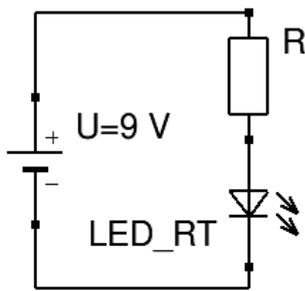


## 1. Versuche mit LEDs



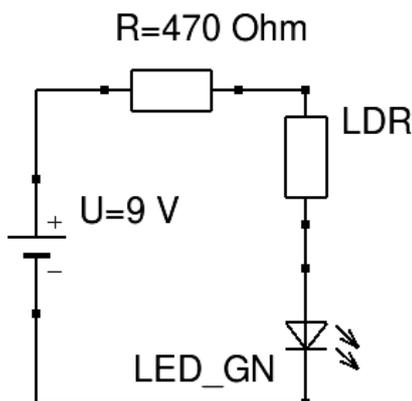
Folgende Maximalwerte sind für die LEDs zugelassen:

	$U_{Max}$	$I_{Max}$
RT:	2 V	0,3 mA
GE:	2,1 V	0,3 mA
GN:	2,2 V	0,25 mA

Untersuchungsauftrag:

1. Berechnen Sie den Wert des Widerstands so, dass die LED überlebt.
2. Bauen Sie die Schaltung auf und prüfen Sie, ob die Werte  $U_{Max}$  und  $I_{Max}$  eingehalten werden.
3. Eine wesentliche Eigenschaft von Dioden erfährt man, wenn man die Anschlüsse der LED auch mal vertauscht.
4. Modifizieren Sie die Schaltung so, dass 3 statt eine LED leuchten.

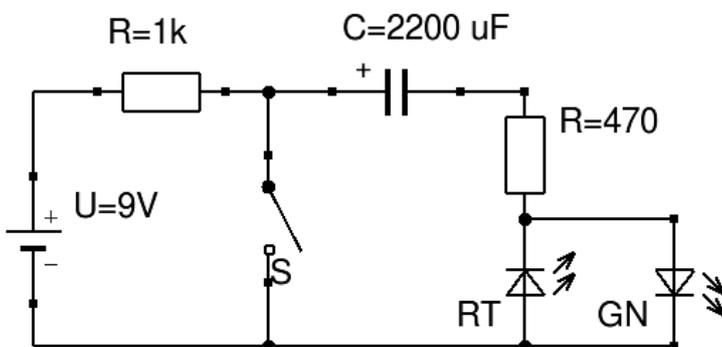
## 2. Der Photowiderstand



Bauen Sie die Schaltung nach und experimentieren Sie mit dem LDR.

Der LDR wird uns in vielen Fällen als ein durch die Helligkeit einstellbarer Widerstand nützlich sein. Dazu ist es wichtig zu wissen, zwischen welchen Werten er schwankt. Stellen Sie dies experimentell fest.

## 3. Rot oder Grün?



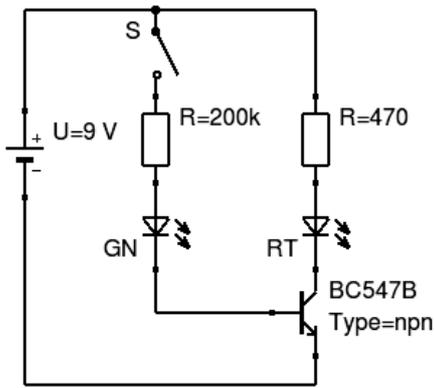
Was erwarten Sie, was passiert, wenn Sie den Schalter öffnen und schließen?

Bauen Sie das Experiment nach. Verwenden Sie als Schalter ein Stück Draht, den Sie herausziehen können.

Bitte achten Sie auf die richtige Polung des Kondensators.

Wie erklären Sie sich Ihre Beobachtung? Experimentieren Sie mit unterschiedlichen Kondensatoren und Widerständen.

#### 4. Transistoren - mit Strom Ströme schalten!



In der Schaltung fließt ein sehr(!) kleiner Steuerstrom. Mit ihm steuern Sie den vielhundertfach größeren Kollektorstrom. Sie erkennen dies an der Helligkeit der LEDs.

Experimentieren Sie mit der Schaltung:

1. Vergrößern oder verkleinern Sie die Widerstände und beobachten Sie, was passiert.
2. Stellen Sie die ursprüngliche Schaltung her. Vergleichen Sie die Lampenhelligkeit: Was passiert, wenn Sie den Transistor BC547B durch BC547C austauschen? Wodurch unterscheiden sich die beiden Modelle?
3. Transistoren verstärken den Basisstrom um einen bestimmten Faktor. Finden Sie diesen Faktor mithilfe eines Strommessgerätes für die beiden Transistoren heraus.

**WICHTIG:** Bitte keine Widerstände unter 470 Ohm verwenden, weil ansonsten die Bauteile Schaden nehmen können.

#### Umgedreht!

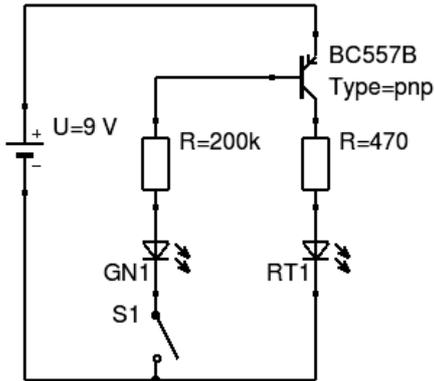
Obere Schaltung: NPN-Transistor

Beim NPN-Transistor steuert man den Kollektorstrom, indem man an der Basis eine relativ zum Emitter positive Spannung anlegt.

