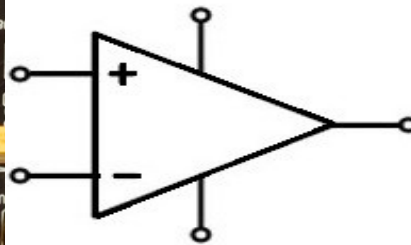
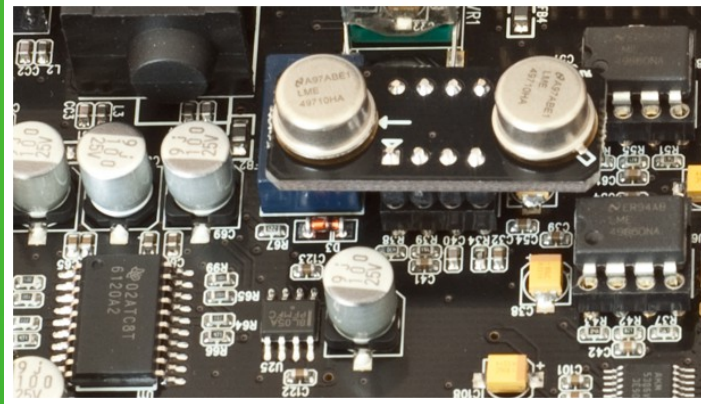
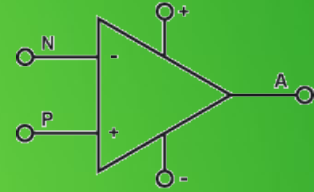
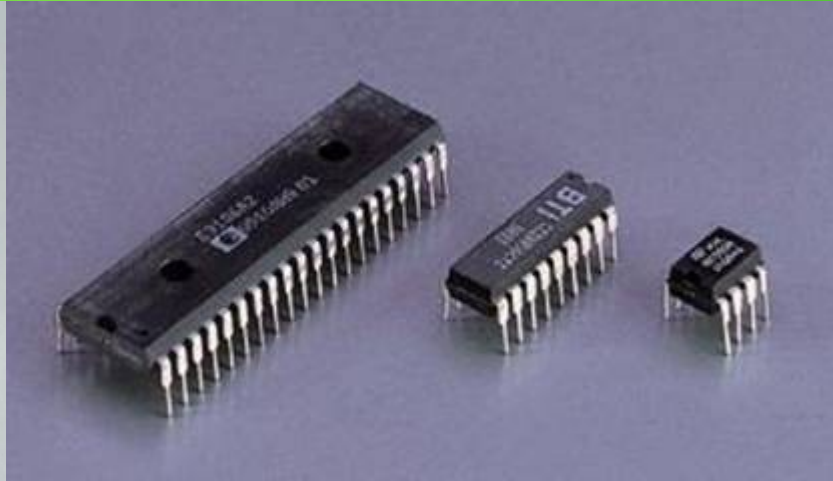
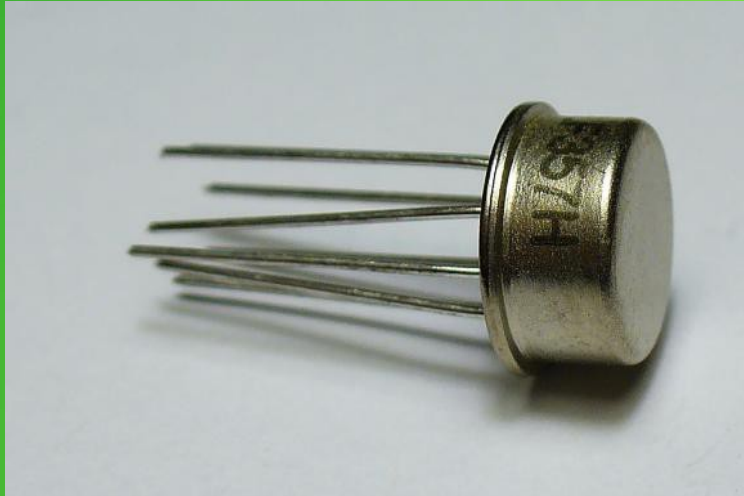
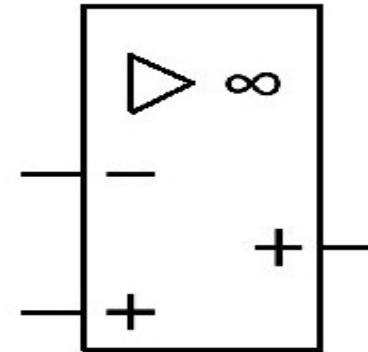


# Operationsverstärker (OPV)



altes  
Schaltzeichen



neues  
Schaltzeichen

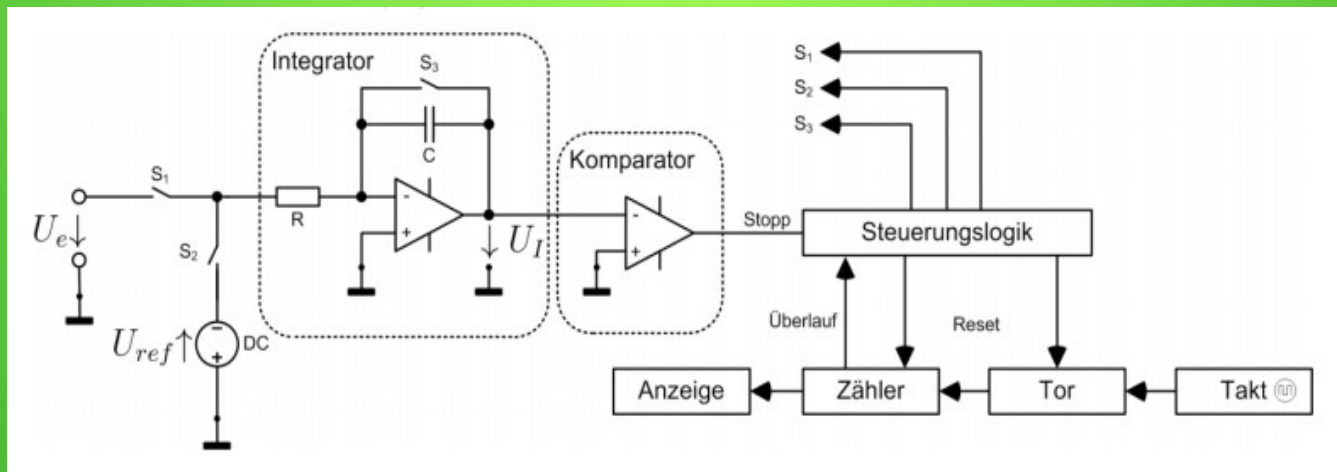
Kenan Bagci, 29.4.13  
Betreuer: Lennart

