. Die Gleichtaktunterdrückung hängt von der Gleichheit der Widerstandsverhältnisse der Vorstufen ab:  $R_{FB1} : R_{G1} = R_{FB2} : R_{G2}$ .

Gegentaktverstärkung der Vorstufen:

$$G_{DIFF} = \frac{V_N(1 + \frac{R_{FB1}}{R_{G1}}) - V_P(1 + \frac{R_{FB2}}{R_{G2}})}{V_N - V_P}$$

Gleichtaktverstärkung der Vorstufen:

$$G_{CM} = \frac{R_{FB1}}{R_{G1}} - \frac{R_{FB2}}{R_{G2}}$$

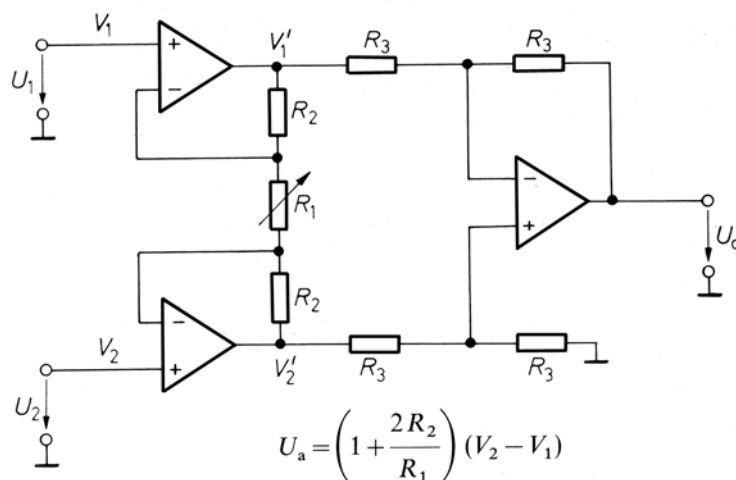
- b) die allgemein übliche Lösung. Die Gleichtaktunterdrückung ist unabhängig von der Gleichheit der Widerstandsverhältnisse in den Vorstufen.

Gegentaktverstärkung der Vorstufen:

$$G_{DIFF} = \frac{R_{FB1} + R_{FB2} + R_G}{R_G}; \text{ mit } R_{FB1} = R_{FB2} = R_{FB}$$

$$G_{DIFF} = 1 + \frac{2R_{FB}}{R_G} \text{ (vgl. Abbildung 4.6.5). Die Verstärkung hängt somit von einem einzigen Widerstand } (R_G) \text{ ab.}$$

Die Gleichtaktverstärkung der Vorstufen liegt nahe bei Null (Idealfall:  $G_{CM} = 0$ ).

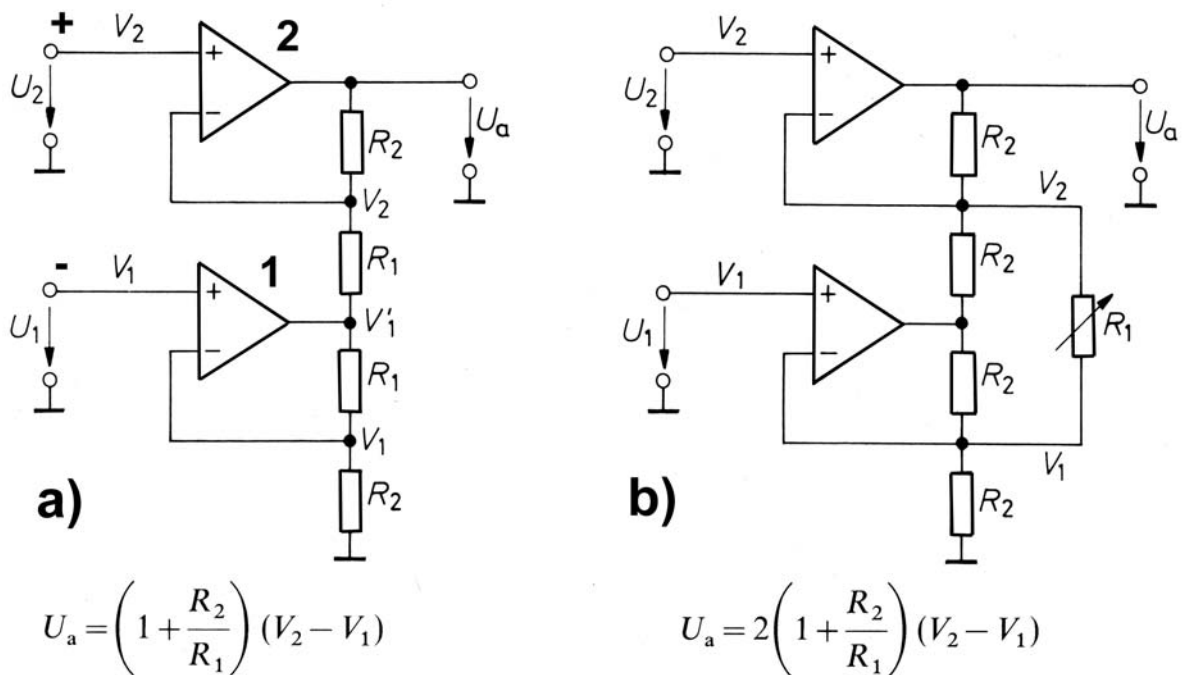


**Abbildung 4.6.5** Mit dieser Dimensionierung liegt die Verstärkung ausschließlich in den Vorstufen (nach: Tietze/Schenk)

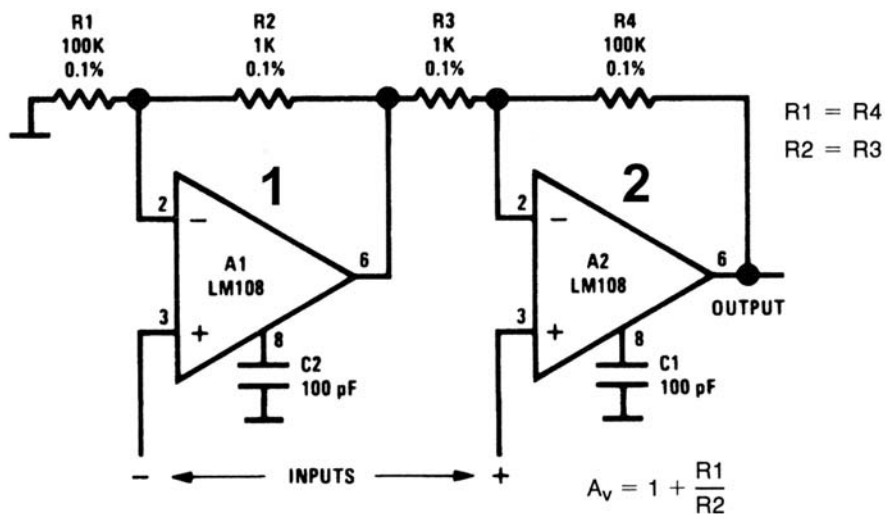
Die Gleichtaktunterdrückung der Gesamtanordnung wird praktisch von der Gleichtaktunterdrückung der Differenzverstärkerstufe bestimmt, also letzten Endes von der Gleichheit der Widerstände R3.

