

# Operationsverstärker

## Inhalt des Referats:

### Allgemeines

- Was ist OPV?
- Woher der Name?

### Aufbau und Eigenschaften des OPVs

- Kenndaten idealer – und realer OPV
- Verstärkung

### Grundschaltungen

- Differenzverstärker
- Komparator
- Schmittträger

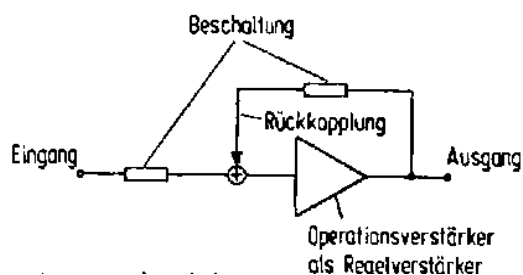
### Anwendung

#### Allgemeines:

Ein Operationsverstärker ,kurz OPV , ist ein aktives Element ,das man als Bauelement betrachten sollte.  
Der Name OPV kommt auf sein Einsatzgebiet in den Analogrechnern. Früher wurden sie nur zur Durchführung mathematischer Operationen verwendet. Die am häufigsten am Analogrechner vorkommenden Rechenoperationen sind das Addieren , Integrieren und Multiplizieren. Zu diesem Zweck werden OPV mit Widerständen , Kondensatoren beschalte.

#### Aufbau und Eigenschaften des Operationsverstärker:

Zwischen einen normalen Verstärker und einem OPV besteht im Grunde kein Unterschied.  
Beide dienen dazu Spannungen bzw. Leistungen zu verstärken. Während die Eigenschaften eines normalen Verstärkers jedoch durch seinen inneren Aufbau vorgegeben sind ,ist ein OPV so beschaffen ,dass seine Wirkungsweise überwiegend durch eine äußere Gegenkopplungs-Beschaltung bestimmt werden kann.  
Bei den meisten Anwendungen ist die Beschaltung eine Rückkopplungsschaltung.  
Die Ausgangsspannung wird über die Beschaltung des OPV auf dessen Eingang zurückgeführt. Und wenn die Rückkopplung negativ, d.h. eine Gegenkopplung ist ,so findet ein Soll-Ist-Vergleich zwischen den Spannungen am Eingang und Ausgang statt. Hat die Ausgangsspannung nicht den durch die Beschaltung vorgesehenen Wert , so hat der OPV die Aufgabe ,den Ausgang auf den entsprechenden Wert einzustellen.



#### Kenndaten idealer –und realer OPV

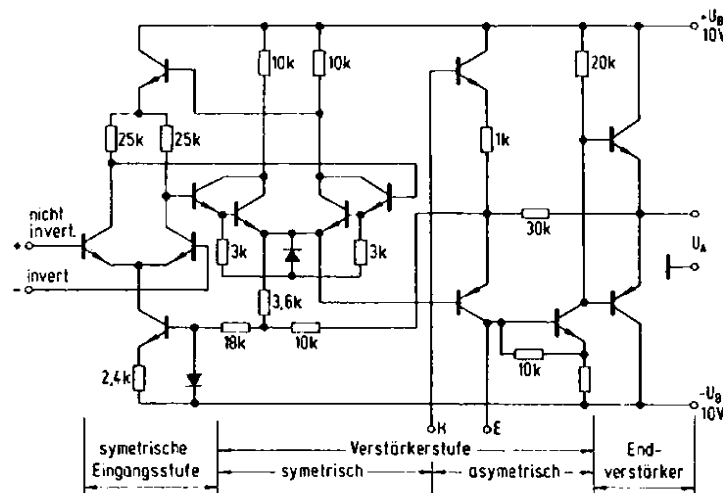
Von den idealen Daten eines OPV sind diejenigen der Praxis mehr oder weniger weit entfernt .Was verstehen wir unter idealen Daten ?Die folgende Tabelle zeigt uns eine Gegenüberstellung der wichtigsten Eigenschaften eines idealen OPVs und eines realen.

