

Workshop

Information & Kommunikation

Technikunterricht Jahrgang 9: Von der LED zur Ampelanlage

Ulf Ihlefeldt
Carl-Duisberg-Gymnasium
Wuppertal

Heft 1/05

Herausgeber:

Technik - Unterricht: Forum eV

Verband der Techniklehrer für die gymnasiale Oberstufe in NRW

Memelstraße 75 47057 Duisburg Tel/Fax 0203 - 354992

<http://technologie.uni-duisburg.de/tuf>

email: tuf@hvk.bobi.net



Inhalt

RAHMENBEDINGUNGEN	3
KURSPLANUNG	5
EINZELHEITEN ZUR KURSPLANUNG	6
DAS LÖTEN	8
UNSERE ARBEITSPLATTE	10
VORBEREITUNG DER ARBEITSPLATTE	12
BEISPIELE FÜR ELEKTRONISCHE SCHALTUNGEN	14
LEUCHTDIODE MIT VORWIDERSTAND	17
MESSUNG DER KENNLINIEN VON DIODEN	19
SCHÜLERARBEITSBLATT KENNLINIEN	22
DER TRANSISTOR STEUERT EINE LEUCHTDIODE	23
INFORMATIONEN ZUM TRANSISTOR	27
DIE BISTABILE KIPPSTUFE	29
DIE MONOSTABILE KIPPSTUFE	32
ARBEITSBLATT: MONOSTABILE KIPPSTUFE	36
DIE ASTABILE KIPPSTUFE	38
DER TONGENERATOR	40
UNTERSUCHUNG VON SCHWINGUNGSFORMEN	42
RECHTECKSCHWINGUNG	44
DREIECKSCHWINGUNG	52
SÄGEZAHNSCHWINGUNG	60
PLATZSPARENDER AUFBAU VON KIPPSTUFEN	68
DIE TORSCHALTUNG	70
ARBEITSBLATT ZUR TORSCHALTUNG	73
FREQUENZTEILER- UND ZÄHLSCHALTUNGEN	74
DIE AUTOMATISCHE AMPEL	76
BEISPIELAUFGABEN FÜR KURSARBEITEN	78
LITERATURLISTE	84
VORLAGE ZUM AUFKLEBEN	86

Rahmenbedingungen

Nach dem Erlass über den Differenzierungsbereich¹ können „... abgestimmte Kombinationen der Fächer ... Physik, ... Informatik, Technik ...“ angeboten werden.

Erfahrungen im alten Differenzierungsbereich und Gespräche mit Kolleginnen und Kollegen zeigen, dass die Elektronik ein schon früher angebotenes und von den Schülerinnen und Schülern gern gewähltes Stoffgebiet darstellt.

Weiter heißt es: „die Schule legt zu Beginn der Jahrgangsstufe 9 ihr auf zwei Jahre ausgelegtes Kursangebot zur Wahl vor“².

Es wurde deshalb ein Kurs ausgearbeitet, der in seiner Gesamtheit den Differenzierungsbereich der beiden Jahrgangsstufen 9 und 10 abdeckt.

Das hier dargestellte Modul

Vom einfachen Stromkreis zur Ampelanlage

ist der erste Teil des Differenzierungskurses

Vom einfachen Stromkreis zur programmierten Zeichenmaus

und benötigt als Voraussetzung nur die in der achten Klasse im Physikunterricht erarbeiteten Begriffe „Stromstärke, Spannung, Widerstand“. Die Begriffe aus der Halbleiterphysik, die Eigenschaften eines Kondensators sowie die sonstigen Fähigkeiten und Fertigkeiten werden in dem notwendigen Umfang im Kurs selbst erarbeitet.

Die folgende Aufstellung der Kursinhalte soll einen ersten Überblick vermitteln und hat, da sie einen Teil der Information für die Eltern und die Schülerinnen und Schüler in der Klasse 8 bildet, in der ersten Spalte Begriffe aus dem Umfeld der Jugendlichen, die z.T. auch biologischen Ursprungs sind. In der zweiten Spalte wird dann mit den notwendigen Fachbegriffen erläutert, was in der Unterrichtssequenz vermittelt werden soll.

Was machen wir im Kurs?

Vorbereitende Arbeiten:	Umgang mit Werkzeug, unsere Experimentierplatte
Jetzt wird es heiß:	Wie lötet man richtig? Übung macht den Meister!
Wir lassen leuchten:	Leuchtdioden (LEDs) im Logikprüfer und bei der Ampel
Was sagt die Physik zu Dioden?	Aufbau der Halbleiter, Messung der Kennlinien
Wir lassen schalten:	der Transistor, fast ein Alleskönner, schaltet eine LED
Was sagt die Physik zu Transistor?	npn-, pnp-Schichtaufbau, Kennlinien
Kraftmeier und Sensibelchen:	Leistungstransistoren und empfindliche Darlingtons
Nun wird es musikalisch:	Metronom, Tongenerator, Lautsprecher
Was sagt die Musik, die Physik?	Tonleiter und Frequenzen, Schwingungsformen
Das will ich sehen!	Der Oszillograph als Universalmeßinstrument
Aus der Popszene:	elektronische Orgel, Frequenzteiler, Flipflop-Ketten,
Auf der Straße	Taktgeber mit Ampel

Hier beginnt die Übersicht über den zweiten und dritten Teil des Gesamtkurses.

¹ Differenzierungsbereich (Wahlpflichtbereich II) in den Klassen 9 und 10 des Gymnasiums RdErl. d. Kultusministeriums v.1.6.1992

² ebd. unter 2.2



Kleine Käfer mit vielen Beinen:	Integrierte Schaltkreise (ICs) erleichtern die Arbeit
Wie viel Hertz sind es denn?	Frequenzmesser mit Digitalanzeige
Wir messen Zeiten:	Reaktionszeitmesser, Digitaluhr
Wie weit ist das?	Abstandsmessung mit Ultraschall
Die Physik hilft weiter:	Geschwindigkeits- und Bewegungsmessungen
Augen für die Elektronik:	Lichtschranken und Reflexkoppler
Alles dreht sich, alles bewegt sich:	Elektromotore werden geschaltet
Die Physik sagt, warum:	Elektromagnetismus und Polwender
Step by step:	Schrittmotore, die Spezialisten der Elektromotore
Er dreht sich durch Kommandos:	die Impulsfolge beim Schrittmotor
Zwei Motore, zwei Räder:	ein kleines Modellfahrzeug
Es fährt, wohin wir wollen:	Steuerprogramm für unser Fahrzeug
"Weiche Ware":	Modellrechner und Steuersoftware
Wegbeschreibung:	ein Schreibstift macht das Modell zur Zeichenmaus

Vielleicht kann unsere Zeichenmaus auch noch "Fühler", "Augen" und "Ohren" bekommen und sich dann in unserer Umwelt bewegen wie die automatischen Fahrzeuge der Industrie.

Es hat sich gezeigt, dass dieser umgangssprachliche Angang den Schülerinnen und Schülern der achten Klassen sehr hilft, sich eine brauchbare Vorstellung von dem zu wählenden Kurs zu machen.

Es ist m. E. notwendig, schon vor der Kurswahl auf die Besonderheiten und Anforderungen der Leistungsüberprüfung hinzuweisen.

Nach dem Erlass müssen in den Kursen **schriftliche Arbeiten** angefertigt werden.

Für diesen Kurs sind z.B. folgende Aufgaben für Kursarbeiten denkbar:

- einen Lehrerversuch beschreiben und auswerten;
- den Stromlaufplan für eine Ampelsteuerung zeichnen;
- eine Frequenzteilerschaltung beschreiben und erläutern.

Aber auch die vorgesehene "**andere Form der schriftlichen Leistungsüberprüfung**"³ hat in diesem auf praktisches Arbeiten ausgerichteten Kurs ihre Berechtigung, z.B.:

- Lötübungen durchführen;
- Aufbau einer kleinen Schaltung mit vorhandenem Experimentiermaterial;
- Erweiterung der Schaltung und Beschreibung des sich ergebenden Verhaltens.

Natürlich gilt in auch in dem Differenzierungskurs, dass die abgefragten Fähigkeiten und Fertigkeiten vorher im Unterricht erlernt und ausreichend geübt wurden.

Wie im math.-nat.-Aufgabenfeld üblich, wird auch im Kurs auf eine ordentliche Heftführung und mündliche Mitarbeit im Unterricht Wert gelegt (SoMi - Bereich).

³ ebd. unter 4.1



Vom einfachen Stromkreis zur programmierten Zeichenmaus

Was machen wir im Kurs?

Vorbereitende Arbeiten:	Umgang mit Werkzeug, unsere Experimentierplatte
Jetzt wird es heiß:	Wie lötet man richtig? Übung macht den Meister!
Wir lassen leuchten:	Leuchtdioden (LEDs) im Logikprüfer und bei der Ampel
Was sagt die Physik zu Dioden?	Aufbau der Halbleiter, Messung der Kennlinien
Wir lassen schalten:	der Transistor, fast ein Alleskönner, schaltet eine LED
Was sagt die Physik zu Transistor?	npn-, pnp-Schichtaufbau, Kennlinien
Kraftmeier und Sensibelchen:	Leistungstransistoren und empfindliche Darlingtons
Nun wird es musikalisch:	Metronom, Tongenerator, Lautsprecher
Was sagt die Musik, die Physik?	Tonleiter und Frequenzen, Schwingungsformen
Das will ich sehen!	Der Oszillograph als Universalmeßinstrument
Aus der Popszene:	elektronische Orgel, Frequenzteiler, Flipflop-Ketten,
Auf der Straße	Taktgeber mit Ampel
Kleine Käfer mit vielen Beinen:	Integrierte Schaltkreise (ICs) erleichtern die Arbeit
Wie viel Hertz sind es denn?	Frequenzmesser mit Digitalanzeige
Wir messen Zeiten:	Reaktionszeitmesser, Digitaluhr
Wie weit ist das?	Abstandsmessung mit Ultraschall
Die Physik hilft weiter:	Geschwindigkeits- und Bewegungsmessungen
Augen für die Elektronik:	Lichtschranken und Reflexkoppler
Alles dreht sich, alles bewegt sich:	Elektromotore werden geschaltet
Die Physik sagt, warum:	Elektromagnetismus und Polwender
Step by step:	Schrittmotore, die Spezialisten der Elektromotore
Er dreht sich durch Kommandos:	die Impulsfolge beim Schrittmotor
Zwei Motore, zwei Räder:	ein kleines Modellfahrzeug
Es fährt, wohin wir wollen:	Steuerprogramm für unser Fahrzeug
"Weiche Ware":	Modellrechner und Steuersoftware
Wegbeschreibung:	ein Schreibstift macht das Modell zur Zeichenmaus

Vielleicht kann unsere Zeichenmaus auch noch "Fühler", "Augen" und "Ohren" bekommen und sich dann in unserer Umwelt bewegen wie die automatischen Fahrzeuge der Industrie.

Einzelheiten zur Kursplanung

Im Folgenden sollen einige Einzelheiten zur Kursplanung vorgestellt werden, die auch bei der Kursvorstellung vor Schülerinnen und Schülern und deren Eltern zur Erläuterung dienen können.

Zeile 1

Zeile 2 hier verstecken sich Vorentscheidungen, die kurz erläutert werden sollen:

1. Entscheidung für Lötten:
bei ernsthafter Beschäftigung mit der Elektronik ist diese Fertigkeit unumgänglich⁴.
2. Entscheidung gegen eine gedruckte Schaltung zu Beginn des Kurses:
die fehlenden oder zumindest mangelhaften Lötkenntnisse lassen eine Platine zu schnell unbrauchbar werden.
3. Entscheidung für metallische Lötösen auf einem Holzgrundbrett:
sie können nicht verschmoren und bieten trotzdem eine gute Vorbereitung für das Festlöten von Bauteilen in Platinen. Solange diskrete Bauteile verwendet werden, kann alles auf diesem Grundbrett aufgebaut werden. Dazu ist allerdings eine sehr genaue Planung notwendig. Hier konnte ich viele Anregungen dem leider vergriffenen Buch „Erste elektronische Experimente“⁵ entnehmen.

Bei der Vorstellung des Kurses wird auch daraufhin gewiesen, dass die Schülerinnen und Schüler einen kleinen Geldbetrag - ca. 5 DM - zur Finanzierung der Bauteile aufbringen müssen, dafür können sie dann die fertige Ampelanlage auf der Grundplatte mit nach Hause nehmen.

Mit dem eingesammelten Geld kann die Lehrkraft die benötigten Bauteile in großer Stückzahl preiswert einkaufen und durch das Ausnutzen von Sonderangeboten, wie sie die Versandhändler immer wieder anbieten, weiteres Geld sparen. Noch preiswerter kommt man an Bauteile, wenn z.B. bei der Kursvorstellung bei den Eltern dieser Sachverhalt angesprochen wird: es gibt immer wieder Eltern, die bei entsprechenden Firmen arbeiten und gern Reste, nicht normgerechte Bauteile, Ausschussplatinen, irreparable Rückläufer etc. an die Schule abgeben. Manchmal muss man sogar aufpassen, nicht als preiswerte Entsorgungsstelle missbraucht zu werden.

