Physikalisches Schulversuchspraktikum
Katharina Wieser - 9855124
WS 00/01

Schülerversuche

NTL Elektronik
Diode und Transistor

Lehrplan: 7. Klasse / 11. Schulstufe

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung 3
II. Grundlagen 4
1. Geschichtliche Entwicklung der Halbleiter 4
2. Der Halbleiter 5
3. Der dotierte Halbleiter 7
4. Der pn-Übergang: Halbleiterdiode 8
5. Der pn-Übergang: Transistor 10
6. Optoelektronische Bausteine 11
III. Schülerversuche 12
1. Versuche zur Diode 12
1. Versuche zum Transistor 17
3. Versuche zur praktischen Anwendung des Transistors 27

I. Einleitung

Ziel:

Die Schüler sollen in der Praxis Versuche durchführen und so es noch anschaulicher lernen und verstehen könne, weil sie somit optisch, akustisch und taktil gefordert werden und somit alle Seiten des menschlichen Lernvermögens durch reize angesprochen werden.

Grundsätzlich sind die Schülerversuche mit den NTL- und anderen Baukästen sehr zu empfehlen, da die Schüler persönlich Fakten feststellen und verifizieren könne, ohne dass es ihnen direkt vom Lehrer vorgesetzt wird. Problematisch wird es nur, da meistens vor allem die Steckplatten sehr anfällig für Ausfälle sind und daher manchmal Schwierigkeiten auftreten können.

In diesem Protokoll werden nur Diode und Transistor behandelt, Widerstände bzw. Ohmsches Gesetz findet man im Protokoll von Ursula Feischl.

Die Beschreibung und notwendige Verwendbarkeit der Schülerversuche ist direkt bei den jeweiligen Versuchen dabei. Die Versuche werden in den theoretischen Grundlagen nicht extra angeführt, da man die Schülerversuche entweder als Block oder parallel zum theoretischen Unterricht durchführen kann.

II. Grundlagen

1. Geschichtliche Entwicklung der Halbleiter

„Wozu braucht man überhaupt Halbleiter?“

Ziel:
Die Schüler sollen die umfassende praktische Anwendung und vor allem deren Wichtigkeit erkennen. Außerdem ist es wichtig, die Schüler darauf hinzuweiden, wie rasant die Entwicklung in diesem bereich vor sich gegangen ist.

Miniaturisierte elektronische Bauteile haben das Leben auf der Erde stark verändert. Ohne Handy, Satelliten-Fernsehen und –Kommunikation ist ein Leben in den Industrieländern kaum mehr vorstellbar.

Diese Entwicklung wurde 1876 von Ferdinand Braun eingeleitet, der Experimente zur Stromleitung von Kristallen durchführte. Er presste eine metallspitze auf einen Schwefelkieskristall und kam zu folgendem Ergebnis: In einer Richtung leitet der Kristall gut (je höher die Stromstärke, umso besser), in der anderen fließt nur wenig Strom. Dieser Gleichrichtereffekt widersprach allen damals bekannten Eigenschaften der Materie, und konnte erst 1939 tatsächlich erklärt werden. Verwendet wurde dieser Effekt in der Frühzeit von Telegraphie und Radio.

Von der Jahrhundertwende an bis ca. 1955 basierte die Nachrichtentechnik auf der Elektronenröhre, die allerdings einige Nachteile wie hohen Energieverbrauch, Empfindlichkeit gegenüber Stößen und sehr kurze Lebensdauer der Glühkathode hatte. Daher wurde nach einem kompakteren Bauteil gesucht.

Nach der Erfindung des Transistors 1947 war die Entwicklung der integrierten Schaltkreise (ab 1965) eine weiter entscheidende technische Errungenschaft. Sie ermöglichen die moderne Rechen- und Steuerungstechnik von Taschenrechnern und Industrierobotern.

2. Der Halbleiter

„Was ist ein Halbleiter ?“

Ziel:

Die Schüler sollen die Eigenschaften von Halbleitern im Gegensatz zu Isolatoren und Metallen mit Hilfe der ablaufenden Vorgänge begreifen.

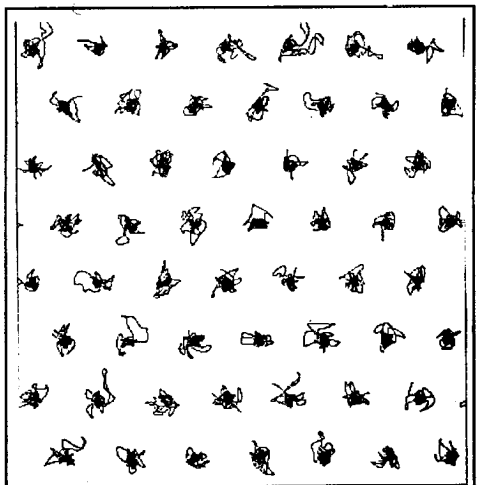
Unter einem reinen Halbleiter versteht man einen Festkörper, der Strom mittels Elektronen besser als ein Isolator aber schlechter als ein metallischer Leiter leitet. Sein spezifischer Widerstand liegt zwischen 10^{-3} und 10^{2} Ωm. Die wichtigsten Halbleiter sind Silicium und Germanium (befinden sich im Periodensystem der Elemente zischen dem Isolator Kohlenstoff und dem metallischen Zinn).

	Material	spezifischer Widerstand (Ωm)
Isolatoren	Hartgummi	10^{16}
	Glimmer	10^{14}
	Elfenbein	10^{7}
Halbleiter	Reines Silicium	10^{2}
	Reines Germanium	1
	dotiertes Silicium	$10^{-1} \ldots 10^{-3}$
Leiter	Kupfer, Silber	10^{-8}

Chemisch reine Halbleiter leiten den Strom sehr schlecht, bei sehr tiefen Temperaturen verhalten sie sich wie Isolatoren. Eine Erhöhung der Leitfähigkeit und andere wichtige Eigenschaften bekommt man durch den gezielten Einbau von Atomen anderer Elemente. Das nennt man Dotierung mit Fremdatomen.

Wie gelingt es dem Halbleiter, Elektronen aus der Bindung freizusetzen und durch diese frei beweglichen Elektronen zum schlechten Leiter zu werden?

Die im Kristallgitter angeordneten Atome ruhen nicht bewegungslos an ihren Gitterplätzen, sie schwingen um ihre mittleren Positionen. Diese Schwingungen sind umso stärker, je höher die Temperatur ist. Viele Atome haben eine geringe Energie, manche etwas mehr und nur sehr wenige eine Energie, die ausreicht, um ein Elektron aus seiner Bindung herauszuschlagen. Diese stehen dann als frei bewegliche Leiterelektronen zur Verfügung, sie können einem angelegten elektrischen Feld folgen.



Computersimulation der Gitterschwingungen eines Kristalls

Die positiven Ionen, die nach Freisetzung eines Elektrons ortsfest an ihrem Gitterplatz gebunden bleiben, nennt man Elektronenloch. Jedes dieser Ionen kann einem benachbarten Gitteratom ein Elektron „wegnehmen“ und wieder neutral werden. Dadurch wandern die Elektronenlöcher und tragen somit auch zum Ladungstransport bei.

Wenn nun ein freies Elektron auf ein Elektronenloch trifft, dann rekombinieren diese und somit wird Bindungsenergie frei, die in Form von Licht oder Wärme abgegeben wird.

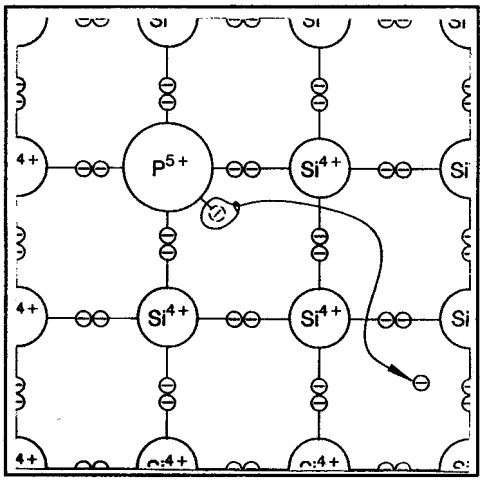
3. Der dotierte Halbleiter

„Wie kann ich einen Halbleiter besser leitfähig machen?“

Ziel:
Die Schüler sollen den Gundgedanken der Dotierung, nämlich zusätzliche Erzeugung von Ladungsträgern erkennen.

