

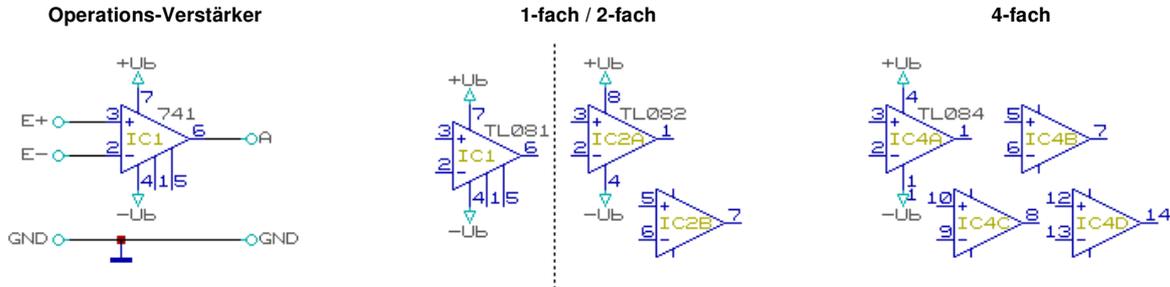
**Elektroniklabor**  
**Karl Heinz Domnick**  
 Großbüllesheimer Straße 14  
 D-53881 Euskirchen-Gbh

Fon: +49 (0) 22 51 - 14 79 29  
 Fax: +49 (0) 22 51 - 14 79 30  
 eMail: info@domnick-elektronik.de  
 Internet: www.domnick-elektronik.de

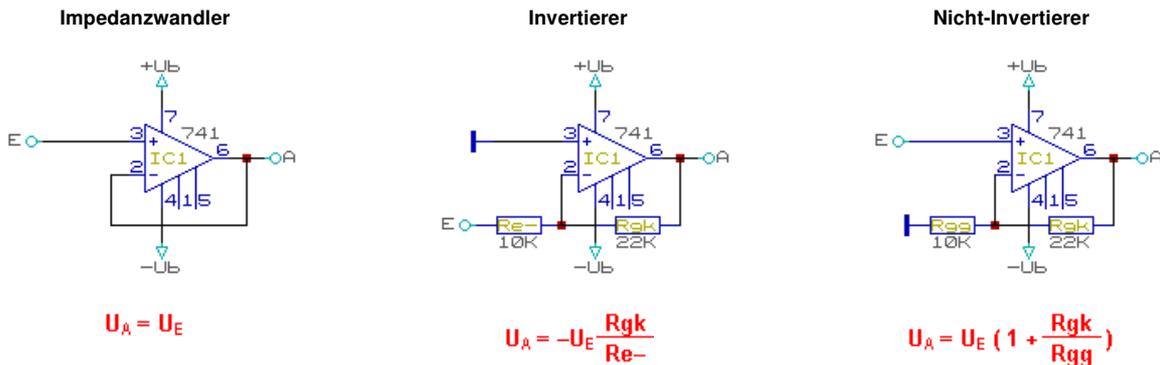
[Home](#) | [Elektronikseiten](#) | [HobbyElektronik](#) | [Elektroniklabor](#) | [Links](#) | [Impressum](#) | [AGB](#) | [Haftungsausschluß](#) | Aktuell: 23.01.2006 22:00 Uhr