Die Verstärkung der Gesamtanordnung ergibt sich als Produkt der Verstärkungen der Vorstufe und der Differenzverstärkerstufe.

Die Abbildungen 4.6.6 und 4.6.7 zeigen eine Schaltungslösung, die mit zwei Operationsverstärkern auskommt.



**Abbildung 4.6.6** Differenzmeßverstärker mit zwei Operationsverstärkern (nach: Tietze/Schenk). a) mit fester, b) mit einstellbarer Verstärkung



**Abbildung 4.6.7** Ein dimensioniertes Beispiel (nach: National Semiconductor)

*Erklärung zu den Abbildungen 4.6.6 und 4.6.7:*

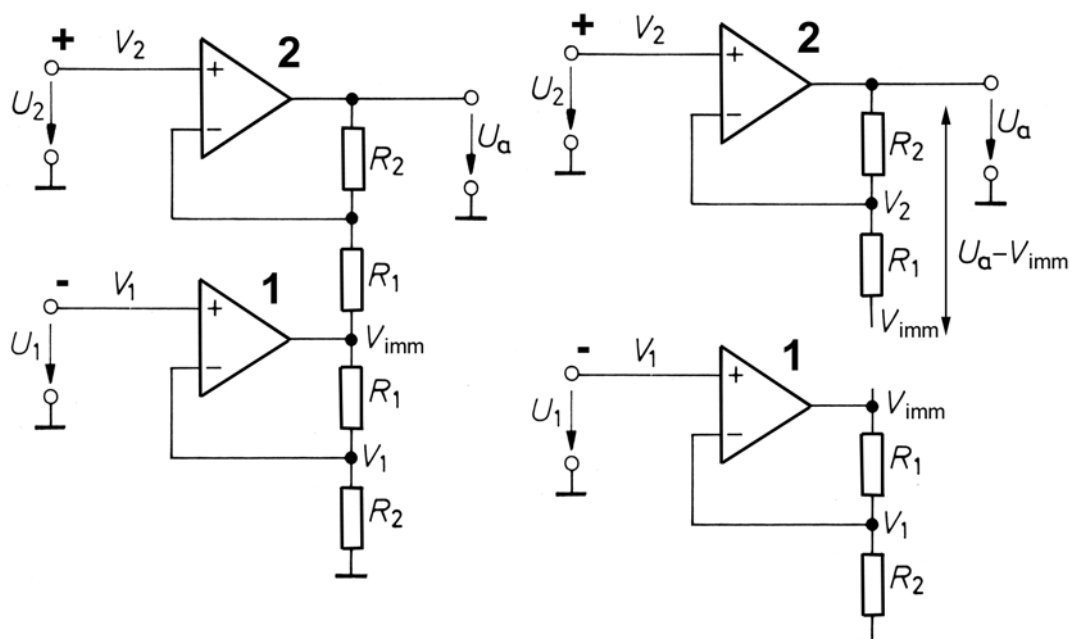
Die Verstärkeranordnung ist unsymmetrisch. Verstärker 1 ist nichtinvertierend. Er hat eine geringe Verstärkung. Im Beispiel (Abbildung 4.6.7):  $= 1 + 1k/100k = 1,01$ . Verstärker 2 wird vom Ausgang des Verstärkers 1 angesteuert. Verstärker 2 übernimmt die Differenzbildung. Führen beide Eingänge den gleichen Spannungspegel, so ergibt sich eine Differenz von 0V. Es wird also nur die Differenzspannung zwischen beiden Eingängen verstärkt, nicht aber die Gleichtaktspannung. In unserem Beispiel ist die Differenzverstärkung  $= 1,01$ .

Die Anordnung ist ebenso empfindlich gegen Abweichungen von der paarweisen Gleichheit der Widerstände (Resistor Matching;  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$ ) wie der Differenzverstärker in Abbildung 4.6.2a. Die Widerstände sind aber vergleichsweise niederohmig, so daß ein entsprechender Abgleich einfacher ist.

Zum Frequenzverhalten der Gleichtaktunterdrückung:

- wegen der Niederohmigkeit wirken sich die Streukapazitäten nicht so stark aus,
- nachteilig ist, daß das Signal am invertierenden Eingang erst den Verstärker 1 durchlaufen muß, bevor es an Verstärker 2 zur Wirkung kommt (Verzögerung = Phasenverschiebung gegenüber dem Signal am nichtinvertierenden Eingang). Abhilfe:
  - Kondensator parallel zu  $R_1$  (um die Verstärkung des Verstärkers 1 bei höheren Frequenzen anzuheben),
  - wenn nur eine geringe Bandbreite erforderlich ist: Verstärker 2 so beschalten, daß der Amplitudengang eher abfällt (Frequenzgangkorrektur). Die Schaltung wird so unempfindlicher gegen höherfrequente Gleichtaktssignale.

Nach wie vor beeinträchtigt aber der Temperaturgang des Verstärkers 1 die Gleichtaktunterdrückung.



Beide Verstärker 1, 2 sind als nichtinvertierende Verstärker geschaltet. Damit ergeben sich hohe Eingangswiderstände für beide Eingangssignale.

Der Verstärker 1 liefert das "Zwischenergebnis"  $V_{imm}$ :

$$V_{imm} = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Mit diesem Zwischenergebnis wird der Verstärkungsfaktor des Verstärkers 2 berechnet.

$$U_2 - V_2 = 0$$

$$U_2 - (U_A - V_{imm}) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0$$

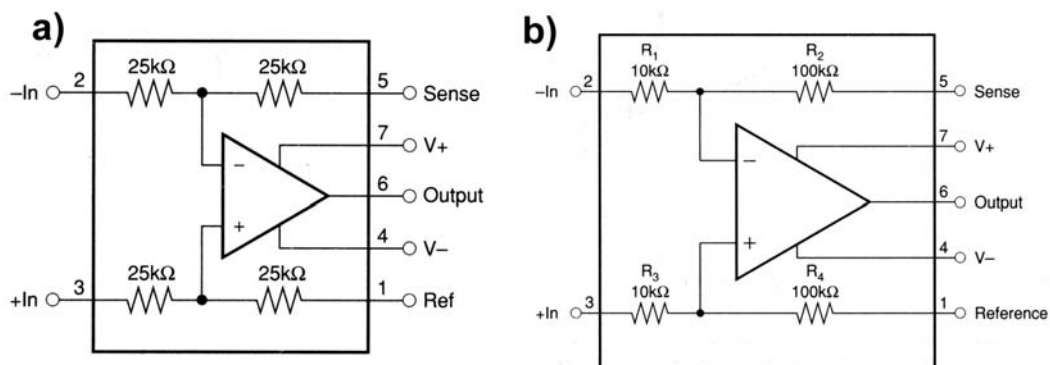
Wir setzen zunächst den Bruch = X. Der Bruch im Ausdruck für  $V_{imm}$  ist dann  $1/X$ .