Vor Beginn des Kurses sind von der Lehrerin oder dem Lehrer einige praktische Vorbereitungen zu treffen, damit die Schülerinnen und Schüler mit Schuljahresbeginn mit der Arbeit anfangen können. Es hat sich bewährt, wenn die Schule für die Elektronik brauchbare LötKolben in genügender Zahl bereithält, da die wenigsten Haushalte entsprechende Geräte besitzen und die Kinder mit LötKolben ankommen, die diesen Namen nicht verdienen oder aber allenfalls für Klempner oder Dachdecker geeignet sind. Auch einfache Seitenschneider⁶ sollten in der Sammlung vorhanden sein. Eine praktische Aufbewahrungshilfe für die schuleigenen Werkzeuge hilft Ordnung zu halten und erleichtert der Lehrkraft die Kontrolle am Stundenende. Für die dann ja meist noch heißen LötKolben sollte man sich eine Haltevorrichtung herstellen, die ein Wegräumen ermöglicht und trotzdem ein sicheres Abkühlen zulässt. Auch für die Grundbretter ist eine den Schülerinnen und Schülern zugängliche Ablage hilfreich. Die Erfahrung mit einem entsprechend eingerichteten Fahrtsch, der zu Unterrichtsbeginn in den Übungsraum geschoben wird, ist nach drei Jahren des Gebrauchs immer nur positiv gewesen. In ihm befinden sich herausnehmbare Einlegeböden, auf denen die LötKolben, die Ständer dazu, die Zangen im

⁴ vgl. dazu: BAUSTEIN BEISPIELE FÜR ELEKTRONISCHE SCHALTUNGEN

⁵ A. Kirchner, F. Engelmann: Erste elektronische Experimente, vgs 1980

⁶ hier reichen die billigen Typen, wie sie z.B. von Conrad electronic oder von Westfalia angeboten werden



Aufbewahrungskasten, die Arbeitsplatten der Schülerinnen und Schüler abgelegt werden und in dem auch noch Einschübe für die Materialien der Lehrkraft Platz finden. Wenn man zu Kursbeginn die Schülerinnen und Schüler entsprechend anleitet und Ihnen ein sinnvolles Ordnungssystem an die Hand gibt, klappt das vorzüglich, die Eigenverantwortlichkeit wird gefördert und gleichzeitig die Lehrkraft entlastet; so lohnt sich die einmalige Arbeit vor der Einrichtung des Kurses!

- Zeile 3 Leuchtdiode mit strombegrenzendem Widerstand
Zeile 4 LED hat keinen Glühfaden, ist HL-Bauelement
 Strom-Spannungs-Messung führt zu Kennlinie
 etwas über den p-n-Schichtenaufbau; zu Ge, Si, GaAs; Bauformen
Zeile 5 Transistor als Schalter; kleiner Steuerstrom - großer Arbeitsstrom
 strombegrenzender Basisvorwiderstand
Zeile 6 wesentliche Punkte der Kennlinie messend erfassen; auf "Schalten"
 abheben; Leistungshyperbel (?), Stromverstärkung (?)
Zeile 7 Leistungstransistor: Bauformen; Kühlkörper
 Darlingtontransistor: Modellaufbau auf Lötbrett; Sensorschalter
Zeile 8: Als Vorbereitung führt die statische Kopplung beider Transistorstufen zur
 bistabilen Kippstufe, danach Suche nach der Möglichkeit, automatisch
 umzuschalten (dynamische Kopplung); dazu:
 Kondensator über LED laden und entladen: es fließt Strom (Akku-Ersatz)
 Kondensator an Transistorschaltstufe: verzögerte Reaktion d. LED:
 Kopplung der beiden Stufen über einen Kondensator führt zur
 monostabilen Kippstufe, durch zweifache dynamische Kopplung erhält man
 die astabile Kippstufe und damit - je nach C - einen Wechselblinker oder einen
 Tongenerator, dessen Tonhöhe durch ein Poti einstellbar ist.
Zeile 9 Monochord - Tonleiter; Halb- und Ganztonschritte; Frequenzen; $\sqrt[12]{2}$ (?);
 Obertöne; Klangfarben; Schwingungsformen hören und geometrisch
 konstruieren;
Zeile 10 Oszillograph als vielseitiges Messinstrument, Schwingungen ansehen;
Zeile 11 bistabile Kippstufe als Frequenzteiler; dazu Kippstufen in „gestreckter“
 Darstellung aufbauen (Aufbautransparent) und nach Erläuterung der
 Torstufe die bistabile an die astabile Kippstufe koppeln;
 mehrere bistabile Kippstufen an einer astabilen führen zu Frequenzteilerketten
 (elektronische Orgel oder Zähler)
Zeile 12 mit großen Kondensatoren ergibt sich mit einer transistorisierten UND-
 Schaltung die Ampelanlage.

Die Experimentierplatte ist nun voll ausgebaut und legt die Zusammenfassung von Bauteilen zu neuen Einheiten und so die Einführung von ICs nahe.

Das Löten

Das Löten ist seit alters eine Kunst, Metalle miteinander zu verbinden. Schon die Ägypter haben vor 5000 Jahren ihre Schmuckstücke durch Lot zusammengefügt. Seit 4000 Jahren ist Zinn als Lotmetall in Gebrauch.

Man unterscheidet zwischen Weichlöten, bei dem das Lot bei Temperaturen unter 400°C schmilzt und Hartlöten, das ab ca. 500°C angewandt wird, um Metalle sehr fest und dauerhaft miteinander zu verbinden. Hartlote bestehen hauptsächlich aus Messing mit Zusätzen von Silber und evtl. weiteren Stoffen. Die Kupferrohre in der Sanitär- und Heizungstechnik werden durch Hartlöten verbunden, als Wärmequelle dient meist der Schweißbrenner.

In der modernen Technologie ist das Weichlöten insbesondere aus der elektrischen Verbindungstechnik nicht mehr wegzudenken. Wir benutzen heute als Lot eine Legierung aus etwa 60% Zinn und ca. 40% Blei, die bei ungefähr 190°C schmilzt. Eine Zugabe von 2% Silber bzw. 2% Kupfer lässt den Schmelzpunkt auf etwa 180°C sinken. Für Spezialanwendungen wird auch eine Legierung mit 5% Zinn, ca. 94% Blei und etwa 1% Silber angeboten, die bei ungefähr 300°C schmilzt. Das in der Elektronik verwendete Lötzinn sollte einen Schmelzpunkt unter 200°C haben und mit einer Flussmittelsee versehen sein. „Bastlerlot“, wie es in Baumärkten oder Kaufhäusern angeboten wird, sollte nicht verwendet werden, da es häufig säurehaltiges Flussmittel enthält und außerdem schlecht verläuft. Das Flussmittel im Elektroniklot besteht im Wesentlichen aus Kolophonium, einem Baumharz, das seinen Namen der antiken griechischen Stadt Kolophon in der Nähe von Ephesos verdankt und schon in alter Zeit aus Kiefernwurzeln gewonnen wurde. Kolophonium löst sich in Alkohol und diversen anderen Chemikalien, in Brennspritus gelöst kann es vorteilhaft als flüssiges Löthilfsmittel verwendet werden. Meist ist jedoch das im Lötendraht vorhandene Flussmittel völlig ausreichend. Die Lehrkraft sollte die Schülerinnen und Schüler nachhaltig vor der Verwendung von anderen Löthilfsmitteln wie Lötöl oder Lötölwasser warnen! Obwohl sie häufig in „Bastelpackungen“ anzutreffen sind, sind beide in der Elektronik absolut verboten, da sie meist Säuren und andere Stoffe enthalten, die beim Löten verdampfen, die gesamte Umgebung der Lötstelle verseuchen und im Laufe der Zeit das Kupfer und evtl. auch die Bauteile zersetzen. Da das Flussmittel verdampft, bevor das Lötzinn schmilzt, kann es sich über die Lötstelle verteilen und sie reinigen, indem es eine möglicherweise vorhandene Oxidschicht unterwandert und so das Kupfer für die Annahme des Lotes vorbereitet. Beim Lötvorgang geht das Lötzinn mit der Kupferoberfläche eine innige Verbindung ein, es bildet sich eine Zwischenschicht, die eine Legierung aus Lot und Kupfer darstellt. Während der Abkühlphase darf die Lötstelle nicht erschüttert werden, weil sich sonst keine homogene Verbindung ausbilden kann und eine „kalte Lötstelle“ entsteht: der Draht ist mit Lötzinn „festgeklebt“, die elektrische Leitfähigkeit ist mangelhaft. Von außen erkennt man eine kalte Lötstelle an der matten und meist auch rauhen Oberfläche.

Der eigentliche Lötvorgang läuft folgendermaßen ab: der heiße LötKolben wird mit sauberer und leicht verzinnter Lötspitze an die beiden zu verlötenden Teile gehalten und diese werden erhitzt. Nun gibt man etwas Lötzinn an die Teile, es schmilzt dort, das Flussmittel entfaltet seine säubernde Wirkung und das Lötzinn umschließt die zu verlötenden Teile. Nun kann man den LötKolben wegnehmen und die Lötstelle in Ruhe erkalten lassen. Diese Abfolge: - LötKolben an die Lötstelle, Lötzinn zugeben, Lötendraht wieder wegnehmen, LötKolben wegnehmen, Lötstelle erkalten lassen - muss mit den Schülerinnen und Schülern besprochen und anschließend vielfach geübt werden. Opfert die Lehrkraft hier etwas mehr Zeit, kommt das dem weiteren Kursfortschritt wieder zu gute, denn auf der Brettschaltung müssen weniger Lötfehler, die natürlich zum Nichtfunktionieren der Schaltung führen, gesucht werden.



Drahtreste, Ausschussplatinen, ggf. auch Lochrasterplatten mit großem Lochabstand⁷, sind als Übungsmaterial gut zu gebrauchen. Wenn die Schülerinnen und Schüler bei den Platinen erfahren, dass eine zu lange Wärmezufuhr das Kupfer von dem Isoliermaterial löst, ist damit gleich ein weiteres Lernziel erreicht: Löten muss sorgfältig, sollte aber dennoch zügig erfolgen.

Falls man an bereits bestückte Ausschussplatinen kommt (durch Spenden oder durch Sonderangebote), kann das Auslöten von Bauteilen den Umgang mit dem LötKolben weiter üben; gleichzeitig erhalten die Schülerinnen und Schüler Bauteile, die im Kurs oder darüber hinaus verwendet werden können. In diesem Fall ist Partnerarbeit vonnöten, die Eine hält die Platine fest, der Andere erwärmt mit dem LötKolben die Lötstelle und fasst dann mit der zweiten Hand und ggf. einer Pinzette oder Zange beherrscht zu und zieht den Anschlussdraht aus der Platine. Nach einer Weile wird gewechselt. Das Auslöten von ICs, Fassungen, Schaltern, Buchsen usw. sollte unterbleiben, es ist nur mit weiteren Hilfsmitteln erfolgreich zu bewerkstelligen. Bei LEDs oder Transistoren sollten möglichst alle Lötstellen gleichzeitig erhitzt werden.

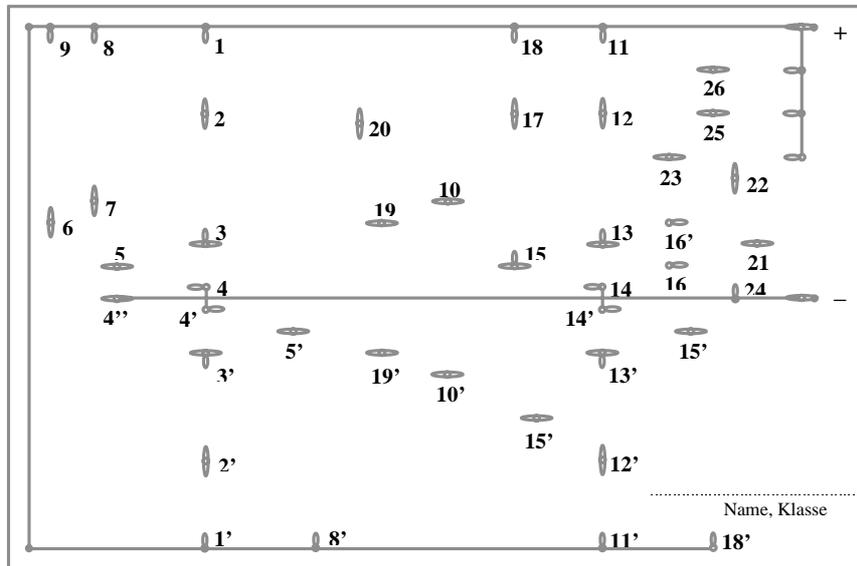
Nach entsprechender Übung ist eine Erfolgskontrolle angebracht. Die Aufgabe: „Löte aus blanken Drahtstücken (Gesamtlänge nur **etwas** größer, als gebraucht wird!) ein gleichseitiges Dreieck mit der Kantenlänge 5 cm zusammen“; oder „Löte aus sechs gleich langen Drahtstücken der Länge 5 cm das ‚Haus des Nikolaus‘ zusammen“ (nat. ohne das Kreuz in der Mitte) zeigt gleichzeitig, wie genau gemessen und wie gut gelötet wird. Dreidimensionale Gebilde, wie ein Tetraeder oder ein Würfel, sind zu kompliziert.

