

# 1 Definition des Operationsverstärkers

Um den Begriff zu definieren, muß man nicht weit ausholen. Wie schon im Vorwort erwähnt, handelt es sich grundsätzlich um einen Verstärkeraufbau, mit dem sich mathematische Operationen auf elektronischem Wege durchführen lassen.

Es soll hier ausdrücklich betont werden, daß jeder Verstärker, der hierzu in der Lage ist, als Operationsverstärker bezeichnet werden kann. Der Begriff beschränkt sich also keineswegs auf eine bestimmte Bauform. So können Operationsverstärker auf herkömmlichem Wege mit Röhren oder aktiven Halbleiterbauelementen als Verstärker-Vierpole aufgebaut sein, Teil einer komplexeren Schaltung sein oder für sich alleine ein Gerät darstellen. Operationsverstärker sind in einer Vielzahl von Fällen Schaltungsteile in kompletten Anlagen und Geräten; so handelt es sich zum Beispiel bei Regelverstärkern in stabilisierten Stromversorgungen um Operationsverstärker. Andererseits werden Operationsverstärker als industriemäßig gefertigte Produkte mit „Bauelemente-Charakter“ angeboten. Bei diesen handelt es sich einmal um diskret, also unter Verwendung von Einzel-Bauelementen aufgebaute, andererseits um in monolithischen Fertigungstechnologien hergestellte „integrierte“ Operationsverstärker. Leider hat es sich in jüngster Zeit eingebürgert, ausschließlich den Operationsverstärker im Bauelemente-Format als solchen zu bezeichnen.

Nun werden die meisten in Betrieb genommenen Operationsverstärker nicht für Anwendung in der analogen Rechentechnik eingesetzt, vielmehr erfüllen sie in fast allen Fällen allgemeiner gestellte Aufgaben. Deshalb soll einmal zusammengefaßt werden, was ein Operationsverstärker global gesehen zu tun hat.

Sind mathematische Größen auf elektronischem Wege zu berechnen, so kann es sich bei den bekannten und demzufolge auch bei den unbekannten zu berechnenden Größen sowohl um nicht veränderliche als auch um veränderliche, sogar ziemlich schnell ver-

änderliche Werte handeln. Die Ergebnisse sollen stets mit hoher Genauigkeit vorliegen.

Daraus ergibt sich die Forderung an *jeden* Operationsverstärker:

Er muß Gleich- und Wechselspannungssignale mit hoher Genauigkeit verarbeiten können.

Diese Fähigkeit ist nicht nur bei Anwendungen in der analogen Rechentechnik von Nutzen. Vor der Erfindung des Operationsverstärker-Prinzips gab es zwar schon hinreichend genaue Breitbandverstärker — man denke nur an die Verstärker in Kathodenstrahl-Oszillografen —, doch konnte man eine aus der analogen Rechentechnik stammende Forderung nicht erfüllen. Es ist nämlich von größter Bedeutung, daß sich bei Analogrechnern die Parameter, z. B. Multiplikationsfaktoren, einfach und jederzeit verändern lassen. Was nützte ein Analogrechner, mit dem sich nur immer ein und dieselbe Aufgabe lösen ließe?

Nun, bei Linearverstärkern — Verstärkern mit vielen Stufen, wobei jede dieser Verstärkerstufen für sich alleine gegengekoppelt ist — wird die Forderung an variablen Verstärkungsgrad zwar auch erfüllbar sein, doch unter einem Aufwand, der für die analoge Rechentechnik nicht tragbar ist.

Beim Operationsverstärker ist das anders: Nur wenige an den Verstärkereingang und -ausgang angeschlossene Bauelemente, im einfachsten Falle zwei (!) Widerstandswerte, bestimmen den Verstärkungsgrad der gesamten Anordnung. Das aktive Element einer solchen Anordnung, den Operationsverstärker, kann man als Vierpol, als „Schwarzen Kasten“ mit lediglich zwei Eingangs- und zwei Ausgangsklemmen betrachten.