$$U_2 - (U_A - V_{imm}) \cdot X = 0$$

$$U_A = \frac{U_2}{X} - V_{imm} = \frac{U_2}{X} - U_1 \cdot \frac{1}{X} = \frac{1}{X} (U_2 - U_1)$$

$$U_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (U_2 - U_1)$$

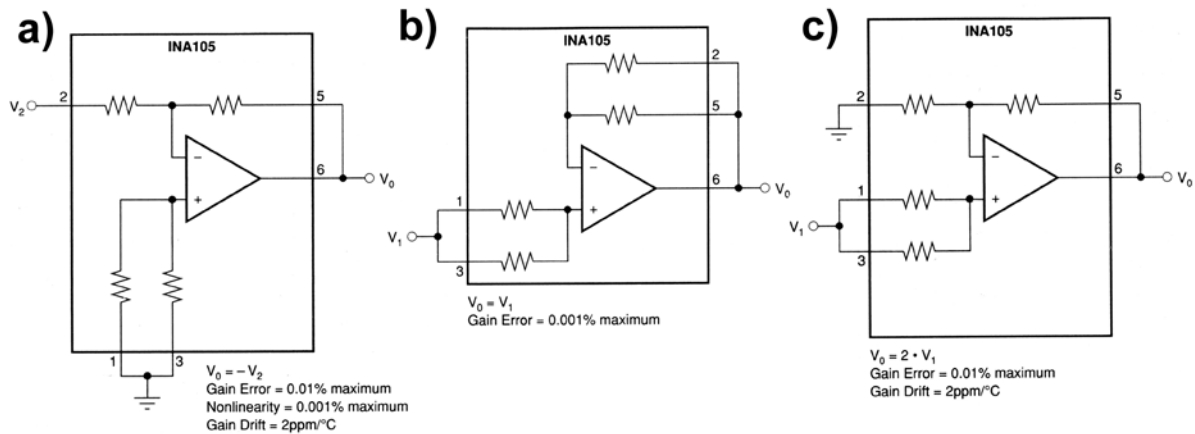
Die Abbildungen 4.6.8 bis 4.6.14 geben einen kleinen Einblick in das einschlägige Angebot an integrierten Schaltkreisen.



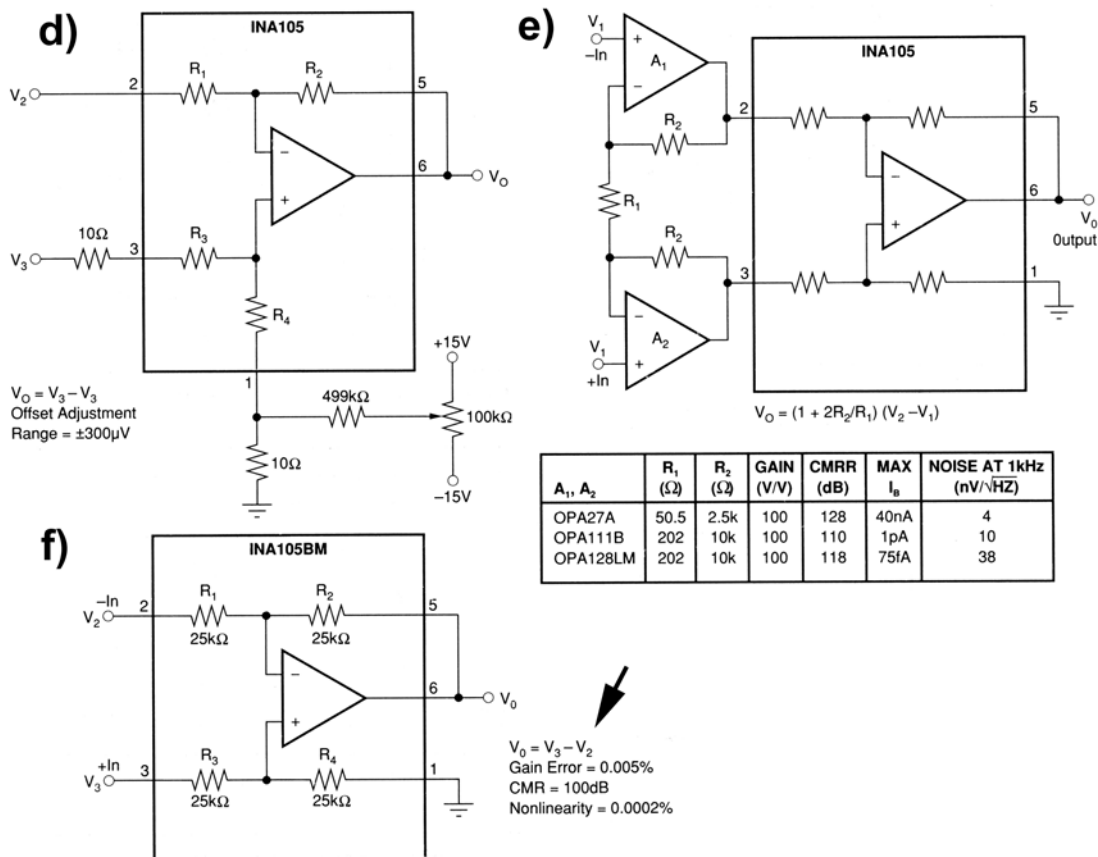
**Abbildung 4.6.8** Manchmal muß es gar nicht so kompliziert sein... (nach: Burr-Brown)

*Erklärung zu Abbildung 4.6.8:*

Entscheidend ist, daß sich Verstärker und Präzisionswiderstände (mittels Laser abgeglichen) auf dem gleichen Schaltkreis befinden. a) - Differenzverstärker mit Verstärkung 1; b) - Differenzverstärker mit Verstärkung 10 (vgl. die Dimensionierung der Widerstände). Die folgenden beiden Abbildungen zeigen einige Einsatzbeispiele.



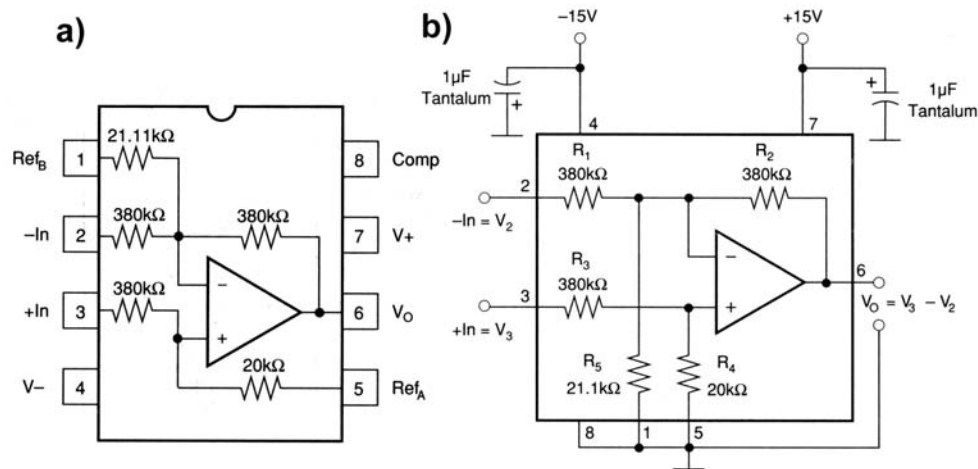
**Abbildung 4.6.9** Präzisions-Differenzverstärker mit fester Verstärkung (nach: Burr-Brown). Einsatzbeispiele (1). Erklärung im Anschluß an Abbildung 4.6.10



**Abbildung 4.6.10** Präzisions-Differenzverstärker mit fester Verstärkung (nach: Burr-Brown). Einsatzbeispiele (2)

Die Beispiele betreffen einen Typ mit Verstärkung = 1 (vgl. Abbildung 4.6.8a). a) - invertierender Verstärker mit Verstärkung = 1; b) - Puffer (Impedanzwandler); c) - Differenzverstärker mit Verstärkung = 2; d) - Differenzverstärker mit Offsetkompensation; e) - Differenzmeßverstärker (durch Zusatzbeschaltung mit zwei weiteren Operationsverstärkern; die Tabelle enthält einige Dimensionierungsbeispiele); f) - Differenzverstärker-Grundschaltung (beachte die Datenwerte (Pfeil)).