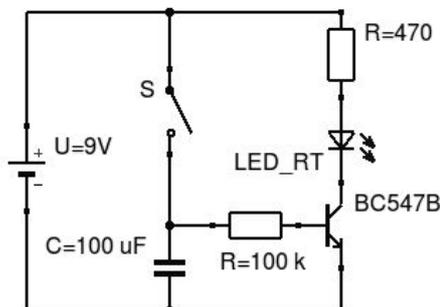
Untere Schaltung: PNP-Transistor:

Beim PNP-Transistor steuert man den Kollektorstrom, indem man an der Basis eine relativ zum Emitter negative Spannung anlegt.

Bemerkung: Das entsprechende Transistorsymbol unterscheidet sich nur durch die Pfeilrichtung.



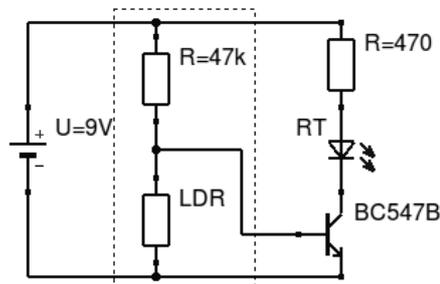
#### 5. Das Minutenlicht



Bauen Sie die Schaltung nach: Wovon hängt es ab, wie lange die LED leuchtet?

Experimentieren Sie mit unterschiedlichen Kondensatoren und Widerständen.

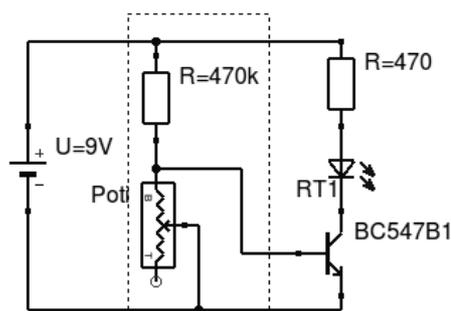
#### 6. Der Spannungsteiler - Licht ins Dunkel bringen!



Wenn Sie nach einem Funktionstest die rote LED durch die LED WS austauschen, haben Sie eine helle Taschenlampe, die im Dunkeln automatisch angeht.

Mit dem Widerstand 47k können Sie die Empfindlichkeit des Lichtsensors einstellen: Probieren Sie unterschiedliche Widerstände aus.

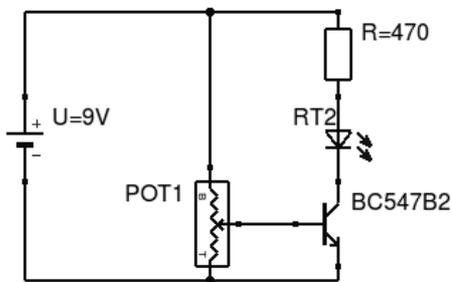
Der Transistor lässt dann einen für die LED ausreichenden Strom hindurch, wenn die Spannung zwischen Basis und Emitter ungefähr 0,6 Volt beträgt. Versuchen Sie, die Funktion des Spannungsteilers zu verstehen.



Die seitliche Abbildung hat anstelle des LDR ein Potentiometer.

Mit dem Potentiometer können Sie über eine Stellschraube einen beliebigen Widerstand einstellen.

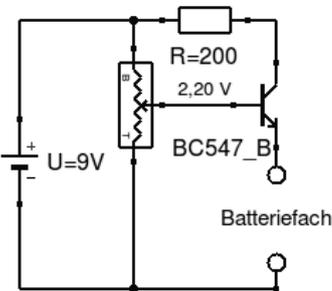
Versuchen Sie herauszufinden, bei welcher unteren Grenzspannung der Transistor gerade noch einen Strom hindurch lässt und bei welcher oberen Grenzspannung der maximale Strom erreicht wird. Ersetzen Sie hierfür die Leuchtdiode ggf durch ein Strommessgerät.



Ein Potentiometer kann schon für sich ein Spannungsteiler sein. Der Teilwiderstand vom Anschluss B zum mittleren Anschluss bildet den oberen Widerstand des Spannungsteilers, den Teilwiderstand vom mittleren Anschluss zum Anschluss T bildet den unteren Widerstand.

Hierdurch erspart man sich in vielen Fällen komplizierte Aufbauten.

## 7. Der Alkaline-Lader

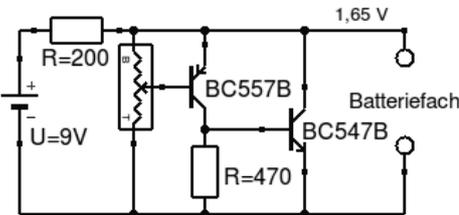


Nichtwiederaufladbare Alkali-Mangan-Batterien (Alkaline) können wieder aufgefrischt werden. Sie erhalten durch das Auffrischen etwa 80% der ursprünglichen Kapazität.

Dazu dürfen sie maximal bis zu eine Spannung von 1,65V geladen werden. Zudem darf der Ladestrom 0,08A nicht überschreiten.

In der seitlichen Schaltung wird der Ladestrom durch den Widerstand auf etwa 0,035A begrenzt. Der Transistor begrenzt die Ladespannung: Durch das Potentiometer wird das Basispotential 2,20V eingestellt. Läd die Batterie langsam auf, so erhöht sich ihre Spannung, und damit das Potential am Emitter.