Beim Einsatz eines Operationsverstärkers interessieren lediglich die technischen Daten des „Schwarzen Kastens“, den man wie ein Gerät oder Bauelement, also nicht weiter auflösbar betrachten kann. Die interne Schaltung eines Operationsverstärkers ist für den Anwender eigentlich ohne Bedeutung. Nur die technischen Eigenschaften und die äußere Beschaltung interessieren.

## 1.1 Die Schaltungssymbole von Operationsverstärkern

Gerade wenn ein Operationsverstärker in Bauelemente-Form innerhalb einer Schaltung beschrieben werden soll, verwendet man ein spezifisches Symbol.

Geringfügig unterscheiden sich die drei Versionen von Operationsverstärkern, die industriemäßig hergestellt werden: Es gibt da zunächst die einfachste Ausführung, einen invertierenden — die Polarität zwischen Ein- und Ausgang drehenden — Operationsverstärker, wie er in *Abb. 1.1.1* gezeigt ist. Die Version verfügt über insgesamt drei Anschlüsse, wenn man die Anschlüsse für die notwendige Stromversorgung außer Betracht läßt. Ein Anschluß ist der Eingang, ein anderer der Ausgang, und der dritte ist gleichermaßen für Ein- und Ausgang Bezugspunkt. (Da der Ausdruck „Masse“ eigentlich für die elektrisch leitende größte Oberfläche in einer elektrischen Anlage gilt, die gleichzeitig das niedrigste Potential gegen Erde führt, wird der Ausdruck „Masse“ in diesem Buch nur in diesem Sinne, ansonsten der Begriff „Bezugspunkt“ verwendet.)

Die *Abb. 1.1.2* zeigt die am häufigsten vorkommende Ausführung von Operationsverstärkern. Sie besitzt zwei Eingänge, einen Ausgang und den für Ein- und Ausgang gemeinsamen Bezugspunkt.

In *Abb. 1.1.3* ist ein Operationsverstärker mit Differenz-Eingang und -Ausgang dargestellt, bei dem die Eingänge und Ausgänge symmetrisch gegen den Bezugspunkt liegen. Diese Version wird zum Beispiel zum Treiben erdsymmetrischer Leitungen und Transformatoren verwendet.

In allen drei Abbildungen sehen wir die verschiedenen Eingänge mit Polaritätszeichen gekennzeichnet. Diese besagen folgendes:

Legt man an den mit „+“ bezeichneten Eingang ein gegenüber dem Bezugspunkt positives Signal, so erhält man auch am Ausgang ein positives Signal. Legt man dagegen an den „-“-Eingang gegenüber dem Bezugspunkt ein positives Signal an, so erhält man am Ausgang (beim Operationsverstärker nach *Abb. 1.1.3* der „+“-Ausgang) gegenüber dem Bezugspunkt ein negatives Signal. Bei Umpolung des Eingangssignals (nur möglich bei den Operationsverstärker-Ausführungen gemäß *Abb. 1.1.2* und *1.1.3*) dreht sich auch die Richtung des Ausgangssignals um.



Aus diesem Grunde nennt man den „-“-Eingang *invertierend*, den „+“-Eingang *nicht invertierend*. Diese Tatsache ist von grundlegender Bedeutung.

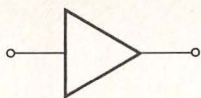
## 1.2 Operationsverstärker und ihre Stromversorgung

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten, Operationsverstärker mit Betriebsspannung zu versorgen. Die Versorgung mit einer Spannungsquelle nach *Abb. 1.2.1* nennt man *unipolar* (einpölig), die Versorgung nach *Abb. 1.2.2 bipolar* (zweipölig).

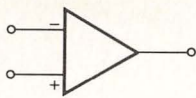
Bei bipolaren Stromversorgungen bildet die Verbindung zwischen den beiden in Reihe liegenden Einzel-Spannungsquellen den Bezugspunkt, der sowohl für Eingänge als auch für den Ausgang die Rückführung darstellt.