⁷ wie sie z.B. von Conrad electronic unter der Best.Nr. 52 77 85 vertrieben werden

Unsere Arbeitsplatte

Vor Beginn der eigentlichen Arbeit mit elektronischen Bauelementen ist die Grundplatte vorzubereiten. Die Schülerinnen und Schüler bekommen eine Vorlage und die Arbeitsanweisung als Kopie (siehe Kopiervorlage) und arbeiten sie dann bis zu der angegebenen Stelle ab.

Aus dem eingesammelten Geld bezahlt die Lehrkraft die vorher beschafften Holzplatten⁸ sowie die Lötösen⁹ und Nägel¹⁰ und gibt sie mit der Anleitung an die Schülerinnen und Schüler aus.



Die Lötösen sind so platziert, dass für alle auftretenden Schaltungen vom einfachen Stromkreis mit LED und Vorwiderstand bis zur getakteten Ampel immer entsprechende Stützpunkte vorhanden sind. In den meisten Fällen können einmal eingelötete Bauteile an ihrem Platz verbleiben, so dass sich die Arbeitsplatte nach und nach immer

weiter mit Bauteilen füllt.

Die hier vorgeschlagenen Außenmaße der Platte ergaben sich durch die Abmessungen der in den Vorbemerkungen erwähnten Aufbewahrungsmöglichkeit; die Kolleginnen und Kollegen sollten sie auf Ihre Belange anpassen. Die Abstände und insbesondere die Lage der Lötösen sollte aus den bereits erwähnten Gründen nicht wesentlich von der Vorlage abweichen. Sind die Lötösen sehr viel enger zusammen, so ist die Gefahr eines Kurzschlusses im Bereich der Transistoranschlüsse zu groß, bei zu großen Abständen reichen die Beinchenlängen der Bauteile nicht mehr aus.

Das Aufnageln der Lötösen sollte tunlichst als Hausaufgabe gegeben werden: nicht nur die Zahl der vorhandenen Hämmer, sondern insbesondere die Nerven der Lehrkraft sind hier der entscheidende Aspekt. Die Kontrolle der Hausarbeit ist wichtig: man gewinnt sehr früh einen guten Überblick, welche Schülerinnen und Schüler sorgfältig arbeiten und bei wem man später besser zweimal kontrolliert. Der Rest der Doppelstunde wird für die weiteren in der Anleitung erwähnten Arbeiten, nämlich das Löten der Drähte¹¹ für die Spannungsversorgung und das Einschlagen der Anschlusskontakte gebraucht.

⁸ Die preiswerteste Lösung ist: aus Resten sägt die Lehrkraft oder der Hausmeister die Brettchen selbst. Die immer noch recht preiswerte Möglichkeit: beim Baumarkt oder der Firma OPITEC die Brettchen zugeschnitten kaufen. Die Maße der Platte betragen: 19,5 cm x 13 cm.

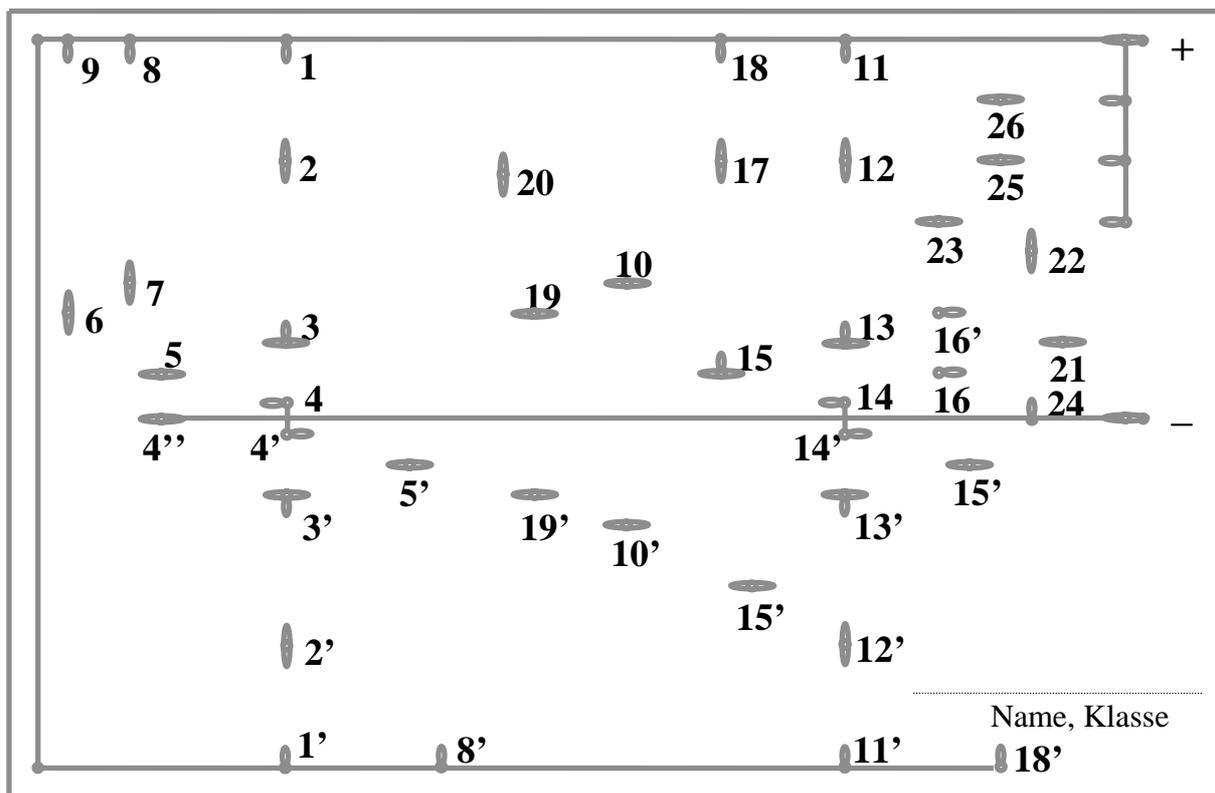
⁹ Die Lötösen mit Kragen heißen „Lötösen mit Stutzen“ und sind unter der Bestellnr. 12 H 548 bei der Fa. Bürklin, Am Wehrhahn 80, 40211 Düsseldorf; Tel.: 0211 9067-0, FAX: 0211 9067-125 zu beziehen. Sie kosten 4,10 € für 100 Stück; 2,55 € für 100 Stück ab 1000 Stück (Preise Sommer 2003).

¹⁰ Als Nägel benutzt man vernickelte oder verzinkte Rundkopf-Stifte 1,4x13, die in jedem Baumarkt oder bei Eisenwarenhändlern zu bekommen sind.

¹¹ Als Draht ist verzinnter blanker Schalt Draht von 0,8 bis 1 mm Durchmesser geeignet. Versilberter Schalt Draht, wie er häufig in Bastelläden angeboten wird, ist weniger geeignet, da er leicht oxidiert und dann schlechter lötlbar wird. Kann kein blanker Draht beschafft werden, so kann man sich mit verzinntem, isoliertem Schalt Draht

Um die Anschlussstifte¹² nicht zu beschädigen, sollte diese Arbeit nicht von den Schülerinnen und Schülern sondern von der Lehrkraft und unter Zuhilfenahme eines Setzeisens durchgeführt werden. Die passenden Steckschuhe werden mit je einem roten und schwarzen (bzw. blauen) Kabel versehen, am besten mit Schrumpfschlauch¹³ isoliert und auf der Gegenseite mit den üblichen 4mm-Steckern verlötet um so den Anschluss an die in den Physiksammlungen üblichen Netzgeräte zu ermöglichen. Bei mir gehören die Verbindungskabel der Schule, sind an dem erwähnten Fahrtisch übersichtlich aufbewahrt und die Schülerinnen und Schüler versorgen sich zu Beginn des Unterrichts jeweils mit einem Paar. Es ist aber durchaus auch möglich, die Kabel als Schülereigentum anfertigen zu lassen, die die Schülerinnen und Schüler dann nach Abschluss des Kurses zusammen mit der Platte mit nach Haus nehmen können, allerdings hat man dann während des ganzen Kurses die Mühe, auch die Kabel individuell verwahren zu müssen.

Wenn die Arbeitsplatte mit den Anschlusspunkten und allen Drähten versehen ist, sollte sie durch die Lehrkraft noch einmal auf Vollständigkeit und mögliche kalte Lötstellen hin untersucht werden. Aufgrund der vorangegangenen Lötübungen¹⁴ sollten aber die Lötstellen zwischen Draht und Lötöse kein Problem darstellen.



behelfen, den man vor Ausgabe an die Schülerinnen und Schüler abisoliert. Auf jeden Fall sollten die abgelängten Drahtstücke gereckt werden, damit sie schön gerade sind und die Arbeitsplatte ordentlich aussieht.

¹² Hier haben sich 1 oder 1,3 mm Lötstifte und die zugehörigen Steckschuhe bewährt. Es ist sinnvoll, den gleichen Durchmesser zu benutzen, der auch sonst bei dem evtl. vorhandenen Stecksystem verwendet wird.

¹³ Schrumpfschlauch ist zwar teuer, einmal mit der Heißluftpistole aufgeschrumpft, isoliert er aber die Steckschuhe dauerhaft und dient gleichzeitig als Knickschutz an dem empfindlichen Übergang zwischen Kabelisolierung und Lötstelle.

¹⁴ vgl. hierzu BAUSTEIN DAS LÖTEN

Vorbereitung der Arbeitsplatte

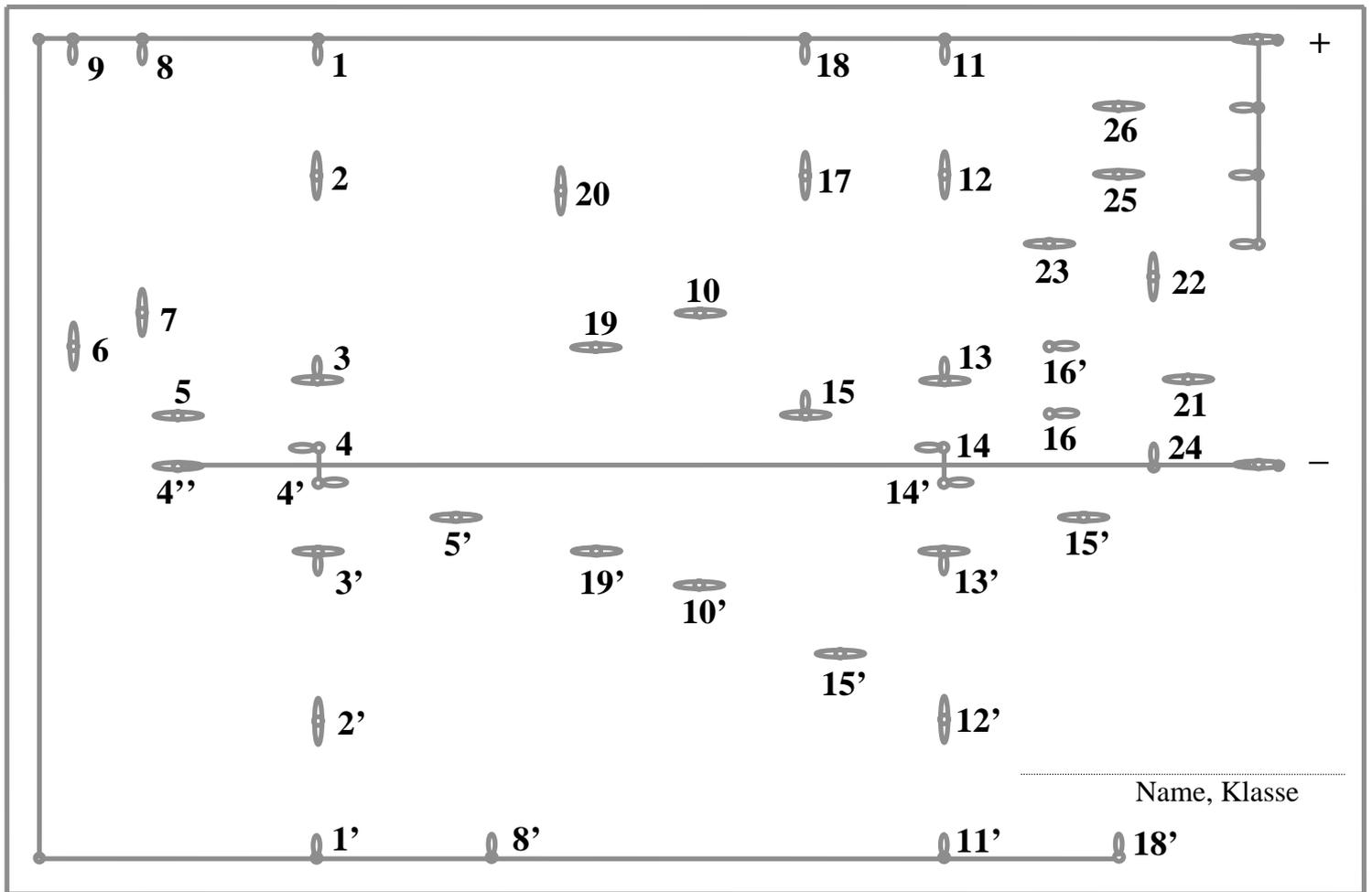
Lies diese Anleitung vollständig bis zum Ende durch! Arbeite sie dann sorgfältig ab!