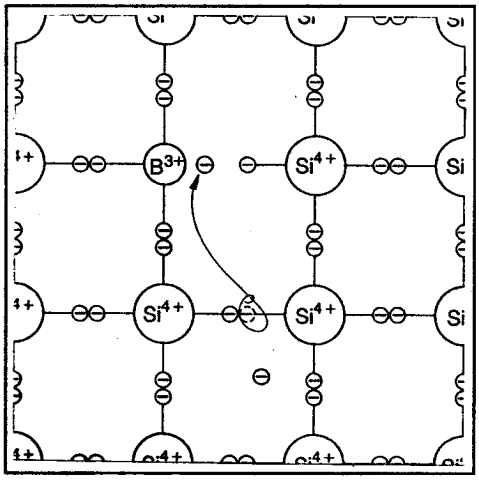
Im reinen Halbleiter befinden sich immer gleich viel freie Elektronen wie Elektronenlöcher. Durch die Zugabe bestimmter Fremdatome kann man die Zahl der frei beweglichen Ladungsträger und damit die Leitfähigkeit des Kristalls beträchtlich steigern. Das nennt man dann dotierte Halbleiter.

a. Elektronenüberschussleiter (n-Leiter)



Ersetzt man eines von 10^4 bis 10^7 Siliciumatomen im Kristallgitter durch ein Phosphoratom, so ist das fünfte Valenzelektron des Phosphors nicht an das Gitter gebunden, da nur vier an der Bindung mit den benachbarten Si-Elektronen teilnehmen können. Dieses Elektron lässt sich leicht vom Gitter trennen und zurück bleibt ein Phosphorion (=Elektronenloch). Das Phosphoratom wird Donator (Elektronenspender) genannt.

b. Elektronenmangelleiter (p-Leiter)



Bauen wir jetzt statt des fünfwertigen Phosphors ein dreiwertiges Bor ein, fehlt ein Elektron um die Bindung zu allen 4 Siliciumnachbarn herstellen zu können. Dieses fehlende Elektron wird von den umgebenden Siliciumatomen genommen und damit wurden Elektronenlöcher als zusätzliche Ladungsträger erzeugt. Boratome, die ein Elektron eingefangen haben, nennt man Akzeptoren.

Die Konzentration der Fremdatome bestimmt die Leitfähigkeit.

4. Der pn-Übergang: Halbleiterdiode

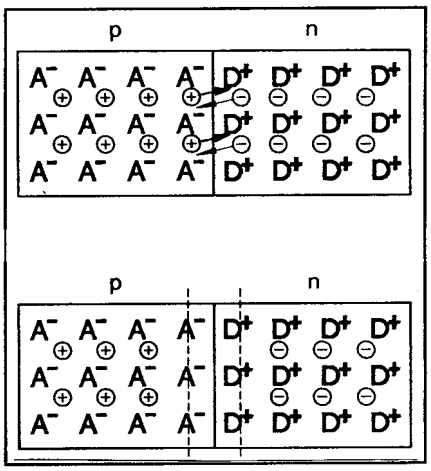
„Wie funktioniert eine Diode?“

Ziel:

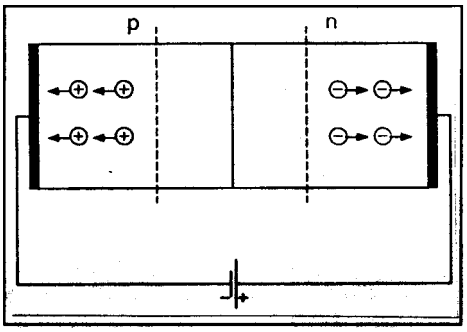
Die Schüler sollen die Funktionsweise und die dadurch möglichen Anwendungen der Diode erkennen und verstehen.

Interessante Phänomene ergeben sich, wenn eine n-leitende an eine p-leitende Kristallzone grenzt. Ein solches Halbleiterbauelement ist die Diode.

Bringen wir einen n- und einen p-Leiter in Kontakt, so wandern aufgrund der Wärmebewegung Elektronen und Elektronenlöcher über die Kontaktfläche und rekombinieren. Dadurch nehmen die frei beweglichen Ladungsträger im Bereich der Grenzschicht ab. Im n-Leiter führen die unkompensierten Donatorionen zu einer positiven Aufladung, im p-Leiter führen die unkompensierten Akzeptorionen zu einer negativen Aufladung. Diese elektrische Feld verhindert die weitere Wanderung von Ladungsträgern über die Kontaktfläche. Dadurch steigt der Widerstand der Grenzschicht, und diese wird zur Sperrschicht.

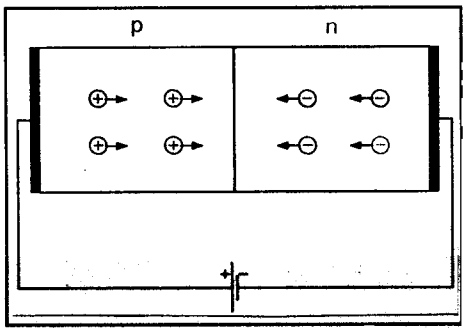


Sperrrichtung



Legt man an den p-Leiter den Minuspol, an den n-Leiter den Pluspol einer Spannungsquelle, so verbreitert sich die Sperrschicht, da die freien Elektronen zum Pluspol, die Elektronenlöcher zum Minuspol strömen.

Durchlaßrichtung



Legt man an den n-Leiter den Minuspol, an den p-Leiter den Pluspol, so werden die freien Elektronen bzw. die Elektronenlöcher in die Sperrschicht gedrängt, so dass sich diese verkleinert. Überschreitet schließlich die äußere Spannung einen gewissen Schwellenwert, so wird die Sperrschicht abgebaut und Strom kann fließen, indem die einströmenden Elektronen und Löcher rekombinieren.

Ein pn-Übergang erlaubt also den technischen Stromfluß vom p-Leiter zum n-Leiter.

Die Halbleiterdiode dient wegen ihrer Robustheit, ihrer geringen Abmessungen und ihrer geringen Verlustleistung (niederohmig in Durchlassrichtung, kein Strom in Sperrrichtung) als Gleichrichter-element in der Schwach- und Starkstromtechnik.

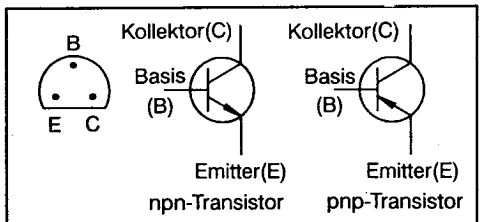
5. Der pn-Übergang: Transistor

„ Welche Eigenschaften hat ein Transistor?“

Ziel:

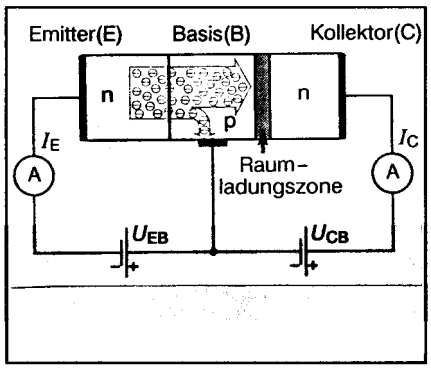
Die Schüler sollen die Funktionsweise und die dadurch möglichen Anwendungen der Transistor erkennen und verstehen.

Der Flächentransistor besteht aus drei Zonen unterschiedlicher Dotierung. Beim npn-Transistor befindet sich zwischen zwei n-leitenden Bereichen eine sehr dünne (~10^{-3} mm) p-Leiter-Schicht. Die Mittelschicht heißt Basis, die beiden äußeren Emitter und Kollektor. Jede Schicht trägt einen Kontakt.



Transistor von unten, Anschlüsse. Schaltsymbole für Transistoren (Technische Stromrichtung beachten!)

Durch Anlegen der Basisspannung fließt im Emitter in Richtung Basis ein Strom von Elektronen, in der Basis ein Löcherstrom in Richtung Emitter, dadurch wird die Sperrschicht abgebaut.



Da die Basis sehr dünn ist, diffundiert ein Großteil der Elektronen zur Sperrschicht von Basis und Kollektor. Sie werden durch die Donatorionen der Sperrschicht angesaugt und fließen zur positiven Elektrode. Der Kollektorstrom (vom Emitter zum Kollektor) ist bis zu tausendmal größer als der Basisstrom (vom Emitter zur Basis).

Würden nicht ständig aus der Basis Elektronen abgesaugt bzw. Löcher eingeschleust, würde sich durch Rekombination von Elektronen mit Löchern eine negative Raumladung aufbauen, die den weiteren Elektronenfluss vom Emitter zur Basis und zum Kollektor verhindern würde.

Der Transistor als elektronischer Schalter

Der Transistor schaltet den Kollektorstrom je nach Spannung zwischen Emitter und Basis ein oder aus. Seine Vorteile sind geringer Platzbedarf, geringe Verlustleistung und hohe Schaltgeschwindigkeit (bis zu Nanosekunden).

6. Optoelektronische Bausteine

„ Wie kann ich die Halbleiter verwenden?“

Ziel:

Die Schüler sollen das große Anwendungsgebiet der Halbleiter erkennen und die Funktionsweisen von Fernbedienung, PC, Alarmanlagen,... besser verstehen lernen.