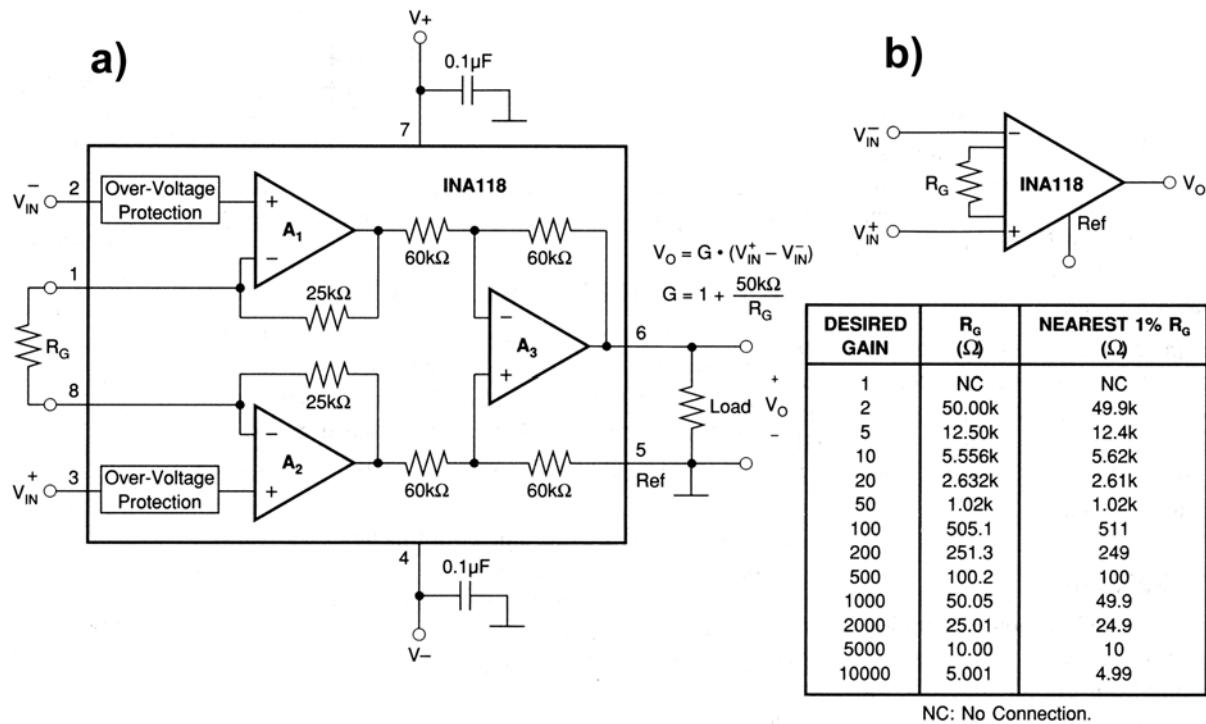


**Abbildung 4.6.11** Dieser Differenzverstärker verträgt Gleichtaktspannungen bis  $\pm 200$  V (nach: Burr-Brown)

a) - der Inhalt des Schaltkreises, b) - eine typische Anwendungsschaltung. Verstärkung = 1. Bei Betrieb mit  $\pm 15$  V Speisespannung kann der eigentliche Verstärker mit einer Differenzspannung von maximal  $\pm 10$  V angesteuert werden. Die eingebauten zusätzlichen Widerstände von 20 und 21,1 k $\Omega$  ermöglichen es, Spannungsteiler für höhere Eingangsspannungen aufzubauen. Teilerverhältnis: 400 k $\Omega$  zu 20 k $\Omega$  = 20 : 1. Damit entsprechen 200 V am Schaltkreiseingang 10 V am Eingang des Operationsverstärkers.

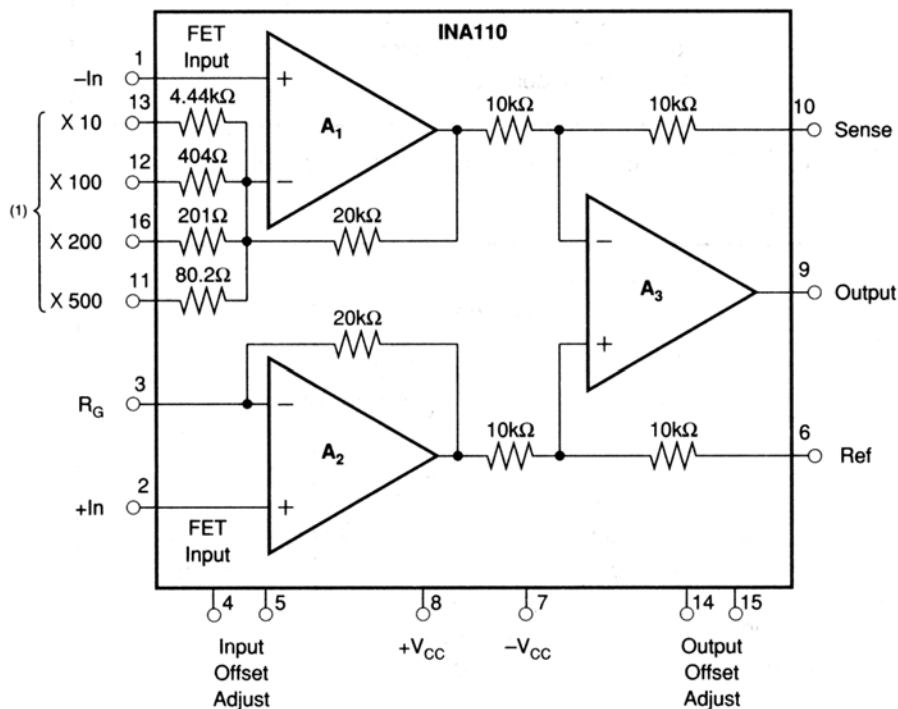
**Hinweis:**

Um die Gleichtaktunterdrückung (Datenblattwert: 86 dB) aufrecht zu erhalten, müssen die Eingänge an Spannungsquellen niedriger Impedanz angeschlossen werden (wie das z. B. bei Strommessungen typischerweise der Fall ist). Beispiel: ein Widerstand von 75  $\Omega$  in Reihe mit einem der Eingänge vermindert die Gleichtaktunterdrückung auf 72 dB. (Diese Tatsache steht naheliegenden Überlegungen entgegen, durch Vorschalten von Widerständen die Gleichtaktspannung weiter zu erhöhen.)