Der wesentliche Unterschied zwischen unipolarer und bipolarer Stromversorgung ist der, daß der Operationsverstärker, der von zwei Quellen versorgt wird, ausgangsseitig beide Polaritäten gegenüber dem Bezugspunkt abgeben kann. Wenn bestimmte Eingangsbedingungen erfüllt sind, kann am Ausgang des bipolar versorgten Operationsverstärkers sogar 0 V liegen, was beim unipolar versorgten infolge von Transistor-Restspannungen vollkommen unmöglich ist. Er würde dieses bei Vollaussteuerung gegen das Bezugspunkt-Potential am Ausgang nie erreichen. Bei derselben Eingangsbedingung, die beim Operationsverstärker mit bipolarer Spannungsversorgung 0 V am Ausgang ergäbe, würde der unipolar versorgte Verstärker die halbe Betriebsspannung an seinem Ausgang abgeben.

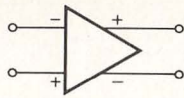
Beim Operationsverstärker mit Differenz-Eingang und -Ausgang (siehe *Abb. 1.1.3*) wäre in diesem Falle die Differenz zwischen beiden Ausgängen Null, sie lägen beide auf halber Betriebsspannung gegenüber dem Bezugspunkt.



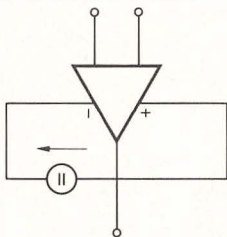
1.1.1 Symbol für einen Operationsverstärker mit einem Eingang



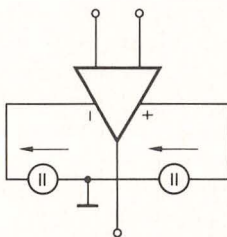
1.1.2 Symbol für einen Operationsverstärker mit Differenz-Eingang



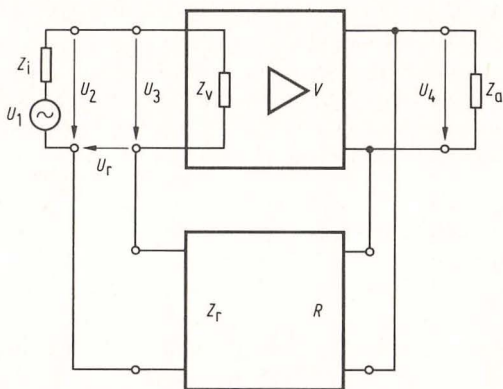
1.1.3 Symbol für einen Operationsverstärker mit Differenz-Eingang und -Ausgang



1.2.1 Unipolare Stromversorgung eines Operationsverstärkers



1.2.2 Bipolare Stromversorgung eines Operationsverstärkers

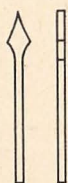


2.1.1.1 Funktionsschaltbild eines gegengekoppelten Verstärkers mit Allgemeingültigkeit

### 3 Grundsätzlicher Aufbau von Meßinstrumenten

Ein Meßinstrument besteht aus dem Meßwerk mit eingebautem Zubehör und dem Gehäuse. Unter Meßwerk versteht man das bewegliche Organ eines Meßinstruments mit den Teilen, die Voraussetzung für seine Bewegung sind. Die verschiedenen Arten von Meßwerken werden im nächsten Abschnitt behandelt; in diesem Abschnitt sollen die bei allen Zeigerinstrumenten gleichen oder ähnlichen Teile besprochen werden.

Das bewegliche Organ eines Instruments setzt den Meßwert in eine, seiner Größe entsprechende, mechanische Bewegung um. Mit dem beweglichen Organ ist der Zeiger verbunden, der den Meßwert auf einer Skala anzeigt. Nach der Form der Zeiger unterscheidet man *Lanzenzeiger* (**Bild 4a**) und *Messerzeiger* (**Bild 4b**). Der Lanzenzeiger hat den Vorteil, daß er auch auf größere Entfernungen gut sichtbar ist, während der Messer-