Neben Diode und Transistor gibt es noch weitere wichtige Halbleiterbausteine. Die Umwandlung von Licht in Elektrizität und von Elektrizität in Licht gewinnt immer größere Bedeutung.

Photodiode

Durch Lichteinfall werden Elektronen und Löcher gebildet. Die im p-Leiter produzierten Elektronen und die im n-Leiter produzierten Löcher wandern unter dem Einfluss einer angelegten Spannung zur Sperrschicht und erhöhen den Sperrstrom.
Anwendung findet die Photodiode in der Lichtmessung, bei Lichtschranken und bei Infrarot-Fernbedienungen.

Leuchtdiode LED („light emitting diode“)

Bei Anlegen einer Durchlassspannung wandern Elektronen aus dem n-Bereich und Löcher aus dem p-Bereich durch den pn-Übergang und rekombinieren. Die dabei frei werdende Energie wird teilweise als Licht abgestrahlt. Die Farbe des abgestrahlten Lichts hängt vom Material der LED ab. Silicium-LED´s strahlen im infraroten Bereich, GaP-Led´s leuchten grün und substituiert man P teilweise durch As, so verschiebt sich die Farbe über gelb nach rot.

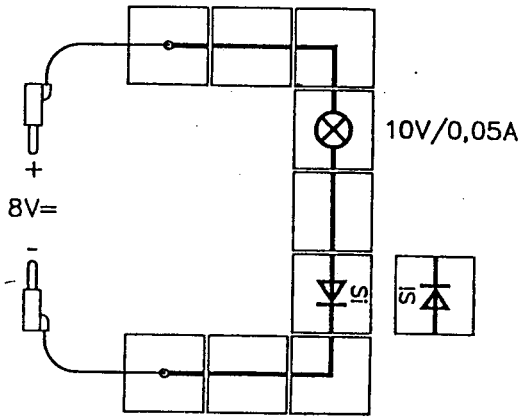
III. Schülerversuche

1. Versuche zur Diode

Versuch 1.1

EL 2.1

SILIZIUM - DIODE



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Si-Diode
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Bei Glühlämpchen und ohmschen Widerständen ist es gleichgültig, in welcher Richtung sie vom elektrischen Strom durchflossen werden. Ist das bei allen Bauteilen so?
Wir untersuchen das Verhalten einer Diode.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Wir stecken die Silizium-Diode gemäß Schaltbild ein, also Pfeilrichtung von Plus nach Minus (technische Stromrichtung).

Versuch: Wir stellen fest, ob das Glühlämpchen leuchtet.
Wir nennen diese Richtung "Durchlaßrichtung".
Nun stecken wir die Diode in entgegengesetzter Richtung ein. Der Pfeil zeigt nun von Minus nach Plus.
Leuchtet das Glühlämpchen jetzt?
Wir nennen diese Richtung "Sperrichtung".

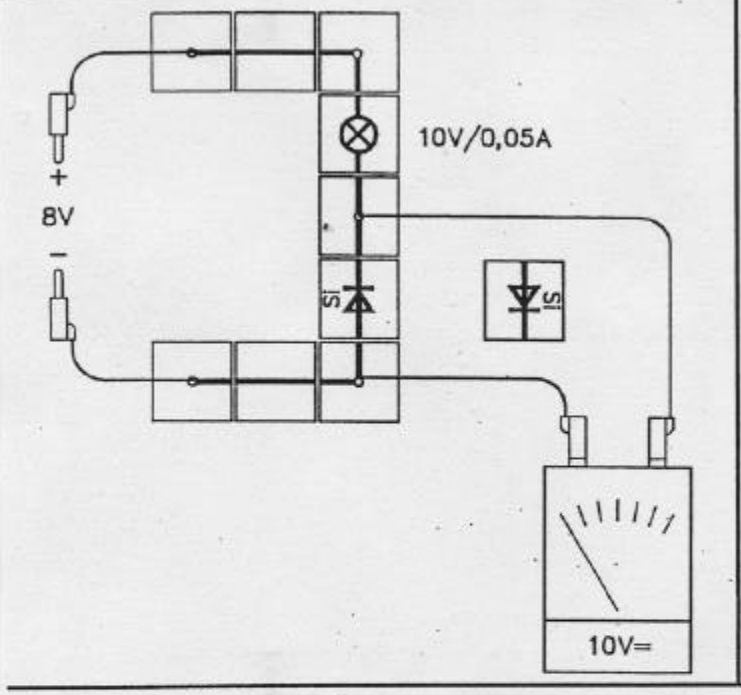
Erkenntnis: Eine Diode läßt den elektrischen Strom nur in einer Richtung fließen. Sie wirkt als "Ventil". Die Richtung des Pfeils im Schaltsymbol gibt die Durchlaßrichtung an.

Dieser Versuch zeigt die Eigenschaften der Diode (v.a. die Durchlassrichtung).

Versuch 1.2

EL 2.2

DIE DURCHLASS - SPANNUNG DER SILIZIUM - DIODE



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Si-Diode
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Wir untersuchen, ob die Diode in Sperrichtung ideal (also völlig) sperrt und ob sie in Durchlaßrichtung ideal (also ohne Spannungsabfall) durchgängig ist.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Die Diode wird mit einem Glühlämpchen 10 V/0,05 A in Reihe geschaltet. Das Voltmeter (Meßbereich 10 V=) mißt die Spannung an der Diode.

1. Versuch: Die Diode wird in Sperrichtung eingesteckt. Das Voltmeter zeigt ..... Volt.
Wir messen zum Vergleich die angelegte Spannung.
Die gesamte Spannung liegt an der Diode. Am Glühlämpchen entsteht also kein Spannungsabfall, weil kein Strom fließt (wenn I = 0 ist, dann ist auch U = R . I = 0).

2. Versuch: Die Diode wird in Durchlaßrichtung eingesteckt. Das Voltmeter zeigt ..... Volt.
Die Diode nimmt eine "Durchlaßspannung" auf, ist also nicht ideal durchgängig.

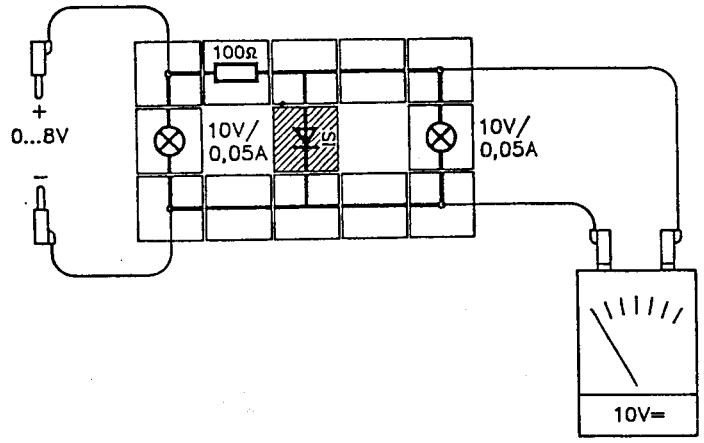
Erkenntnis: In Sperrichtung liegt an der Diode die gesamte Spannung. In Durchlaßrichtung liegt an der Diode die Durchlaßspannung (bei Silizium 0,7 Volt).

Dieser Versuch zeigt den Schülern anhand von gemessenen Werten, dass die Diode in Sperrrichtung wirklich sperrt, und in Durchlassrichtung ohne Spannungsabfall den Strom durchlässt.

Versuch 1.3

EL 2.3

DIODEN SCHÜTZEN EIN MESSWERK



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
2 STB Lampenfassung E10
1 STB Widerstand 100 Ω
1 STB Si-Diode
2 Glühlampen E10
10V/0,05A
4 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Siliziumdioden bewirken in Durchlaßrichtung nur 0,7 Volt Spannungsabfall. Das kann man praktisch ausnützen.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Die Siliziumdiode wird zunächst noch nicht eingesteckt. Das Leuchten des linken Glühlämpchens ist ein Maß für die angelegte Spannung. Das rechte Glühlämpchen vertritt ein Meßwerk und zeigt die an ihm liegende Spannung. Zusätzlich messen wir die Spannung mit einem Voltmeter (Meßbereich 10 V=).

1. Versuch: Wir erhöhen die angelegte Gleichspannung von 0 bis 8 Volt. Dabei könnte ein Meßwerk Schaden nehmen, weil an ihm der Großteil der Spannung liegt.

2. Versuch: Wir beginnen wieder mit 0 Volt Spannung. Jetzt stecken wir die Siliziumdiode ein, wie in der Schaltskizze gezeigt, und erhöhen wieder die Spannung auf 8 Volt.
Diesmal erhält das "Meßwerk" nicht mehr als 0,7 Volt Spannung (Durchlaßspannung der Diode).

Erkenntnis: Mit Hilfe einer in Durchlaßrichtung geschalteten Siliziumdiode kann man ein empfindliches Meßwerk vor höherer Spannung schützen.