Damit sinkt aber die Spannung zwischen Basis und Emitter immer weiter ab, wodurch der Strom durch den Transistor heruntergeregelt wird. Erreicht die Batterie 1,65V, beträgt die Basis-Emitterspannung nur noch 0,55V. Der Ladestrom beträgt dann nur noch wenige Mikroampere, die Batterie wird praktisch nicht mehr geladen.



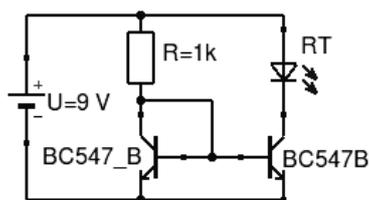
Nachteil des obigen Verfahrens: Der Ladevorgang dauert sehr lange, weil der Ladestrom mit der steigender Batteriespannung sehr stark abnimmt. Abhilfe schafft die seitliche Schaltung:

Über das Potentiometer wird gesteuert, wie viel Strom der BC557B auf die Basis des BC547B gibt. Der BC547B senkt entsprechend das Potential der obersten Leitung ab. Das Potentiometer wird so eingestellt, dass die Spannung im Batteriefach 1,65 V beträgt.

Wie arbeitet die Schaltung?

Eine entladene Batterie senkt das Potential von 1,65 V ab. Proportional dazu sinkt die Basis-Emitter-Spannung am BC557B. Dadurch wird der Strom durch die Basis des BC547B gedrosselt. Mit ihm wird deutlich stärker der Kollektorstrom des BC547B gedrosselt, wodurch der Transistor dem Potentialabfall am Batteriefach entgegenwirkt. Weil die Schaltung sehr empfindlich ist, wird die Batterie bis knapp unter 1,65V mit dem großen, durch den Widerstand R=200 Ohm eingestellten Ladestrom (hier etwa 0,035 A) gespeißt. Die Ladung erfolgt schneller.

## 8. Der Stromspiegel

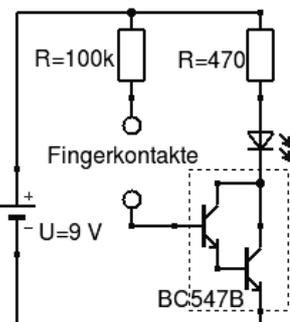


Bauen Sie die Schaltung nach und experimentieren Sie:

- Ziehen Sie bei laufendem Betrieb den Widerstand R raus.
- Erhöhen Sie den Widerstand auf 20k.

- a) Versuchen Sie die Schaltung zu verstehen und erklären Sie Ihre Beobachtungen.
- b) Was kann der praktische Nutzen dieser Schaltung sein?

## 9. Der Berührungssensor

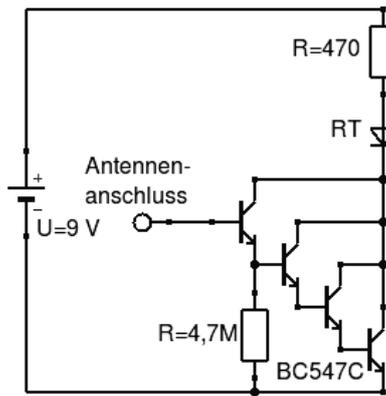


Wie lassen sich die winzigen, bei 9V über unsere Haut fließenden Ströme so stark verstärken, dass man LEDs damit schalten kann? - Diese Schaltung gibt eine Antwort darauf:

In dem gestrichelten Kasten wird der vom ersten Transistor bereits verstärkte Strom auf die Basis des zweiten Transistors gelenkt und noch einmal verstärkt. Die Verstärkungsfaktoren der Transistoren multiplizieren sich dabei.

Eine solche Schaltung nennt man Darlington-Schaltung. Wenn Sie ein- oder zwei weitere Transistoren davor schalten erhalten Sie eine derart große Stromverstärkung, dass bereits eine Annäherung eines Fingers an den Kontakt reicht, um die LED auszulösen. Auf diesem Prinzip basieren die Touchscreens moderner Smartphones.

## 10. Bauen eines Kabelfinders



Bei einem Kabelfinder nutzt man aus, dass unser Stromnetz mit Wechselstrom gespeißt wird. Das heißt, die Stromkabel in unserem Haus wechseln 100 mal in der Sekunde die Polarität.

Legt man einen ca. 15 cm langen Draht in die Nähe einer Stromleitung, so verschieben sich dort im gleichen Takt winzige Ladungsmengen aufgrund von Influenz. Diese winzigen Ströme werden durch die anschließende Darlington-Schaltung erheblich verstärkt und bringen die LED zum leuchten.

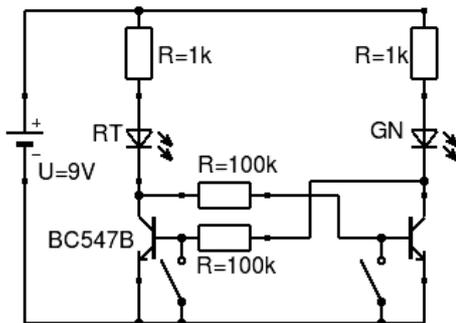
Der 4,7M-Widerstand dient der Stabilisierung der Schaltung. Zu große Ladungen werden hier zusätzlich abgeleitet.

Der Kabelfinder detektiert Kabel bis zu einem Abstand von etwa 1,5 cm. Für zu dicke Putz-Schichten reicht er nicht aus. Sie können versuchen, ihn noch empfindlicher zu machen.

