

# Operationsverstärker

Projektlabor Sommersemester 2009

Mathis Schmieder

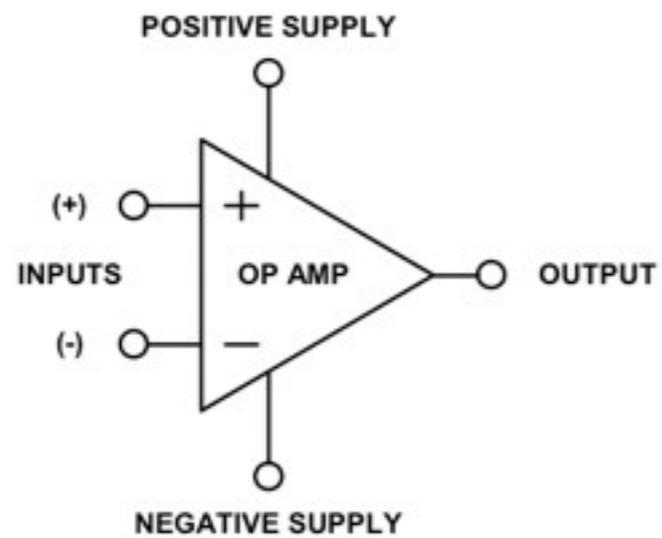
# Gliederung

- Was ist ein OPV?
- Geschichte des Operationsverstärkers
- Genereller Aufbau und Funktion
- Ideale und reelle Operationsverstärker
- Übertragungsfunktionen
- Quellen

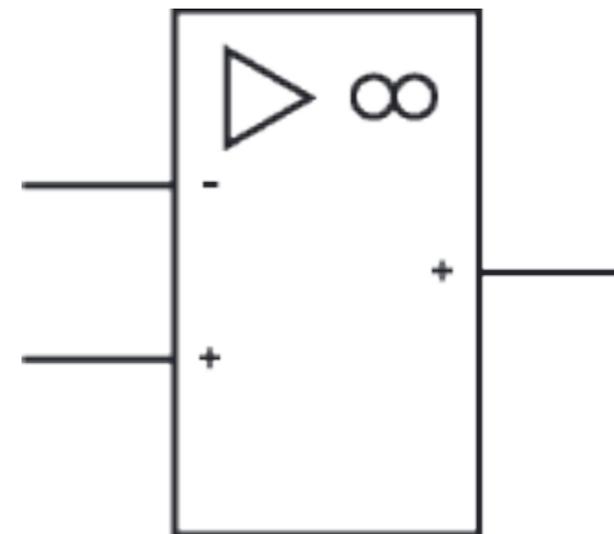
# Was ist ein OPV?

- englisch “Operational Amplifier”, OpAmp
- mehrstufiger, hochverstärkender, galvanisch gekoppelter Differenzverstärker
- invertierender und nicht invertierender Eingang
- verstärkt sowohl Gleich- als auch Wechselspannungen
- Funktion abhängig von Außenbeschaltung