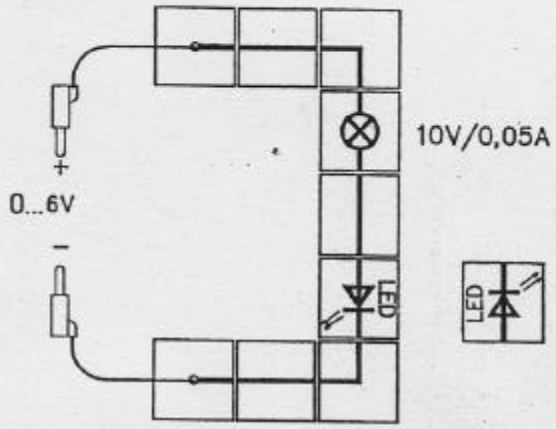
Hinweis: Zum Schutz gegen eine zu hohe Spannung auch mit umgekehrter Richtung verwendet man in der Technik ein antiparallel geschaltetes Diodenpaar.

Dieser Versuch zeigt die praktische Verwendung von Dioden als Schutz vor Stromspitzen.

Versuch 1.4

EL 2.4

DIE LEUCHTDIODE (LED)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB LED rot
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Wir untersuchen das Verhalten einer Leuchtdiode.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Ein Glühlämpchen 10 V/0,05 A und die Leuchtdiode (LED) sind in Serie geschaltet.

1. Versuch: Die LED ist in Durchlaßrichtung eingesteckt. Glühlämpchen und LED leuchten, sobald die angelegte Spannung 4 Volt erreicht hat.

2. Versuch: Die LED wird in Sperrichtung eingesteckt. Weder Glühlämpchen noch LED senden Licht aus.

Erkenntnis: Eine Leuchtdiode leuchtet, wenn sie in Durchlaßrichtung geschaltet wird und von Strom durchflossen wird. Die Abkürzung kommt vom englischen Namen "light emitting diode".

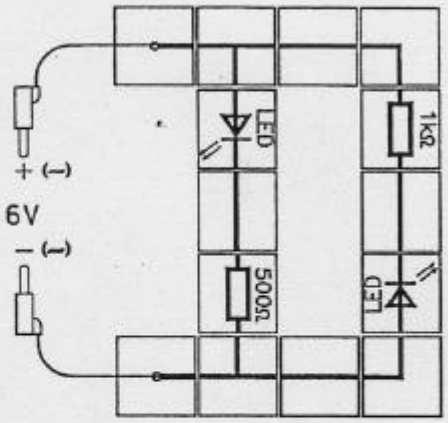
Hinweis: Achtung! LEDs dürfen nur mit Vorwiderstand (im Versuch das GlühLämpchen) verwendet werden, da die Stromstärke im Dauerbetrieb 20 mA nicht überschreiten sollte!

Mit diesem Versuch kann man den Schülern die Leuchtdiode als Diode mit „inkludierter Glühlampe“ vorführen.

Versuch 1.5

EL 2.5

POLUNGSANZEIGER



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 500 Ω
1 STB Widerstand 1 kΩ
2 STB LED rot
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Mit zwei LEDs und zwei Vorwiderständen kann man einen einfachen Polungsanzeiger aufbauen. Damit lassen sich die Pole einer Gleichspannungsquelle identifizieren.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Die beiden LEDs werden in unterschiedlicher Richtung eingesteckt. Sie sind jeweils in Reihe mit einem Widerstand geschaltet.

1. Versuch: Wir legen 6 Volt Gleichspannung an und polen einige Male um, indem wir die Anschlüsse an der Sapnnungsquelle vertauschen. Es leuchtet immer diejenige LED, deren Schaltsymbol zum Minuspol der Gleichspannung zeigt.

2. Versuch: Wir legen 6 Volt Wechselspanung an. Warum leuchten jetzt beide LEDs?

Erkenntnis: Polungsanzeiger nützen die Eigenschaft der LEDs aus, in Durchlaßrichtung Licht auszusenden. Bei Netz - Wechselspannung wird 100 mal in der Sekunde umgepolt, sodaß jede LED 50 mal aufleuchtet. Aufgrund der Trägheit unserer Augen können wir das aber nicht mehr wahrnehmen.

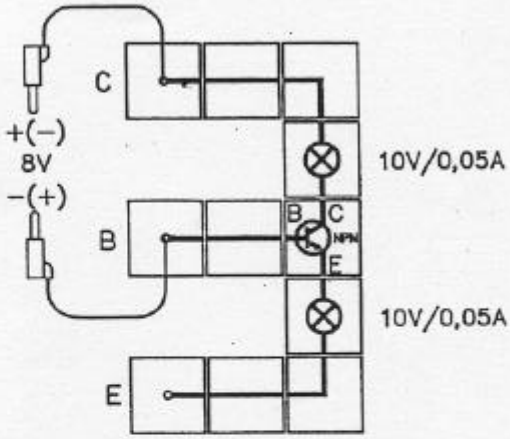
Mit diesem Versuchsaufbau kann man rasch und einfach die Polung einer Steckdose, eines Transformators,... herausfinden.

1. Versuche zum Transistor

Versuch 2.1

EL 3.1

BESTEHT EIN TRANSISTOR AUS ZWEI DIODEN?



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
2 STB Lampenfassung E10
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Glühlampen E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Ein Transistor besteht aus drei Schichten. Wir untersuchen zunächst, bei welcher Polung elektrischer Strom durch zwei benachbarte Schichten fließen kann.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der Transistor und zwei Glühlämpchen sind in Reihe geschaltet. Beim 1. Versuch wird die Spannung an die Anschlüsse C und B gelegt, beim 2. Versuch an die Anschlüsse B und E.

1. Versuch: Wir prüfen den Übergang Kollektor - Basis, indem wir zuerst den Pluspol an den Kollektor (C) und dann an die Basis (B) anschließen. Bei welcher Polung fließt Strom? Pluspol an .....

2. Versuch: Wir prüfen den Übergang Basis - Emitter, indem wir zuerst den Pluspol an die Basis (B) und dann an den Emitter (E) anschließen. Bei welcher Polung fließt Strom? Pluspol an .....

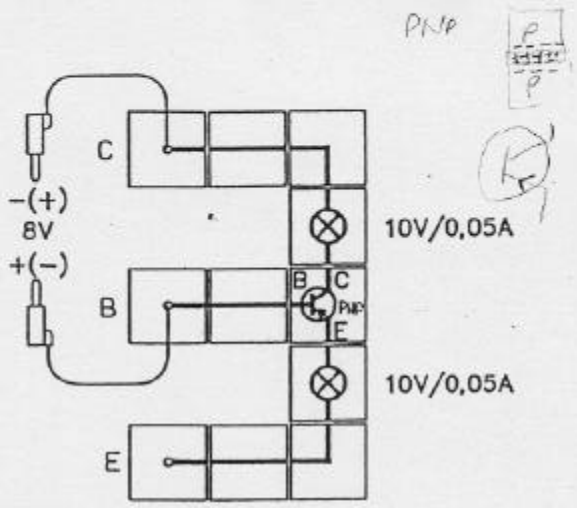
Erkenntnis: Der Transistor verhält sich so, als würde er aus zwei Dioden bestehen. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Dioden so geschaltet sein müssen, wie die Zeichnung zeigt:

Dieser Versuch zeigt die Eigenschaften des Transistors.

Versuch 2.2

EL 3.1.1

WIE VERHÄLT SICH EIN PNP-TRANSISTOR?



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
2 STB Lampenfassung
1 STB Transistor, PNP, Basis links
2 Glühlampen E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Ein NPN-Transistor leitet den elektrischen Strom nur dann, wenn die Basis positiv ist. Wir wollen nun untersuchen, wie sich ein PNP-Transistor verhält.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der Transistor und zwei Glühlämpchen sind in Reihe geschaltet. Beim 1. Versuch wird die Spannung an die Anschlüsse C und B gelegt, beim 2. Versuch an die Anschlüsse B und E.

1. Versuch: Wir prüfen den Übergang Kollektor - Basis, indem wir zuerst den Pluspol an den Kollektor (C) und dann an die Basis (B) anschließen. Bei welcher Polung fließt Strom? Pluspol an .....

2. Versuch: Wir prüfen den Übergang Basis - Emitter, indem wir zuerst den Pluspol an die Basis (B) und dann an den Emitter (E) anschließen. Bei welcher Polung fließt Strom? Pluspol an .....