## 11. Gammastrahlendetektor

--> existiert noch nicht

## 12. Der 1-Bit-Speicher

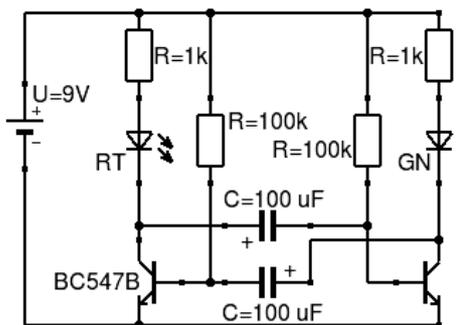


Computer funktionieren auf der Basis von 0 und 1: Alle Daten und Informationen werden in einer Reihe an Nullen und Einsen kodiert. Der Computer "merkt" sich solche Datenpakete durch winzige elektronische Schaltungen.

Seitlich abgebildet ist die Schaltung eines 1-Bit-Speichers: RT=0, GN=1. Über die beiden Schalter können Sie den Speicher auf 0 oder 1 setzen. Egal, wie Sie sich entscheiden, die Schaltung "merkt" sich den von Ihnen gewählten Wert.

Wie macht sie das?

## 13. Blinkerschaltung



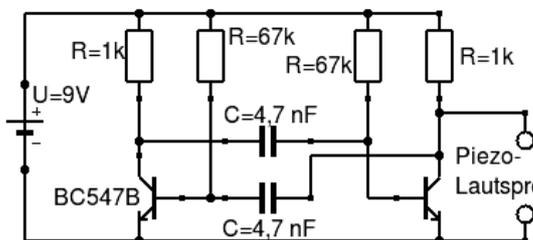
Die seitliche Schaltung befindet sich so oder ähnlich aufgebaut in jedem Auto: Abwechselnd blinken die rote und die grüne LED. Man bezeichnet die Schaltung als astabilen Multivibrator.

Versuchen Sie herauszufinden, wie die Schaltung funktioniert. Experimentieren Sie frei:  
- Was passiert, wenn man Kondensatoren mit kleinerer Kapazität nimmt?  
- Was passiert, wenn man die Widerstände verändert?

Warum blinkt die Schaltung?

**ACHTUNG:** Bitte beachten Sie die Polarität der Elektrolyt-Kondensatoren.

## 14. Hundescheuche und Marderschreck

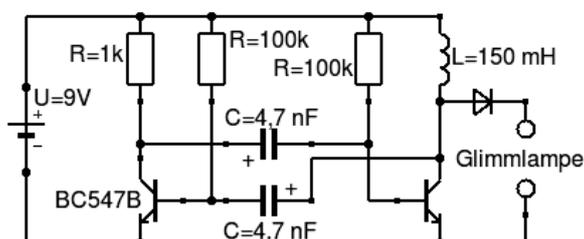


Wir können in unserer Blinker-Schaltung die Blinkfrequenz erhöhen, indem wir immer kleinere Kapazitäten verwenden. Die seitliche Schaltung zeigt, wie wir das Umschalten der Transistoren hörbar machen können - wir erhalten einen Tongenerator.

Durch eine geeignete Wahl von Kondensatoren/Widerstände können Sie Schallwellen beliebiger Frequenz erzeugen.

Tauschen Sie in der seitlichen Schaltung die Kondensatoren durch die 560 pF-Kondensatoren aus und Sie erhalten Ultraschall - eine perfekte Hundescheuche!

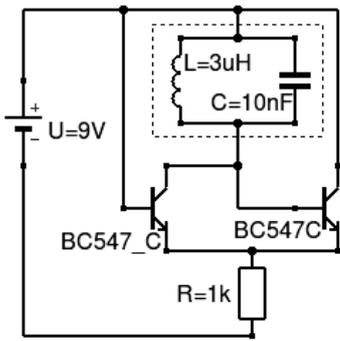
## 15. Hochspannungsgenerator: DC-DC-Wandler



**ACHTUNG:** Hochspannung! Die komplette Schaltung im Betrieb NICHT berühren!

Die Multivibratorschaltung wird hier genutzt, um die Spule mehrere tausend mal pro Sekunde ein- und wieder auszuschalten. Bei Ausschaltvorgang wird eine Spannung induziert, die ihrer Ursache entgegen wirkt. Weil der Strom durch den Transistor in einem sehr kurzen Zeitintervall gesperrt wird, ist die Induktionsspannung  $U=L \cdot I'$  sehr groß. Weil der Transistor dicht macht, wird der Induktionsstrom über die Diode zu den Anschlüssen der Glimmlampe geleitet, die nur ab einer Spannung von 90V leuchtet.

## 16. Der elektromagnetische Schwingkreis



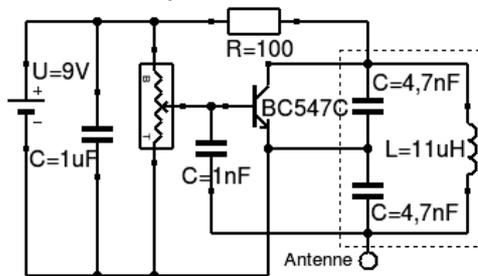
Wer einen Sender elektromagnetischer Wellen bauen möchte, benötigt die schnell abwechselnden elektrischen und magnetischen Felder, die ein Schwingkreis bieten kann. Der eigentliche Schwingkreis ist in der Schaltung gestrichelt umrahmt. Die Schaltung drum herum dient nur einem Zweck: Sie soll die Schwingung im Schwingkreis trotz der immer vorhandenen Dämpfung aufrecht erhalten!