# Gliederung

1. Was ist ein OPV?
2. Geschichte
3. Funktionsweise
4. Idealer und realer OPV
5. Innenaufbau eines OPV
6. Anwendungsbeispiele
  - 6.1 Nichtinvertierender Verstärker
  - 6.2 Invertierender Verstärker
  - 6.3 Komparator
  - 6.4 Weitere Anwendungsbeispiele
7. Quellen

# 1. Was ist ein OPV?

- Wichtiges Bauelement zur Verarbeitung analoger Signale
- Vielzahl von mathematischen Operationen realisierbar:
  - Addition, Subtraktion, Multiplikation Division, Logarithmieren etc.
- Anwendungsbereich des OPV sehr breit
  - Bsp: Dual-Slope-Verfahren:



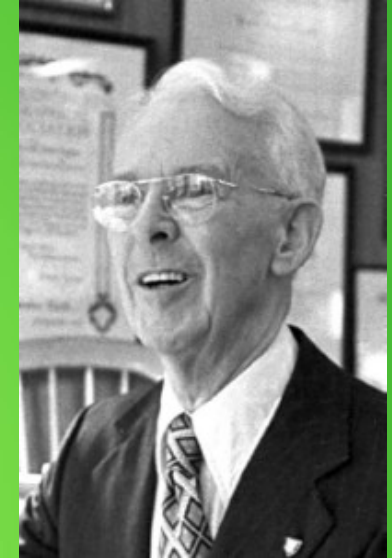
# 1. Was ist ein OPV?

- Weitere Anwendungsbeispiele:
  - Spannungs-Strom-Wandler, Strom-Spannungswandler, Verstärker, Signalgenerator etc.
- Nachfrage sehr hoch  $\longrightarrow$  werden in großen Stückzahlen hergestellt  $\longrightarrow$  niedriger Preis
  - Bsp.:  $\mu$ A741 schon ab 0,21€ zu erhalten



## 2. Geschichte

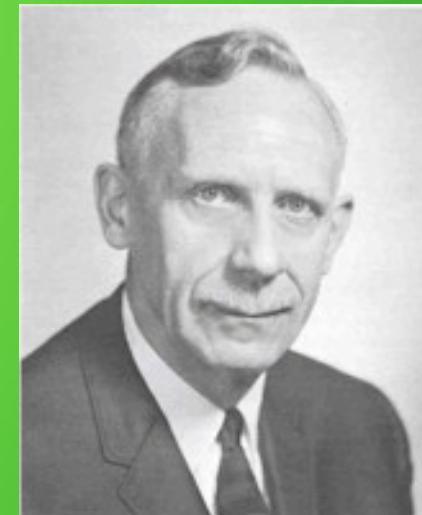
- 1930: erste OPV mithilfe von Elektronenröhren
- Wehrtechnische Anwendung im 2. Weltkrieg
- Ende 1950er: Verwendung von Transistoren in OPV
  - Produktionskosten, Stromverbrauch und Schaltzeiten sanken erheblich



Harry Nyquist



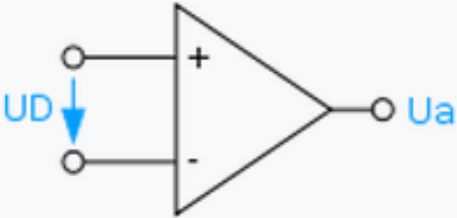
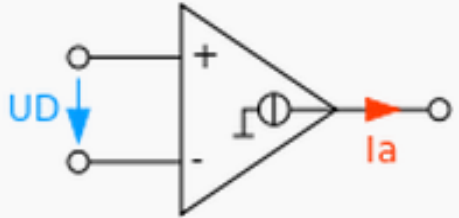
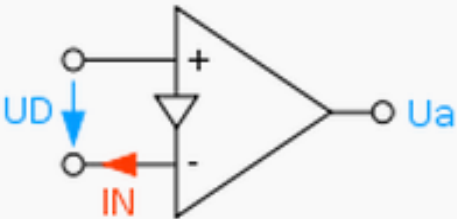
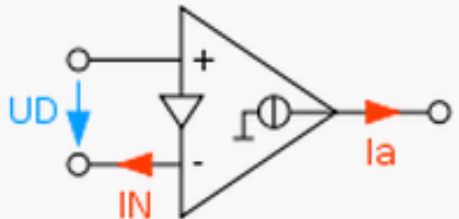
Hendrik Wade Bode