Links: Bild 4a. Lanzenzeiger

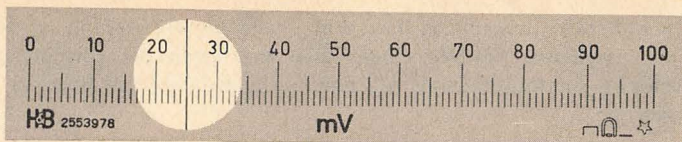
Rechts: Bild 4b. Messerzeiger



Beide Zeiger wurden in Aufsicht  
und Seitenansicht abgebildet

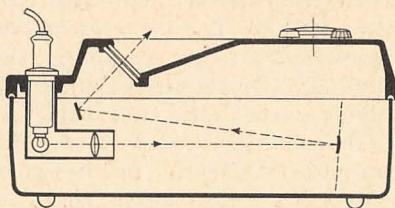
zeiger ein genaueres Ablesen, auch bei Skalen mit mehreren Teilungen, ermöglicht. Für besonders empfindliche Meßwerke benutzt man als Zeiger einen Lichtstrahl (**Bild 5**), der von einem auf dem beweglichen Organ befestigten Spiegel entsprechend der Bewegung abgelenkt und auf eine Skala geworfen wird (siehe Abschnitt 5).

Das bewegliche Organ läuft mit seiner Achse in besonders leichtgängigen Lagern (**Bild 6a**). Bei neueren (und empfindlicheren) Meßwerken wird das bewegliche Organ mittels sogenannter

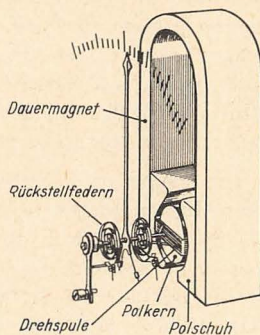


Oben: Bild 5a. Skala eines  
Lichtzeiger-Instruments

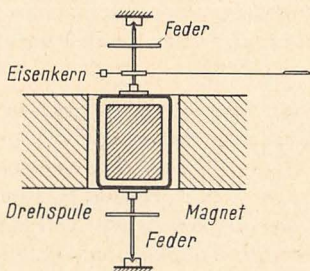
Rechts: Bild 5b. Strahlengang  
in einem Lichtzeiger-Instrument



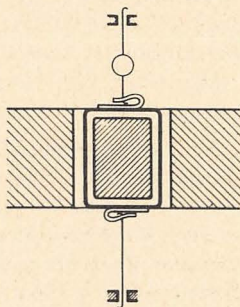
Rechts: Bild 7. Meßwerk  
(Drehspul-System)



Unten: Bild 6a. Spitzenlagerung



Unten rechts: Bild 6b. Spann-  
bandlagerung





Spannbänder aufgehängt (**Bild 6 b**). Durch diese Lagerung wird das Instrument erschütterungsfester und durch die geringere Reibung empfindlicher als ein gleiches Instrument mit Spitzenlagerung.

Zum Ausbalancieren gegenüber dem Zeiger sind am beweglichen Organ Gegengewichte angebracht. Bei den meisten Meßwerken nimmt der Zeiger im stromlosen Zustand eine bestimmte Ruhelage ein (mechanischer Nullpunkt). Das zu diesem Zweck erforderliche Drehmoment (Richtkraft) wird mit verschiedenen Mitteln erzeugt. Man unterscheidet mechanische Methoden, z. B. durch Spiralfedern (**Bild 7**) oder durch die Torsionskraft des Spannbandes (**Bild 6 b**), und magnetische. Bei Meßwerken, deren bewegliches Organ Strom führt, werden die Rückstellfedern auch zur Stromzuführung verwendet. Bei der magnetischen Methode dient zur Erzeugung der Richtkraft ein kleiner Dauermagnet, der auf der Achse des beweglichen Organs befestigt ist und gegen einen festen Gegenpol arbeitet. Bei Meßwerken ohne Richtkraft stellt sich der Zeiger aus einer beliebigen Ruhelage auf den der Meßgröße entsprechenden Wert ein.