# Was ist ein OPV?

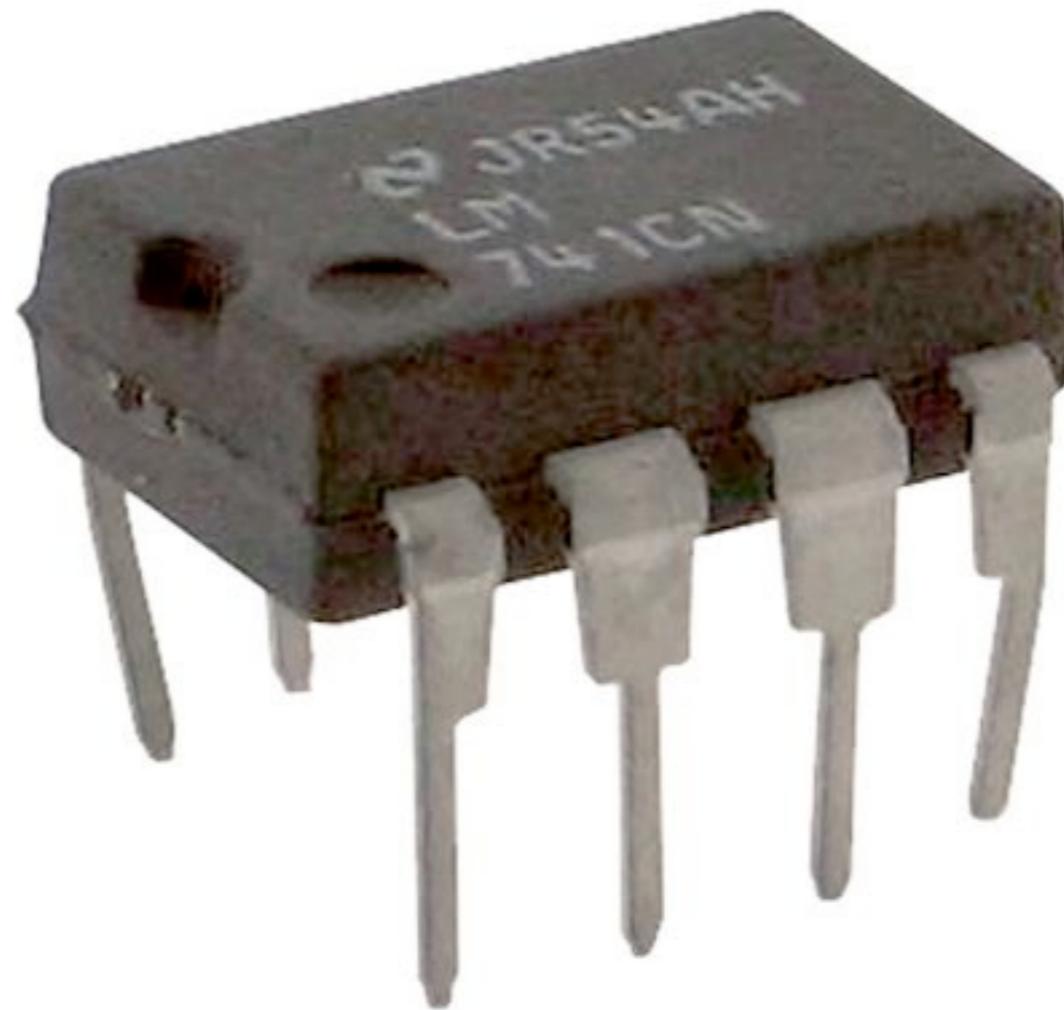


DIN 40900 T.10  
(veraltet)



DIN 40900 T.13

# Was ist ein OPV?



LM741

# Geschichte

- 1934: Harold S. Black beschreibt Rückkopplungstheorie
- Benennung 1947 durch John R. Ragazzini
- 1952: G.A. Philbrick Researches Inc. (GAP/R) veröffentlicht K2-W
- Ende der 1950er: Passende Transistoren verfügbar
- 1968: Fairchild Industries veröffentlicht  $\mu$ A741