## 2. Geschichte

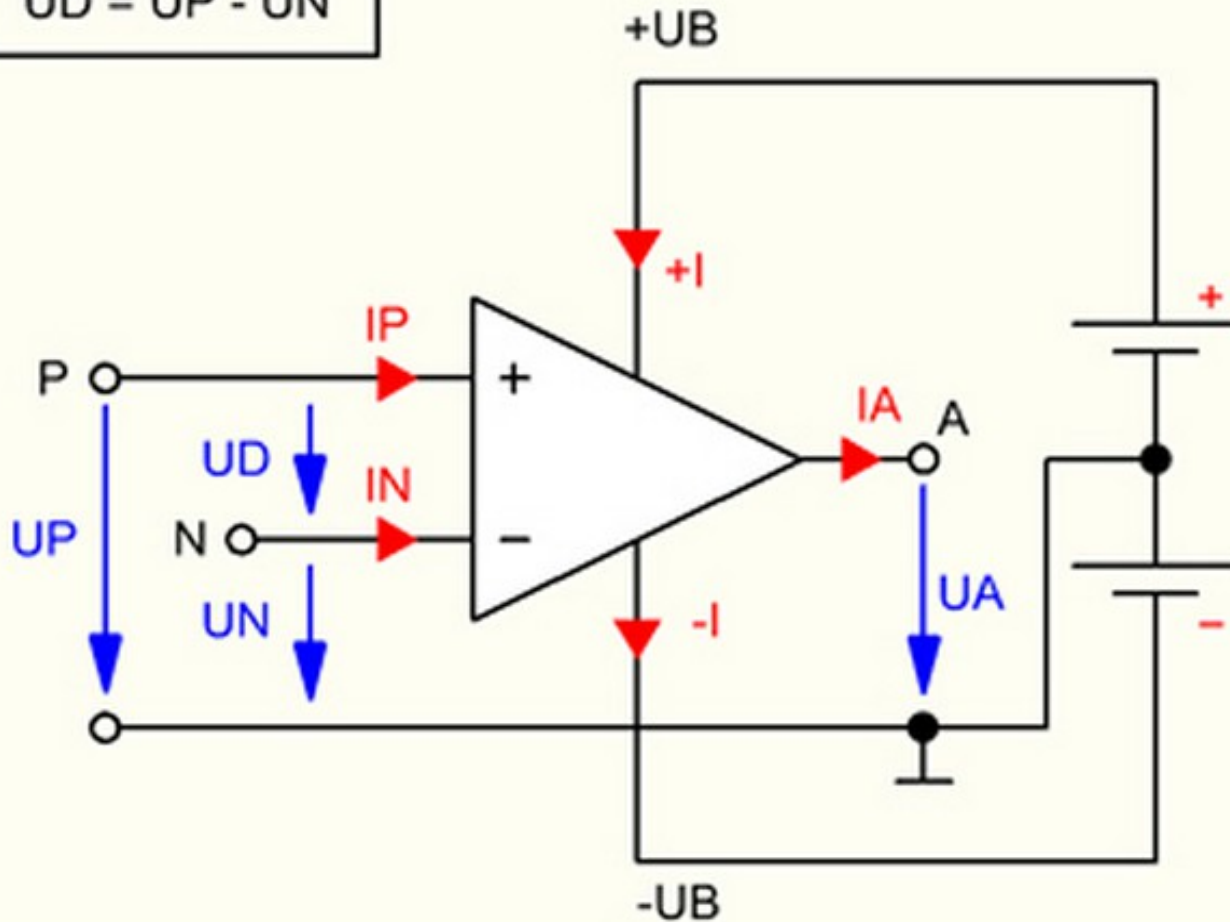
- Ab 1968: kommerzieller Erfolg des OPV
- OPV werden seitdem in ihren mechanischen und elektrischen Eigenschaften verbessert
- $\mu$ A741 (1968 entwickelt) wird heute noch produziert
- Je nach Erfordernis kommen BIP, JFETS und MOSFETS zum Einsatz

# Varianten des OPV

|                  | Spannungsausgang   | Stromausgang   |
|------------------|--|--|
| Spannungseingang | <p>(Herkömmlicher) Operationsverstärker (VV-OPV)</p>  <p><math>U_a = A_D U_D</math></p>               | <p>Transkonduktanzverstärker (VC-OPV)</p>  <p><math>I_a = S_D U_D</math></p>  |
| Stromeingang     | <p>Stromrückgekoppelter Operationsverstärker (CV-OPV)</p>  <p><math>U_a = I_N Z = A_D U_D</math></p> | <p>Stromverstärker (CC-OPV)</p>  <p><math>I_a = k_I I_N = S_D U_D</math></p> |

