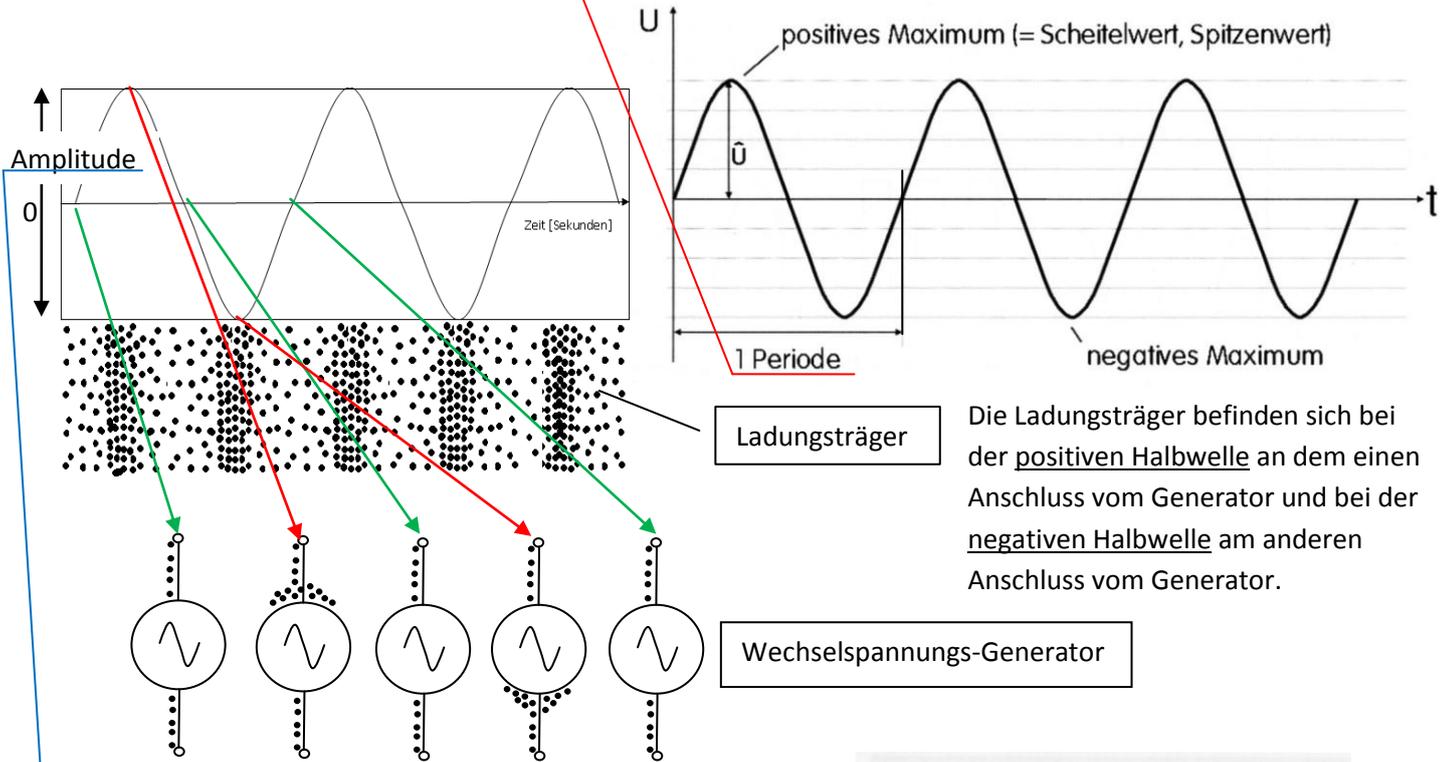


Wir haben diesmal einen „**NF-Verstärker**“ (Niederfrequenz-Verstärker) gebaut.

NF ist der Frequenzbereich den wir hören können. Er geht von **40 Hz** (Herz) bis **18 kHz** (Kilo-Hertz = 18000 Hz).

Wie wir ja wissen, ist die Frequenz der Kehrwert der Zeit: $f = 1/t$ [Herz = 1 / Sekunde]

Beispiel: Die Frequenz: 1 Herz = 1 Periode in 1 Sekunde



Die Ladungsträger befinden sich bei der positiven Halbwelle an dem einen Anschluss vom Generator und bei der negativen Halbwelle am anderen Anschluss vom Generator.