1. Schreibe Deinen Namen auf die Vorlage und klebe sie dann sorgfältig auf die 19,5 x 13 cm große Holzplatte!
2. Nagele nun die Lötösen an den bezeichneten Stellen auf die Platte, dabei sollen die Lötösen auf dem Stehkragen stehen. Bei den einarmigen Lötösen wird zuvor eine Seite abgeschnitten. Bei den dreiarmigen Lötösen wird außerdem von der einarmigen Lötöse der Stehkragen entfernt.
3. Nur die mit + bzw. – bezeichneten Lötösen werden mit dem Stehkragen nach oben auf die Platte genagelt, sie liegen also flach auf dem Brett auf.
4. An der linken oberen und unteren Ecke wird je ein Nagel in das Brett geschlagen, um den sich später der Draht legen kann.

Bis zu dieser Stelle sollst Du zu Hause die Grundplatte vorbereiten, die nachfolgend beschriebenen Arbeiten werden in der nächste Unterrichtsstunde im Kurs erledigt!

1. Biege den linken Arm der – - Lötöse nach oben, löte an ihm ein Stück Draht fest und verlöte es mit den Lötösen 24, 14/14', 4/4', 4''. Zwischen den Lötösen 4 und 4' bzw. 14 und 14' ist ggf. ein kleines Stückchen Draht zur Verbindung zu löten.
2. Biege den linken Arm der + - Lötöse nach oben, fädle den Draht so hindurch, dass das kurze Ende mit den drei darunter befindlichen, nicht nummerierten Lötösen verlötet werden kann und löte die andere Seite des Drahtes an den Lötösen 11, 18, 1, 8, 9 fest, führe ihn um die beiden Nägel und löte ihn an den Lötösen 1', 8', 11', und 18' fest.
3. Verlöte nun noch die beiden Teile der dreiarmigen Lötösen miteinander.
4. Wenn die Anschlussstifte eingeschlagen sind, musst Du noch den unteren Fuß von ihnen mit dem flachen Teil der Lötöse verlöten. Dabei darf aber der lange Kontaktfinger des Lötstiftes nicht durch Lötzinn verunreinigt werden.

Vorlage zum Aufkleben auf die Holzplatte



Siehe auch Seite 86!

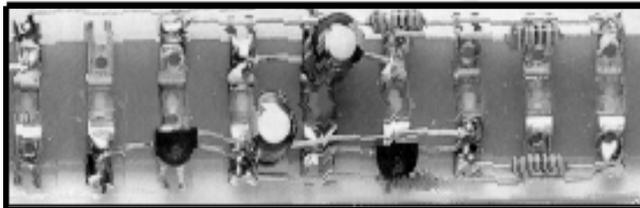
Beispiele für elektronische Schaltungen

Von einer elektronischen Schaltung spricht man immer dann, wenn sich innerhalb der Schaltung elektronische Bauelemente befinden. Das sind im Wesentlichen Halbleiter oder auch Elektronenröhren, ggf. auch passive Bauelemente wie Widerstände oder Kondensatoren. Im Gegensatz dazu würde man eine Schaltung, die aus Akkumulator, Polwender und Elektromotor besteht als elektrische, aber nicht als elektronische Schaltung bezeichnen. Das Aussehen elektronischer Schaltungen hat sich im Laufe der historischen Entwicklung deutlich verändert, an einigen Beispielen soll dieser Ablauf nachvollzogen werden und dabei auch der Vorteil der in diesem Kurs angewandten Lötplatte deutlich werden.

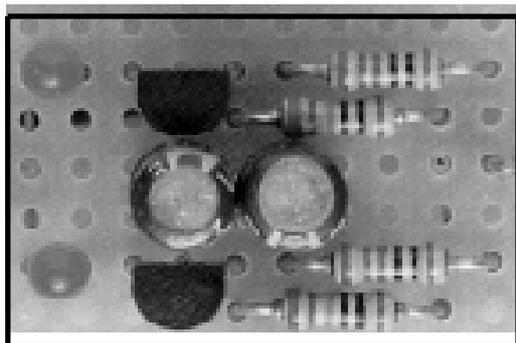
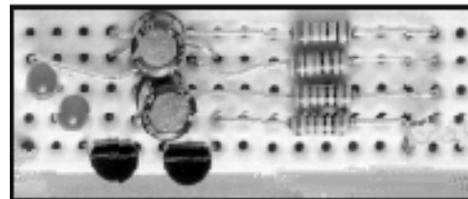
Als die ersten Rundfunkempfänger für die Allgemeinheit erschwinglich wurden, mussten diverse Bauteile miteinander verbunden werden. Man ordnete Lötösenleisten neben den Röhrenfassungen an und lötete die Widerstände und Kondensatoren dazwischen. Weitere Verbindungen - z.B. zum Drehkondensator oder zum Lautsprecher - wurden durch isolierte Drähte realisiert, die folgende Abbildung gibt ein Beispiel für diesen Aufbau.

Auch heute wird in der Literatur manchmal der Aufbau elektronischer Schaltungen auf

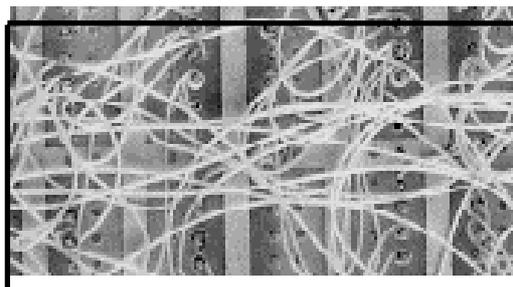
Lötösenleisten empfohlen, er hat aber den entscheidenden Nachteil, dass die Bauteile nicht an der Stelle angeordnet werden können, wo sie nach schaltungslogischen Gesichtspunkten sein müssten, sondern da, wo eben gerade eine Lötöse frei ist. Das Bild zeigt einen typischen Aufbau.



Ähnlich verhält es sich mit der Technik, die Bauteile auf ein sog. Steckbrett zu stecken, der Fortgeschrittene wendet es mit gutem Erfolg an, für den Anfänger ist die sich aus der Kontaktierung ergebende Lage der Bauteile zu unübersichtlich.

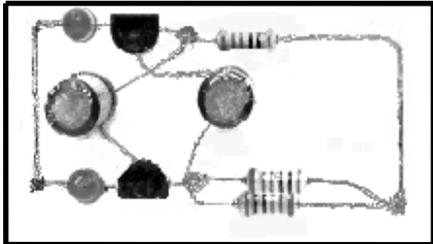


Die gleiche Argumentation gilt auch für die Lochrasterplatte, die unter den vorgestanzten Löchern kleine Lötunkte hat, die dann durch Schaltdraht mit einander verbunden werden müssen. Die Lochrasterplatte wird auch mit Kupferstreifen an Stelle der Lötunkte hergestellt, diese müssen dann mit einem scharfen Gegenstand an der richtigen Stelle unterbrochen werden und ggf. muss mit Schaltdraht eine Querverbindung zwischen den einzelnen Streifen hergestellt werden.

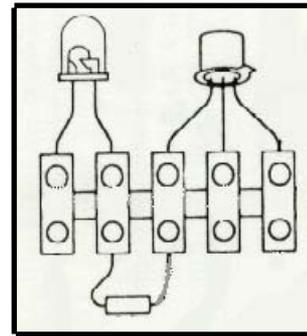


Die „Wire-Wrap-Technik“ sei nur der Vollständigkeit halber erwähnt, sie wird in den Labors der Industrie mit gutem Erfolg häufig angewandt; das Bild zeigt sofort, dass sie für den Lehrbereich nicht brauchbar ist.

Schließlich ist noch die Möglichkeit gezeigt, elektronische Bauteile in einer Lüsterklemmenleiste festzuschrauben, wie sie zum Anschließen von Lampen im Haushalt verwendet wird. Bezüglich der Anordnung der Bauteile gilt das oben Gesagte. Ich halte es für keine gelungene Lösung, die Transistorbeinchen unter einer Schraube platt zu quetschen, nur um nicht löten zu müssen.



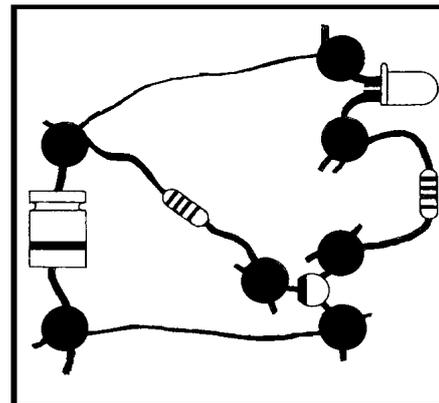
Der sog. „Igel“, das ist die Möglichkeit, ohne weitere Stützpunkte die Bauteile miteinander zu verlöten, hat den Vorteil, dass sie dort angeordnet werden können, wo sie hingehören, aber gleichzeitig den Nachteil, dass die ganze Angelegenheit mechanisch sehr instabil wird. Ich habe



diesen Aufbau mit Erfolg angewendet, um ein Flipflop so aufzubauen, wie es das Schaltbild zeigt. Die Folie mit dem Schaltbild und die funktionierende Schaltung wurde dann auf dem Overheadprojektor vorgeführt.

Gibt man dieser Schaltung mehr Stabilität, indem man die Bauteile jeweils an Befestigungspunkten festlötet, so kommt man fast zwangsläufig zu dem hier propagierten Lötbrett oder einem ähnlichen Aufbau.

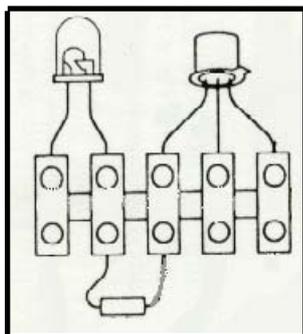
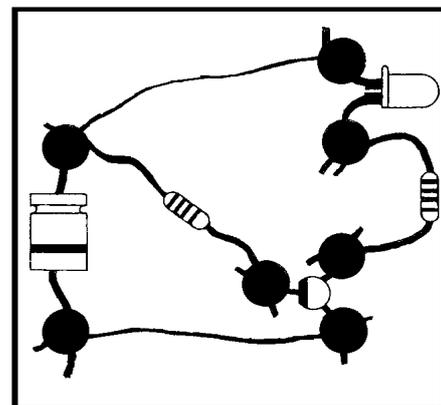
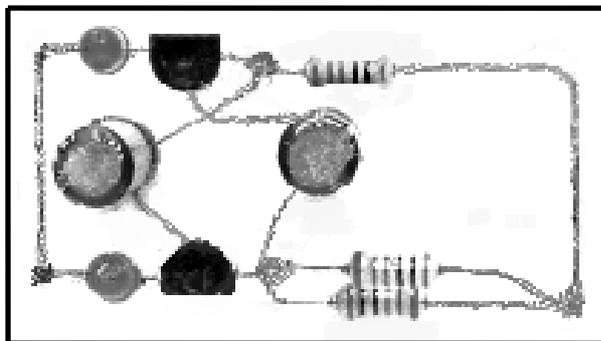
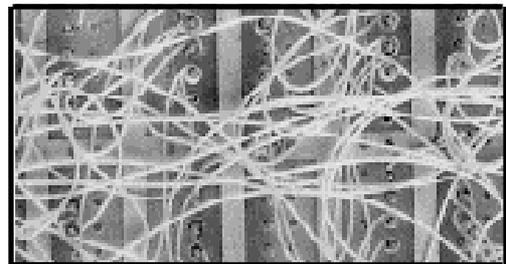
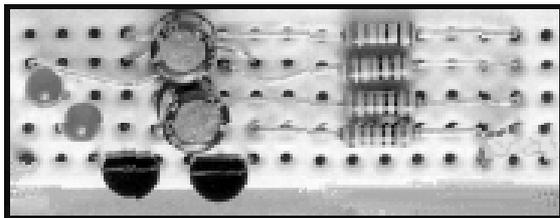
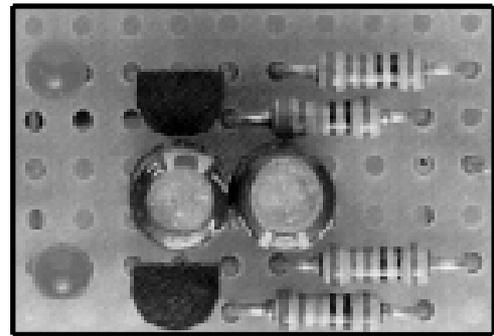
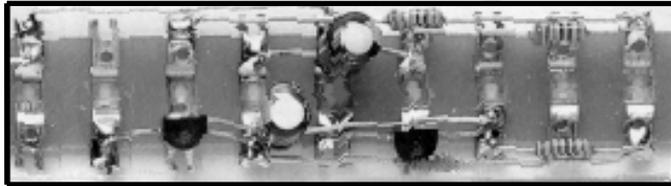
Als preiswerteste Lösung findet man die sog. Reiszwecken-Methode, bei der blanke Reiszwecken, in ein Holzbrett oder eine Gipskartonplatte gedrückt, die Lötstützpunkte bilden. Die Abbildung zeigt ein Beispiel. Als kleiner Nachteil erscheint hier die große Fläche der Reiszwecken, wodurch einerseits ein relativ großer Mindestabstand zwischen verschiedenen Anschlüssen benötigt wird, will man nicht die Gefahr des Kurzschlusses eingehen und andererseits relativ viel Wärme gebraucht wird, um das Lötzinn auf der Oberfläche des Reisinagels zu schmelzen. Manchmal gibt es auch Schwierigkeiten, weil die Oberfläche nicht metallisch blank und sauber genug ist.