# 3. Funktionsweise des OPV

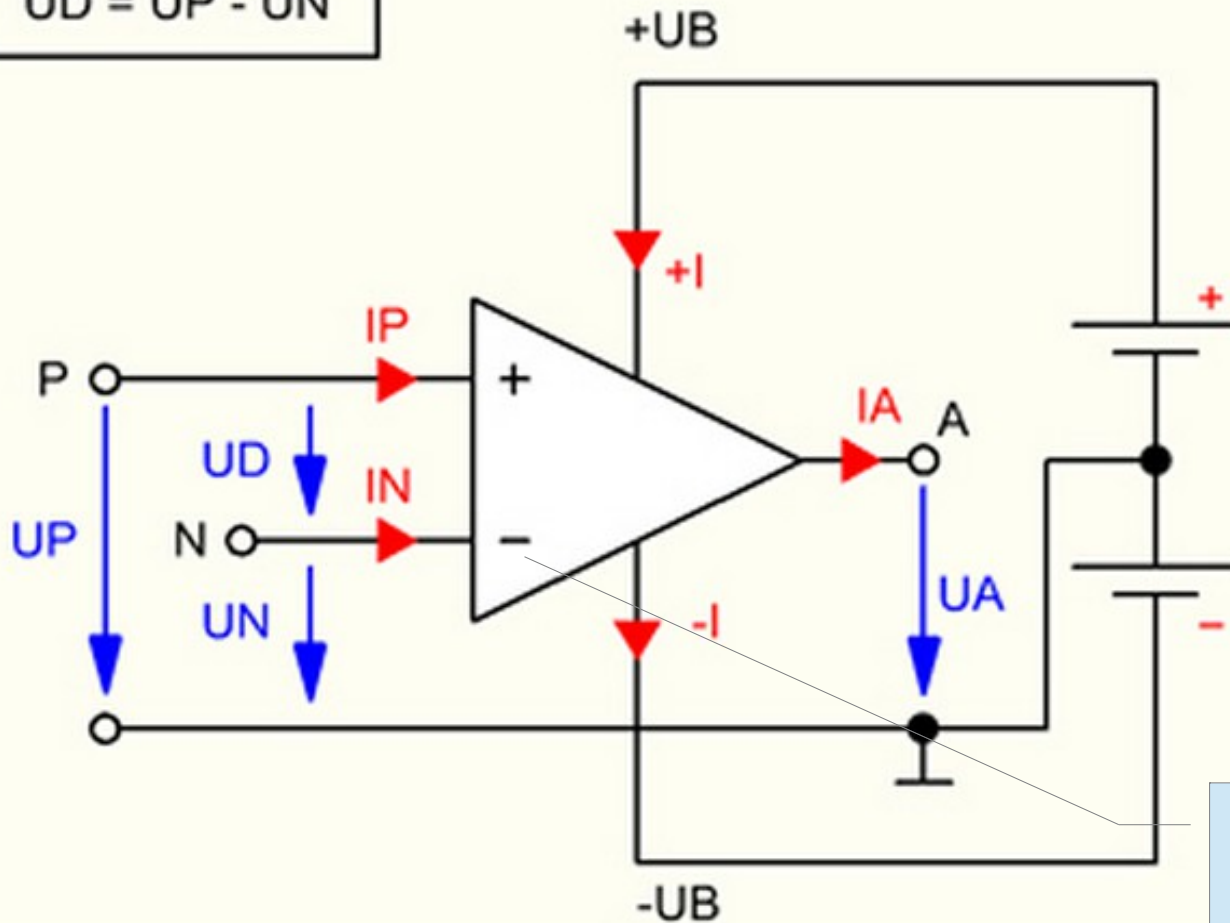
$$U_D = U_P - U_N$$





# 3. Funktionsweise des OPV

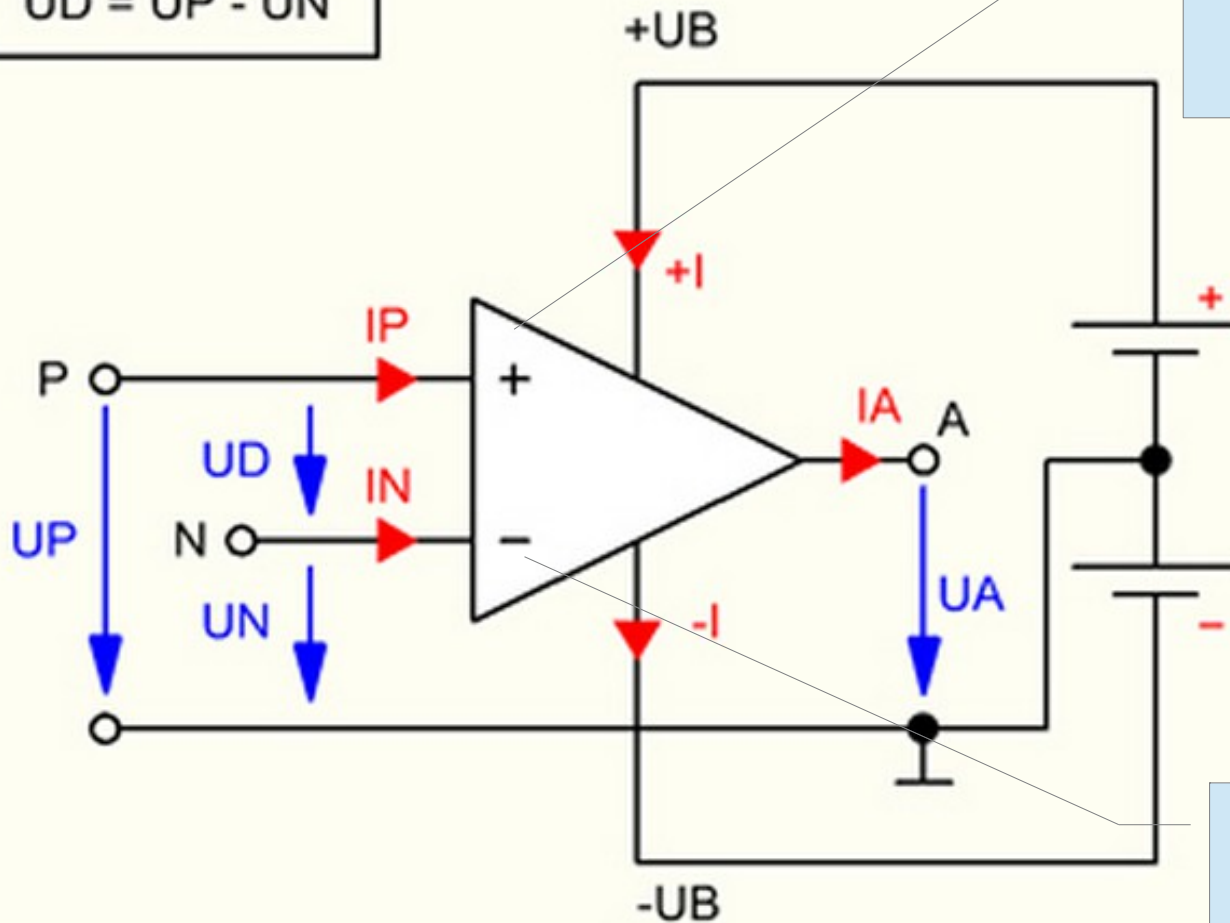
$$U_D = U_P - U_N$$



Invertierender  
Eingang N

# 3. Funktionsweise des OPV

$$U_D = U_P - U_N$$