# K2-W

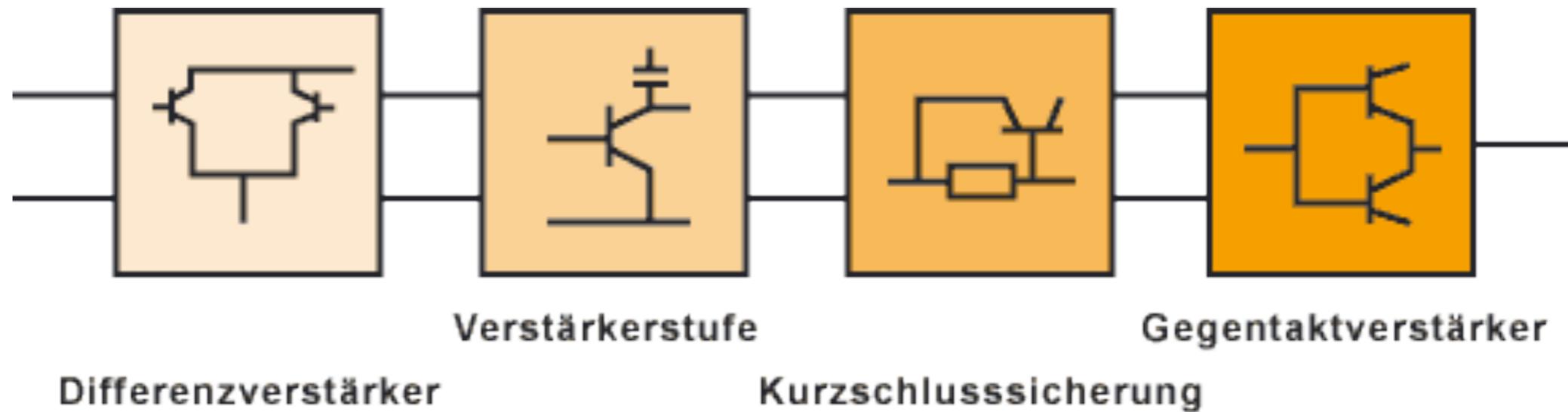


<http://www.eng.usf.edu/~saddow/eel3302/741.html>

# Aufbau

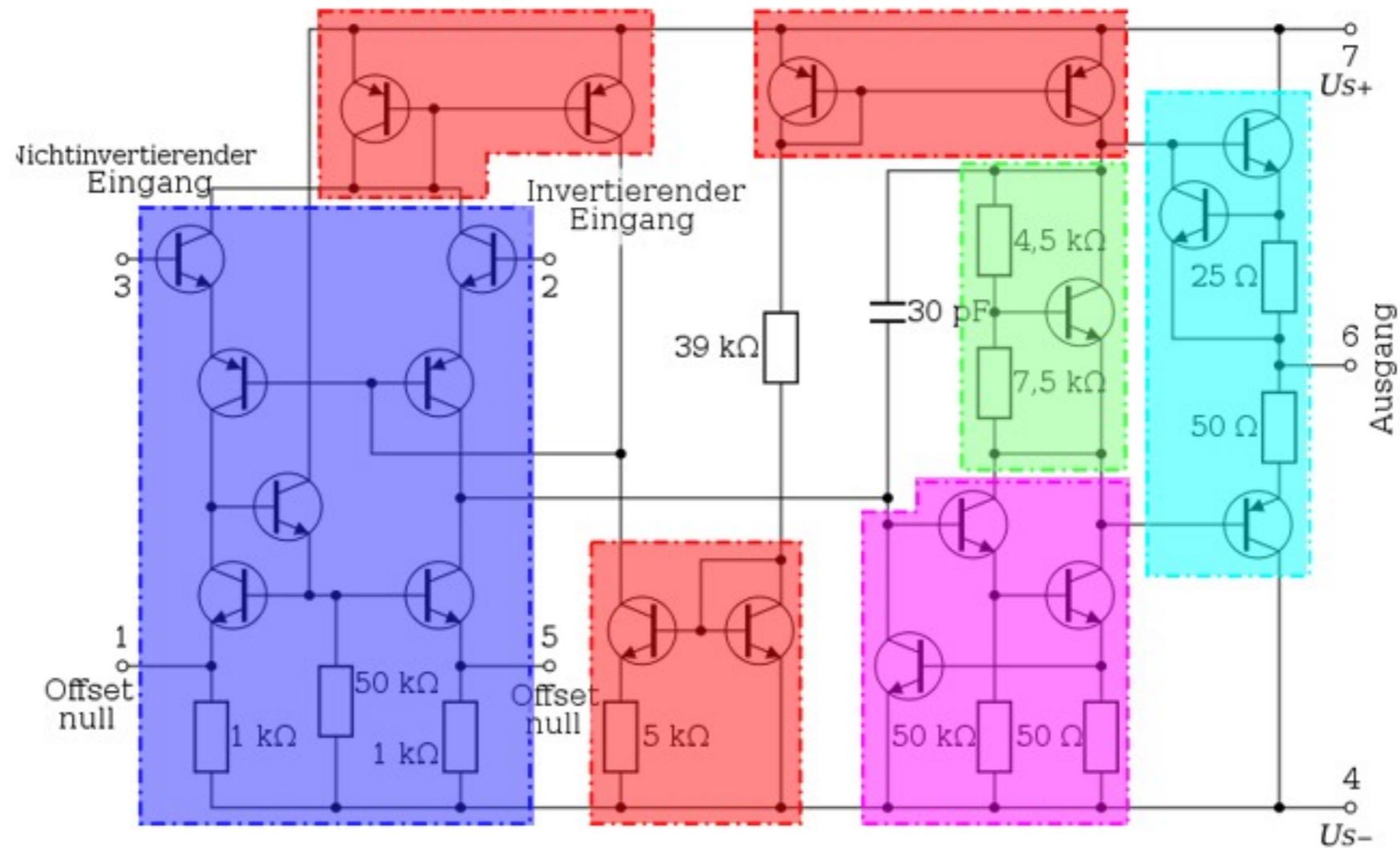
- Eingangsstufe: Differenzverstärker
- Verstärkerstufe mit hoher Verstärkung
- Kurzschlussicherung
- Endstufe: Gegentaktverstärker
- Zwei Betriebsspannungsquellen mit gleichem Betrag