Die mechanische Nullstellung des Zeigers liegt bei den gebräuchlichen Meßinstrumenten meist links, sie kann aber in Sonderfällen auch in der Mitte oder rechts liegen. Die mechanische Nullstellung kann bei fast allen Instrumenten mittels einer mechanischen Nullpunkt-Korrektur genau eingestellt werden (**Bild 7**). Instrumente mit Nullstellung des Zeigers in der Skalenmitte können nur mit Meßwerken hergestellt werden, bei denen die Bewegungsrichtung des beweglichen Organs von der Polung des Meßstroms abhängig ist (s. Abschnitt 4). Bei den gebräuchlichen Instrumenten bestreicht der Zeiger bei Vollausschlag einen Winkel von ca.  $90^\circ$ , bei Sonderinstrumenten findet man auch andere Winkel, so z. B. von  $270^\circ$ .

Da das bewegliche Organ besonders leichtgänglich gelagert ist, würde sich der Zeiger bei einer plötzlichen Änderung der Meßgröße erst nach einigem Hin- und Herpendeln auf den anzuzeigenden Wert einstellen. Um dies zu vermeiden, wendet man besondere Vorrichtungen zur Dämpfung an. Bei handelsüblichen Instrumenten werden drei Prinzipien der Dämpfung angewandt:



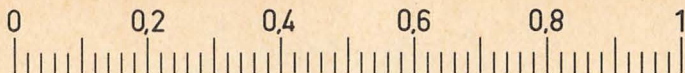


Bild 8a. Gleichmäßig geteilte Skala



Bild 8b. Ungleichmäßig geteilte Skala

Luftdämpfung, Flüssigkeitsdämpfung und elektromagnetische Dämpfung.

Bei den ersten beiden Arten bewegt sich ein am beweglichen Organ befestigter Flügel oder Kolben in einer mit Luft bzw. mit einer Flüssigkeit gefüllten Kammer; die Flüssigkeitsdämpfung wird heute aber nur noch sehr selten angewandt. Die elektromagnetische Dämpfung, die teilweise auch (nicht korrekt) als Wirbelstromdämpfung bezeichnet wird, beruht auf der Erscheinung, daß in einem geschlossenem Leiter, der sich in einem Magnetfeld senkrecht zur Kraftlinienrichtung bewegt, ein Strom induziert wird. Dieser Strom erzeugt zusammen mit dem Magnetfeld ein Drehmoment, das der ursprünglichen Bewegung entgegenwirkt. Die magnetische Dämpfung kann durch Teile des beweglichen Organs mitbewirkt oder durch zusätzliche Teile (z. B. Aluminiumscheibe am beweglichen Organ, feststehender Dauermagnet) veranlaßt werden. Die in der Praxis in Verbindung mit den verschiedenen Meßwerkprinzipien verwendeten Methoden zur Dämpfung werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

Die Skala <sup>1)</sup> dient zum Ablesen des angezeigten Wertes, der auf ihr durch Teilstriche und Bezifferung markiert ist. Nach der Teilung unterscheidet man gleichmäßig und ungleichmäßig geteilte Skalen (**Bild 8**); man kann ohne weitere Erklärungen erkennen, daß ein Instrument mit gleichmäßig geteilter Skala (a) eine über den gesamten Skalenbereich gleichbleibende Empfindlichkeit aufweist, während ein Instrument mit ungleichmäßig geteilter Skala (b) im ersten Drittel des Skalenbereichs eine geringere Empfindlichkeit besitzt. Die Art der Skalenteilung

<sup>1)</sup> Neuerdings ist auch die Schreibart Skale gebräuchlich.