Die Amplitude ist die Höhe der Spannung.

Wenn wir mit dem „Vielfach-Messgerät“ Wechselspannung messen, dann wir immer eine sinusförmige Wechselspannung vorausgesetzt.

Man geht davon aus, dass die gemessene Wechselspannung die gleiche Energie-Wirkung ($W = U \cdot I \cdot T$) wie die entsprechende Gleichspannung haben soll. Das ist dann gegeben, wenn die sinusförmige Wechselspannung in der Spitze 1,414mal höher als eine Gleichspannung ist. Anders herum gesagt, der „**Effektivwert**“ der Sinusspannung liegt bei 0,707mal U_{max} , das ist \sin_{45° . Siehe Bild 4-3.

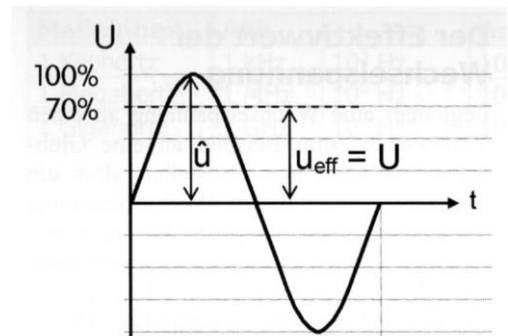


Bild 4-3: Effektivwert einer Sinusgröße

Wenn der Scheitelwert einer sinusförmigen Wechselspannung bekannt ist, kann man den Effektivwert mit folgender Formel berechnen. Eine mathematische Ableitung müssen wir uns hier ersparen.

$$u_{eff} = \frac{u_{max}}{\sqrt{2}} \quad \boxed{U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}}$$

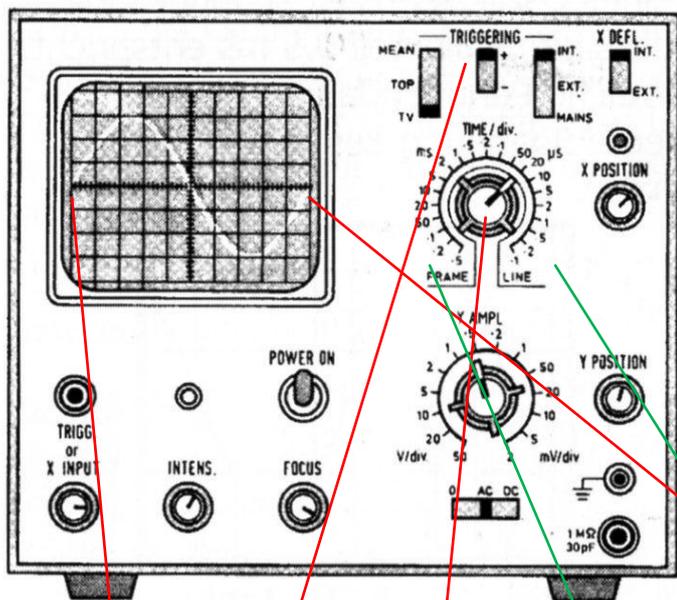
Prüfen Sie mal mit dem Taschenrechner:

$$\sqrt{2} = 1,414$$

und der Kehrwert davon

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,414} = 0,707$$

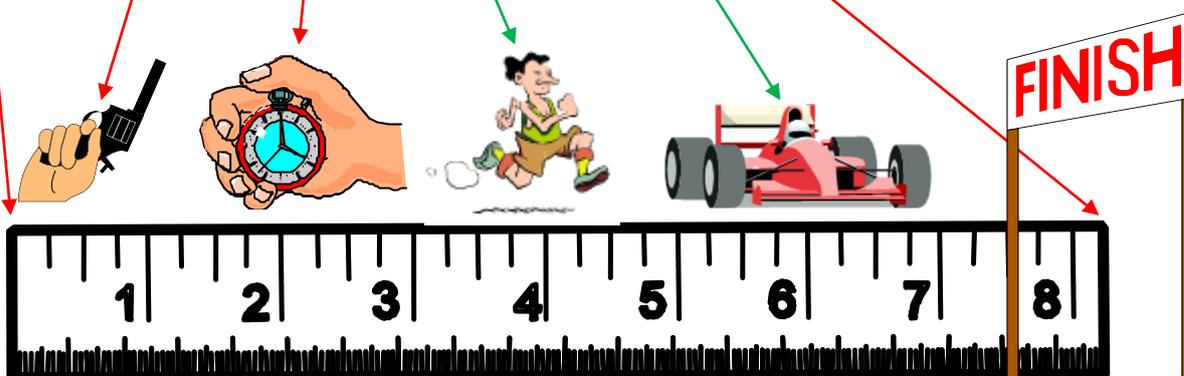
Mit einem Oszilloskop werden Zeitverläufe von Spannungen sichtbar gemacht. Die Anzeige erfolgt entweder mit einer Elektronenstrahlröhre (auch KO Katodenstrahloszilloskop genannt) oder mit einem LCD-Display.