Eingeschlagene Messingnägeln lösen die Probleme zum Teil, gegenüber diesen haben die Lötösen den Vorteil des Loches, in das die Drähte eingeführt werden können. Der Nachteil der Lötösen ist, dass sie verhältnismäßig teuer sind¹⁵. Rückblickend auf drei Kursjahrgänge ist aber festzustellen, dass sich der Aufwand lohnt.

Auf der folgenden Seite sind die Bilder zu einer Folie zusammengefasst, um den Lehrerinnen und Lehrern die Besprechung im Unterricht zu erleichtern.

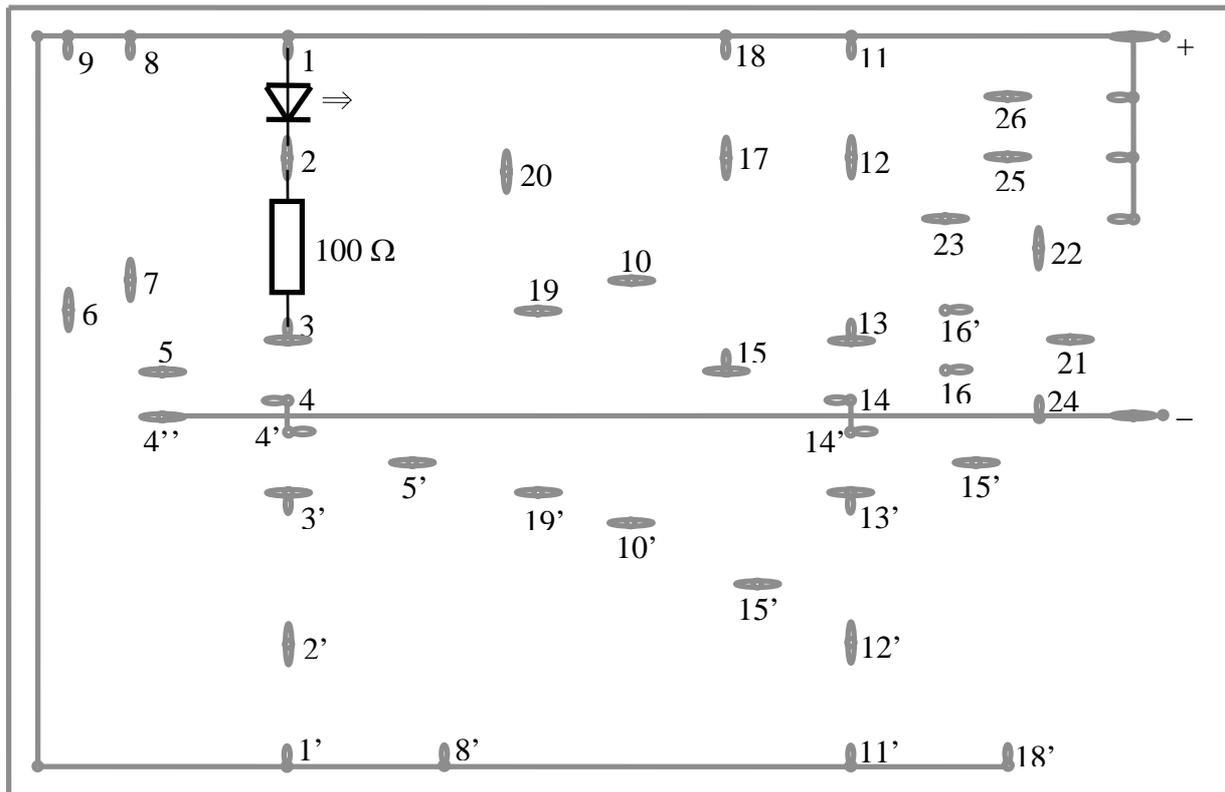
¹⁵ vgl. Fußnote 9 im BAUSTEIN UNSERE ARBEITSPLATTE



Einfacher Stromkreis: Leuchtdiode mit Vorwiderstand

Die ersten Bauteile auf der Arbeitsplatte sind eine LED und der für sie notwendige Vorwiderstand.

Die Lehrkraft sollte nach nur kurzen Vorbemerkungen über Leuchtdioden - notwendig ist nur der Hinweis auf die richtige Polung (langes Beinchen muss an den Pluspol) und den unabdingbaren Vorwiderstand - die beiden Bauteile ausgeben und an der vorgegebenen Stelle gemäß Bild einlöten lassen.



Die Schülerinnen und Schüler schließen nun ihre Arbeitsplatte an die Spannungsversorgung an und haben das erste Erfolgserlebnis, wenn die LED nach Verbindung der Lötösen 3 und 4 durch ein kurzes Drahtstück oder mit Hilfe des Lötzinns leuchtet. Falsch gepolte LEDs werden sofort erkannt und der Fehler wird schnell behoben.

In einem Lehrerexperiment kann nun nach entsprechenden Hinweisen gezeigt werden, dass die Leuchtdiode sofort zerstört ist, wenn sie ohne Vorwiderstand an 5 V angeschlossen wird. Das Opfern einer LED hat sich bewährt, das zerstörerische Aufblitzen ist eindrücklich und die Schülerinnen und Schüler müssen dieses „Experiment“ nicht selbst durchführen.

Als Vorwiderstand für die LEDs sind Werte zwischen 100 Ω und 330 Ω sinnvoll, je nach Farbe der Leuchtdiode.

Eine schnelle Überschlagsrechnung zeigt:

wäre der Widerstand der Leuchtdiode tatsächlich 0 Ω, so flösse bei einem Widerstand von 100 Ω in unserem Stromkreis ein Strom von $I = 5 \text{ V} : 100 \Omega = 50 \text{ mA}$, der die LED nicht zerstört, wenn er auch etwas groß ist. Hier ist der Hinweis angebracht, dass eine normale Leuchtdiode für einen Strom von 20 mA ausgelegt ist.

Eine Spannungsmessung an den LEDs - je nach Menge der zur Verfügung stehenden Messinstrumente könnten das auch alle Schülerinnen und Schüler bei ihrer eigenen LED tun - liefert Werte zwischen ca. 1,8 V und 2,2 V, je nach dem, welche Farbe (rot oder grün) die



eingelötete LED hat. Nun kann eine weitere Rechnung zeigen, dass der Wert von $100\ \Omega$ oder $150\ \Omega$ für den Vorwiderstand vernünftig ist:

$U_{\text{Batt}} - U_{\text{LED}} = U_{\text{R}}$; $U_{\text{R}} : R = I$; also z.B. $5\ \text{V} - 2,2\ \text{V} = 2,8\ \text{V}$; $2,8\ \text{V} : 100\ \Omega = 28\ \text{mA}$.

Für einen Vorwiderstand von $150\ \Omega$ gilt entsprechend: $2,8\ \text{V} : 150\ \Omega = 19\ \text{mA}$.¹⁶

Der provisorische Einbau eines anderen Vorwiderstandes und die danach folgende Messung zeigen, dass der Widerstand einer Leuchtdiode nicht linear sein kann und motiviert zu einer ausführlicheren Beschäftigung mit der Kennlinie der LED.

Welche Farbe die LED an den Lötösen 1 und 2 hat, ist für den weiteren Verlauf unerheblich. Erfahrungsgemäß sind die roten Leuchtdioden am preiswertesten, manchmal aber kann man Industrierestposten erhalten, die eine etwas abweichende Form oder Farbe haben, deshalb billig angeboten werden und für unsere Zwecke völlig ausreichend sind.

¹⁶ Die genauen Messungen an LEDs - vgl. BAUSTEIN MESSUNG DER KENNLINIEN VON DIODEN - zeigen, dass Leuchtdioden, selbst wenn sie die gleiche Farbe haben, durchaus nicht identische Kennlinien besitzen. Für die Überschlagsrechnung des Praktikers reichen die Messwerte eines Diodentyps aber allemal.

Messung der Kennlinien von Dioden

Diese Unterrichtseinheit sollte möglichst als Schülerübung durchgeführt werden.

Zwei bis drei Schülerinnen und Schüler bilden eine Arbeitsgruppe, die durch eine Strom - Spannungs- - Messung die Kennlinie einer Diode aufnimmt.

Es empfiehlt sich, verschiedenfarbige LEDs an die Arbeitsgruppen auszugeben, weil dann in der nachfolgenden Zusammenfassungsphase erarbeitet werden kann, dass je nach Farbe der LED - also je nach chemischer Zusammensetzung des Halbleiters - eine andere Schleusenspannung auftritt.

Um den Zusammenhang gleich zu generalisieren, sollte auch an einer normale Silizium- und ggf. Germaniumdiode gemessen werden, deren Schleusenspannungen sich dann zu 0,7V bzw. 0,3V ergeben. Mindestens die Siliziumdiode sollte gemessen werden, denn die Schleusenspannung vom Silizium-p-n-Übergang kommt in dem Kurs noch mehrfach zum Tragen.

Einige Bemerkungen zum Messen elektrischer Größen sind jetzt angebracht, denn die Schülerinnen und Schüler haben in der 9. Jahrgangsstufe noch wenig Erfahrung.

Im Gegensatz zur Mathematik gibt es hier keine eindeutige Zuordnung der Messgrößen zu den Achsen bzw. zu den Begriffen 1. bzw. 2. Variable. Welche Messgröße vorgegeben wird, ist nur von messpraktischen Erwägungen abhängig.

Für die Messungen an den LEDs ist es vorteilhaft, die Stromstärke vorzuschreiben, die durch die LED fließen soll. Sie wird durch das Einstellen der Spannung erreicht. Bei kleinen Strömen müssen die Messwerte ziemlich eng liegen, bei höheren kann die Schrittweite größer gewählt werden. In der Folienvorlage finden sich ein Muster für eine Wertetabelle (FOL 1) sowie Messwerte von diversen Dioden (FOL 2). In der zweiten Zeile der Tabelle ist die Spannung einzutragen, bei der der Strom durch die Diode gerade noch Null ist.

Je nach Innenwiderstand der zur Verfügung stehenden Messgeräte sollte für den Messaufbau die Strom- oder die Spannungsfehlmessung vorgegeben werden. Hat man kleine - und inzwischen auch sehr preiswerte - Digitalmultimeter, die häufig einen Innenwiderstand von 1 M Ω oder mehr haben, so wird sich die Stromfehlmessung anbieten. die Lehrkraft gibt das Schaltbild an der Tafel vor, es muss an dieser Stelle nicht problematisiert werden.

Die Schülerinnen und Schüler messen an ihren Dioden, tragen die Messwerte in die vorbereitete Tabelle ein und zeichnen zu Haus den Graphen, wobei die Spannung auf der waagerechten Achse anzutragen ist. Je nach Kenntnissstand des Kurses muss ein Hinweis auf die Achseinteilungen gegeben werden.