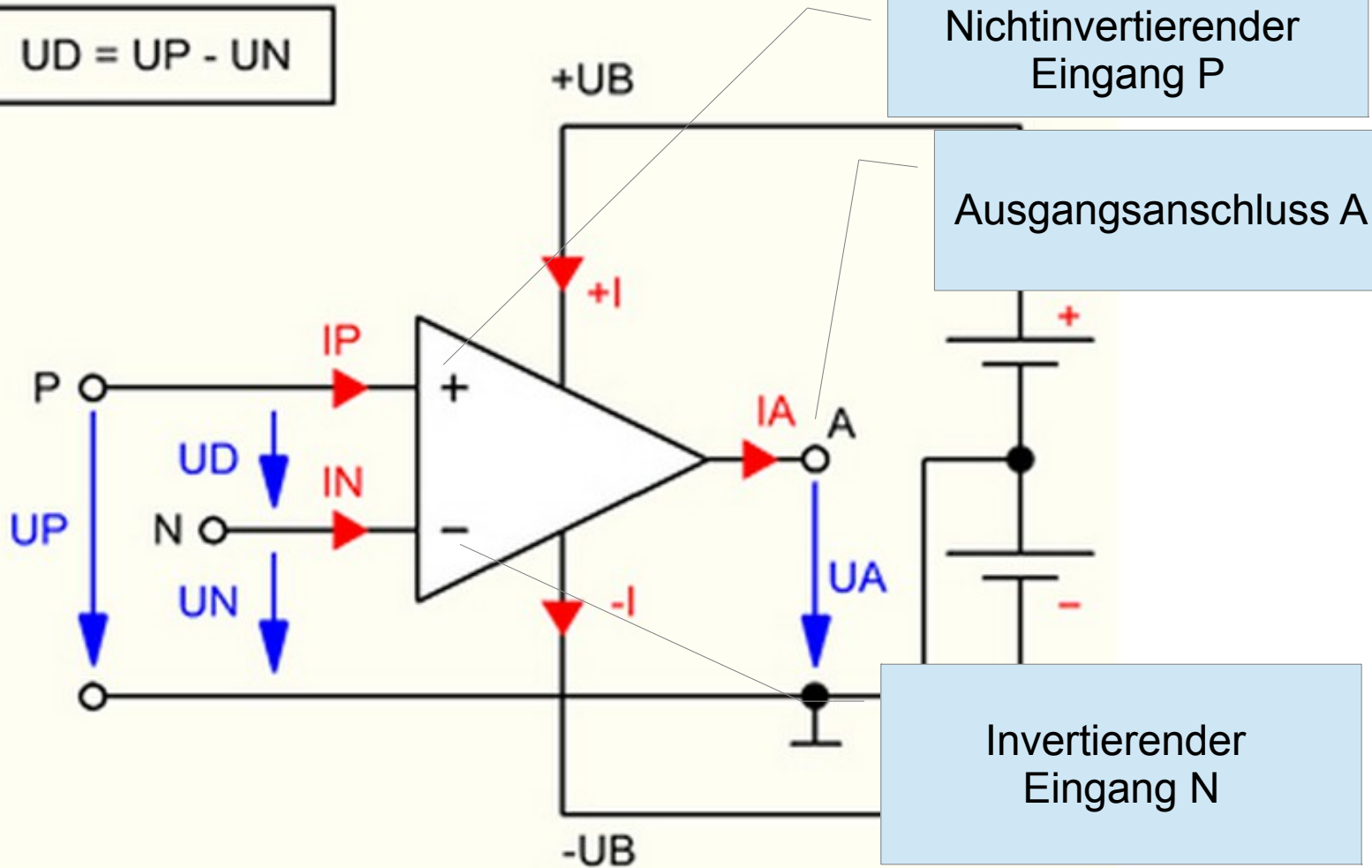


Nichtinvertierender Eingang P

Invertierender Eingang N

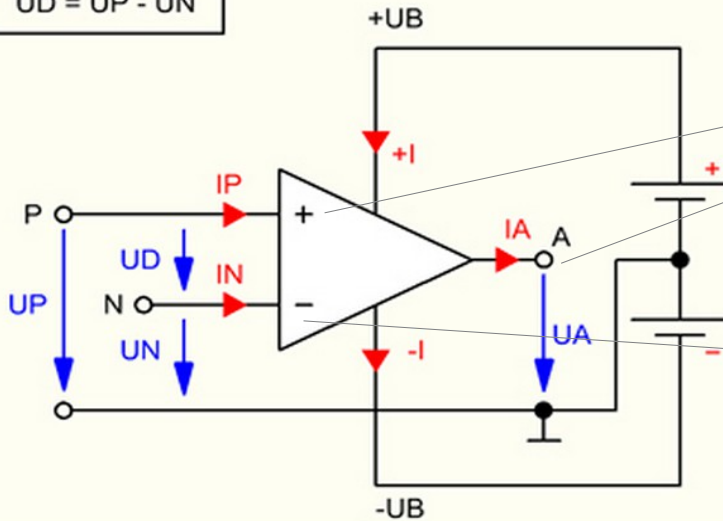
# 3. Funktionsweise des OPV

$$U_D = U_P - U_N$$



# 3. Funktionsweise des OPV

$$U_D = U_P - U_N$$