Waagerechte Achse (X): Das ist die „Zeitachse“. Mit dem Drehschalter „TIME/Div.“ (Zeit je Teilung) wird die Geschwindigkeit eingestellt, wie schnell gemessen werden soll. Ob man einen Läufer oder ein Rennauto messen will.

Trigger: Damit wird der Start ausgelöst, wann der „Schreibstrahl“ beginnen soll. Der Zeitgenerator schreibt einen waagerechten Strich auf den Bildschirm. Das ist wie bei der Stoppuhr, wenn sie ausgelöst wird, läuft der Zeiger los.

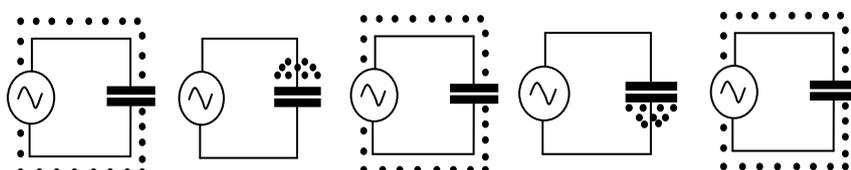
Wenn der Läufer oder der Rennwagen unterschiedliche Kraft aufwenden muss, wegen z.B. einer Steigung und diese Kraft immer zu bestimmten Zeiten gemessen wird und in der **Senkrechten Achse (Y)** als **Amplitude** angezeigt wird, erhalten wir einen entsprechenden Kurvenverlauf auf dem Bildschirm. Das ist, wie wenn man ein X-Y-Diagramm zeichnet. Die Y-Achse hat, wie ein Vielfachmessinstrument, eine Messbereichsumschaltung: **Y-Ampl.** Und einen **0 – AC – DC**-Umschalter.



Verbinden wir einen Kondensator mit einem Gleichspannungsgenerator (Batterie), dann wird der Kondensator aufgeladen, d.h. auf einer der beiden Kondensatorplatten werden mehr Ladungsträger sein als auf der anderen Kondensatorplatte.

Verbinden wir den Kondensator aber mit einem **Wechselspannungsgenerator**, dann wird der Kondensator ständig mit wechselnder Polarität aufgeladen und wieder entladen.

Wird ein **Wechselstrommesser** (Amperemeter) in die Zuleitungen geschaltet, wird man einen ständigen Wechselstrom messen und am Kondensator steht eine Wechselspannung die man auch messen kann.



Strom (Ampere) ist „**Ladungsträger je Sekunde**“: $i = Q/t$ d.h. Ampere = Ladung * 1/Sekunden

Wenn die Zeit (t) kürzer wird also der Wert unter dem Bruchstrich kleiner wird, dann wird das Ergebnis (i) größer.

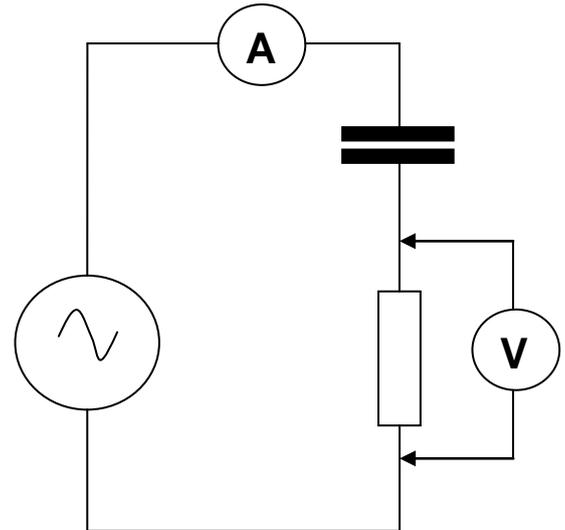
Den Term $1/t$ (1/Sekunden) haben wir oben schon gehabt.