## Operations-Verstärker / OpAmp-Grundschaltungen

Ein Operations-Verstärker, kurz OpAmp (Operation Amplifier), hat 2 Eingänge und einen Ausgang.  
 In vielen Schaltungen wird er mit einer positiven und negativen Versorgungs-Spannung betrieben, damit der Ausgang positiv und negativ werden kann. In Batterie-Geräten wird der OpAmp überwiegend asymmetrisch mit nur einer Spannung versorgt.  
 Eine Differenz an den beiden Eingängen des OpAmp wird sehr hoch verstärkt und zum Ausgang geführt.  
 Der Eingang mit dem Minus-Zeichen ist 'invertierend', der Eingang mit dem Plus-Zeichen ist 'nicht-invertierend'.  
 Ist die Differenz am invertierenden Eingang positiv, so ist die Ausgangs-Spannung negativ, also invertiert.  
 Ein Blick in Datenblätter von OpAmp's zeigt Verstärkungs-Faktoren von wenigen Tausend bis mehreren Zehn-Tausend. Gehen wir von einem Verstärkung-Faktor = 50.000 aus, dann ergibt eine Differenz von 1 Volt an den Eingängen multipliziert mit 50.000 = 50.000 Volt am Ausgang ??? Eine Differenz von 1 Millivolt \* 50.000 = 50 Volt ??? Die Versorgungs-Spannung beträgt doch höchstens 18 Volt.  
 18 Volt / 50.000 = 0,36 Millivolt Differenz an den beiden Eingängen reichen also aus, um am Ausgang eine Spannung annähernd der Versorgungs-Spannung zu erhalten. Die Ausgangs-Spannung kann bei 'normalen' OpAmp's allerdings nur bis auf ca. 2 Volt unterhalb der Versorgungs-Spannung ansteigen.  
 Was macht man mit einem Verstärker, der bei so geringer Eingangs-Spannung / Differenz bereits die maximal mögliche Ausgangs-Spannung erreicht ?  
 Vergleicher / Komparatoren, wo bei geringster Über- oder Unterschreitung eines Schwellwertes, was ja eine Umkehrung der Differenz an den beiden Eingängen zur Folge hat, der Ausgang z.B. von Plus nach Minus umschaltet, sind einfach zu realisieren.  
 Wie wird ein bestimmter Verstärkungs-Faktor erreicht ?  
 Indem die Ausgangs-Spannung über einen sogenannten Gegenkopplungs-Widerstand oder Spannungs-Teiler teilweise auf den invertierenden Eingang zurück geführt wird. Durch die Invertierung stellt sich an den beiden Eingängen des OpAmp immer eine Differenz ein, die zu einer Ausgangs-Spannung entsprechend dem gewünschten Verstärkungs-Faktor führt. Der Verstärkungs-Faktor ergibt sich aus dem Verhältnis der verwendeten Widerstände bzw. der 'Menge' der zurückgeführten Ausgangs-Spannung.  
 Die Eingangs-Differenz ist wegen der hohen Leerlauf-Verstärkung so gering, daß man sagen kann, sie ist praktisch Null.



### Schaltungen mit symmetrischer Spannungsversorgung



Die Schaltung wird auch Spannungsfolger genannt und hat eine Verstärkung = 1. Der Ausgang ist direkt mit dem invertierenden Eingang verbunden. Erhöht sich die Spannung am nicht-invertierenden Eingang, so erhöht sich die Eingangs-Differenz und folglich die Ausgangs-Spannung. Die rückgeführte Ausgangs-Spannung 'reguliert' die Differenz, so daß sich wieder Ausgangs-Spannung ergibt.

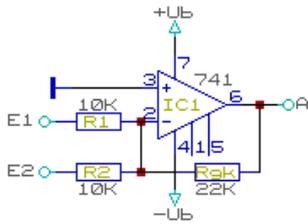
Bei dieser Schaltung wird das Eingangssignal invertiert. Das Ausgangs-Signal wird durch den Gegenkopplungs- und Eingangs-Widerstand teilweise auf den invertierenden Eingang zurück geführt. Das invertierte Ausgangs-Signal wirkt zusätzlich dem Eingangssignal entgegen, bis sich eine Eingangs-Differenz (fast 0) und Ausgangs-Spannung einstellt, die dem Verstärkungs-Faktor entspricht.

Bei dieser Schaltung wird das Eingangssignal **nicht** invertiert. Das Ausgangs-Signal wird durch den Spannungsteiler teilweise auf den invertierenden Eingang zurück geführt. Die Funktionsweise ist identisch mit dem Impedanzwandler, jedoch wird hier die zurück geführte Spannung geteilt. Es stellt sich eine Eingangs-Differenz und daraus resultierende Ausgangs-Spannung ein, die dem Verstärkungs-Faktor entspricht.