Mit den Daten der unterschiedlichen Graphen kann man dann Reihenschaltungen von LEDs besprechen, denn bei mehreren ist es immer sinnvoll, so viele von ihnen in Serie zu schalten, wie die Batteriespannung zulässt, weil dann der Energieverlust am Vorwiderstand minimal wird.

Für die nächste Kursarbeit lassen sich hieraus Aufgaben ableiten: Positionslichter an einem Modellschiff, Beleuchtung eines Modellautos, ggf. mit Blaulicht ...¹⁷ Für die Kursarbeit erhalten die Schülerinnen und Schüler die benötigten Kennlinien auf dem Aufgabenzettel als Kopie.

¹⁷ vgl. BAUSTEIN BEISPIELAUFGABEN FÜR KURSARBEITEN



Diode					
Typ					
$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$
0	0	0	0	0	0
0					
0,5					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
15					
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					

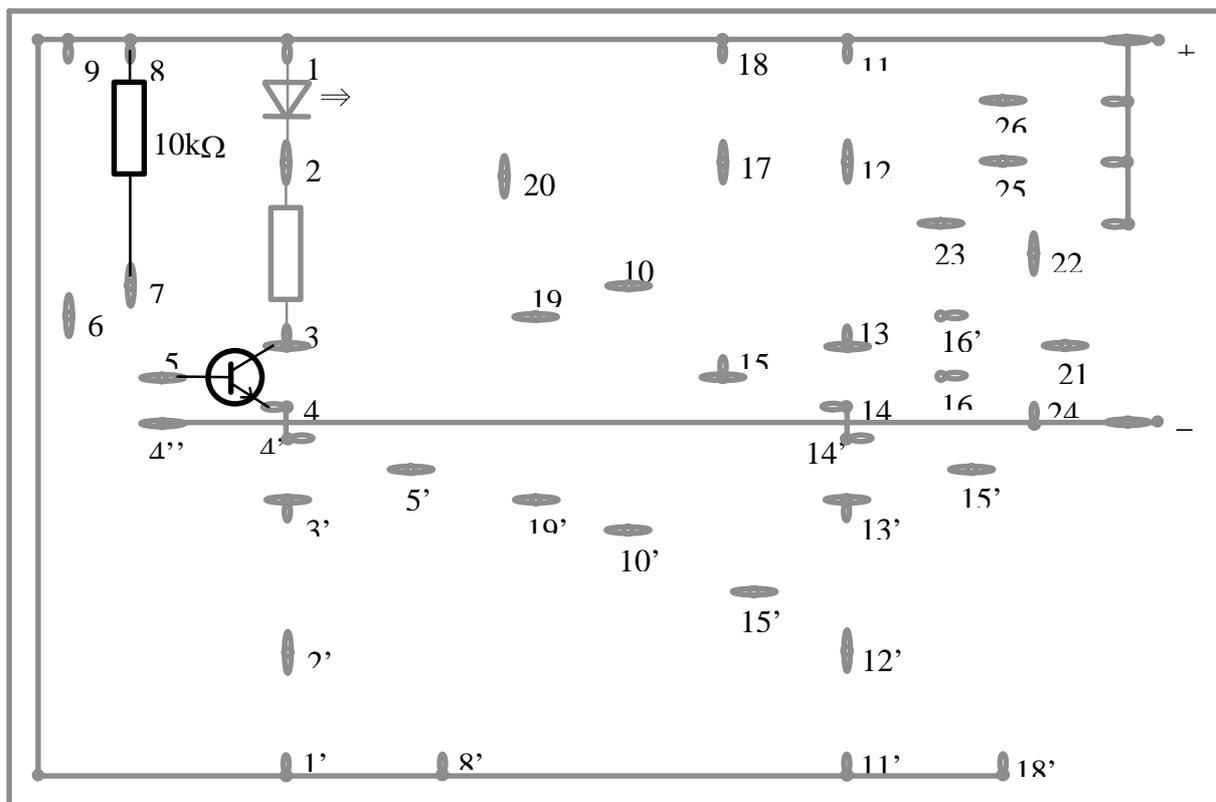
Diode	Ge	Si	IR-LED	LED rot	LED gelb	LED grün	LED blau
Typ	OA 81	1N4148		HLMP-D105	HLMP-3850	HLMP-3950	HLMP-DB15
$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$						
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,02	0,34	0,91	1,43	1,56	1,52	2,35
0,5	0,28	0,57	1,14	1,62	1,76	1,81	2,56
1	0,35	0,60	1,17	1,64	1,79	1,84	2,62
2	0,46	0,63	1,19	1,66	1,83	1,87	2,70
3	0,55	0,65	1,21	1,68	1,85	1,90	2,77
4	0,63	0,67	1,23	1,69	1,87	1,92	2,83
5	0,70	0,675	1,24	1,70	1,89	1,94	2,89
6	0,77	0,69	1,25	1,71	1,91	1,96	2,94
7	0,85	0,70	1,26	1,72	1,92	1,97	3,00
8	0,91	0,71	1,28	1,73	1,93	1,99	3,06
9	0,96	0,71	1,29	1,74	1,95	2,00	3,11
10	1,01	0,72	1,30	1,75	1,96	2,02	3,15
15	1,25	0,74	1,34	1,78	2,01	2,08	3,37
20	1,46	0,76	1,38	1,81	2,06	2,14	3,57
25	1,64	0,78	1,41	1,83	2,10	2,19	3,70
30	1,82	0,79	1,44	1,85	2,14	2,27	3,84
35	1,99	0,80	1,47	1,87	2,19	2,33	3,99
40	2,15	0,81	1,50	1,89	2,22	2,38	4,10
45	2,29	0,82	1,52	1,91	2,26	2,44	4,26
50	2,44	0,83	1,55	1,93	2,30	2,49	4,41

Kennlinien von Dioden

Diode						
Typ						
$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{U}{V}$
0	0	0	0	0	0	0
0						
0,5						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						

Der Transistor steuert eine Leuchtdiode

Im nächsten Schritt wird die Arbeitsplatte um einen Transistor und einen Basisvorwiderstand erweitert, der die bisher vorhandene LED steuert. Hier ist jeder Kleinleistungs-npn-Transistor brauchbar, es eignen sich auch hervorragend aus Industrieschaltungen ausgelötete Typen. Wie bereits aus den Vorbemerkungen ersichtlich ist, wird der Transistor in diesem Kurs nur als Schalter benutzt, als Vorinformation reicht also der Hinweis, dass ein Transistor ein Halbleiterbauteil mit drei Anschlüssen ist, das durch einen kleinen Steuerstrom am Eingang (an der Basis) einen größeren Strom am Ausgang (am Kollektor) einschaltet. Der für beide Stromkreise gemeinsame Pol ist der Emitter. Die Beinchen des Transistors werden vor dem Einsetzen passend vorgeformt, er wird dann in die Lötösen 3,4,5 eingesetzt und dort zügig festgelötet. Wie jedes Halbleiterbauelement ist auch der Transistor wärmeempfindlich. Da der Eingang vor zu großem Strom geschützt werden muss, wird ein Widerstand von ca. 10 k Ω zwischen die Lötösen 7 und 8 gelötet, wie es das Bild zeigt.

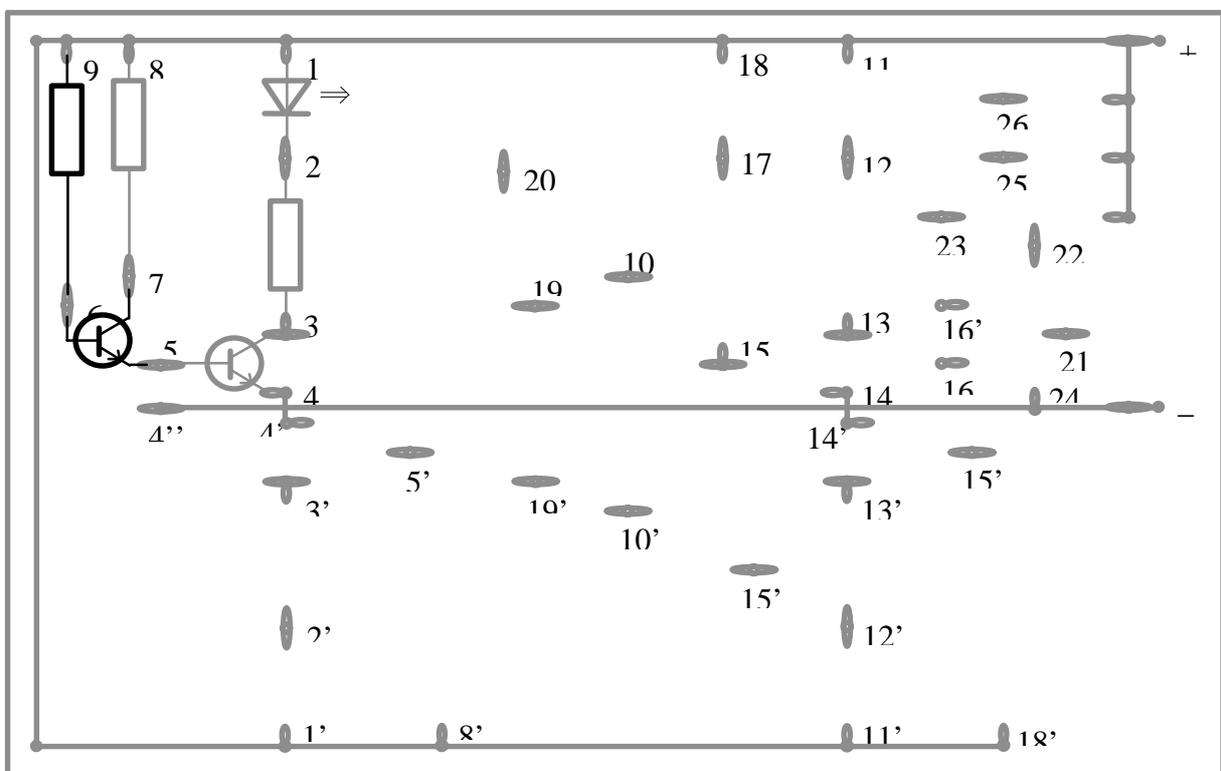


Nach Anschluss der Arbeitsplatte an die Spannungsversorgung können die Schülerinnen und Schüler die LED meist mit einem feuchten Finger, der die Lötösen 5 und 7 verbindet, zum Leuchten bringen. Sollte das nicht gelingen, (d.h. die Verstärkung des eingesetzten Transistors reicht nicht aus), man muss den Widerstand zwischen den Lötösen 5 und 7 verkleinern, indem man statt des Fingers ein Drahtstück benutzt. Es sollte dann aber noch versucht werden, den Transistor dadurch zum Schalten zu veranlassen, indem man mit dem Finger eine Verbindung zwischen der Lötöse 5 und dem benachbarten Pluspol (dem Draht zwischen den beiden Nägeln) herstellt. Dadurch wird der 10 k Ω Widerstand überbrückt und der Transistor muss auf jeden Fall durchschalten. Bei dieser Prozedur müssen die Schülerinnen und Schüler aber noch einmal eindringlich gewarnt werden: eine Verbindung der Lötöse 5 mit der Pluschiene durch ein **Drahtstück** hat die sofortige Zerstörung des Halbleiters zur Folge. „Ein Halbleiter reagiert schneller, als die schnellste Sicherung!“

Die Schülerinnen und Schüler können nun durch diverse Spannungsmessungen die Transistorstufe erkunden. Da die Basis nicht angesteuert ist, der Transistor also nicht leitet, ist die Basis-Emitter-Spannung etwa 0 V, die Kollektor-Emitter-Spannung beträgt etwa 4 V. Werden nun durch ein kleines Drahtstück die Lötösen 5 und 7 verbunden, dann erhält die Basis ja über den Vorwiderstand Basisstrom, der Transistor wird aufgesteuert, Kollektor und Emitter sind quasi leitend verbunden und die LED leuchtet dauernd. Jetzt ermittelt man die Basis-Emitter-Spannung zu 0,7 V (das ist natürlich die Schleienspannung der Basis-Emitter-Doide) und die Kollektor-Emitter-Spannung zu etwa 0,1 V. Die Spannungen an der LED und ihrem Vorwiderstand haben sich nicht oder kaum geändert. Diese Spannungsmessungen sind sehr aufschlussreich und außerdem wichtig, weil sie die Vorbereitung bilden für die Kopplung von Transistorstufen¹⁸. Die Schülerinnen und Schüler lernen hier schon: bei ca. 0,7 V an der Basis öffnet der Transistor, die Kollektor-Emitter-Spannung beträgt dann etwa 0 V, d.h. der Kollektor liegt fast an Masse.