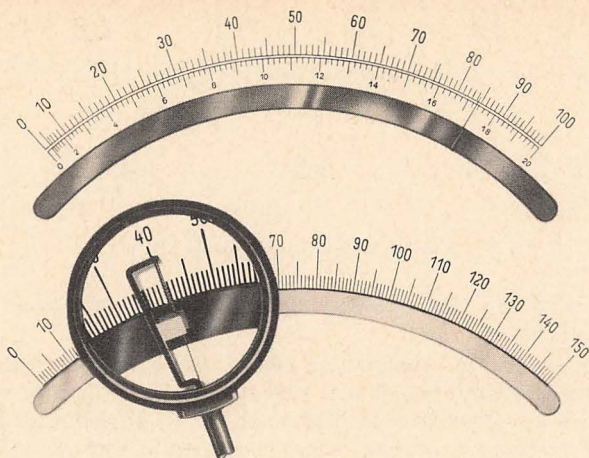


Bild 9. Spiegelskalen  
Untere Skala mit Fadenzeiger und Lupe zur Erleichterung des Ablesens

kann durch das verwendete Prinzip des Meßwerks begründet sein; bei bestimmten Meßinstrumenten wird eine ungleichmäßige Teilung absichtlich zur Hervorhebung eines Teils des Anzeigebereichs hervorgerufen.

Hochwertige Zeigerinstrumente besitzen teilweise zur Erleichterung des genauen Ablesens eine Skala, bei der ein Ausschnitt mit einem Spiegel hinterlegt ist (**Bild 9**). Die Ablesung ist dann genau, wenn sich der Zeiger mit seinem Spiegelbild deckt.

Bedingt durch ihren Aufbau sind alle Meßwerke mehr oder weniger *lageempfindlich*. Die Gebrauchslage ist bei vielen Meßinstrumenten auf der Skala angegeben. Allgemein kann gesagt werden, daß Schalttafelinstrumente vorwiegend für senkrechte Gebrauchslage, Tisch- und Laborinstrumente dagegen vorwiegend für waagerechte Gebrauchslage hergestellt werden.

Alle Meßinstrumente, besonders solche mit empfindlichen Meßwerken, können durch äußere Magnetfelder beeinflusst werden. Gegen diese Einflüsse kann man z. B. das Meßwerk abschirmen oder das ganze Gehäuse als Abschirmung ausbilden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Instrument astatisch

aufzubauen. Bei solchen Instrumenten sind zwei gleiche Meßwerke, deren Felder entgegengesetzt gerichtet sind, mechanisch miteinander gekuppelt. Da Fremdfelder auf beide Meßwerke entgegengesetzt wirken, wird die Anzeige durch sie nicht verändert.

Das Gehäuse eines Meßinstruments hat vor allem die Aufgabe, die empfindlichen Einzelteile zu schützen. Seine Form richtet sich nach dem jeweiligen Verwendungszweck (s. Abschnitt 5).



# 1 Vorverstärker für Sprachsteuerungen

## Vorverstärker-Baustein 1

### Hochohmiger Vorverstärker für Plattenspieler und Kristallmikrofone

*Aufbau Bild 5, Schaltung Bild 6*

Alle Kristallsysteme geben eine relativ hohe Tonfrequenzspannung ab. Die höchsten Spannungen erzeugen ein Plattenspieler und ein nah besprochenes Kristallmikrofon ohne Filterzelle.

Ein Vorverstärker für diese Art Tonabnehmer beziehungsweise Mikrofonskapsel braucht daher keine allzuhohe Verstärkung zu liefern. Um eine Ausgangsspannung von 5 V<sub>ss</sub> zu gewinnen, ist ein Verstärkungsfaktor von 100 bis 200 völlig ausreichend. Der hochohmige Innenwiderstand aller Kristallsysteme setzt jedoch voraus, daß die Eingangsstufe ebenfalls über einen hochohmigen Eingangswiderstand verfügt. Im vorliegenden Fall trägt die in Kollektorschaltung betriebene Vorstufe dieser Forderung Rechnung. T 1 hat nur eine Spannungsverstärkung von etwa 0,8 bis 0,9, dafür aber eine hohe Stromverstärkung und einen niedrigen Ausgangswiderstand. Die zweite Transistorstufe T 2 arbeitet in Emitterschaltung; sie hat einen niederohmigen Eingangswiderstand. Beim Zusammenschalten der beiden Stufen sind so die Voraussetzungen für eine gute Anpassung erfüllt.