Bauen Sie die Schaltung nach. Die Spule erhalten Sie, indem Sie 30 enge Windungen um eine Mignon-Batterie wickeln und mit Klebeband fixieren. Mit einem AM-Radio können Sie prüfen, ob sie funktioniert: Auch ohne Antenne strahlt der Schwingkreis bereits mit geringer Reichweite elektromagnetische Wellen ab. Stellen Sie Ihr Radio auf etwa 900 kHz ein und schalten Sie Ihre Schaltung ein. Weil Sie bisher kein Tonsignal aufmoduliert haben hören Sie bloß, dass das sonst vorhandene Hintergrundrauschen plötzlich weg ist. Um z.B. Musik zu senden, koppeln Sie das Audiosignal über einen 100nF-Kondensator auf das Emitter-Potential. Die andere Seite des Audiosignals verbinden Sie am Besten mit dem Minuspol.

Die gezeichnete Schaltung wird oft Differenzverstärker-Schaltung genannt, da die von uns später behandelten Differenzverstärker auf dem gleichen Prinzip aufbauen. Ihre Stärke ist, dass der Oszillator in fast allen Fällen problemlos anschwingt. Sie können also sehr freizügig mit der Schaltung experimentieren und durch Variation von L und C die Sendefrequenz ändern.

Die Differenzverstärkerschaltung hat aber auch ihre Nachteile: So haben Transistoren, abhängig von der anliegenden Spannung, unterschiedlich große Sperrschichten, welche wie Kondensatoren wirken und sogenannte parasitäre Kapazitäten bilden. Dieser Effekt hat bei dieser Schaltung große Wirkung - die Frequenz ändert sich erheblich, wenn etwa die Batteriespannung nachlässt. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass sich die Amplitude der Schwingung (und damit die Sendeleistung!) kaum beeinflussen lässt.

## 17. Der Colpitts-Oszillator



Der Colpitts-Oszillator zeichnet sich durch eine hohe Frequenzstabilität, beliebig einstellbare Schwingungsamplituden und großer Frequenzschärfe (Güte) aus und ist, richtig eingestellt, frei von Oberschwingungen. Er hat also deutliche Vorteile gegenüber der Differenzverstärker-Schaltung.

Der eigentliche Oszillator ist gestrichelt umrahmt. Statt eines Kondensators verwendet man zwei Kondensatoren in Reihe, die Gesamtkapazität lässt sich aus der Reihenschaltung berechnen.

Der Transistor wird über das Potentiometer auf seinen Arbeitspunkt eingestellt. Der Kondensator mit 1nF dient der Rückkopplung: Hochfrequente Schwingungen werden aufgrund elektrostatischer

Kräfte von der unteren auf die obere Platte übertragen und variieren entsprechend die Basisspannung des Transistors. Der Emitter des Transistors hat das gleiche Potential wie der Mittelteil der in Reihe geschalteten Kondensatoren.

Ist der untere Teil des Oszillators positiv im Vergleich zum Mittelteil geladen, so liegt aufgrund des Koppelkondensators auch an der Basis des Transistors eine zum Emitter positive Spannung an und er lässt den Strom stärker durch. Dadurch wird das Potential im oberen Teil des Schwingkreises weiter abgesenkt und die Schwingung verstärkt.

Ist dagegen der untere Teil negativ geladen, macht der Transistor dicht, das Potential oben wird weiter angehoben und die Schwingung erneut verstärkt.

Der Kondensator mit 1uF stellt einen Wechsellspannungskurzschluss dar und verhindert, dass die Batteriespannung die Spannungsschwankungen des Oszillators annimmt. Lässt man ihn weg, sinkt die Amplitude des Oszillators wegen Rückkopplungseffekte.

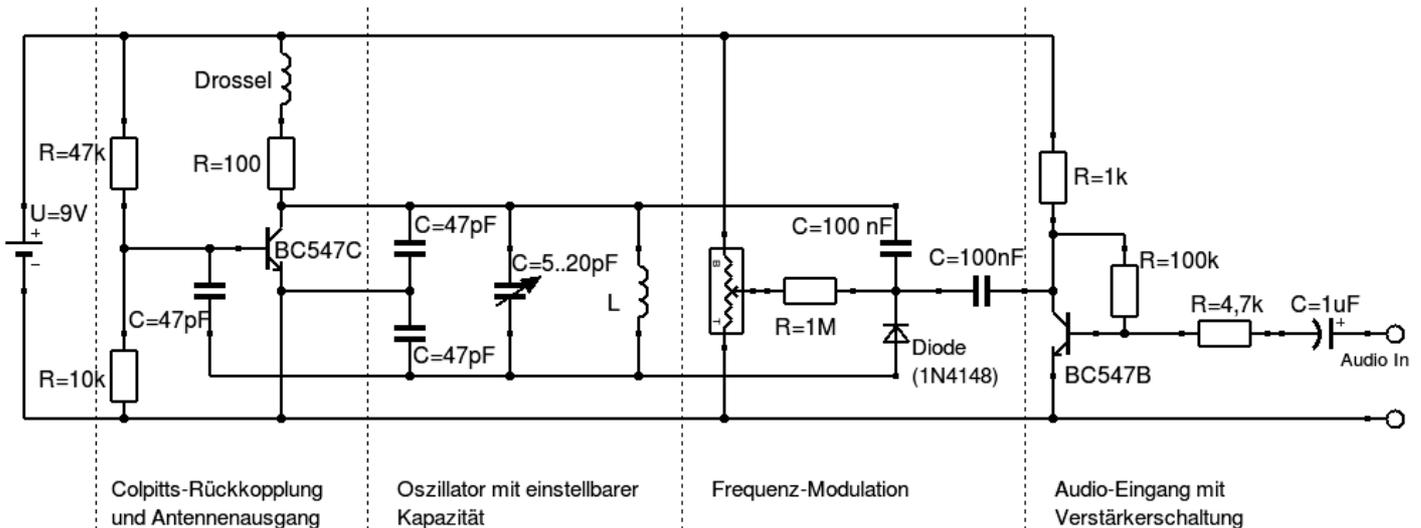
Die Kapazität des Koppelkondensators sollte möglichst klein sein, denn sie beeinflusst die Gesamtkapazität des Schwingkreises. In der Literatur findet man oft Colpitts-Oszillatoren, bei denen der obere Kondensator um einiges größer ist als der untere. Hierdurch lassen sich tatsächlich größere Amplituden erreichen. Allerdings entstehen zahlreiche Oberschwingungen, die in anderen Funkfrequenzbereichen stören können.