**Summier-Verstärker (Addierer)** invertierend

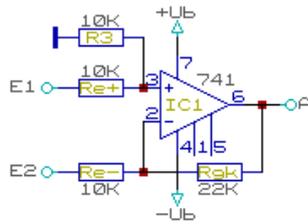
**Differenz-Verstärker (Subtrahierer)**

**Komparator** invertierend



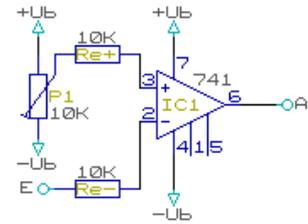
$$U_A = -R_{gk} \left( \frac{U_{E1}}{R1} + \frac{U_{E2}}{R2} \right)$$

Ein OpAmp kann Rechenoperationen durchführen. Der Summierverstärker beruht auf dem Prinzip des invertierenden Verstärkers. Der Spannungs-Teiler besteht hierbei aus Gegenkopplungs-Widerstand und mehreren Eingangs-Widerständen. Die Eingangs-Differenz und die daraus resultierende Ausgangs-Spannung ergibt sich aus der Addition aller Eingangs-Signale.



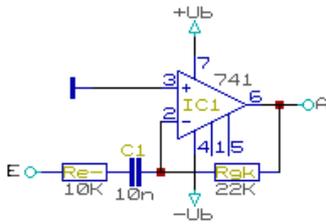
$$\frac{R_{e+} = R_{e-}}{R3 = R_{gk}} \quad U_A = \frac{R_{gk}}{R_{e-}} (U_{E1} - U_{E2})$$

Der OpAmp ist ein Differenzverstärker. Wegen des hohen Verstärkungs-Faktors ist er jedoch für die Nutzung ohne zusätzliche Beschaltung unbrauchbar. Bei dieser Schaltung verringern zwei Spannungs-Teiler den Leerlauf-Verstärkungsfaktor. Wenn die Eingangs-Signale symmetrisch verarbeitet werden sollen, müssen  $R_{e+} = R_{e-}$  und  $R3 = R_{gk}$  sein.



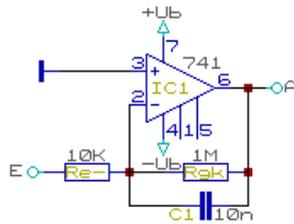
Ein Komparator vergleicht zwei Eingangs-Werte und zeigt am Ausgang, welcher Eingang die höhere Spannung hat. Da ein OpAmp einen fast unendlichen Verstärkungs-Faktor hat, reicht eine geringe Eingangs-Differenz, um den Ausgang in die Sättigung zu bringen. Der Ausgang kann nur die Zustände +Ub und -Ub annehmen. Versorgt man den Operationsverstärker mit +5V und legt -Ub auf Masse, so erhält man am Ausgang ein TTL-Signal. Sind beide Eingangs-Spannungen annähernd gleich, kippt der Ausgang hin und her. Durch einen Mitkopplungs-Widerstand, der teilweise die Ausgangs-Spannung auf den nicht-invertierenden Eingang zurück führt und so eine Hysterese bildet, kann dieses 'Kippen' verhindert werden.

**Differenzierer (Hochpaß) invertierend**



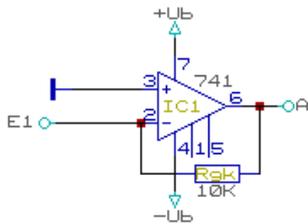
$$U_A = -U_E R_{gk} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C1$$

**Integrierer (Tiefpaß) invertierend**



$$U_A = -U_E \frac{1}{R_{e-} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C1}$$

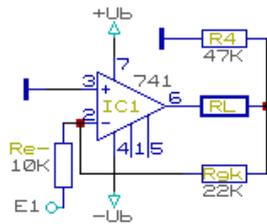
**Strom-Spannungswandler**



$$U_A = -I_E \cdot R_{gk}$$

Diese Schaltung wandelt einen Strom in eine Spannung um und beruht auf dem gleichen Prinzip, wie der invertierende Verstärker. Es entfällt jedoch der Eingangs-Widerstand Re-. Die Eingangs-Differenz mit resultierender Ausgangs-Spannung stellen sich so ein, daß immer der gesamte Strom über den Gegenkopplungs-Widerstand abfließen kann.