Das ist doch „**Frequenz**“!

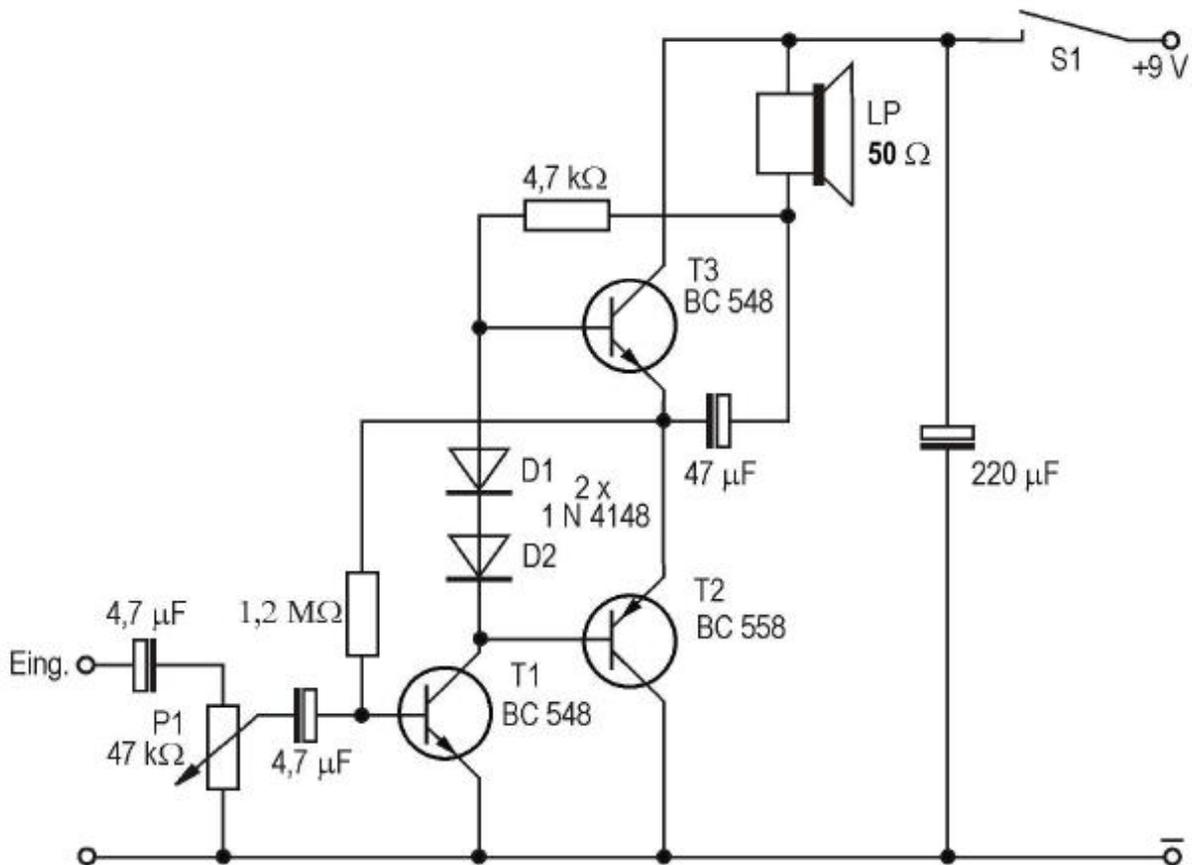
Das heißt also, dass bei größerer Frequenz (weniger Sekunden), der Strom größer wird und das bedeutet, dass der Widerstand des Kondensators kleiner wird.

Das kann man nachmessen, indem man die Wechselspannung am Widerstand misst und dabei die Frequenz vom Wechselspannungs-Generator hochdreht. Dabei wird die Spannung am Widerstand ansteigen, weil der Widerstand (X_c) vom Kondensator kleiner wird.