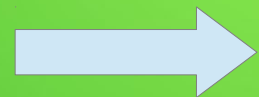
Ausgangsanschluss A

Nichtinvertierender Eingang P

Invertierender Eingang N

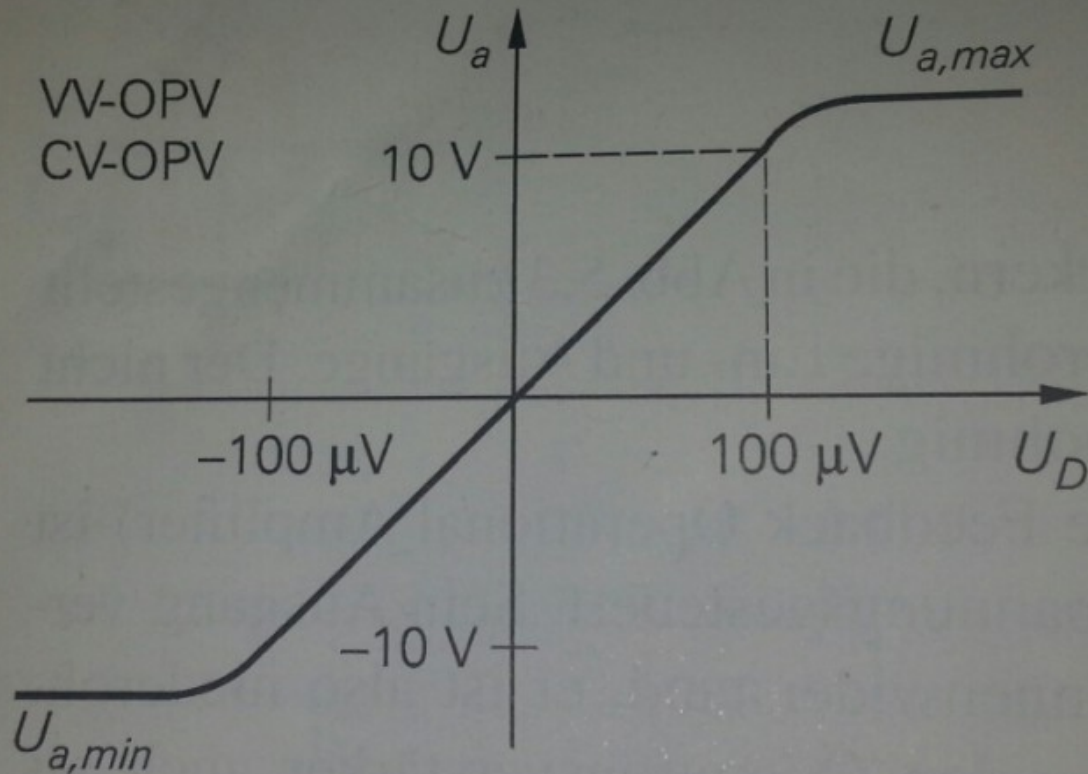
- OPV verstärkt die Spannungsdifferenz  $U_D$  um den Faktor  $V$  (Verstärkungsfaktor)