Bauen Sie die Schaltung nach. Wickeln Sie für die Spule 2 Lagen Draht mit insgesamt 60 bis 70 Windungen in gleicher Drehrichtung um eine Mignon-Batterie und entfernen die Batterie anschließend. Sie können Ihren Sender bei 900 bis 1000 kHz im AM-Radio hören.

### WICHTIGER HINWEIS:

Die Sendeleistung ist mit einer mehrere Meter langen Antenne relativ groß. Bitte beachten Sie, dass Schwarzsender illegal sind und von der Bundesnetzagentur geahndet werden. Es gibt allerdings Allgemeinzuteilungen von Funklizenzen, die im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen genutzt werden dürfen. Mehr dazu findet man auf den Seiten der Bundesnetzagentur.

## 18. Der FM-Sender



Mit diesem Sender können Sie Ihre Musik per Funk auf Ihr Radio übertragen. Er erzeugt frequenzmodulierte elektromagnetische Wellen im Bereich um 100 MHz.

Die Funktion des Senders lässt sich einfach verstehen. Von links nach rechts:

1. Die Colpitts-Rückkopplung ist bereits bekannt. Der Arbeitspunkt des Transistors wird hier nicht über ein Potentiometer eingestellt.

Festwiderstände teilen die Spannung im richtigen Verhältnis.

Als zusätzliches Bauteil wurde eine Drossel eingebaut. Hierbei handelt es sich um die Spule mit 30 Windungen der Differenzverstärker-Schaltung. Aufgrund der relativ hohen Induktivität ist sie für die ultrahochfrequente Spannung des Schwingkreises undurchlässig. Dadurch wandert weniger Energie vom Schwingkreis ab und er schwingt mit höheren Amplituden.

2. Der Oszillator ist im Aufbau jetzt komplexer: Zu den beiden in Reihe geschalteten Kondensatoren wird ein Drehkondensator parallel geschaltet. Bei Parallelschaltung addieren sich die Kapazitäten des Schwingkreises. Mit dem Drehkondensator kann also direkt die Kapazität unseres Schwingkreises ändern und damit Einfluss auf seine Sendefrequenz nehmen. Als Spule nehmen wir einen einfachen, 7,4 cm langen ungewundenen Draht, den wir an beiden Enden zu 7 mm entisolieren. Der Draht selbst hat eine für so hohe Frequenzen ausreichende Induktivität.

3. Wesentlicher Bestandteil des Modulators ist die Diode. Legt man an Dioden eine Spannung in Sperrichtung an, so entsteht zwischen dem n- und p-Halbleiter der Diode eine Sperrschicht, die um so größer ist, je größer die anliegende Spannung ist. Die Grenzflächen dieser Sperrschicht wirken nun wie die Flächen eines Kondensators, dessen Abstand über die Sperrschichtgröße einstellbar ist. Was man erhält ist eine Kapazität, die über die Spannung einstellbar ist. Über das rechte Potentiometer kann die Spannung in Sperrichtung eingestellt werden. Die entstehenden Kapazitäten bewegen sich im pF-Bereich und sind über den 100nF-Kondensator in den Schwingkreis eingekoppelt. Da sich Kapazitäten bei Reihenschaltung über den Kehrwert addieren, hat der um viele Zehnerpotenzen größere 100nF-Kondensator so gut wie keinen Einfluss auf den Schwingkreis und dient nur als Gleichstromsperre, damit die Ladungen nicht vom Potentiometer in den Schwingkreis gelangen. Die Diodenkapazität ist allerdings eine zusätzliche Kapazität des Schwingkreises. Verändert man die Gegenspannung, so verändert man die Sperrschichtkapazität und damit die Sendefrequenz. Mit dem Potentiometer kann sie sehr fein eingestellt werden. Ganz links findet man einen weiteren 100nF-Kondensator. Über ihn kommen Spannungsschwankungen durch das Audio-signal auf die Sperrschicht. Diese vergrößert/verkleinert sich entsprechend der Audiosignale und die Sendefrequenz wird entsprechend dieser Signale beeinflusst. Die entstehende elektromagnetische Welle ist jetzt frequenzmoduliert.

4. Da die kleinen Spannungsschwankungen am Ausgang gewöhnlicher MP3-Player nicht ausreichen, um die Sperrschichtkapazitäten ausreichend zu beeinflussen, müssen die Spannungsschwankungen verstärkt werden. Dies geschieht über den Transistor: Über den 100k-Widerstand wird er auf einen Arbeitspunkt eingestellt. Die kleinen Stromschwankungen an der Basis des Transistors führen wegen seiner Stromverstärkenden Eigenschaften zu großen Stromschwankungen zwischen Kollektor und Emitter. Dadurch fällt die Spannung zwischen Kollektor und Emitter im Takt der Musik entsprechend stark ab und wird über den 100nF-Kondensator auf die Dioden übertragen.