# Aufbau



<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/209092.htm>

# Aufbau



<http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>

# Funktion

- Äußere Beschaltung bestimmt genaue Funktion
- Mitkopplung: Ausgangssignal an nichtinvertierenden Eingang
- Gegenkopplung: Ausgangssignal an invertierenden Eingang
- Maximale Ausgangsspannung höchstens gleich Betriebsspannung

# Idealer OPV

- Leerlaufverstärkung  $V_0 = \infty$
- Eingangswiderstand  $r_E = \infty$
- Ausgangswiderstand  $r_A = 0\Omega$  , Ausgangsspannung bei allen Belastungen stabil
- Übertragungsbandbreite unendlich breit
- Vollkommen symmetrisch

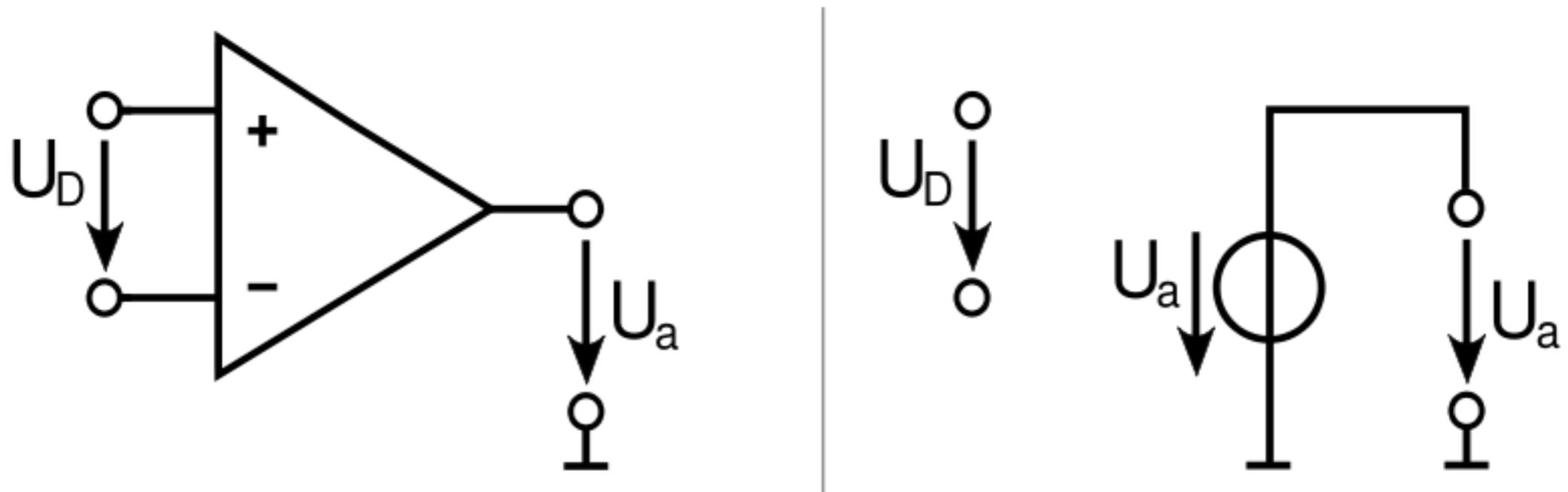
# Reeller OPV

- Leerlaufverstärkung  $V_0 = 10^4$  bis  $10^6$
- Eingangswiderstand  $r_E \geq 1M\Omega$
- Ausgangswiderstand  $r_a = 10 \dots 1000\Omega$
- Untere Grenzfrequenz bei 0 Hz, obere zwischen 10 Hz und 10 kHz
- Verzerrung/Übersteuerung bei zu großem Eingangssignal

# Berechnung

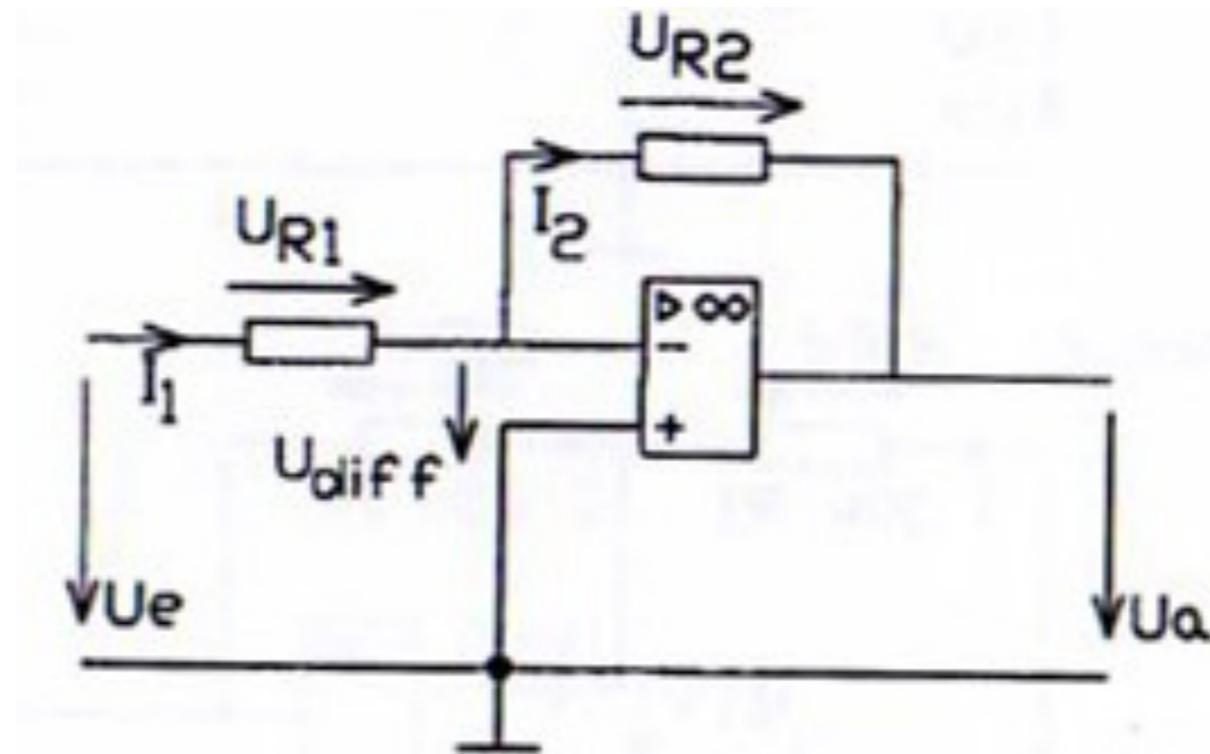
- Ersatzschaltbild des Operationsverstärkers anfertigen
- Idealer OpAmp: gesteuerte Spannungsquelle
- Knoten- oder Maschenregel anwenden
- Verhältnis von  $U_a$  zu  $U_e$  errechnen
- Verstärkungsfaktor  $v = \frac{U_a}{U_e}$