Da es ein Wechselstrom-Widerstand ist, wird er mit „**X**“ bezeichnet.

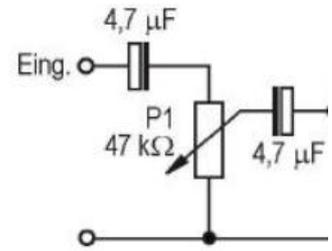


Denn NF-Verstärker, den wir aufgebaut haben, schaut als „**Stromlaufplan**“ so aus:

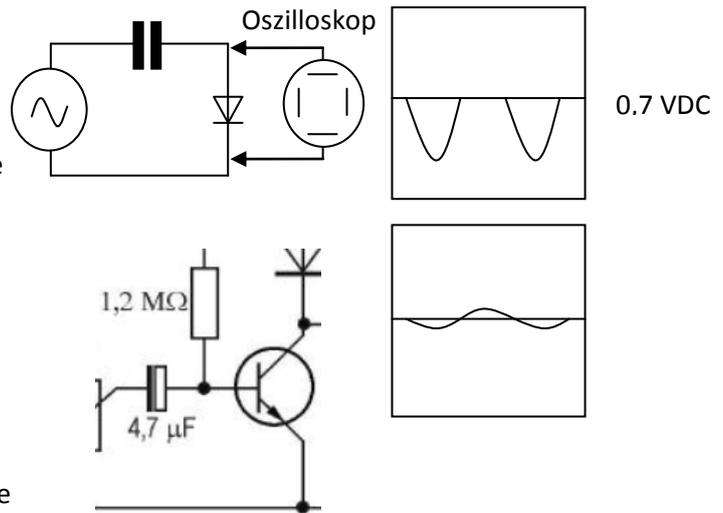


Wie dieser NF-Verstärker funktioniert will ich Euch jetzt erklären.

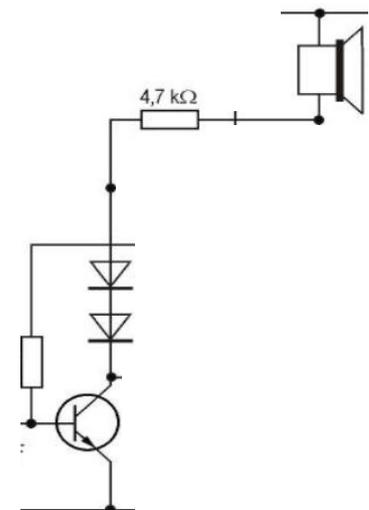
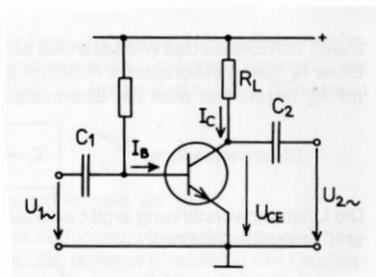
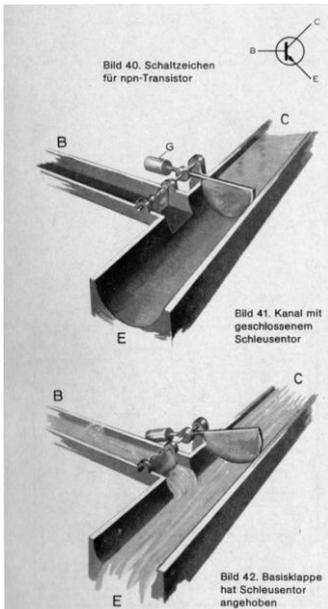
Dieser NF-Verstärker soll Wechselspannungen mit Frequenzen zwischen ca. 40 – 18.000 Hz verstärken, denn nur diese Frequenzen können wir hören. Er soll keine Gleichspannungen verstärken, denn die brauchen wir nicht. Gleichspannungen verursachen Gleichströme und machen unsere Bauteile nur unnötig warm. Deshalb sind am Eingang Kondensatoren, die Gleichspannungen sperren. Es sind ziemlich große Kondensatoren. Ein $4,7 \mu\text{F}$ Kondensator hat bei 40 Hz einen Widerstand von 847Ω ($X_c = 1 / 2\pi f * C$) und bei 18 kHz = $1,9 \Omega$. Das ist im Verhältnis zu dem Potenziometer (P1) vernachlässigbar wenig. Mit dem Potenziometer, das ist ja ein einstellbarer Spannungsteiler, kann man gerade so viel Spannung von der Eingangsspannung abnehmen, wie man für die benötigte Lautstärke braucht. Die beiden Kondensatoren sind so geschaltet, dass sie für positive Gleichspannungen gegen Masse (Minus) richtig gepolt sind.