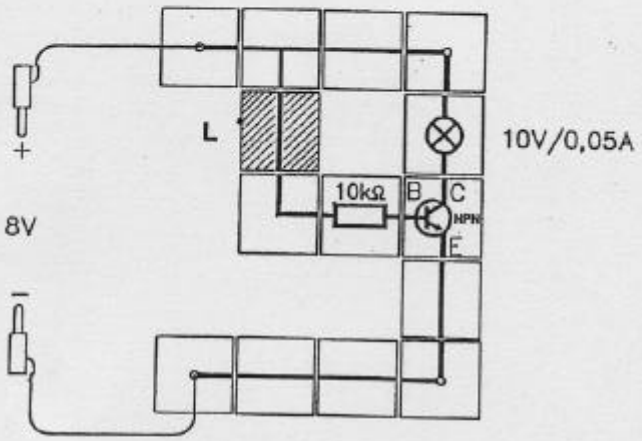
Erkenntnis: Der Transistor verhält sich so, als würde er aus zwei Dioden bestehen. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Dioden so geschaltet sein müssen, wie die Zeichnung zeigt:

Mit diesem Versuch und Versuch 2.1 kann man pnp- mit npn-Transistor vergleichen.

Versuch 2.3

EL 3.2

BASISSTROM ERMÖGLICHT KOLLEKTORSTROM



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Nach dem Modell des Transistors als Doppeldiode dürfte ein Kollektor - Emitter - Strom nicht möglich sein, weil bei jeder der beiden Polungsmöglichkeiten an Kollektor und Emitter eine Diode sperrt.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Ein Stromkreis (Gleichspannung 8 Volt, Pluspol am Kollektor) führt über Glühlämpchen und Kollektor zum Emitter des Transistors. Der schraffiert gezeichnete Leitungsbaustein L wird zunächst nicht eingesteckt.

Versuch: Ohne Basis - Emitter - Strom leuchtet das Glühlämpchen nicht. Erwartungsgemäß sperrt die Doppeldiode.
Wir stecken nun die Verbindung L ein. Dadurch legen wir den Pluspol über den 10 kΩ - Widerstand an die Basis. Das Glühlämpchen leuchtet auf. Der Basis - Emitter - Strom bewirkt also, daß der Transistor leitend wird und ein Kollektor - Emitter - Strom zustande kommt.

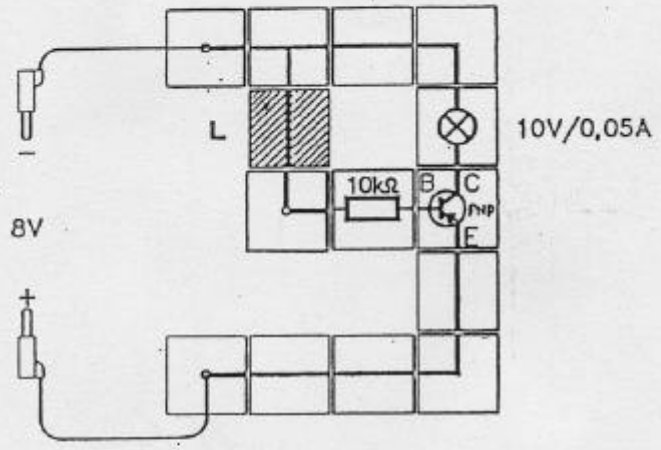
Erkenntnis: Das Modell des Transistors als Doppeldiode ist nicht ausreichend. Ein Basisstrom ermöglicht einen Kollektorstrom.

Dieser Versuch zeigt, dass man einen Transistor nicht einfach als Doppeldiode beschreiben kann.

Versuch 2.4

EL 3.2.1

BASISSTROM ERMÖGLICHT KOLLEKTORSTROM (PNP-TRANSISTOR)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Transistor, PNP, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Wir wollen das Verhalten eines PNP-Transistors kennenlernen.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Ein Stromkreis (Gleichspannung 8 Volt, Pluspol am Kollektor) führt über Glühlämpchen und Kollektor zum Emitter des Transistors. Der schraffiert gezeichnete Leitungsbaustein L wird zunächst nicht eingesteckt.

Versuch: Ohne Basis - Emitter - Strom leuchtet das Glühlämpchen nicht. Erwartungsgemäß sperrt die Doppeldiode.
Wir stecken nun die Verbindung L ein. Dadurch legen wir den Minuspol über den 10 kΩ - Widerstand an die Basis. Das Glühlämpchen leuchtet auf. Der Basis - Emitter - Strom bewirkt also, daß der Transistor leitend wird und ein Kollektor - Emitter - Strom zustande kommt.

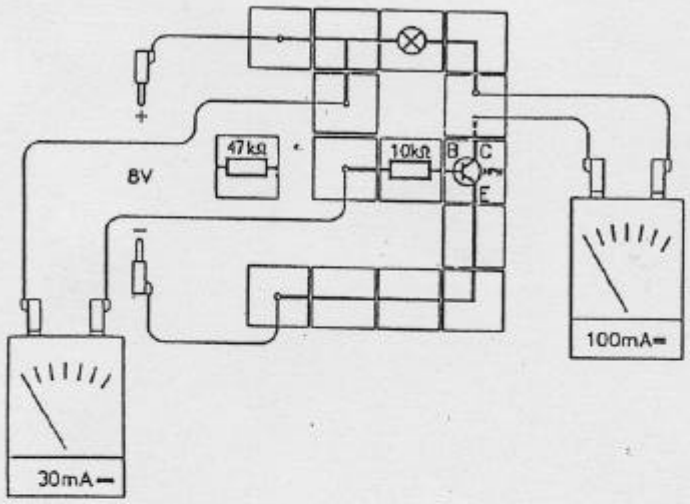
Erkenntnis: Das Modell des Transistors als Doppeldiode ist nicht ausreichend. Ein Basisstrom ermöglicht einen Kollektorstrom.

analog zu Versuch 2.3

Versuch 2.5

EL 3.3

DER TRANSISTOR ALS VERSTÄRKER



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Widerstand 47 kΩ
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
1 Meßinstrument
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Kleine Änderungen des Basisstroms bewirken viel größere Änderungen des Kollektorstroms eines Transistors. Darauf beruht die Verstärkerwirkung eines Transistors.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Wir messen den Basisstrom mit dem Amperemeter mit Meßbereich 30 mA= und den Kollektorstrom mit dem Amperemeter mit Meßbereich 100 mA=.

Versuch: Wir messen den Kollektorstrom und den Basisstrom erst mit dem Basiswiderstand 10 kΩ und dann mit dem Basiswiderstand 47 kΩ. Die Meßergebnisse tragen wir in die Tabelle ein und berechnen jeweils die Stromänderung.

Kollektorstrom bei 47 kΩ : ..... mA
Kollektorstrom bei 10 kΩ : ..... mA
Kollektorstromänderung: ..... mA

Basisstrom bei 47 kΩ : ..... mA
Basisstrom bei 10 kΩ : ..... mA
Basisstromänderung: ..... mA

Wir dividieren die Kollektorstromänderung durch die Basisstromänderung.

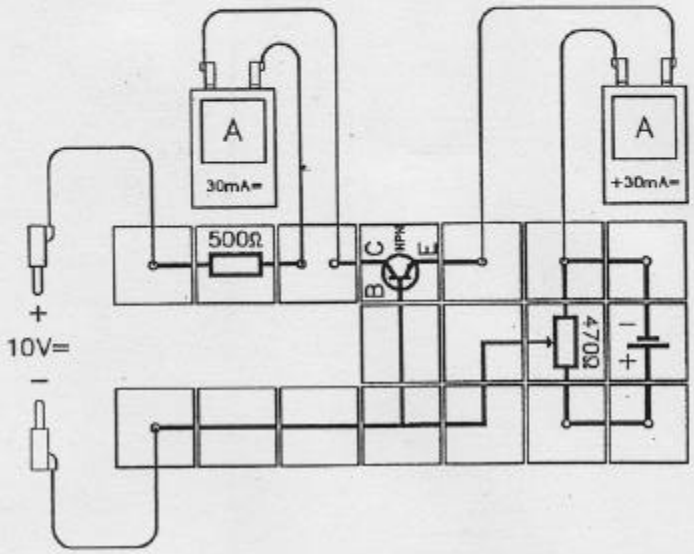
Erkenntnis: Die Kollektorstromänderung ist gegenüber der Basisstromänderung rund vierzigmal so groß. Der verwendete Transistor zeigt den Stromverstärkungsfaktor 40.

Mit diesem Versuch zeigt man eine sehr wichtige an- und Verwendung von Transistoren.

Versuch 2.6

EL 3.3.1

BASISSCHALTUNG (STROMVERSTÄRKUNG)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 500 Ω
1 STB Potentiometer 470 Ω
1 STB Batterie (Akku) 1,2 V
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Meßinstrumente
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Von den drei Anschlüssen des Transistors verwenden wir die Basis als Bezugspunkt für die beiden Ströme.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß der Abbildung auf. Basisschaltung heißt, daß die Basis gemeinsamer Anschluß für beide Spannungsquellen ist. Der Emitterstrom wird mit dem Amperemeter mit Meßbereich 30 mA= gemessen, der Kollektorstrom mit dem zweiten Amperemeter mit Meßbereich 30 mA. Mittels Potentiometer können wir den Emitterstrom I_E regeln. Der zugehörige Kollektorstrom I_C wird ebenfalls gemessen. Der Quotient aus Kollektorstromänderung und Emitterstromänderung ergibt den Stromverstärkungsfaktor in Basisschaltung.