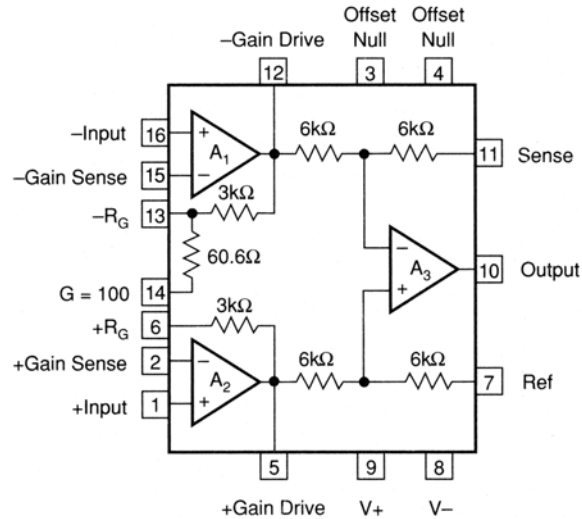
**Abbildung 4.6.12** Ein „echter“ Differenzmeßverstärker (Instrumentation Amplifier) mit drei Operationsverstärkern (nach: Burr-Brown)

Diese Schaltung kann durch einen außen anzuschließenden Widerstand R<sub>G</sub> auf eine beliebige Verstärkung eingestellt werden. a) - Grundschiung; b) - Schaltsymbol und Verstärkungstabelle.



**Abbildung 4.6.13** Differenzmeßverstärker mit wählbarer Verstärkung (nach: Burr-Brown)

Dieser Schaltkreis hat eingebaute Widerstände zur Verstärkungseinstellung. Verstärkungsauswahl: einen der Widerstandsanschlüsse mit Pin 3 verbinden. Verstärkungsumschaltung im laufenden Betrieb: über Analogschalter.



**Abbildung 4.6.14** Ein weiterer Differenzmeßverstärker (nach: Burr-Brown)

Die Verstärkerschaltkreise unterscheiden sich u. a. in den Vorkehrungen zur Verstärkungseinstellung (eingebauter Widerstand für feste Verstärkung, eingebaute, aber von außen zugängliche Widerstände, außen anzuschließende Widerstände). Der hier vorgestellte Schaltkreis hat eingebaute Widerstände, die es gestatten, wahlweise eine Verstärkung von 1 oder von 100 einzustellen. Ansonsten können beliebige Verstärkungswerte durch Außenbeschaltung realisiert werden. Zudem sind Anschlüsse zum ausgangsseitigen Offsetabgleich vorgesehen.

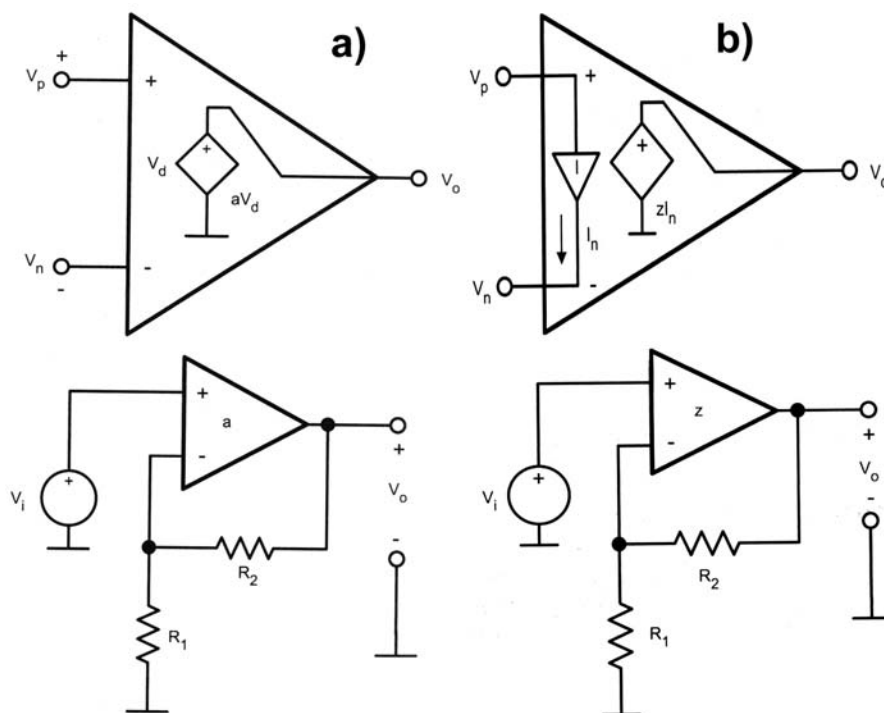
*Zur Übung:*

Zeichnen Sie die Außenbeschaltung ein für

- Verstärkung = 1,
- Verstärkung = 100,
- beliebige Verstärkung (externer Widerstand).

## 4.7 Spannungsgegenkopplung und Stromgegenkopplung

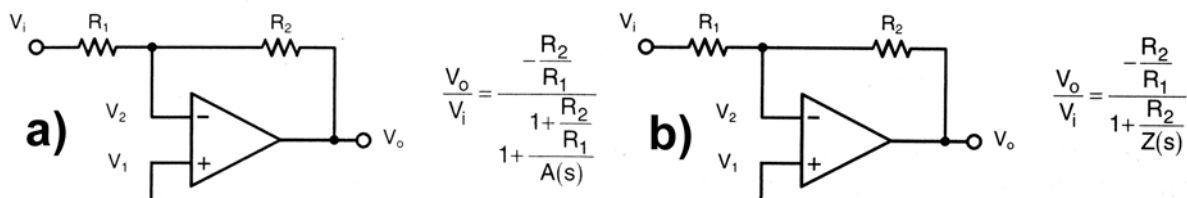
Wir haben bisher nur eine Auslegung der Operationsverstärker behandelt, nämlich den Operationsverstärker mit Spannungsgegenkopplung (Voltage Feedback Amplifier VFA). Seit einiger Zeit ist eine weitere Konfiguration von Bedeutung, die als Operationsverstärker mit Stromgegenkopplung (Current Feedback Amplifier CFA) bezeichnet wird. Beide Auslegungen haben ihre Besonderheiten (Abbildungen 4.7.1 bis 4.7.8, Tabelle 4.7.1), aus denen sich jeweils typische Einsatzfälle ergeben (Tabelle 4.7.2).