Idealer Operationsverstärker	Parameter	Realer Operationsverstärker
Unendlich	Eingangswiderstand: $Z_e$	$>1 \text{ M}\Omega$ bei bipolaren OPV
Null	Eingangsruhestrom: $I_r$	$\text{mA}$ bei bipolaren OPV
Null $\Omega$	Ausgangswiderstand: $Z_a$	$<10 \Omega$
Unendlich	Frequenzbereich:	$0 \dots >100 \text{ MHz}$
Null	Offsetgrößen: $U_{off}$ , $I_{off}$	$<0,5 \text{ mV}$ , $<0,3 \text{ nA}$

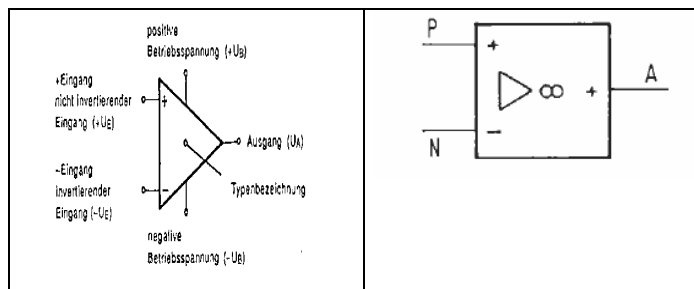
Unendlich	Temperaturdrift:	$<0,5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Null	Slewrate:	bis über $600\text{ V}/\mu\text{s}$
Unendlich	Ausgangsstrom: $I_{a\text{ max.}}$	Bis $25\text{mA}$ , in Sonderfälle bis $100\text{mA}$
Unendlich	Gleichtaktunterdrückung: CMRR	$>1 \times 10^6$
Unendlich	Spannungsverstärkung: $V_u$	$1 \dots 500$ ; für Betriebe $\geq \text{dB}$ ohne Gegenkopplung

#### Schaltung des Operationsverstärker und seine Bezeichnungen

In der folgenden Abbildung wird ein OPV in diskreter Bauweise gezeigt. Grundsätzlich ist hier folgendes zu erkennen: Der OPV besteht aus den beiden Eingängen  $+UE$  (nicht invertierend oder  $+$  Eingang) und  $-UE$  (invertierend oder  $-$  Eingang). Beide Eingänge gehören zu der symmetrischen Eingangsstufe, dem Differenzverstärker. Der Ausgang des Differenzverstärkers steuert einen weiteren Verstärker und Treiber an, der wiederum die Endstufe aussteuert. Es ist weiter zu erkennen, dass symmetrisch zum Ausgang und zum Eingang eine positive und eine negative Betriebsspannung vorliegt. Der nach dem Differenzverstärker aufgebaute Verstärker besitzt oft noch Hilfseingänge für Offsetkompensation und für Frequenzkompensation.

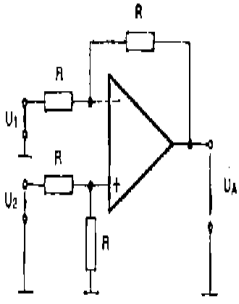
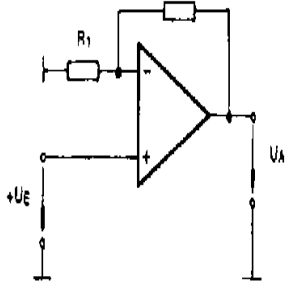
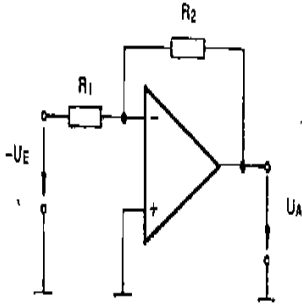


In der nächsten Abbildung wird das Symbol des OPVs mit den wichtigen fünf Anschlüssen zu sehen. Diese fünf Anschlüsse tragen je nach Literaturherkunft unterschiedliche Bezeichnungen.



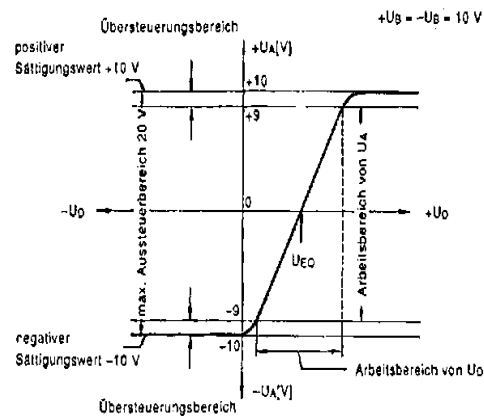
#### Grundsaltungen

Die folgende Bilder stellen die wichtigsten Grundsaltungen für OPV dar. Die Formel für die Berechnung der Schaltungen legen einen „idealen“ OPV zugrunde. Im interessierende Frequenzbereich weicht das Verhalten von Schaltungen mit „realen“ OPV meist nur wenig von diesem idealen Verhalten ab.