Versuch: Wir stellen den Emitterstrom auf 2 mA und dann auf 10 mA ein und notieren die jeweiligen Werte des Kollektorstroms. Dann berechnen wir den Stromverstärkungsfaktor.

Emitterstrom I_E	2 mA	10 mA	Änderung: 0,008 A
Kollektorstrom I_C	..... mA	..... mA	Änderung: ..... A

Stromverstärkung: $\frac{dI_C}{dI_E}$ = ...

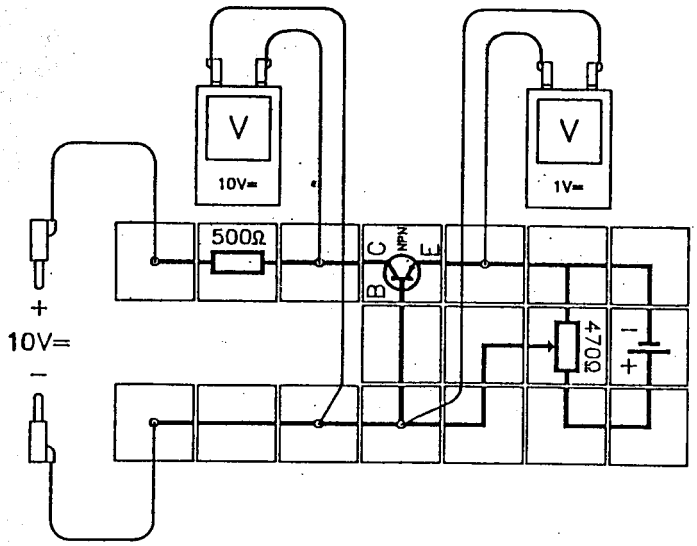
Erkenntnis: Die Basisschaltung ergibt einen Stromverstärkungsfaktor kleiner als 1.

Mit diesem und den folgenden Versuchen (bis inklusive 2.10) untersucht man die unterschiedlichen Schaltungen zur Strom- und Spannungsverstärkung.

Versuch 2.7

EL 3.3.2

BASISSCHALTUNG (SPANNUNGSVERSTÄRKUNG)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 500 Ω
1 STB Potentiometer 470 Ω
1 STB Batterie (Akku) 1,2 V
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Meßinstrumente
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Von den drei Anschlüssen des Transistors verwenden wir die Basis als Bezugspunkt für die beiden Spannungen.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß der Abbildung auf. Basisschaltung heißt, daß die Basis gemeinsamer Anschluß für beide Spannungsquellen ist. Die Kollektor-Basis-Spannung U_{CB} wird mit dem Voltmeter mit Meßbereich 10 V= gemessen, die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} mit dem Voltmeter mit Meßbereich 1 V=. Mittels Potentiometer können wir die Kollektor-Basis-Spannung regeln. Der Quotient aus der Änderung der Kollektor-Basis-Spannung und der Änderung der Basis-Emitter-Spannung ergibt die Spannungsverstärkung.

Versuch: Wir messen die Basis-Emitter-Spannungen, die zur Kollektor-Basis-Spannung 8 Volt und 0 Volt (wenn 0 Volt gerade erreicht wird) gehören.

Kollektor-Basis-Spannung U_{CB}	8 V	0 V	Änderung: 8 V
Basis-Emitter-Spannung U_{BE}	 V	 V	Änderung: V

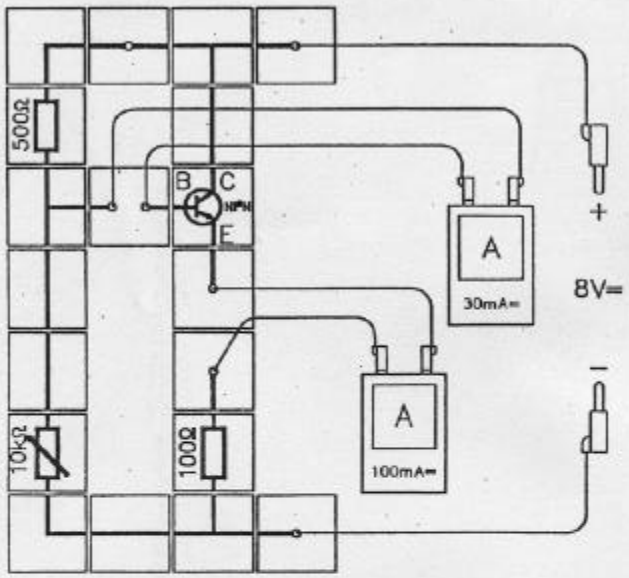
Spannungsverstärkung: $\frac{dU_{CB}}{dU_{BE}}$ = ...

Erkenntnis: Die Basisschaltung ergibt eine Spannungsverstärkung zwischen 100 und 1000.

Versuch 2.8

EL 3.3.3

KOLLEKTORSCHALTUNG (STROMVERSTÄRKUNG)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 100 Ω
1 STB Widerstand 500 Ω
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Meßinstrumente
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Von den drei Anschlüssen des Transistors verwenden wir den Kollektor als Bezugspunkt für die beiden Ströme.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß der Abbildung auf. Kollektorschaltung heißt, daß der Kollektor gemeinsamer Bezugspunkt für beide Ströme ist. Der Kollektor-Basis-Strom wird mit dem Amperemeter mit Meßbereich 30 mA= gemessen, der Kollektor-Emitterstrom mit dem Amperemeter mit Meßbereich 100 mA=. Mittels Drehwiderstand können wir den Kollektor-Basis-Strom I_{CB} auf die vorgegebenen Werte einstellen. Der zugehörige Kollektor-Emitter-Strom I_{CE} wird ebenfalls gemessen. Der Quotient aus den beiden Stromstärkeänderungen ergibt den Stromverstärkungsfaktor in Kollektorschaltung.

Versuch: Wir stellen den Kollektor-Basis-Strom auf 0,1 mA und dann auf 0,3 mA ein und notieren die jeweiligen Werte des Kollektor-Emitterstromes. Dann berechnen wir den Stromverstärkungsfaktor.

Kollektor-Basis-Strom I_{CB}	0,1 mA	0,3 mA	Änderung: 0,0002 A
Kollektor-Emitter-Strom I_{CE}	..... mA	..... mA	Änderung: ..... A

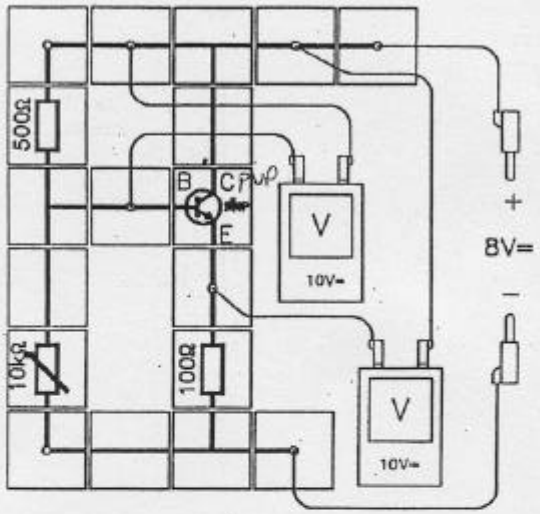
Stromverstärkung: $\frac{dI_{CE}}{dI_{CB}} = ...$

Erkenntnis: Die Kollektorschaltung ergibt eine Stromverstärkung von 50 bis 500.

Versuch 2.9

EL 3.3.4

KOLLEKTORSCHALTUNG (SPANNUNGSVERSTÄRKUNG)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 100 Ω
1 STB Widerstand 500 Ω
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Meßinstrumente
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Von den drei Anschlüssen des Transistors verwenden wir den Kollektor als Bezugspunkt für die beiden Spannungen.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß der Abbildung auf. Kollektorschaltung heißt, daß der Kollektor gemeinsamer Bezugspunkt ist. Die Kollektor-Basis-Spannung U_{CB} wird mit dem Voltmeter mit Meßbereich 10 V= gemessen, die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} mit dem zweiten Voltmeter mit Meßbereich 10 V=. Mittels Drehwiderstand können wir die Kollektor-Basis-Spannung regeln. Der Quotient aus der Änderung der Kollektor-Basis-Spannung und der Änderung der Kollektor-Emitter-Spannung ergibt die Spannungsverstärkung.

Versuch: Wir messen die Kollektor-Emitter-Spannungen, die zur Kollektor-Basis-Spannung 2 Volt und 7 Volt gehören.