**Abbildung 4.7.1** Operationsverstärker mit Spannungs- und Stromgegenkopplung (nach: National Semiconductor). Oben: einfachstes Ersatzschaltbild, darunter: Prinzipschaltung des nichtinvertierenden Verstärkers

a) Spannungsgegenkopplung (VFA)	b) Stromgegenkopplung (CFA)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingangsstufe ist Spannungsdifferenzverstärker</li> <li>▪ maßgebend ist Differenzspannung <math>V_D = V_P - V_N</math></li> <li>▪ beide Eingänge haben gleiche (hohe) Impedanz</li> <li>▪ Ausgangsstufe wirkt als Spannungsverstärker mit Open-loop-Verstärkung <math>A_{OL} = V_O / V_D</math></li> <li>▪ Gegenkopplung versucht, Eingangsspannungsdifferenz zu Null zu machen (<math>V_D</math> ist Fehlersignal)</li> <li>▪ konstantes Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt; Verstärkung frequenzabhängig</li> <li>▪ begrenzte Anstiegsgeschwindigkeit, unabhängig vom Eingangsspannungshub</li> <li>▪ freie Wahl des Gegenkopplungswiderstands, oftmals direkte Gegenkopplung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingangsstufe ist Puffer mit Verstärkung 1 (Impedanzwandler)</li> <li>▪ maßgebend ist der durch den invertierenden Eingang fließende Strom <math>I_N</math></li> <li>▪ der positive Eingang hat eine hohe Impedanz (Beispiel: <math>5 \text{ M}\Omega \parallel 2 \text{ pF}</math>), der negative eine niedrige (Beispiel: <math>30 \text{ }\Omega \parallel 2 \text{ pF}</math>)</li> <li>▪ Ausgangsstufe wirkt als Strom-Spannungswandler (Transimpedanzverstärker) mit Übertragungsimpedanz (Open-loop Transimpedance) <math>Z_T = V_O / I_N</math></li> <li>▪ Gegenkopplung versucht, Eingangsstrom zu Null zu machen (<math>I_N</math> ist Fehlersignal)</li> <li>▪ Bandbreite weitgehend unabhängig von der Verstärkung</li> <li>▪ höhere Anstiegsgeschwindigkeit (proportional Hub am Eingang)</li> <li>▪ Wertebereich des Gegenkopplungswiderstands vorgegeben</li> </ul>

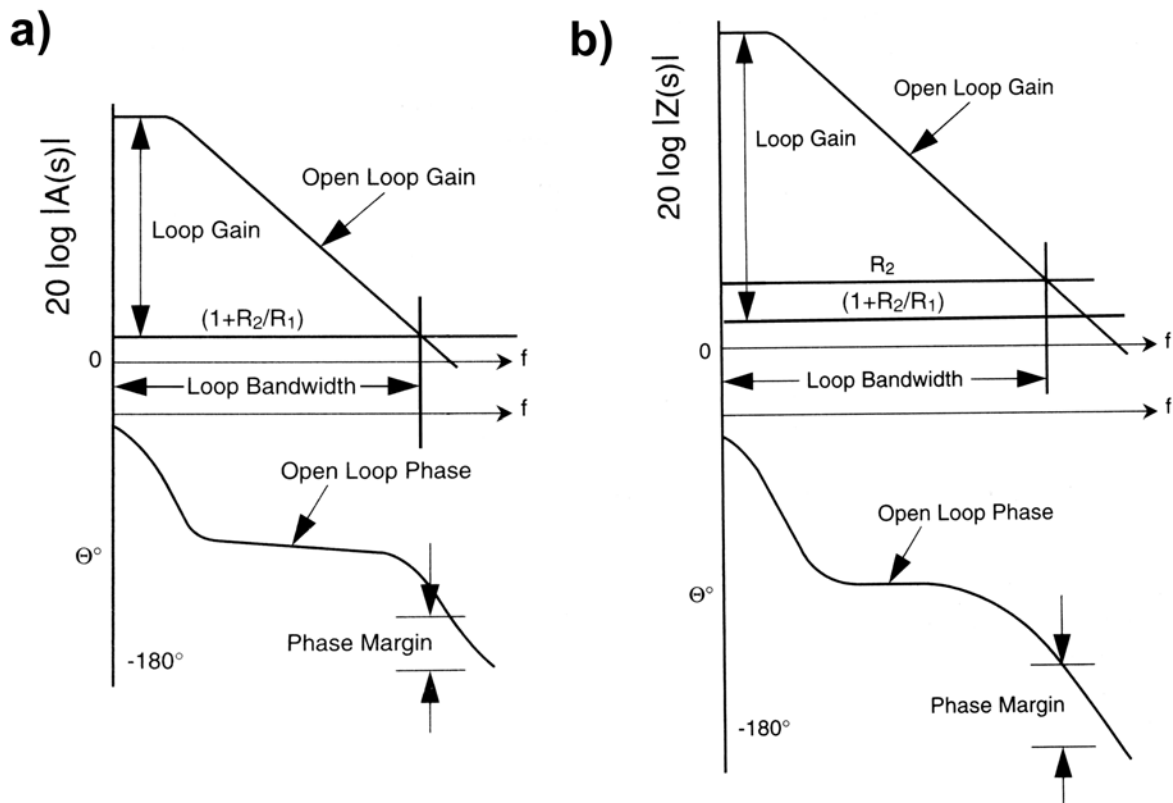
**Tabelle 4.7.1** Operationsverstärker mit Spannungs- und Stromgegenkopplung



**Abbildung 4.7.2** Die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung am Beispiel des invertierenden Verstärkers (nach: National Semiconductor).  $s = j\omega$

Die Schaltungsstrukturen unterscheiden sich nicht. Jede Verstärkerart hat aber eine andere Übertragungsfunktion  $V_o / V_i$ :

- a) Spannungsgegenkopplung. Im Nenner der Übertragungsfunktion erscheint sowohl der Gegenkopplungsfaktor also auch die frequenzabhängige Open-loop-Verstärkung (hier:  $A(s) = A_{OL}(j\omega)$ ). Die Schleifenverstärkung ist somit frequenzabhängig.
- b) Stromgegenkopplung. Im Nenner der Übertragungsfunktion erscheint neben der frequenzabhängigen Übertragungsimpedanz (hier:  $Z(s) = Z_T(j\omega)$ ) nur noch der Gegenkopplungswiderstand  $R_2$ . Die Bandbreite hängt somit nur von  $R_2$  ab, nicht aber von der Schleifenverstärkung.



**Abbildung 4.7.3** Bode-Diagramme im Vergleich (nach: National Semiconductor). Sie betreffen die invertierenden Verstärker gemäß Abbildung 4.7.2

- a) Spannungsgegenkopplung. Das bekannte Bild (vgl. Abschnitt 4.4). Bandbreite und Verstärkung des gegengekoppelten Verstärkers ergeben sich aus der Open-Loop-Verstärkung und dem Gegenkopplungsfaktor. Je höher die Verstärkung, desto geringer die Bandbreite (Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt).
- b) Stromgegenkopplung. Die Bandbreite des gegengekoppelten Verstärkers ergibt sich aus der Open-Loop-Verstärkung<sup>\*)</sup> und dem Gegenkopplungswiderstand, die Verstärkung aus der Open-Loop-Verstärkung<sup>\*)</sup> und dem Gegenkopplungsfaktor. Je größer der Gegenkopplungswiderstand, desto geringer die Bandbreite. Ein Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt gibt es nicht. Bandbreite und Verstärkung lassen sich unabhängig voneinander einstellen: die Bandbreite mit  $R_2$ , die Verstärkung mit  $R_1$ .