Nun ist der Zeitpunkt gekommen, an dem entschieden werden muss, ob erst etwas Theorie zum Transistor erarbeitet wird oder auf der Arbeitsplatte weitergebaut werden soll. Es muss auf jeden Fall im Laufe der nächsten Arbeitsschritte einiges zur Theorie des Transistors vermittelt werden. Da die nächsten Bauabschnitte aber weiterhin unter dem Thema dieses Bausteins stehen, folgen hier erst die Aufbauanleitungen. Dem Transistor ist ein eigener Baustein¹⁹ gewidmet.

Die Erfahrung der Schülerinnen und Schüler, dass ihre Transistoren verschieden empfindlich auf den feuchten Finger reagiert haben, bietet die Möglichkeit, etwas Generelles zur Empfindlichkeit von Transistoren zu sagen, es gibt sie ja schließlich in verschiedenen Verstärkungsgruppen zu kaufen. Weil aber der Begriff der Stromverstärkung in diesem Kurs keine Rolle spielt, sollte die Lehrkraft es bei dem Begriff „Empfindlichkeit“ belassen: durch Unregelmäßigkeiten bei der Herstellung sind Transistoren verschieden und werden für spezielle Anwendungen sortiert und entsprechend verkauft.



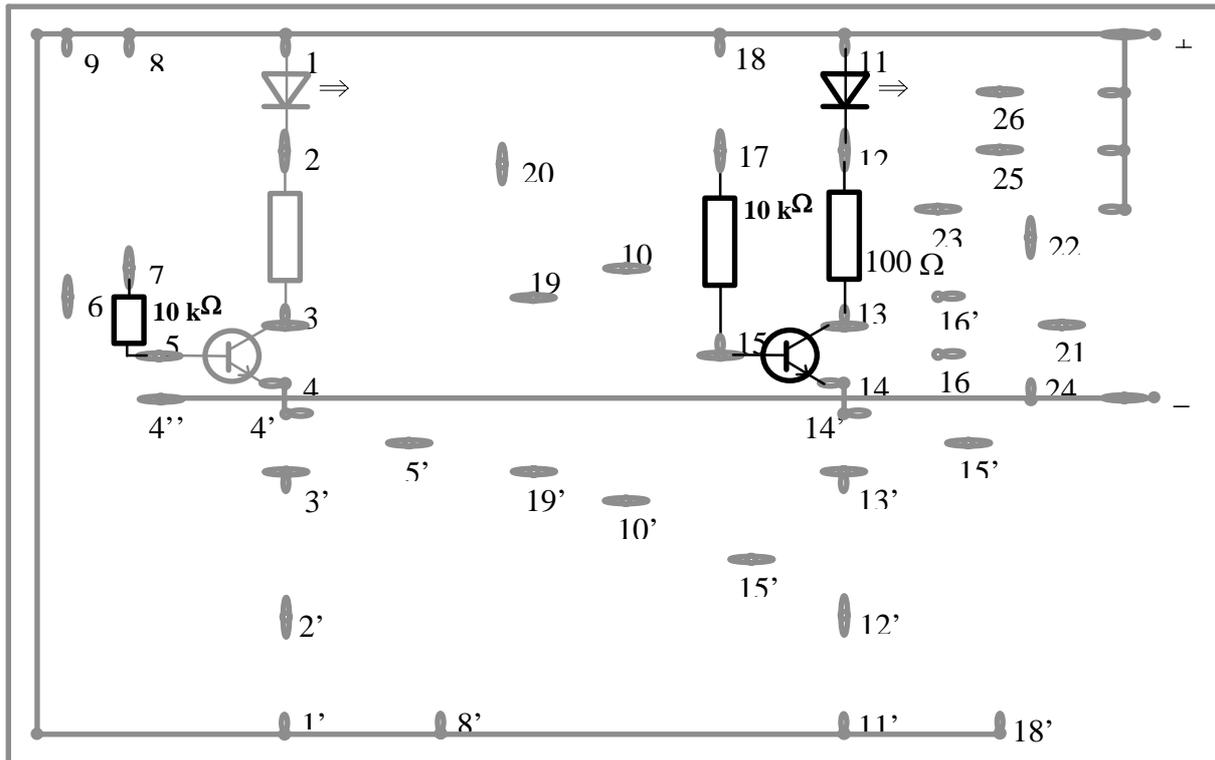
¹⁸ vgl. BAUSTEIN DIE BISTABILE KIPPSTUFE

¹⁹ vgl. BAUSTEIN INFORMATIONEN ZUM TRANSISTOR



Es gibt besonders empfindliche Typen, die sog. Darlington-Transistoren. Bei ihnen sind zwei oder mehr Transistorsysteme in einem Gehäuse zusammengefasst. Auf der Arbeitsplatte lässt sich ein solcher Typ aus zwei hintereinander geschalteten Transistoren aufbauen, wenn, wie das Bild zeigt, zwischen die Lötösen 5, 6, 7 ein weiterer Transistor gelötet wird. Der eingezeichnete Widerstand zwischen den Lötösen 6 und 9 wird erst einmal weggelassen. Es kann sein, dass bei einigen Schülerinnen und Schülern nun die LED nach Anschluss der Betriebsspannung sofort leuchtet. Das ist immer dann der Fall, wenn die Verstärkung der Transistoren sehr hoch ist. Der spezifische Widerstand der Holzplatte ist ja nicht sehr groß, so dass selbst dieser geringe Strom ausreicht, den Darlington-Transistor zu öffnen. Als Abhilfe kann man versuchen, die Basis des Transistors von der Lötöse 6 abzulöten, und sie frei in der Luft „hängen“ zu lassen. Ist bei erneutem Anlegen der Betriebsspannung die LED nun dunkel, wird sie sofort zu leuchten anfangen, wenn man den freien Basisanschluss mit dem Finger berührt oder nur mit dem Finger (!) eine Verbindung zum daneben liegenden Draht (positive Spannungsversorgung) herstellt. Es ist für die Schülerinnen und Schüler durchaus interessant festzustellen, wie viele von ihnen sich an den Händen anfassend als „Basisvorwiderstand“ für diese empfindliche Transistorstufe dienen können, ohne dass die LED verlischt. Dass diese Schaltung die Grundidee für Berührschalter oder Lügendetektoren ist, sei nur am Rande erwähnt. Der angedeutete Basisvorwiderstand zwischen den Lötösen 6 und 9 kann also sehr groß sein, 1 M Ω oder sogar noch mehr sind üblich. Besteht im Kurs Interesse und sind Zeit und Mittel vorhanden, könnte mit der Darlingtonstufe ein Leistungstransistor gesteuert werden und mit ihm eine Lampe oder ein Modellmotor geschaltet werden. Auf der Arbeitsplatte ist der Einsatz von Leistungstransistoren nicht vorgesehen, da sie gekühlt werden müssen. Es empfiehlt sich für diesen Fall, einen geeigneten Baustein aus der Physiksammlung zu benutzen. Auf jeden Fall sollten den Schülerinnen und Schülern verschiedene Bauformen von Transistoren wenigstens als Anschauungsmaterial gezeigt werden. Auch ein Auszug aus dem Datenbuch mit - ausgewählten - Informationen über die benutzten Transistoren hilft den Schülerinnen und Schülern zum Verständnis und lehrt den Umgang mit dieser wichtigen Informationsquelle.

Für den weiteren Kursverlauf muss nun die Schaltung auf der Arbeitsplatte weiter ergänzt werden: als erstes wird der Transistor in den Lötösen 5, 6, 7, ggf. sein Basisvorwiderstand sowie der Widerstand in den Lötösen 7 und 8 entfernt. Letzterer wird zwischen die Lötösen 5 und 7 gelötet, dadurch wird die Lötöse 7 zum Eingang dieser Transistorstufe. Der Transistor wird in die Lötösen 13, 14, 15 und dessen Basisvorwiderstand zwischen 15 und 17 gelötet. Eine weitere LED und ihr Vorwiderstand findet Platz in 11, 12 bzw. 12, 13. Dadurch ist nun bei den Lötösen 11 bis 17 eine Transistorstufe entstanden, die der bisherigen in den Lötösen 1 bis 7 entspricht. Das Bild zeigt den Zustand nach dem Um- bzw. Weiterbau. Nach Anschließen der Betriebsspannung und nach Verbindung von 7 und 8 bzw. 17 und 18 müssen die jeweiligen Transistoren durchschalten und ihre LEDs zum Leuchten bringen.



Messungen am Transistor und sein innerer Aufbau

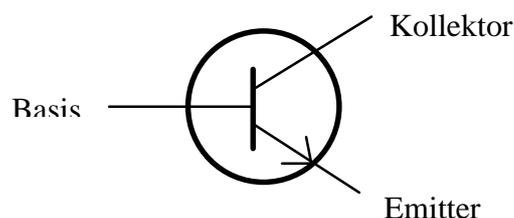
Bei der praktischen Arbeit mit Transistoren muss natürlich auch deren innerer Aufbau und ihr Verhalten in einer Schaltung thematisiert werden. Für Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe kann das natürlich nur vorläufig sein und der Ausflug in die Festkörperphysik muss sehr behutsam erfolgen.

Dieser Baustein kann und will auch nicht ein grundlegendes Werk über Transistoren sein; da sei auf die Literatur verwiesen. Es sollen hier nur einige Aspekte dargestellt werden, die im Rahmen des Kurses von Wichtigkeit sind.

Nach dem p-n-Übergang²⁰, ist der Dreischichtenaufbau des Transistors die nächste Möglichkeit, zwei verschieden dotierte Halbleiter zu kombinieren. Beide Kombinationen werden von den Schülerinnen und Schülern gesehen: entweder man ergänzt den p-n-Halbleiter zum p-n-p-Halbleiter oder zum n-p-n-Halbleiter. Um das Verständnis nicht unnötig zu erschweren, werden in diesem Kurs nur die n-p-n-Transistoren behandelt.

Der Transistor wurde erstmals 1948 durch die Amerikaner John Bardeen und Walter H. Brattain erfunden, die bei Experimenten an p-n-Übergängen durch einen aufgesetzten Metallkontakt zufällig einen p-n-p-Aufbau erzeugten. Bei weiteren Messungen stellten sie fest, dass durch Widerstandsänderung der ersten Grenzschicht auch der Widerstand der anderen Grenzschicht geändert wurde. Aus „transfer resistor“ wurde dann das Kunstwort „Transistor“. Die Entdecker erhielten zusammen mit William Shockley, der maßgeblich an der Theorie gearbeitet hatte, 1956 den Nobelpreis für Physik. Bereits 1949 entstand der erste Flächentransistor und in den folgenden Jahren vollzog sich die Entwicklung immer schnellerer und leistungsfähigerer Transistoren in rapidem Tempo. Auch die Bezeichnungen für die drei Anschlüsse sind historisch bedingt: unsere Steuerelektrode war die Grundplatte, die „Basis“ des Transistors; die Elektrode, die als Stromquelle fungiert, war der „Emitter“ (von emittieren - aussenden); die Stromsenke heißt „Kollektor“ (von colligere - sammeln). Die Elektrodenbezeichnungen wurden dann später für den n-p-n-Transistor übernommen und werden mit den Buchstaben B, E, C abgekürzt. Erst bei der späteren Entwicklung des Feldeffekttransistors (FET) wurde für die Steuerelektrode, die ja dem Gitter bei der Röhre entspricht, der Name „Gate“ eingeführt.

Als Schaltzeichen für den n-p-n-Transistor hat sich das bereits im BAUSTEIN TRANSISTOR STEUERT LEUCHTDIODE verwendete Symbol



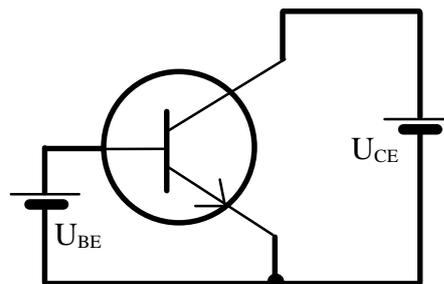
durchgesetzt. Auch hier bedeutet die Pfeilrichtung die technische Stromrichtung. Zunehmend findet man in der Literatur, besonders in der englischen, dass auf den Kreis verzichtet wird. Der besseren Übersichtlichkeit wegen plädiere ich aber im Rahmen des Unterrichts für die Beibehaltung.

Heute bestehen die meisten Transistoren aus dem vierwertigen Silizium, das in aufwendigen Reinigungsprozessen von Fremdstoffen befreit werden muss, bis es schließlich beim sog.