Kollektor-Basis-Spannung U_{CB}	2 V	7 V	Änderung: 5 V
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}	 V	 V	Änderung: V

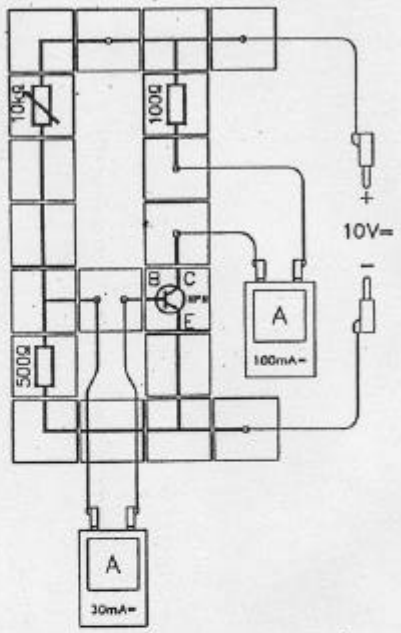
Spannungsverstärkung: $\frac{dU_{CB}}{dU_{CE}}$ = ...

Erkenntnis: Die Kollektorschaltung ergibt eine Spannungsverstärkung kleiner als 1.

Versuch 2.10

EL 3.3.5

EMITTERSCHALTUNG (STROMVERSTÄRKUNG)



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 100 Ω
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Meßinstrumente
6 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Von den drei Anschlüssen des Transistors verwenden wir den Emitter als Bezugspunkt für die beiden Ströme.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß der Abbildung auf. Emitterschaltung heißt, daß der Emitter gemeinsamer Anschluß für Basisstrom I_B und Kollektorstrom I_C ist. Der Basisstrom wird mit dem Amperemeter mit Meßbereich 30 mA= gemessen, der Kollektorstrom mit dem Amperemeter mit Meßbereich 100 mA=. Mittels Drehwiderstand können wir den Basisstrom I_B regeln. Der zugehörige Kollektorstrom I_C wird ebenfalls gemessen. Der Quotient aus Kollektorstromänderung und Basisstromänderung ergibt den Stromverstärkungsfaktor in Emitterschaltung.

Versuch: Wir stellen den Basisstrom auf 0,1 mA und dann auf 0,3 mA ein und notieren die jeweiligen Werte des Kollektorstroms. Dann berechnen wir den Stromverstärkungsfaktor.

Basisstrom I_B	0,1 mA	0,3 mA	Änderung: 0,002 A
Kollektorstrom I_C	..... mA	..... mA	Änderung: ..... A

Stromverstärkung: $\frac{dI_C}{dI_B}$ = ...

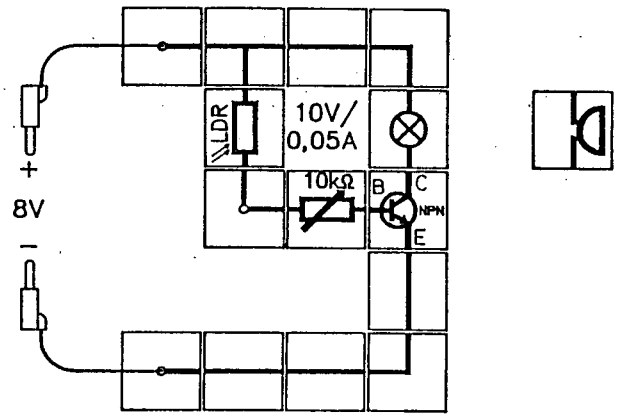
Erkenntnis: Die Emitterschaltung ergibt einen Stromverstärkungsfaktor von 50 bis 500.

3. Versuche zur praktischen Anwendung des Transistors

Versuch 3.1

EL 3.4

LICHT BEWIRKT ALARM



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB LDR-Widerstand
1 STB Summer
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Ein LDR-Widerstand steuert den Basisstrom eines Transistors durch seinen lichtabhängigen Widerstandswert. Wenn es dunkel ist, fließt nicht genügend Basisstrom, um den Transistor leitend zu machen. Fällt dann Licht auf den LDR-Widerstand, wachsen Basisstrom und Kollektorstrom des Transistors.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Zuerst wird ein Lämpchen vor den Kollektor des Transistors geschaltet, um die Funktionsweise zu überprüfen. Der Basisstrom fließt vom Pluspol über den LDR-Widerstand und den Stellwiderstand 10 kΩ, der eine Anpassung an die gewünschte Alarm auslösende Beleuchtungsstärke ermöglicht. Außerdem kann auch die angelegte Spannung entsprechend verändert werden.

1. Versuch: Der LDR wird gut abgedunkelt, wodurch das Glühlämpchen nicht leuchtet. Fällt nun das Licht auf den LDR, muß das Glühlämpchen aufleuchten, weil der größere Basisstrom den Transistor "durchschaltet".

2. Versuch: Das Glühlämpchen wird durch den Summer ersetzt. Widerstandswert und angelegte Spannung müssen eventuell nochmals angepaßt werden. Fällt jetzt Licht auf den LDR, wird Alarm ausgelöst.

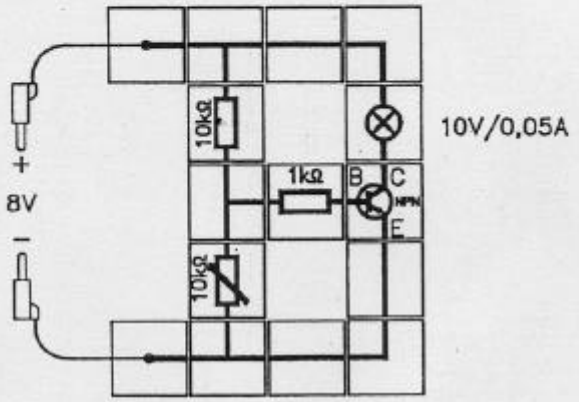
Erkenntnis: Der LDR ändert seinen Widerstandswert zwischen Dunkelheit und Belichtung so stark, daß **der Transistor bei Dunkelheit sperrt und bei Belichtung "durchgeschaltet" wird.**

Dieser Versuch zeigt die Funktionsweise einer Alarmanlage.

Versuch 3.2

EL 3.5

BASIS - SPANNUNGSTEILER



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Eine sehr präzise Einstellung des Basisstromes wird durch einen Basis - Spannungsteiler erreicht.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Die Gesamtspannung von 8 Volt wird durch den Spannungsteiler aufgeteilt. An Basis und Emitter wirkt die auf den Stellwiderstand entfallende Teilspannung und verursacht den Basisstrom. Der Widerstand 1 kΩ schützt die Basis bei Fehlschaltungen.

1. Versuch: Der Drehknopf des Stellwiderstands wird ganz gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Sein Widerstandswert ist Null, deshalb ist auch seine Teilspannung Null. Es entsteht kein Basisstrom und auch kein Kollektorstrom.

2. Versuch: Der Drehknopf des Stellwiderstands wird im Uhrzeigersinn gedreht. Sein Widerstandswert und damit auch die Teilspannung wird größer. Dadurch steigt der Basisstrom an. Mit ihm wird auch der Kollektorstrom größer

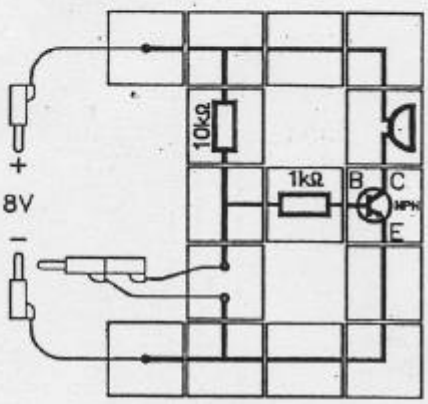
Erkenntnis: Durch einen geeigneten Basis - Spannungsteiler kann man jeden Kollektorstrom zwischen Null und dem Maximalwert einstellen.

Mit diesem Aufbau kann man jede beliebige Spannung zwischen Null und dem Maximalwert erreichen. Diese Anwendung wird in der Technik sehr oft verwendet.

Versuch 3.3

EL 3.6

EINBRUCHSSCHUTZ DURCH STOLPERDRAHT



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB Summer
1 STB Transistor, NPN, Basis links
4 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Ein ganz einfacher Schutz gegen Einbruch kann durch dünne Drähte, die miteinander verbunden (verdrillt) sind, bewirkt werden. Wird die Verbindung durchtrennt, wird Alarm ausgelöst.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der für den Basisstrom wirksame Teil des Spannungsteilers besteht nun aus den "Stolperdrähten", für die wir im Modellversuch zwei zusammengesteckte Verbindungsleitungen verwenden. Da der Widerstandswert fast Null ist, kann kein Basistrom entstehen. Zuerst "Stolperdrähte" verbinden, dann erst Spannung anlegen!