\*) genauer: Übertragungsimpedanz (Open-loop Transimpedance).

*Hinweis:*

Die Größenordnung des Gegenkopplungswiderstandes wird typischerweise vom Hersteller vorgegeben (typisch: einige hundert  $\Omega$ ...einige k $\Omega$ ). Dafür ist der Open-Loop-Phasengang optimiert (Bereich der Phasenverschiebung von  $90^\circ$ ). Verdopplung des empfohlenen Wertes vermindert die Bandbreite auf die Hälfte. Verringerung kann zu Instabilität führen. Direkte Gegenkopplung (ohne Widerstand) funktioniert nicht (Verstärker wird instabil).

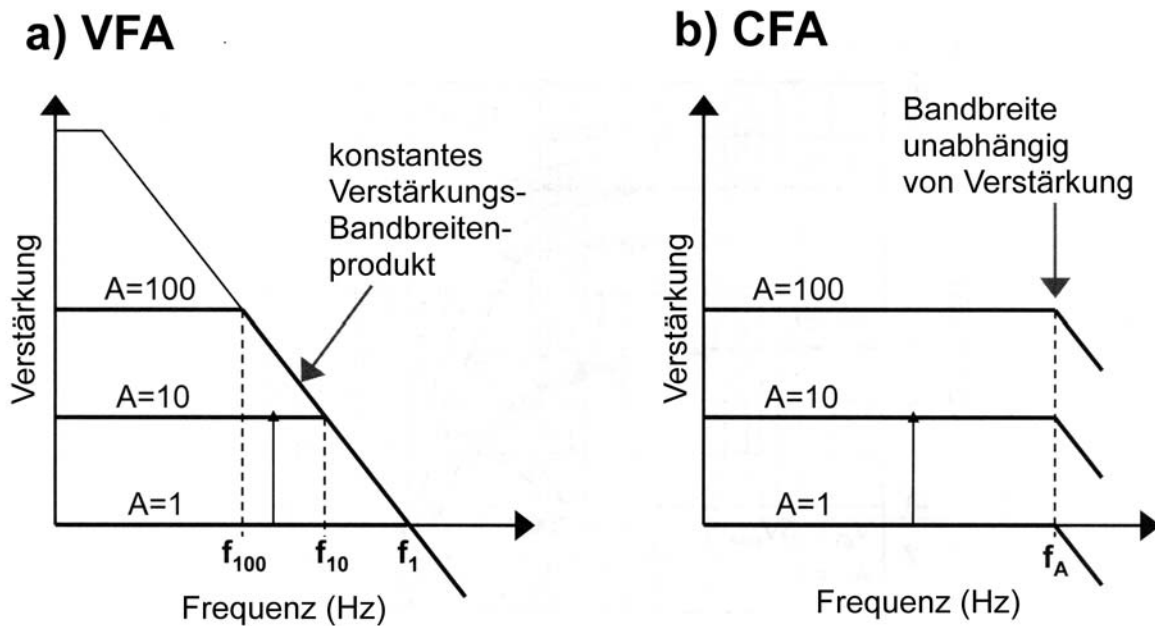


Abbildung 4.7.4 Amplitudengänge im Vergleich (nach: National Semiconductor)

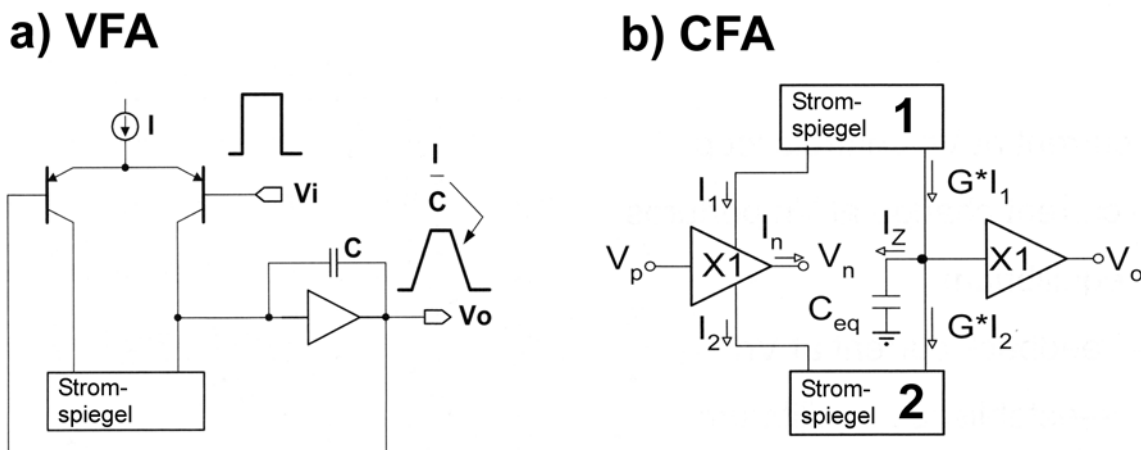
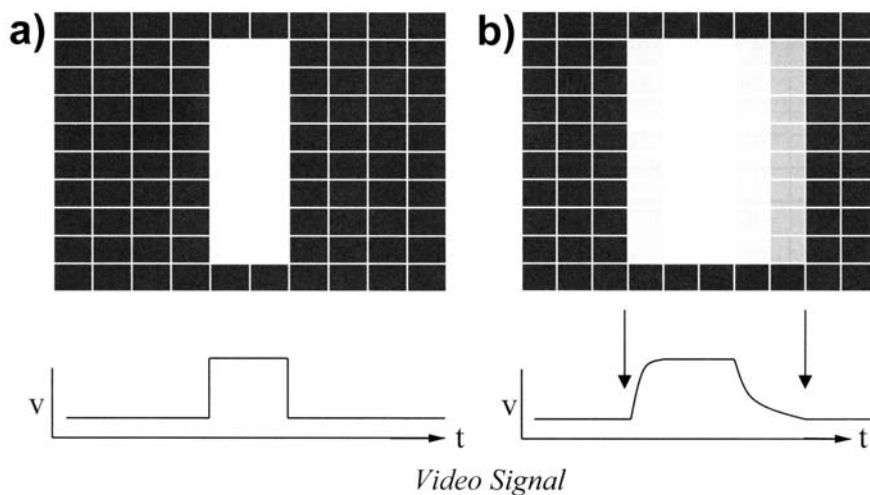


Abbildung 4.7.5 Zur Anstiegsgeschwindigkeit (nach: National Semiconductor)