# Ersatzschaltbild



<http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>

# Invertierender Verstärker



Annahme: Idealer OpAmp  $U_{diff} = 0$

# Berechnung

$$U_{diff} = 0 \rightarrow I_1 = I_2, U_{R_1} = U_e$$

$$I_1 = \frac{U_{R_1}}{R_1}$$

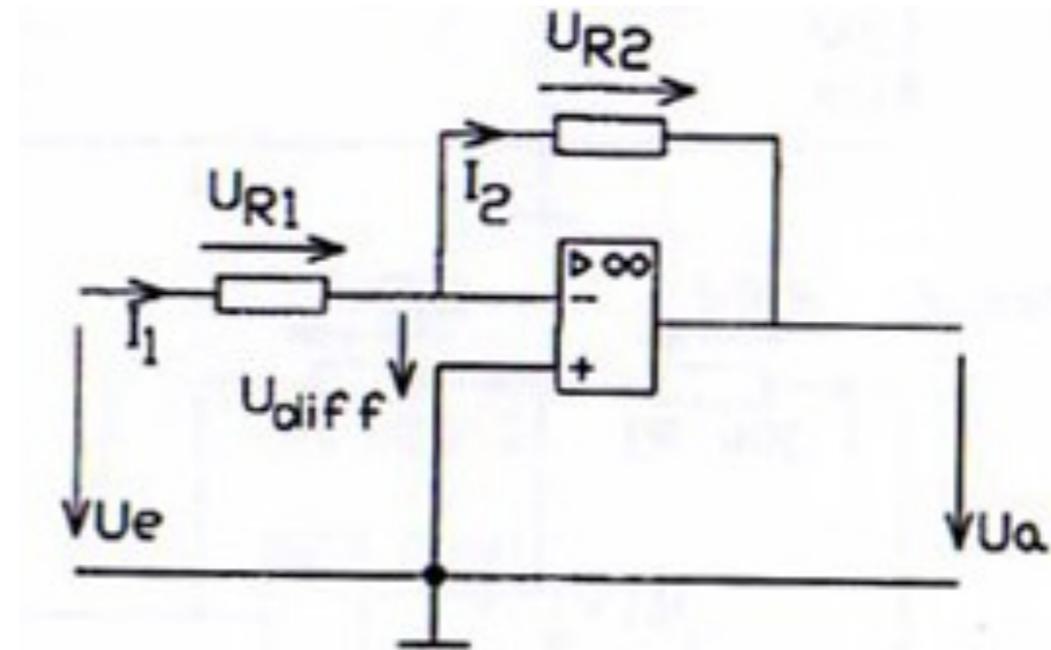
$$I_1 = I_2 = \frac{U_{R_2}}{R_2}$$