$$U_D = U_P - U_N$$



$$U_A = V (U_P - U_N) = V U_D$$

# Kennlinie des OPV



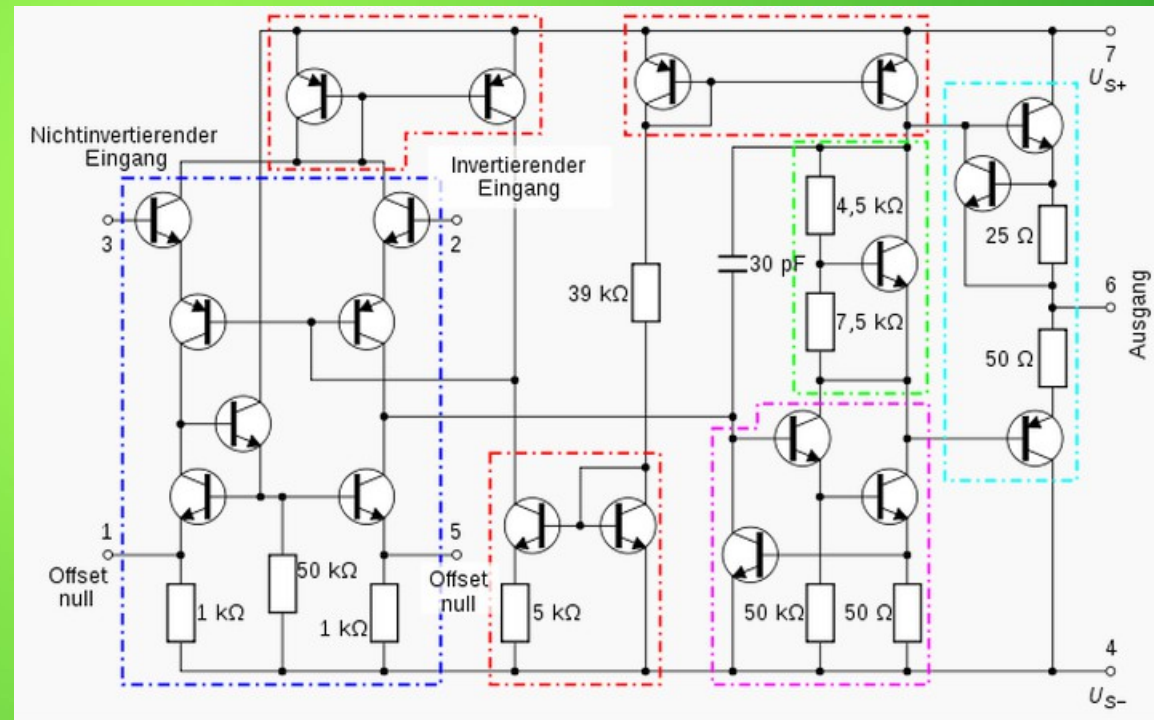
**a** Verstärker mit Spannungsausgang

# 4. Idealer und Realer OPV

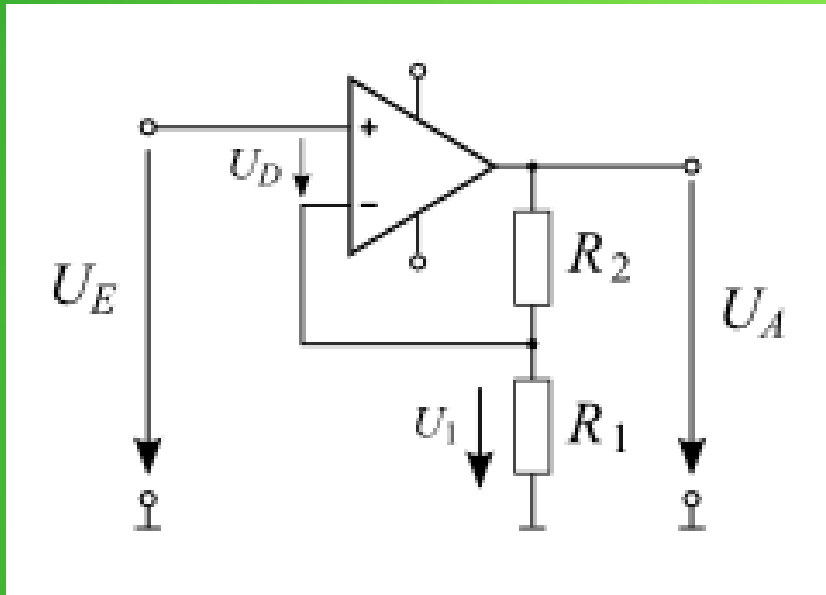
| Eigenschaft          | Idealer OPV             | Realer OPV                          |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Eingangswiderstand   | $\infty$                | $\leq 100 \text{ M}\Omega$          |
| Eingangsstrom        | $0 \text{ A}$           | $\approx 100 \text{ nA}$            |
| Ausgangswiderstand   | $0 \Omega$              | $\approx 20 \Omega$                 |
| Aussteuerungsbereich | $-U_b \leq U \leq +U_b$ | $-U_b + U_v \leq U \leq +U_b - U_v$ |

# 5. Innenaufbau eines OPV

- OPV bestehen grob aus drei Stufen:
  1. Vorverstärkersufe
  2. Verstärkerstufe
  3. Endstufe
- Betrachtung als „Black-Box“ reicht für uns vollkommen aus!



# 6.1 Nichtinvertierender Verstärker

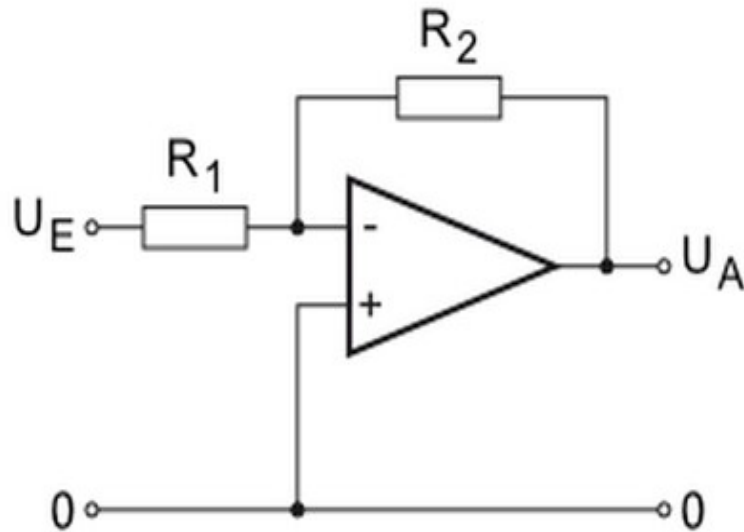


- $R_2$  verbindet Ausgangsspannung mit invertierenden Eingang → Gegenkopplung
- Eingangsspannung wird in den nichtinvertierenden Eingang eingespeist

$$U_A = U_E \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



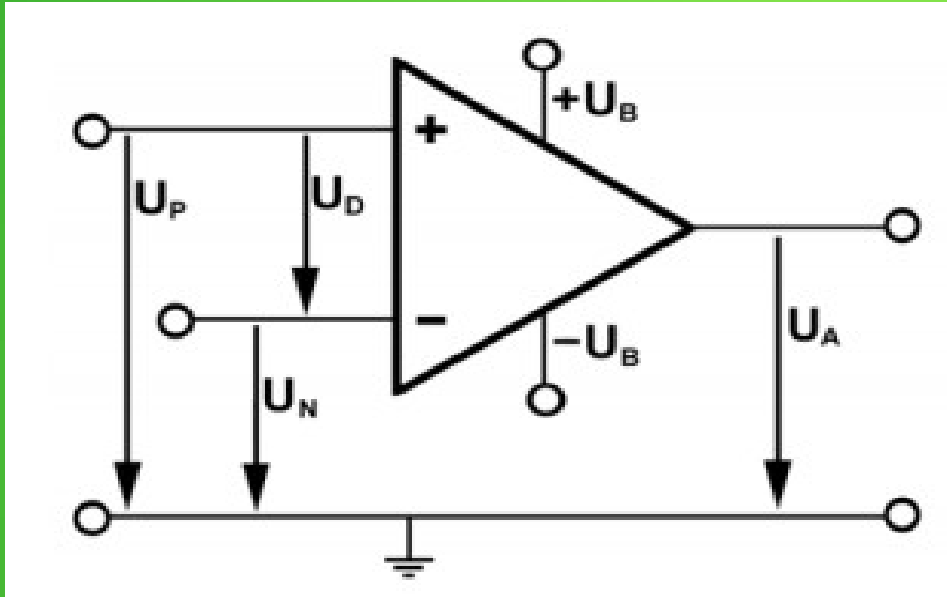
## 6.2 OPV als invertierender Verstärker



$$U_A = U_E \left( -R_2 / R_1 \right)$$

- R2 verbindet invertierenden Eingangs mit Ausgang  
→ Gegenkopplung
- Über R1 wird U<sub>E</sub> eingespeist
- Nichtinvertierender Eingangs ist auf Masse