#### *Schaltung*

Das Eingangssignal gelangt einerseits über C 1 auf die Basis von T 1 und zum anderen direkt an eine 2. Buchse, von der die Tonfrequenzspannung wieder abgenommen werden kann.

Mit dem Kondensator C 2 wird das Emittersignal vom Gleichspannungsanteil befreit und dem Empfindlichkeitsregler P (10 k $\Omega$ ) zugeführt. Die sich anschließende 2. Verstärkerstufe T 2 liefert eine knapp 200fache Spannungsverstärkung. Die Gesamtdurchgangsverstärkung (gemittelt über T 1 und T 2) ist jedoch

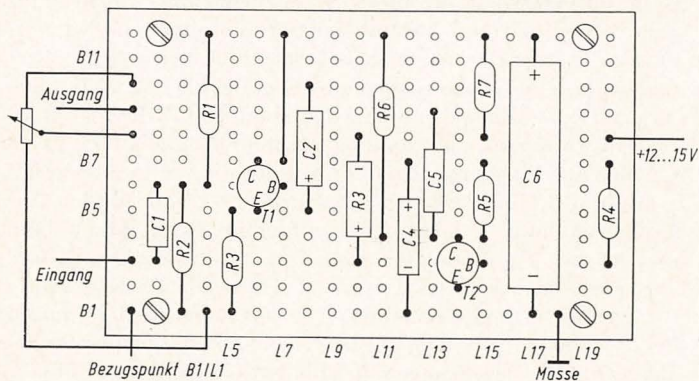
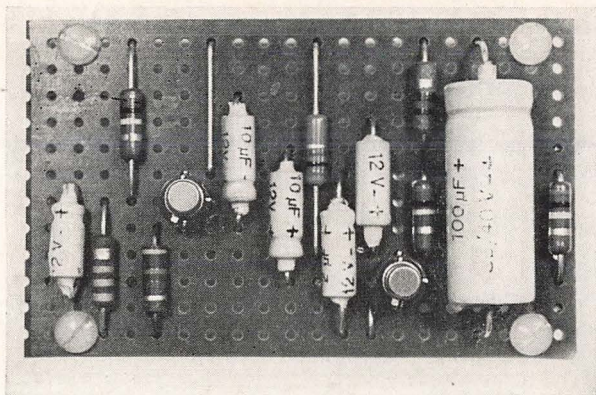


Bild 5. Aufbau des Vorverstärker-Bausteines 1

nur etwa 160fach, da ja, wie bereits erwähnt, T 1 nur 0,8fache Spannungsverstärkung liefert.

Zur thermischen Stabilisierung der 2. Stufe wird ein Teil der Kollektorgleichspannung über die Widerstände R 4 und R 5 auf die Basis zurückgeführt. Den Wechselspannungsanteil schließt der Elektrolytkondensator C 4 kurz. Wegen der so unterdrückten Gegenkopplung im Sprachbereich arbeitet T 2 mit voller Verstärkung; das Ausgangssignal erreicht bis zu 12 V<sub>ss</sub>.

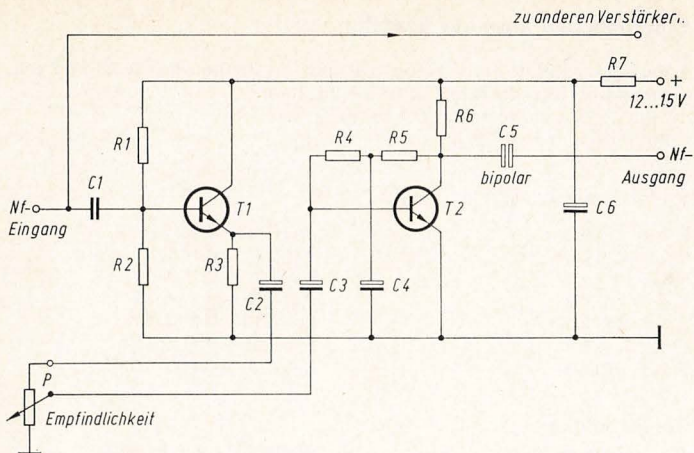


Bild 6. Schaltung des Vorverstärker-Bausteines 1

Wichtig! Die Polung von C 5 hängt davon ab, welcher Schaltverstärker an diesem Baustein angeschlossen wird. Hat die Eingangsstufe des Schaltverstärkers Massepotential (wie die Schaltverstärker-Bausteine 2 und 3), so ist der Elektrolytkondensator mit der Plusseite an R 6 zu legen. Liegt dagegen Pluspotential vor wie bei den Bausteinen 1 und 4, so wird die Minusseite an R 6 geschaltet.