 <p>Eingangswiderstände: bei <math>E_1 = R</math> und bei <math>E_2 = 2R</math>  Ausgangsspannung: <math>U_A = U_2 - U_1</math>  Verstärkungen: <math>A_1 = -1</math> <math>A_2 = +1</math></p>	 <p>Eingangswiderstand <math>\rightarrow \infty</math>  Ausgangsspannung: <math>U_A = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_E</math>  Verstärkung: <math>A = 1 + \frac{R_2}{R_1}</math></p>	 <p>Eingangswiderstand <math>= R_1</math>  Ausgangsspannung: <math>U_A = -\frac{R_2}{R_1} U_E</math>  Verstärkung: <math>A = -\frac{R_2}{R_1}</math></p>
--	--	---

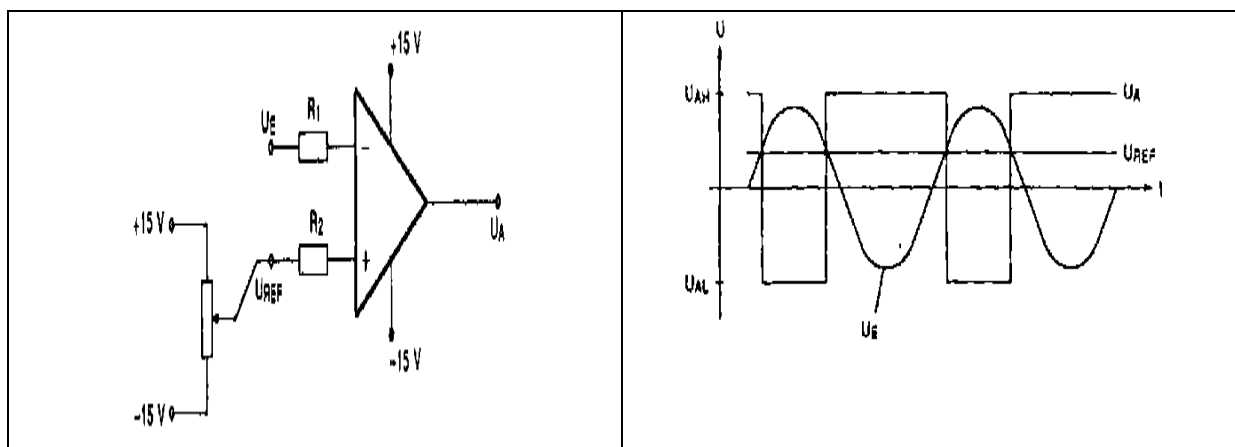
### Verstärkung

Mit der Leerlaufspannungsverstärkung  $AOL$  liegt auch die Aussteuerbarkeit am Ausgang des OPVs fest ( $AOL = U_A / U_D$ ). Das folgende Bild zeigt den Zusammenhang zwischen der Differenzeingangsspannung  $U_D$  und der Ausgangsspannung  $U_A$  bei einer gegebenen Leerlaufspannungsverstärkung und den Einfluss der Eingangs- Offsetspannung  $U_{EO}$ .