Zu Lehrzwecken soll nun noch beschrieben werden, wie Sie eine Antenne für höhere Reichweiten an den Schwingkreis ankoppeln können. Als Antenne dient ein Stück isolierter Draht, dessen Länge möglichst exakt der halben Wellenlänge der durch den Schwingkreis entstehenden elektromagnetischen Welle entspricht. Die Mitte des Drahtes kleben Sie an den Draht der Schwingkreisspule. Das magnetische Wechselfeld überträgt die Schwingung aufgrund elektromagnetischer Induktion auf den Antennendraht. Die Sendeleistung beträgt etwa 2 mW, was um den Faktor 40 oberhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte liegt. Bitte nehmen Sie daher Ihren Schwingkreis nicht mit Antenne in Betrieb.

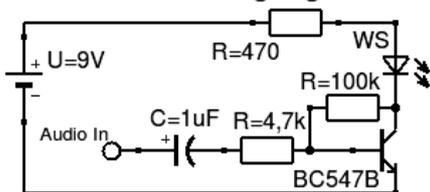
WICHTIG(!):

- Alle Bauteile des Oszillators, der Rückkopplung und des Modulators sollten möglichst eng und ohne Verwendung weiterer Drähte zusammen gesteckt werden. Jeder zusätzliche Millimeter Leitungsstrecke stellt eine zusätzliche Induktivität dar, die die Frequenz des Schwingkreises beeinflusst oder die Oberschwingungen auslösen kann.

- Bitte beachten Sie beim Betrieb, dass die hochfrequente Schwingung des Oszillators stark abgeschwächt auf den Audio-Eingang rückkoppelt. Es existieren MP3-Player, die das Kopfhörerkabel als Antenne für UKW-Empfang nutzen. Auch wenn dies von mir im Rahmen intensiver Tests noch nicht beobachtet wurde, ist kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Geräte aufgrund von Resonanzphänomenen Schaden nehmen können. Die Verwendung solcher Geräte erfolgt somit auf eigene Gefahr.

- Bitte beachten Sie, dass Sie im Rahmen der aktuellen Gesetzeslage den Schwingkreis nicht mit Antenne betreiben dürfen.

## 19. Audioübertragung durch amplitudenmoduliertes Licht

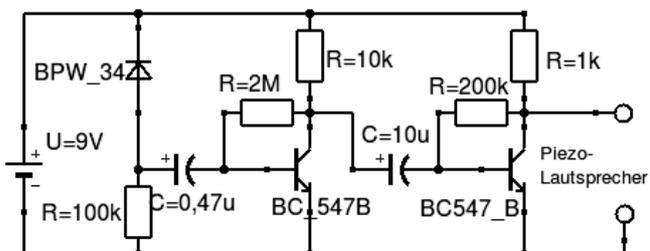


Ton und Musik lassen sich auch durch Licht übertragen. Dazu verwendet man eine helle LED, die ihre Helligkeit entsprechend des Audiosignals variiert. Und das erreicht man durch die linke Schaltung:

Beim Audiosignal handelt es sich um Schwingungen, die den Kondensator permanent umladen. Wegen des elektrischen Feldes überträgt sich die Schwingung - im Gegensatz zum Gleichstrom - von der linken Platte auf die rechte und über den Widerstand 4,7k auf die Basis des Transistors.

Der Transistor verstärkt den Strom: Der vom Kollektor zum Emitter fließende Strom ist um den Faktor 300 stärker als der von der Basis zum Emitter fließende Strom. Dadurch schwankt die Helligkeit der am Kollektor angeschlossenen LED im Takt der Musik.

Transistoren leiten den Strom erst ab einer Basis-Emitter-Spannung von etwa 0,55V. Weil die Audiosignale in der Regel schwächer sind, benötigen wir den Widerstand 100k: Er lässt stets einen geringen Strom fließen und stellt den Transistor dadurch auf einen geeigneten Arbeitspunkt ein. Eine solche Transistorschaltung nennen wir kurz Verstärkerschaltung - sie verstärkt den Strom.



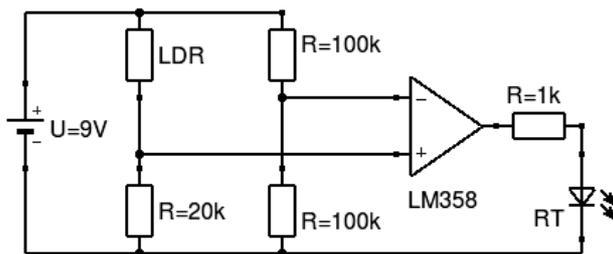
Für den Empfänger des Lichtsignals benötigen wir eine besonders große Verstärkung, um ausreichende Reichweiten zu erzielen. Für große Verstärkungen kann man mehrere Verstärkerstufen hintereinanderschalten. Dieser Empfänger enthält, wie man sofort sieht, zwei Verstärkerstufen.

Das Signal erhält der Verstärker von der Photodiode BPW 34:

Die BPW ist entgegen der Durchlassrichtung eingebaut. Trifft Licht auf ihre Sperrschicht, so heben die Photonen Elektronen in das Leitungsband und es fließt ein Strom, der mit der Intensität des einfallenden Lichts zusammenhängt.