$$\frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_{R_2}}{R_2}$$

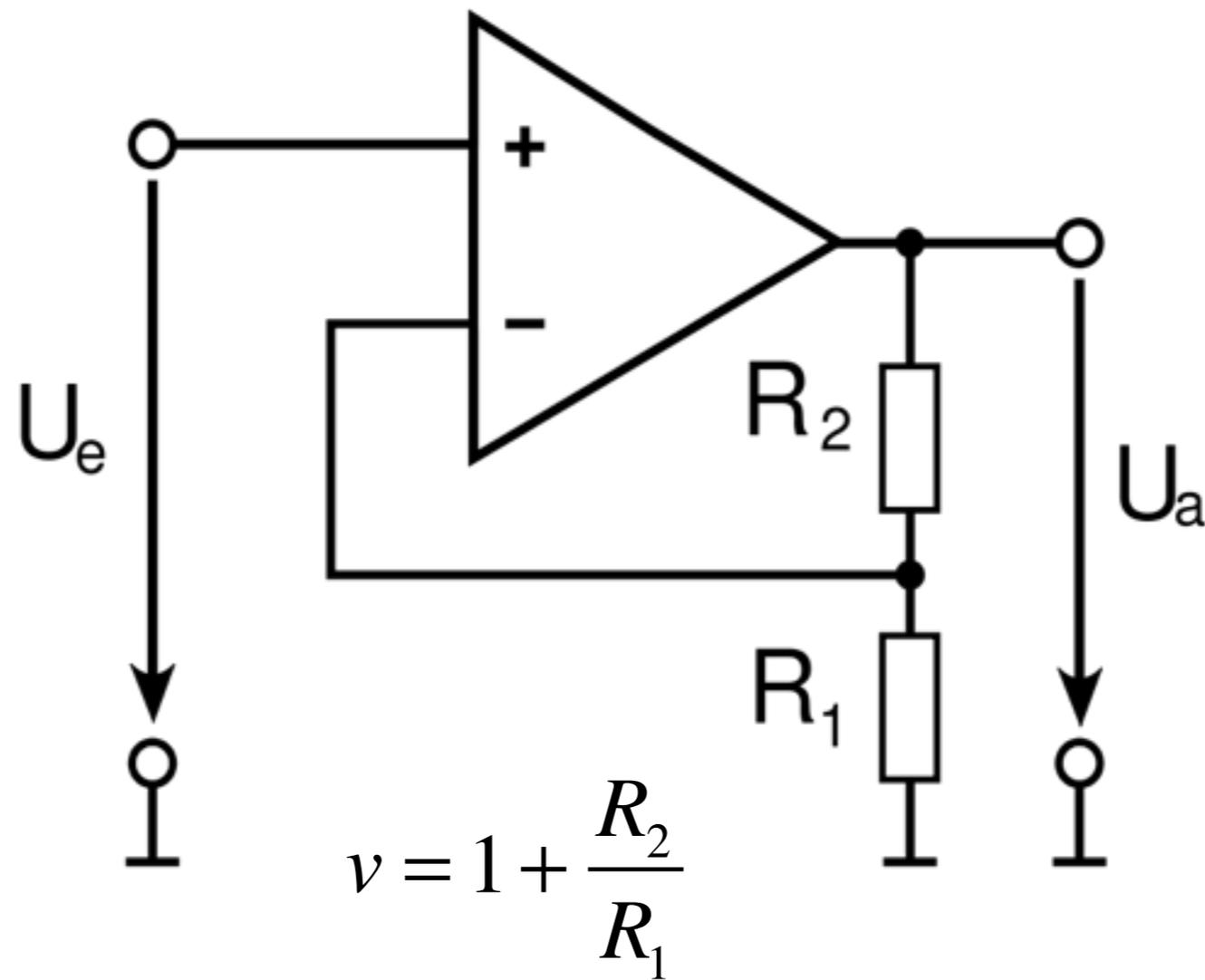
$$U_{R_2} = U_{R_1} \frac{R_2}{R_1} \rightarrow U_{R_2} = -U_a$$

$$-U_a = U_e \frac{R_2}{R_1}$$

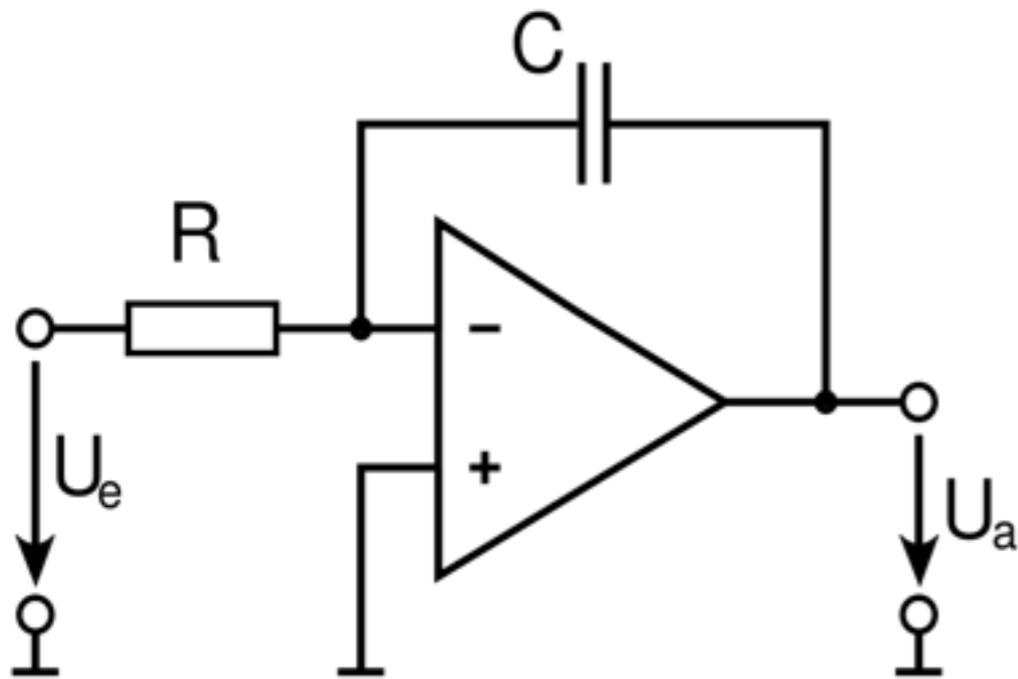
$$\frac{U_a}{U_e} = v = -\frac{R_2}{R_1}$$