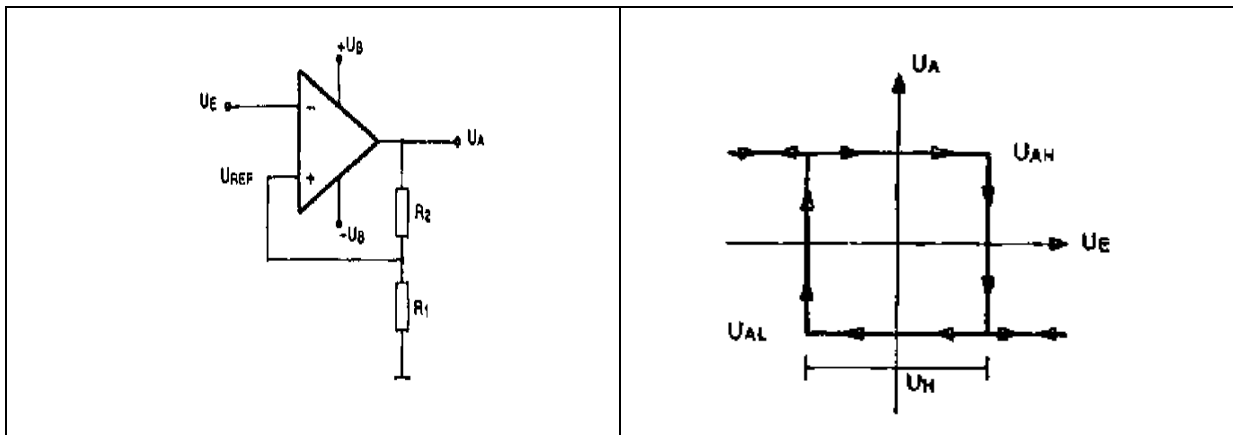
### Komparator

Komparator ist ein integrierter Baustein, der hauptsächlich zum Vergleich von Spannungen eingesetzt wird. Es wird eine Eingangsspannung  $U_E$  mit einer Referenzspannung  $U_{REF}$  verglichen. Das Resultat dieses Vergleiches soll dann möglichst schnell am Ausgang der Schaltung angezeigt werden.



Wird die Spannung  $U_E$  größer oder kleiner als die Referenzspannung  $U_{REF}$ , so ändert sich die Ausgangsspannung sprunghaft. Wird der Komparator mit  $\pm 15 \text{ V}$  betrieben, so springt die Ausgangsspannung entweder auf  $+15 \text{ V}$  oder auf  $-15 \text{ V}$ . Wird die Referenzspannung exakt auf  $0 \text{ V}$  eingestellt oder überhaupt weggelassen, so erhält man eine Schaltung für einen sogenannten Nullspannungskomparator.

### Schmitt - Trigger oder Komparator mit Hysterese



In der Nähe des Umschaltpunktes genügt bereits eine kleine Änderung der Eingangsspannung, um den Komparator in einer der beiden Sättigungsspannungen zu treiben. Daher könnten kleinste Störspannungen oder Rauschen, die dem Eingangssignal überlagert sind, zu mehrfachem undefinierten Hin – und Herkippen des Ausgangs führen. Durch Einführen einer positiven Rückkopplung (Mitkopplung), wobei die Schleifenverstärkung größer als Eins sein muss, erhält man eine Schaltung mit Kippverhalten. Da diese Kopplung gleichspannungsmäßig erfolgt, kippt diese Schaltung auch dann einwandfrei, wenn die Eingangsspannung beliebig langsam ansteigt oder abfällt. Diese Schaltung ist als Schmitt – Trigger – Schaltung bekannt.

Durch die Mitkopplung entsteht ein oberer ( $U_{EH}$ ) und unterer Schwellwert ( $U_{EL}$ ), die Differenz der beiden Spannungen wird als Hysteresspannung bezeichnet.

Die Schwellwerte für die Schaltpegel lassen sich wie folgt errechnen:

Einschaltpegel:  $U_{EIN} = (1 + R_1/R_2) \cdot U_{AH}$

Ausschaltpegel:  $U_{AUS} = (1 + R_1/R_2) \cdot U_{AL}$

Für die Hysteresspannung gilt  $U_H = (1 + R_1/R_2) \cdot (U_{AH} - U_{AL})$ .

### Spannungsfolger

Ist ein Sonderfall des Elektrometer – Verstärkers mit Verstärkung Eins. Er benutzt zur Entkopplung von Schaltungsstufen.

### Anwendungsgebiete für OPV

Analogtechnik:

- Addierer, Differentiator, Funktionsgenerator...

Steuerungs- und Regelungstechnik:

- Komparator, I-Regler, P-Regler...

Messtechnik:

- Amperemeter mit kleinem Innenwiderstand, Ohmmeter mit linearer Skala...

Literaturen:

- Operationsverstärker „Eigenschaften und Anwendungen in linearen und nichtlinearen Schaltungen“  
Von H. Vahldiek
- Operationsverstärker Praxis  
Von Nährmann
- Halbleiterschaltungstechnik  
Von U. Tietze, Ch. Schenk
- Skript Grundlagen der Elektrotechnik II „Analoge Schaltungstechnik“