## 6.3 Komparator



$$U_P > U_N \rightarrow U_A = +U_{max}$$

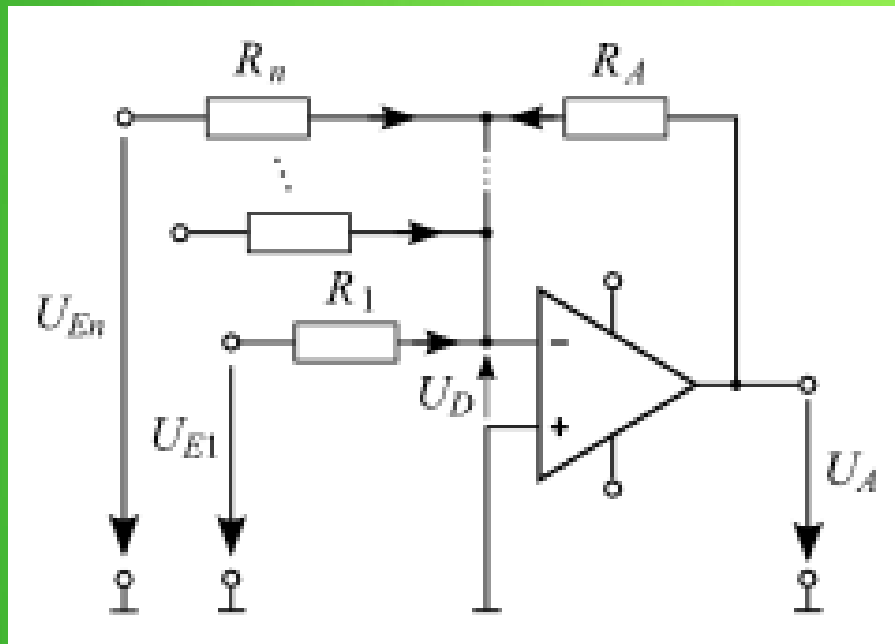
$$U_P < U_N \rightarrow U_A = -U_{max}$$

$$U_P = U_N \rightarrow U_A = 0V$$

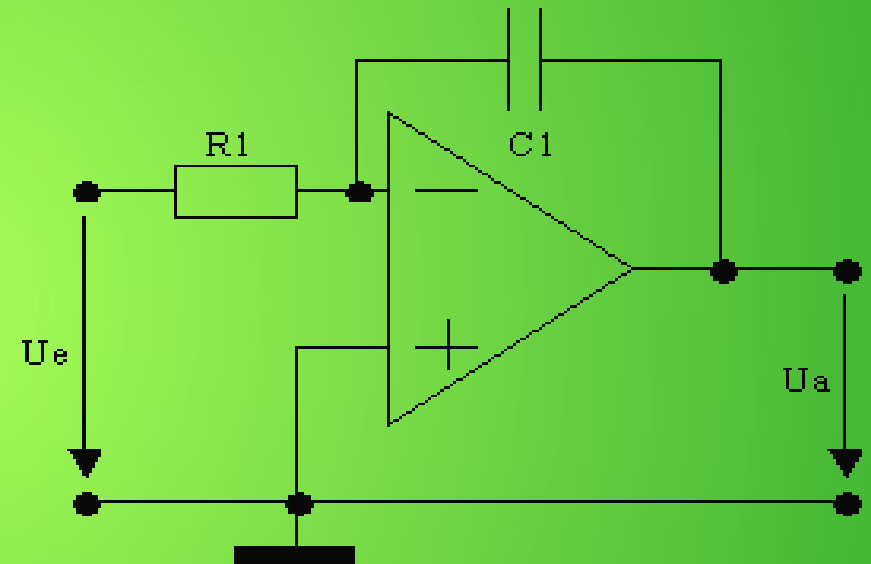
- OPV kann ohne äußere Beschaltung als Komparator verwendet werden
- Nachteil: Übersteuerung schon bei kleinen Spannungsveränderungen

# 6.4 Weitere Anwendungsbeispiele

## Addierer



## Integrator



Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!



**Fragen?**

# 7. Quellen

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-versuchsanleitungen/Operationsverstaerker-Vorbereitungshilfe.pdf>

<http://ueberm-hofe.de/opv.pdf> [http://www.mdt.tuberlin.](http://www.mdt.tuberlin.de/fileadmin/fg184/Lehre/Messtechnik/Vorlesung/MT1_Kap_5.pdf)

[de/fileadmin/fg184/Lehre/Messtechnik/Vorlesung/MT1\\_Kap\\_5.pdf](http://www.mdt.tuberlin.de/fileadmin/fg184/Lehre/Messtechnik/Vorlesung/MT1_Kap_5.pdf)

[http://service.projektlabor.tuberlin.](http://service.projektlabor.tuberlin.de/projekte/spannungswaechter/material/handout_opv_stephan.pdf)

[de/projekte/spannungswaechter/material/handout\\_opv\\_stephan.pdf](http://service.projektlabor.tuberlin.de/projekte/spannungswaechter/material/handout_opv_stephan.pdf) [http://lp.unigoettingen.](http://lp.unigoettingen.de/get/text/4456)

[de/get/text/4456](http://lp.unigoettingen.de/get/text/4456)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverst%C3%A4rker>

Ulrich Tietze, Christoph Schenk - Halbleiter - Schaltungstechnik