Zur Erleichterung des Nachbaues wurden alle Bausteine sowohl als Fotos wie auch als Plattenzeichnungen wiedergegeben. In die Plattenzeichnungen wurden am linken und am unteren Rand zwecks besserer Orientierung die Nummern der Löcher eingetragen (z. B. L 1, L 3, L 5 bzw. B 1, B 3, B 5 usw. Wir beschränken uns dabei auf die Angabe der ungeraden Zahlen.

Um nicht mehr Löcher zu verdecken als unbedingt notwendig, konnten die richtigen Größenverhältnisse der Bauelemente bei den Plattenzeichnungen nicht immer eingehalten werden.

Stückliste und Lage der Bauteile siehe nächste Seite.



## Stückliste und Lage der Bauteile

- 1 Vero-Board-Platte mit Raster 3,81 mm, 12 Bahnen mit je 20 Löchern
- 4 Kunststoffschrauben M 3 x 10 mit Mutter
- 2 Transistorfassungen für TO 18, dreipolig
- 1 Potentiometer 10 k $\Omega$  lin.

### Widerstände (0,5 W)

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| R 1 = 470 k $\Omega$ | B 6/L 4 - B 12/L 4   |
| R 2 = 220 k $\Omega$ | B 6/L 3 - B 1 /L 3   |
| R 3 = 4,7 k $\Omega$ | B 5/L 5 - B 1 /L 5   |
| R 4 = 100 k $\Omega$ | B 7/L 20 - B 3 /L 20 |
| R 5 = 100 k $\Omega$ | B 4/L 15 - B 7 /L 15 |
| R 6 = 1 k $\Omega$   | B 4/L 11 - B 12/L 11 |
| R 7 = 510 $\Omega$   | B 8/L 15 - B 12/L 15 |

### Kondensatoren

|                        |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| C 1 = 47 nF            | B 3 /L 2 - B 6 /L 3              |
| C 2 = 10 $\mu$ F/15 V  | B 10/L 8 - B 5 /L 8 +            |
| C 3 = 10 $\mu$ F/15 V  | B 8 /L 10 - B 3 /L 10 +          |
| C 4 = 2 $\mu$ F/15 V   | B 1 /L 12 - B 7 /L 12 +          |
| C 5 = 10 $\mu$ F/15 V  | B 4 /L 13 - B 9 /L 13 s. Anmerk. |
| C 6 = 500 $\mu$ F/15 V | B 1 /L 17 - B 12/L 17 +          |

### Transistoren

|                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| T 1 = BC 108 B (ITT Intermetall) |                            |
| C = B 7/L 6,                     | B = B 6/L 7, E = B 5/L 6   |
| T 2 = BC 108 B (ITT Intermetall) |                            |
| C = B 4/L 14,                    | B = B 3/L 15, E = B 2/L 14 |

### Drahtverbindungen

B 7/L 7 - B 12/L 7, B 1/L 13 - B 2/L 13

### Leiterbahnunterbrechungen

B 3/L 3, B 7 /L 9, B 8/L 13

### Anschlüsse

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| + 12 bis 15 Volt               | B 8/L 20 |
| Masse                          | B 1/L 18 |
| Eingang                        | B 3/L 1  |
| Ausgang                        | B 9/L 1  |
| Potentiometer (10 k $\Omega$ ) |          |
| heiß =                         | B 10/L 1 |
| Schleifer =                    | B 8 /L 1 |
| Masse =                        | B 1 /L 4 |