**Spannungs-Stromwandler**



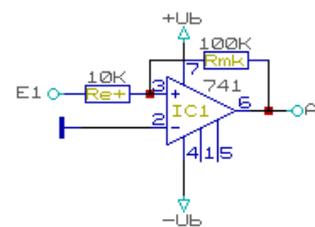
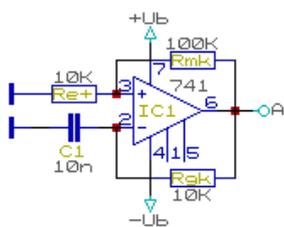
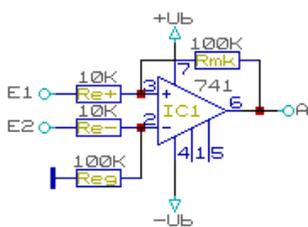
$$I_A = \frac{U_E}{R_{e-}} \left( 1 + \frac{R_{gk}}{R4} \right)$$

Mit diesem modifizierten invertierenden Verstärker wird eine Spannung in Strom umgewandelt. Zum Ausgleich der Eingangs-Differenz muß durch den Gegenkopplungs- und Eingangs-Widerstand der gleiche Strom fließen. Es stellt sich eine Ausgangs-Spannung ein, die den entsprechenden Stromfluß durch RL zur Folge hat. Wird die Eingangs-Spannung mit einem Poti eingestellt, erhält man eine präzise Konstantstromquelle für geringe Ströme.

**Bistabile Kippstufe**

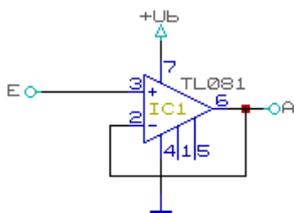
**Astabile Kippstufe**

**Schmitt-Trigger**

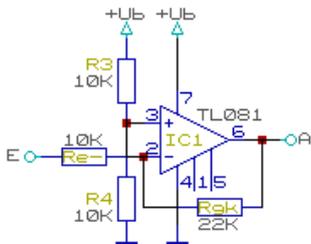


Schaltungen mit asymmetrischer Spannungsversorgung

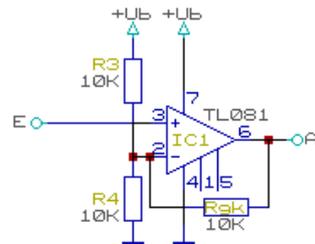
Impedanzwandler



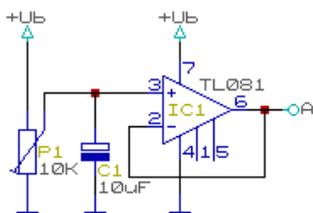
Invertierer



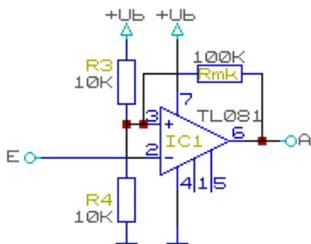
Nicht-Invertierer



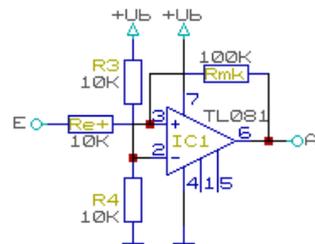
Impedanzwandler



Schmitt-Trigger invertierend



Schmitt-Trigger



[Seitenanfang](#)