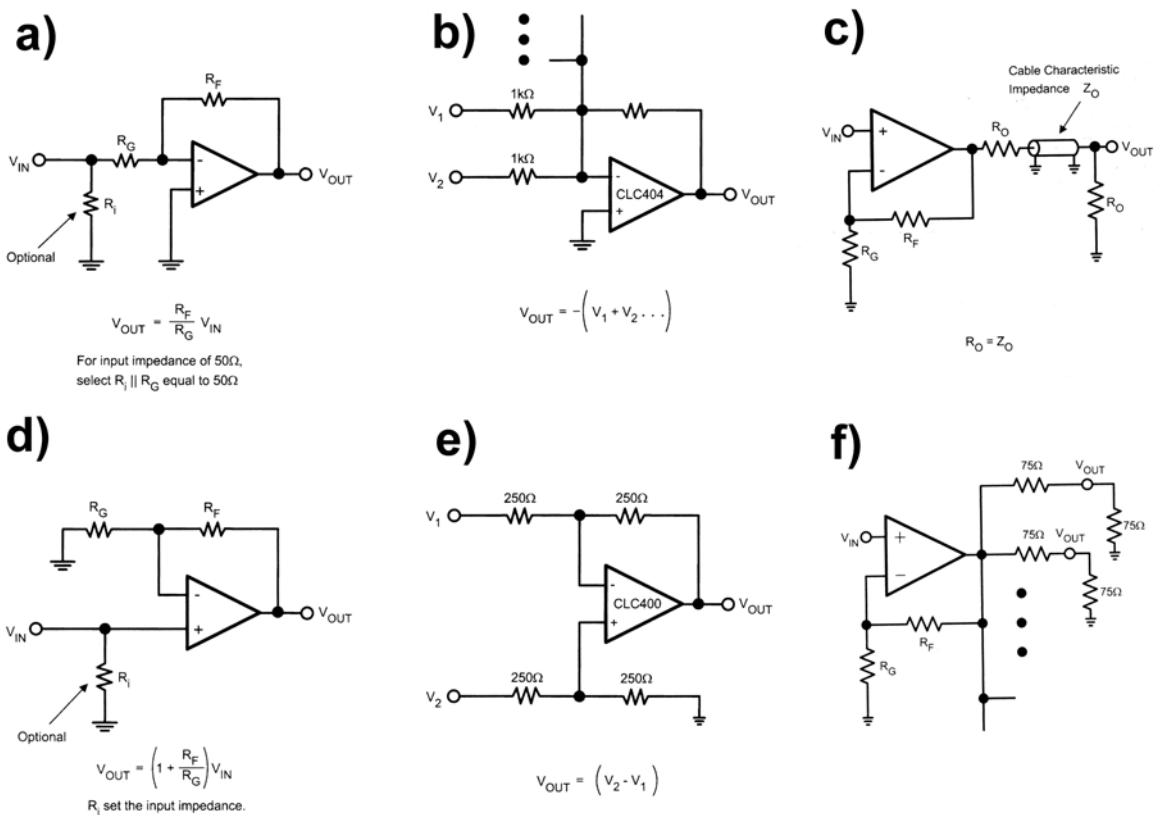
- Spannungsgegenkopplung. Der gesamte Strom zum Umladen der Endstufenkapazität kommt von der Stromquelle  $I$ . Das begrenzt die Anstiegsgeschwindigkeit. Da eine Stromquelle stets einen konstanten Strom liefert, kann auch ein größerer Eingangsspannungshub nichts ausrichten.
- Stromgegenkopplung. Der Strom zum Umladen der Endstufenkapazität kommt aus den Stromspiegeln 1 und 2. Der Ausgangsstrom ist aber jeweils proportional zum Eingangsstrom - je größer der Hub an den Eingängen, desto mehr Ausgangsstrom liefern die Stromspiegel. Deshalb gibt es keine grundsätzliche Beschränkung der Anstiegsgeschwindigkeit.



**Abbildung 4.7.6** Manchmal ist die Anstiegsgeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Hier: beim Verstärken von Videosignalen (nach: National Semiconductor)

*Denksportaufgabe:* Wo wurde ein spannungsgeggekoppelter, wo ein stromgeggekoppelter Verstärker eingesetzt?

a): offensichtlich hohe Anstiegsgeschwindigkeit, also spannungsgeggekoppelt. b): offensichtlich geringere Anstiegsgeschwindigkeit, also spannungsgeggekoppelt.



**Abbildung 4.7.7** Grundschaltungen mit stromgeggekoppelten Verstärkern - eine kleine Auswahl (nach: National Semiconductor)



Erklärung zu Abbildung 4.7.7:

a) - invertierend; b) - summierend; c) - Koaxialkabeltreiber; d) - nichtinvertierend; e) - subtrahierend (Differenzverstärker); f) - Verteilerverstärker (treibt mehrere 75-Ω-Videokabel).

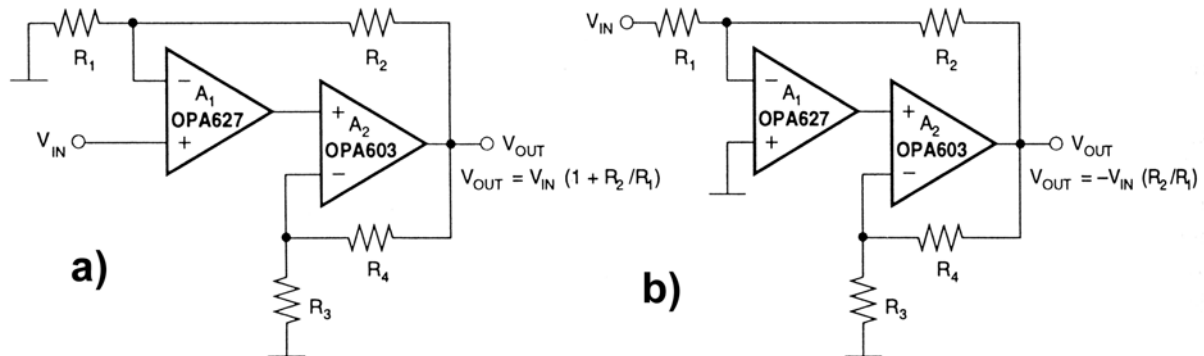


Abbildung 4.7.8 Zwei Verbundschaltungen (nach: Burr-Brown)

Die Kombination verschiedenartiger Bauelemente ergibt oftmals besonders günstige Lösungen. Der OPA627 ist spannungsgegenggekoppelt, der OPA603 stromgegenggekoppelt. Naheliegenderweise setzt man den 603 als Ausgangsstufe ein (hohe Anstiegsrate, Bandbreite unabhängig von der Verstärkung). Der eingangsseitige 627 gewährleistet hingegen eine hohe Eingangsimpedanz, geringe Ruhestrome usw. a) - nichtinvertierend; b) - invertierend.

Spannungsgegengkopplung für	Stromgegengkopplung für
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ höchste Genauigkeit im Gleichspannungsbereich</li> <li>▪ höchste Gleichtaktunterdrückung</li> <li>▪ geringstes Rauschen</li> <li>▪ geringste Eingangsruhestrome</li> <li>▪ Ausgangsspannungshub nahezu gesamter Bereich der Speisespannung (Rail-to-Rail)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringere Verzerrungen bei gegebener Bandbreite</li> <li>▪ höchste Anstiegsgeschwindigkeit</li> <li>▪ umschaltbare Verstärkung bei gleichbleibender Bandbreite</li> <li>▪ Summation von Signalen, die unterschiedliche Verstärkungsfaktoren erfordern</li> </ul>

Tabelle 4.7.2 Beide Auslegungen haben ihre Berechtigung