Ohne den $1,2 \text{ M}\Omega$ Widerstand würde die Basis-Emitter-Diode nur einen Strom, verursacht durch die positive Halbwelle der Eingangs-Wechselspannung, fließen lassen und man würde am Oszilloskop nur die gesperrte negative Halbwelle sehen. Der $1,2 \text{ M}\Omega$ Widerstand hebt die Basis-Emitter-Spannung positiv, dass auch die negative Halbwelle im positiven Basisspannungsbereich ist und dadurch ein Basisstrom fließen kann. Deshalb sieht man auch fast keine Spannung mehr an der Basis, weil die durchgesteuerte Diode ja sehr niederohmig ist. Dieser Widerstand lässt jetzt immer einen kleinen Gleichstrom durch die Basis-Emitter-Diode fließen auch wenn keine Eingangswchselspannung anliegt.

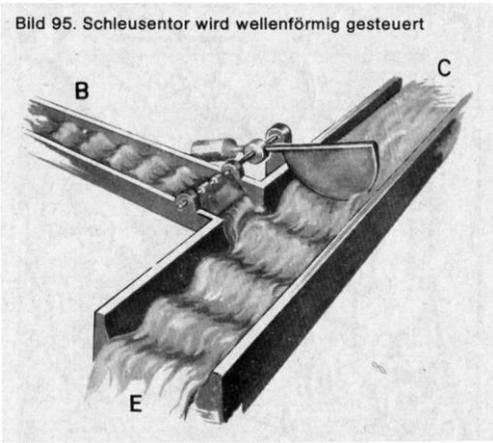


Der Anschluss am Lautsprecher wird später besprochen.



Dieser Basis-Gleichstrom verursacht einen Kollektor-Emitter-Gleichstrom (siehe Bild 42 im obigen Schleusenmodell). Der R_L in der mittleren Schaltung oben stellt den richtigen Arbeitspunkt für den Kollektorstrom ein. In unserer Schaltung rechts, ist das der $4,7 \text{ k}\Omega$ Widerstand. Die beiden Dioden haben für diesen Transistor keine Wirkung, denn sie sind ohnehin in Durchlassrichtung und daher sehr niederohmig. Dieser Kollektorgleichstrom fließt immer und erwärmt den Transistor. Der Transistor arbeitet im sogenannten „**A-Betrieb**“, d.h. er kann in positive und negative Richtung gleichmäßig angesteuert werden (siehe Bild 95 im unteren Schleusenmodell), d.h. am Kollektor steht immer die halbe Versorgungsspannung ($U_{\text{Batt}}/2$).

Bild 95. Schleusentor wird wellenförmig gesteuert



Am Bildschirm vom Oszilloskop würde das so aussehen:

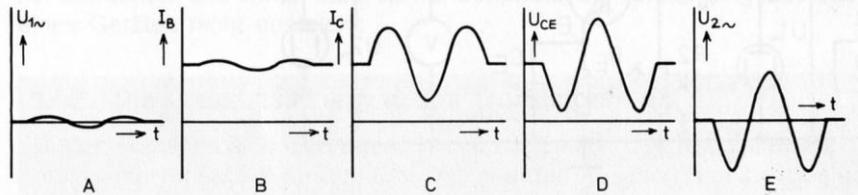
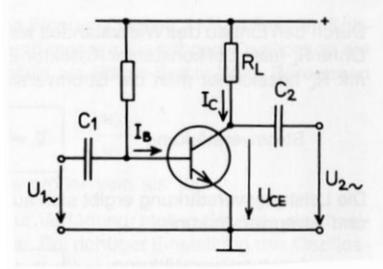
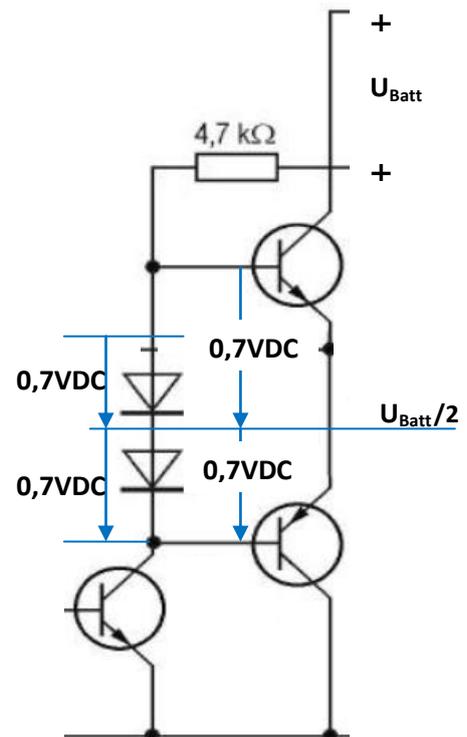