Jenachdem, wie viel Strom die Photodiode hindurch lässt, schwankt das Potential vor dem Widerstand 100k. Diese Schwankungen werden durch die beiden Verstärkerstufen verstärkt. Entsprechend stark schwankt das Potential am Kollektor des rechten Transistors - die Schwingungen werden auf den Piezo-Lautsprecher übertragen und man hört den ausgesendeten Ton.

## 20. Der Operationsverstärker LM358



Der Operationsverstärker vergleicht das Potential zwischen invertiertem (-) und nicht-invertiertem (+) Eingang. Das Potential am Ausgang ist Null, wenn das Potential am invertierten (-) Eingang höher als am nichtinvertierten (+) Eingang ist.

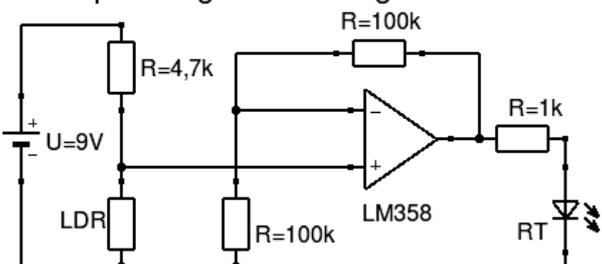
Überschreitet aber das Potential am nichtinvertierten Eingang (+) das am invertierten Eingang, so wird die Potentialdifferenz um einen Faktor 100000 verstärkt und auf den Ausgang gelegt. Die LED leuchtet in diesem Fall.

Erklären Sie, weshalb die LED anspringt, sobald die Helligkeit einen gewissen Grenzwert überschreitet und weshalb sie aus geht, wenn der Helligkeitspegel wieder unterschritten wird.

Erklären Sie auch, weshalb eine Übergangsphase praktisch nicht beobachtet werden kann, in der die LED mit reduzierter Helligkeit leuchtet.

Der Operationsverstärker kann also eingesetzt werden, um zwei Spannungen miteinander zu vergleichen. Jenachdem, welche Spannung größer ist, ist der Ausgang entweder garnicht oder voll angesteuert.

## 21. Spannungsverstärkung mit dem LM 358

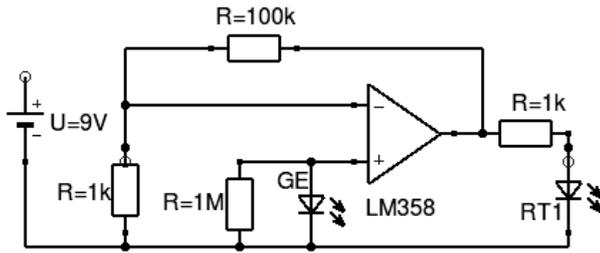


Mit einem Operationsverstärker lässt sich sehr leicht eine Spannungsvervielfachung realisieren, und zwar durch eine Rückkopplung des Ausgangs auf den invertierten Eingang: Die beiden 100k-Widerstände bilden einen Spannungsteiler. In diesem Fall ist das Potential am invertierten Eingang genau halb so groß, wie am Ausgang des Operationsverstärkers. Da der LM358 die Potentialdifferenz zwischen invertiertem und nichtinvertiertem Eingang verstärkt, Ändert sich das Ausgangssignal so lange, bis am invertierten Eingang das selbe Potential wie am nichtinvertierten Eingang anliegt. Wegen des Spannungsteilers ist das Potential am Ausgang also exakt doppelt so groß.

Durch eine geeignete Wahl der Widerstände des Spannungsteilers lässt sich ein beliebiger wählbarer Verstärkungsfaktor für die Spannung erreichen. Beachtet werden muss nur, dass die Obergrenze des Ausgangspotentials etwa 0,6V unter den 9V der Spannungsquelle liegt.

## 22. Eine LED als Stromerzeuger

Eine Photovoltaik-Zelle besteht aus einer n-dotierten und einer p-dotierten Halbleiterschicht, die direkt aufeinander liegen und somit eine recht großflächige Sperrschicht ausbilden. Treffen Photonen ausreichender Energie auf die Sperrschicht, so werden Elektronen in das Leitungsband gehoben und wandern aufgrund der des elektrischen Feldes der Sperrschicht zum n-Halbleiter, während die dadurch entstehenden Löcher zum p-Halbleiter wandern. Dadurch entsteht eine Spannung, die sich als Stromquelle nutzen lässt.



Sperrschichten kennen wir aber bei ganz normalen Dioden und Leuchtdioden. Daher müssten sie sich ähnlich wie Photovoltaikzellen dazu eignen, Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Die LED müsste also auch als Spannungsquelle eignen.

Verwenden wir die gelbe LED. Weil sich vermutlich nur sehr geringe Spannungen und Ströme ergeben, verstärken wir die an der LED entstehenden Spannung mithilfe der seitlichen Schaltung durch die Wahl des Spannungsteilers etwa 100-fach.

Wenn an dem p-Halbleiter der LED tatsächlich ein positiver Pol entsteht, so entsteht dadurch ein Stromkreislauf vom p-Halbleiter über den 1M-Widerstand und zurück zum n-Halbleiter der Diode. Weil der p-Halbleiter am nichtinvertierten Eingang (+) des Operationsverstärkers angeschlossen ist, müsste hier eine positive Spannung entstehen, die durch den LM358 um den Faktor 100 verstärkt wird und die rote LED zum leuchten bringt. Probieren Sie es mit einer Lampe aus. Wenn es funktioniert, nutzen Sie die LED gerade als Photovoltaikzelle.