Versuch: Die "Stolperdrähte" werden getrennt. Der Widerstandswert steigt dadurch auf (theoretisch) Unendlich. Die gesamte Spannung liegt am unteren Teil des Spannungsteilers zwischen Basis und Emitter, wodurch der Transistor durchgeschaltet wird und der Summer Alarm gibt.

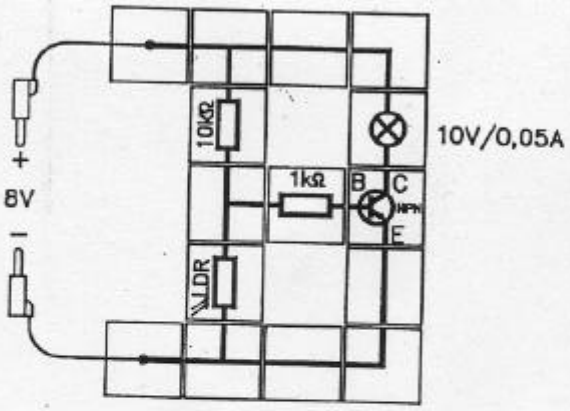
Erkenntnis: "Stolperdrähte" ändern den Widerstandswert des emitterseitigen Spannungsteilerwiderstandes von Null auf Unendlich, wodurch der Transistor von Sperrung auf Durchlaß gesteuert wird.

Mit diesem Versuch und den nächsten Versuchen wird sehr übersichtlich und einprägsam die Funktionsweise von Stolperdraht, automatischer Beleuchtung, Lichtschranken, Feuermeldern und elektrischen Thermometern gezeigt.

Versuch 3.4

EL 3.7

AUTOMATISCHE BELEUCHTUNG



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB LDR-Widerstand
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Der Basisstrom eines Transistors wird mit einem LDR gesteuert, wodurch der Transistor in Abhängigkeit von der Belichtung durchgeschaltet wird..

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der Spannungsteiler besteht aus dem Widerstand 10 kΩ und dem LDR. Bei Dunkelheit ist der Widerstandswert des LDR groß, auf ihn entfällt der größere Teil der Spannung. Dadurch fließt Basisstrom, und das Glühlämpchen leuchtet.
Bei genügend Lichteinfall auf den LDR ist der Widerstandswert des LDR klein und die Teilspannung ebenfalls klein. Es fließt wenig Basisstrom und wenig Kollektorstrom.

Versuch: Der LDR wird abwechselnd abgedunkelt und belichtet. Bei Abdunklung muß das Glühlämpchen leuchten, bei Lichteinfall auf den LDR muß das Glühlämpchen dunkel bleiben.

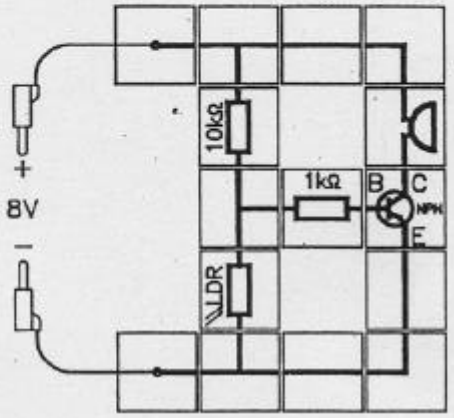
Erkenntnis: Mit Hilfe des LDR als emitterseitiger Widerstand erhalten wir eine Schaltung, die automatisch bei Dunkelheit die Beleuchtung einschaltet und bei Helligkeit ausschaltet.

.

Versuch 3.5

EL 3.8

ALARM DURCH LICHTSCHRANKE



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Widerstand 10 kΩ
1 STB LDR-Widerstand
1 STB Summer
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Lichtschranken haben die Aufgabe, bei Unterbrechung eines Lichtstrahls ein Signal oder einen Zählvorgang auszulösen. Sehr oft wird als Lichtquelle infrarotes Licht (für den Menschen unsichtbar) verwendet. Wir benützen das Tageslicht oder die Experimentierleuchte als Lichtquelle.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der Spannungsteiler besteht aus dem Widerstand 10 kΩ und dem LDR. Bei Dunkelheit ist der Widerstandswert des LDR groß, auf ihn entfällt der größere Teil der Spannung. Dadurch fließt Basisstrom.
Bei genügend Lichteinfall auf den LDR ist der Widerstandswert klein und die Teilspannung ebenfalls klein. Es fließt wenig Basisstrom und wenig Kollektorstrom.
Wenn eine Experimentierleuchte als Lichtquelle verwendet wird, muß sie zu Beginn des Versuchs eingeschaltet sein.

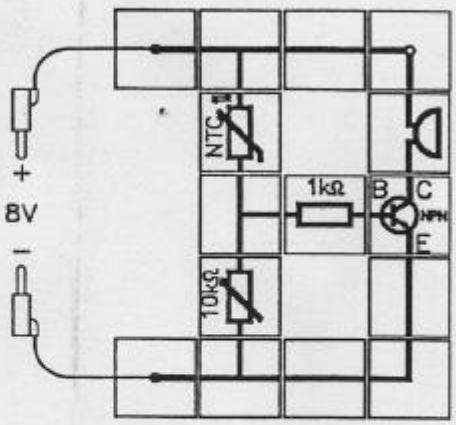
Versuch: Wird das auf den LDR fallende Licht unterbrochen, gibt der Summer "Alarm".

Erkenntnis: Bei Lichtschranken führt eine Unterbrechung des Lichtstrahls zur Erhöhung des Widerstandswertes des LDR, der den emitterseitigen Widerstand des Spannungsteilers bildet. Dadurch kann ein Vorgang (Alarm, Zählung) ausgelöst werden.

Versuch 3.6

EL 3.9

FEUERMELDER



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB NTC-Widerstand
1 STB Summer
1 STB Transistor, NPN, Basis links
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Beim NTC - Widerstand wird der Widerstandswert bei Temperaturerhöhung kleiner.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. Der Stellwiderstand 10 kΩ wird so eingestellt, daß gerade noch nicht der Summer ertönt.

Versuch: Der NTC wird mit den Fingern erwärmt.

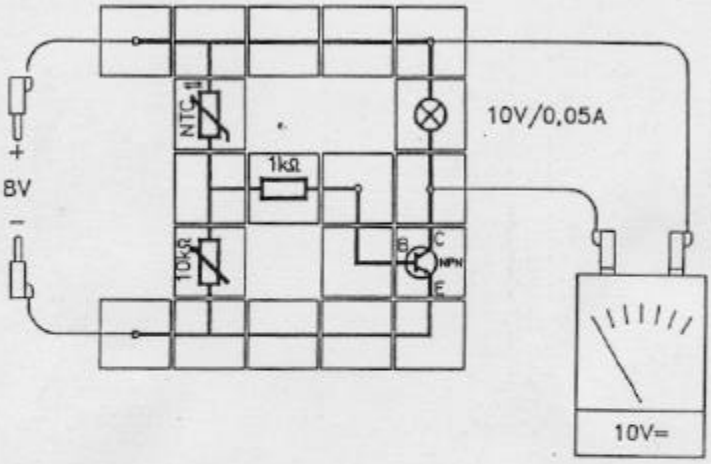
Ergebnis: Nach einigen Sekunden wird "Alarm" ausgelöst. Der Widerstandswert des NTC ist kleiner geworden. Dadurch fällt am Stellwiderstand eine höhere Spannung ab, und der Transistor wird durchgeschaltet.

Erkenntnis: Die Widerstandsverminderung eines NTC durch Erwärmung kann für einen Feuermelder ausgenützt werden.

Versuch 3.7

EL 3.10

ELEKTRISCHES THERMOMETER



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Lampenfassung E10
1 STB Widerstand 1 kΩ
1 STB Drehwiderstand 10 kΩ
1 STB NTC-Widerstand
1 STB Transistor, NPN, Basis links
1 Glühlampe E10 10V/0,05A
1 Meßinstrument
4 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Um Temperaturen mit einem Voltmeter messen zu können, muß man Temperaturänderungen in Spannungsänderungen umsetzen können. Das gelingt mit Hilfe von NTC - Widerstand und Transistor.

Schaltung: Wir bauen die Schaltung gemäß Abbildung auf. NTC - Widerstand und Stellwiderstand bilden den Basis - Spannungsteiler. Bei Erwärmung sinkt der Widerstandswert und damit die Teilspannung des NTC, der Stellwiderstand erhält mehr Teilspannung. Basisstrom und Kollektorstrom steigen, wodurch am Glühlämpchen ein größerer Spannungsabfall entsteht.

Versuch: Der Stellwiderstand wird so eingestellt, daß das Voltmeter etwa 4 Volt Spannung anzeigt. Dann wird der NTC mit den Fingern erwärmt.

Ergebnis: Das Voltmeter zeigt eine größere Spannung an.

Erkenntnis: Mit Hilfe eines temperaturabhängigen Widerstandes kann man höhere Temperatur in höhere Spannung umsetzen.