Bild 17-2: Die Wirkungsweise der Spannungsverstärkung



Die beiden Dioden haben je 0,7 VDC Durchgangsspannung. Das ist genau so viel wie jeder der beiden Endtransistoren als Basis-Emitter-Spannung braucht. Die beiden Dioden sind gleiche Typen und die beiden Transistoren haben gleiche elektrische Werte nur dass einer ein PNP- und der andere ein NPN-Typ ist. Dadurch haben beide Transistoren eine Basis-Emitter-Spannung und es fließt ein geringer Basisstrom und damit auch ein Kollektor-Gleichstrom und da beide gleich in ihren Werten sind, stellt sich an den verbundenen Emitttern $U_{Batt} / 2$ ein.

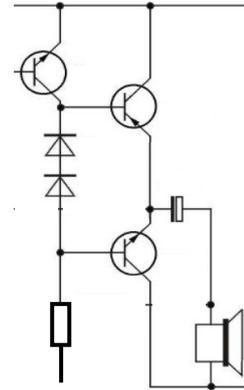
Das ist der Gleichstrom /-spannungs-Anteil in dieser Schaltung. Damit ist die Grundeinstellung für diese Transistorstufe gemacht.



Jetzt kommt der eigentliche Teil.

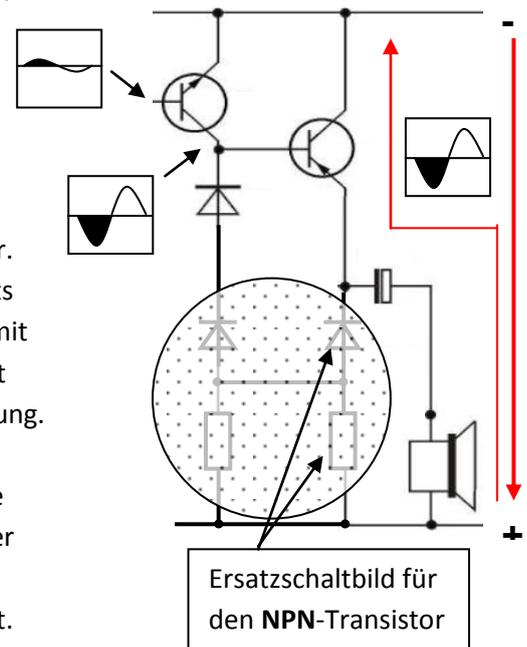
Wie verstärken diese beiden End-Transistoren die Wechselfspannung die vom Kollektor des vorigen Transistors kommt. Der Trick dabei ist, dass jeder Transistor nur eine Halbwelle verstärkt. Dabei muss man sich darüber klar sein, dass eine Wechselfspannung immer aus einer positiven und einer negativen Halbwelle besteht, siehe oben. Auch muss man daran denken, dass ein Transistor immer durch den Strom, der von seiner Basis zu seinem Emitter fließt, gesteuert wird.