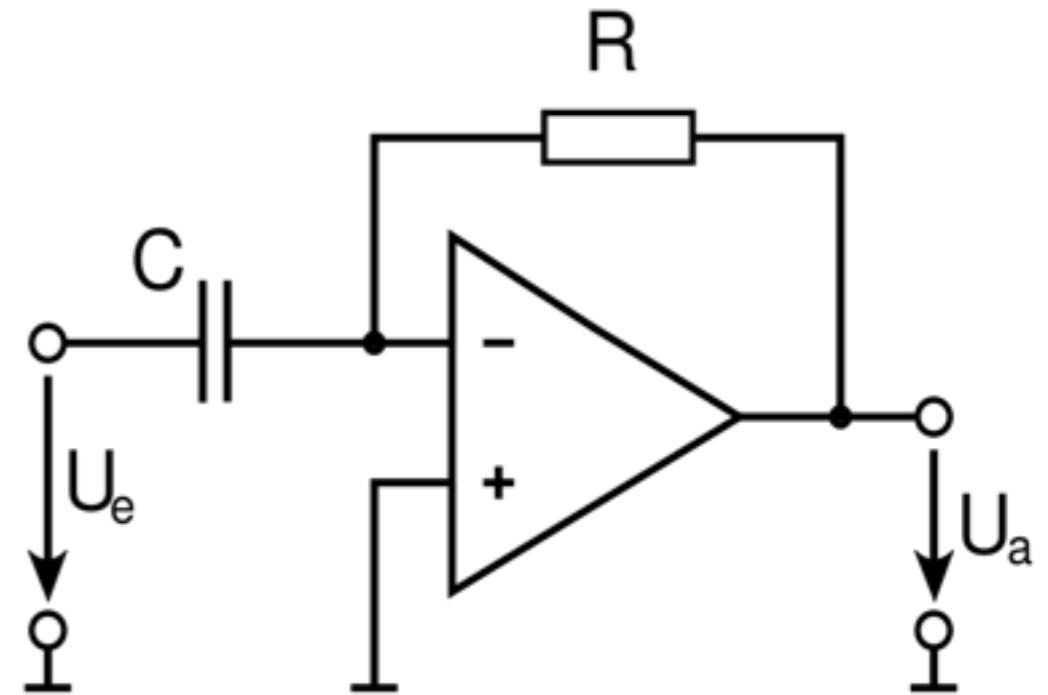
# Nicht invertierender Verstärker



# Integrierer und Differenzierer



$$U_a = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_e(t) dt + U_a(0)$$



$$U_a = -RC \frac{dU_e(t)}{dt}$$

# Anwendungsbeispiele

- Addierer/Subtrahierer
- Logarithmus/Exponentialfunktionen
- Oszillator/Filter
- Strom-Spannungs-Wandler

**Vielen Dank für euer  
Interesse!**

# Quellen

- Joachim Federau: Operationsverstärker, 4. Edition  
Vieweg, ISBN 3-8348-0183-8
- Übungsbuch Elektrische Messtechnik  
Springer, ISBN 3-540-21883-8
- Erwin Böhmer: Elemente der angewandten Elektronik  
ISBN 3-528-04090-4
- <http://www.eng.usf.edu/~saddow/eel3302/741.html>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0209092.htm>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>