Wenn man die Schaltung auf den Kopf stellt, dann sieht sie etwa so aus:



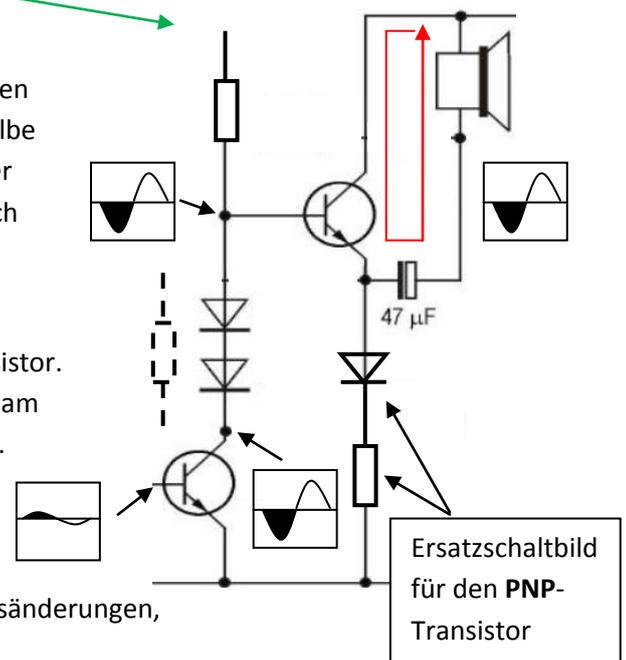
Der erste Transistor hat dann die gleiche Funktion für den nachfolgenden Transistor, wie der 1,2 MΩ Widerstand an seiner eigenen Basis. Nur dass es eben ein Transistor ist der bereits verstärkt. Der erste Transistor steuert so den Basisstrom für diesen Endtransistor. Die anderen Bauteile (siehe Kreis) sind jetzt nicht beteiligt. Es ist ein PNP-Transistor, der bei einer Basisspannung die negativer als seine Emitterspannung ist, mehr Kollektorstrom fließen lässt. D.h. bei der negativen Halbwelle (schwarz ausgefüllt) am Kollektor vom ersten Transistor fließt mehr Kollektorstrom im PNP-Transistor. Der Kondensator zwischen Lautsprecher und Emitter von diesem Transistor wird aufgeladen und die Membrane vom Lautsprecher wird hineingezogen.

Auf die positive Halbwelle folgt die negative Halbwelle am ersten Transistor. Dadurch ergibt sich an seinem Kollektor eine positive Halbwelle. Wie bereits oben angesprochen sind die beiden Dioden ja in Durchlassrichtung und damit für die Wechselspannung wie ein niederohmiger Widerstand. Deshalb steht an der Basis vom nachfolgenden NPN-Transistor die gleiche Wechselspannung. Diese jetzt positive Halbwelle lässt mehr Basisstrom in diesem Transistor fließen und der wiederum verursacht einen höheren Kollektorstrom. Da die vorausgehende Halbwelle den Kondensator aufgeladen hatte, entlädt dieser Kollektorstrom den Kondensator über den Lautsprecher mit umgekehrtem Stromfluss und die Membrane vom Lautsprecher wird nach außen gedrückt. Die hin und her Bewegung der Lautsprecher-Membrane verursacht die Schallwellen die wir hören können.



Abschließend noch eine Erklärung warum der 1,2 MΩ Widerstand an den beiden Emitttern angeschlossen ist. An dieser Stelle sollte immer die halbe Versorgungsspannung stehen. Wenn aber ein Transistor wärmer als der andere wird, verändert sich sein Innenwiderstand und damit ändert sich auch die Spannung an diesem Punkt. Das ändert damit auch die Basisspannung für den ersten Transistor und wirkt diesem Effekt entgegen.

Der 4,7 kΩ Widerstand ist ja der Kollektorwiderstand vom ersten Transistor. Er ist nicht direkt an der Versorgungsspannung angeschlossen, sondern am Lautsprecher. Man nennt das eine Wechselspannungs-Gegenkopplung. Die Phasenlage der Wechselspannung an diesem Punkt ist genau entgegengesetzt zur Eingangsspannung. Das vermindert die Gesamtverstärkung des Systems und macht es dadurch stabiler in seinem Verhalten gegen Spannungsschwankungen, Eingangsspannungsänderungen, Temperatur, Alterung.



Der 220 µF Elko parallel zur Batterie ist dazu da, dass immer gleiche Wechselspannungsverhältnisse herrschen, auch wenn die Batterie leer wird und ihr Innenwiderstand ansteigt. Siehe dicker roter Pfeil im oberen Schaltbild.