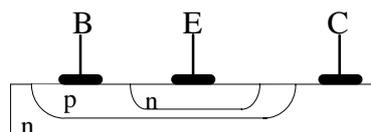
²⁰ vgl. BAUSTEIN MESSUNG DER KENNLINIEN VON DIODEN

„Dotieren“ wieder gezielt mit Elementen aus der dritten bzw. aus der fünften Gruppe des Periodensystems „verunreinigt“²¹ wird. Im Falle unserer n-p-n-Transistoren ist der Kollektor durch z.B. Phosphor schwach n-dotiert, die Basis durch Indium sehr schwach p-dotiert und der Emitter stark n-dotiert. Es ergeben sich so zwei Grenzschichten, die jeweils eine Diode bilden. Man muss die Schülerinnen und Schüler nachhaltig darauf hinweisen, dass zwei Dioden natürlich nicht einen Transistor nachbilden können. Deshalb ist es ganz wichtig, dass die Lehrkraft deutlich auf den Herstellungsprozess hinweist: ein dünnes n-dotiertes **Einkristallplättchen** (Dicke: 0,4 bis 0,7 mm) wird nacheinander erst tief hinein schwach p-dotiert und dann stark n-dotiert, so dass sich die zwei Grenzschichten mit ihren ladungsträgerverarmten Zonen ausbilden. Zur Veranschaulichung gibt es gutes Folienmaterial²² und auch in den neueren Physikbüchern finden sich viele Texte und Bilder. Es kann nicht Ziel dieses Kurses sein, die komplette Kleinsignaltheorie mit den Schülerinnen und Schülern zu behandeln; es sollten aber die zwei Diodenstrecken z.B. durch Messen der Schleusenspannung nachgewiesen werden, und es muss gezeigt werden, dass ein n-p-n-Transistor bei positiver Ansteuerung der Basis in seiner Kollektor - Emitter - Strecke niederohmig wird. Das Bild eines vereinfachten Kennlinienfeldes könnte in einem interessierten Kurs als Anreiz dienen, sich tiefergehend mit der Materie des Festkörpers (z.B. im Physik - Leistungskurs) zu beschäftigen.

Bei der Schaltung im BAUSTEIN Transistor steuert LED handelt es sich um folgendes Prinzip:



Die Basis-Emitter-Diode ist wegen der angelegten Basis-Emitter-Spannung durchlässig, die Elektronen, die vom Emitter zur Basis fließen, überschwemmen wegen der sehr dünnen Basis die Grenzschicht zwischen Basis und Kollektor und erlauben so einen Stromfluss im Kollektor-Emitter-Kreis, der durch die Spannung U_{CE} hervorgerufen wird. Wegen dieses „Transistoreffektes“ sorgt der Basis-Emitter-Strom von unter einem Milliampere für einen Kollektor-Strom von einigen hundert Milliampere. Die beiden Grenzschichten sind auch verschieden groß, um diesen Effekt noch zu verstärken. Die folgende Zeichnung zeigt ein Beispiel für einen Diffusionstransistor. Sie macht deutlich, dass die Basiszone sehr dünn ist, in der Realität hat sie eine Dicke von nur wenigen Tausendstel Millimetern.



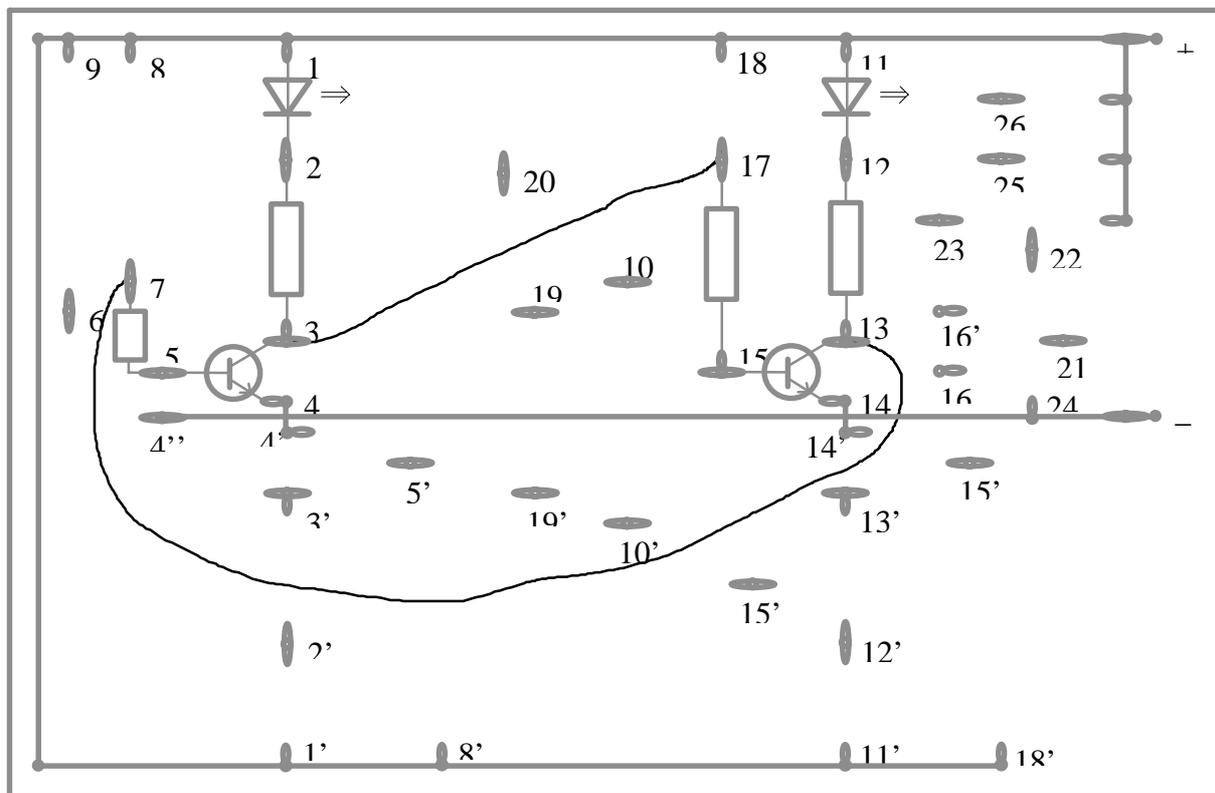
²¹ das bedeutet: etwa 20 - 30 μg Dotierungsatome auf 1 kg Siliziumatome

²² Folienserie des Fonds der Chemische Industrie 18: Chemie - Grundlage der Mikroelektronik

Die bistabile Kippstufe

Nachdem im BAUSTEIN Transistor steuert LED die Arbeitsplatte mit zwei identischen Transistorstufen bestückt wurde, kann man jetzt versuchen, die eine durch die andere zu steuern. Aus den Messungen ist bekannt, dass die Basis ca. 0,7 V benötigt, um die Kollektor-Emitter-Strecke niederohmig zu machen. Der Kollektor liegt dann mit ca. 0,1 V fast auf Massepotential. Schließt man also die Basis des einen Transistors an den Kollektor des anderen Transistors an, so wird letzterer den ersten steuern können.

Die Schülerinnen und Schüler sollen also auf ihrer Arbeitsplatte den Basiswiderstand des rechten Transistors (Lötöse 17) mit dem Kollektor des linken Transistors (Lötöse 3) verbinden. Hier lässt sich sehr gut vorhersagen, was passieren muss, wenn an den Basiswiderstand des linken Transistors (Lötöse 7) die positive Betriebsspannung angelegt wird. Die sorgfältige Begründung für das Schalten der beiden Transistorstufen ist wieder eine gute Übung, lässt sich aber auch als Aufgabe in einer Kursarbeit nutzen. Der umgekehrte Fall dass Lötöse 7 mit Lötöse 13 verbunden wird, führt zum entsprechenden Ergebnis. Damit sind die Vorbereitungen zum Erkunden der bistabilen Kippstufe abgeschlossen.

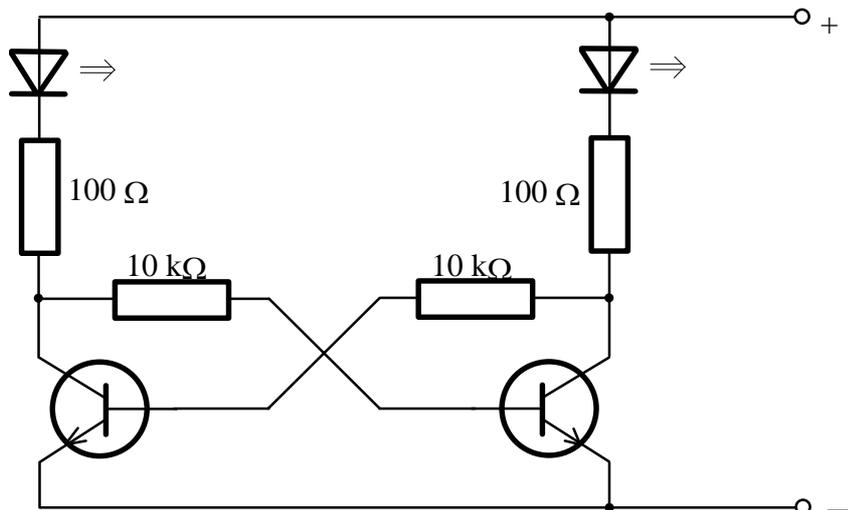


Wenn die Lehrkraft dafür sorgt, dass alle Arbeitsplatten im gleichen Zustand sind, können die nächsten Arbeitsschritte auch sehr gut als praktische Kursarbeit²³ vollzogen werden. Wenn die Schülerinnen und Schüler beide o. a. Verbindungen einlöten, wird nach Anlegen der Betriebsspannung entweder die linke oder die rechte LED leuchten. Dieser Zustand ist stabil. Nach Unterbrechen der Betriebsspannung und erneutem Einschalten muss aber durchaus nicht wieder die selbe LED leuchten. Bei völlig identischen Transistorstufen ist der Ausgang des Experiments zufallsbedingt; sind irgendwelche Bauteile etwas unterschiedlich, wird eine der beiden LEDs häufiger leuchten als die andere.

²³ vgl. dazu: BAUSTEIN BEISPIELAUFGABEN FÜR KURSARBEITEN

Wie kann man nun aber diesen stabilen Zustand gezielt verändern? Es wird häufig vorgeschlagen, eine der Drahtverbindungen zu entfernen; dieser Vorschlag ist abzulehnen, soll doch an der eigentlichen Schaltung nichts geändert werden. Die Lehrkraft sollte hier mit den Schülerinnen und Schülern entwickeln, dass man doch nur die Basis des gerade leitenden Transistors mit der Masseschiene zu verbinden braucht, um diesen Transistor zu sperren. Damit liegen an seinem Kollektor ca. 3 - 4 V, der andere Transistor kann durchschalten, seine LED leuchtet und an seinem Kollektor misst man nur noch etwa 0.1 V. Diese Spannung reicht natürlich nicht zum Öffnen des ersten Transistors, der neue Zustand ist also wieder stabil. Durch mehrfaches Verbinden der Basis des gerade leitenden Transistors mit Masse lässt sich diese Schaltung hin und her kippen; in beiden Stellungen ist sie stabil, sie heißt deshalb auch **bistabile Kippstufe**. In der Literatur ist für diese Schaltung auch der Name **Flipflop** üblich; gegen ihn ist nichts einzuwenden, er erheitert wegen seiner Ähnlichkeit zu Flicflac sogar die Schülerinnen und Schüler. Ein anderer Name für diese gekoppelten Transistoren, nämlich „bistabiler Multivibrator“ ist wegen der Widersprüchlichkeit im Namen ungünstig: Wenn eine Schaltung bistabil ist, dann kann sie nicht gleichzeitig ein „Vielschwinger“ sein. Mindestens ebenso unsinnig sind die Bezeichnungen „monostabiler Multivibrator“ oder gar „astabiler Multivibrator“ für die Schaltungen, denen die nächsten Bausteine gewidmet sind. Man sollte hier also bei dem Begriff „Kippstufe“ bleiben, die dann - je nach Kopplung der Stufen - bi-, mono- oder astabil ist.

Nachdem Verhalten und Name geklärt sind, ist die Speichereigenschaft der bistabilen Kippstufe herauszuarbeiten. In den integrierten Speicher- und Zäblerschaltungen werden viele Abkömmlinge dieses einfachen Flipflops in großer Zahl benötigt. Wir haben es hier mit dem R-S-Flipflop zu tun, das im zweiten Kursteil als IC wieder benutzt wird. Im Zusammenhang mit diesem Baustein sollte auch die Darstellung im Schaltbild thematisiert werden. Zum ersten Mal im Kurs ist es zweckmäßig, die Schaltung nicht genau so aufzuzeichnen, wie sie auf der Arbeitsplatte gelötet ist, sondern im Schaltbild die Symmetrie hervorzuheben, wie das in der Literatur auch üblich ist.



Durch passende Folien, die jeweils Transistor mit LED und Widerstand bzw. den Basiswiderstand mit seiner Verbindungsleitung enthalten, kann für die Schülerinnen und Schüler sehr augenfällig die neue Darstellung entwickelt werden. Es ist aber nicht zweckmäßig, schon hier auf die spätere „gestreckte Darstellung“²⁴ der Kippstufen einzugehen, lieber holt man zu gegebener Zeit die Folien noch einmal hervor.

²⁴ vgl. BAUSTEIN PLATZSPARENDER AUFBAU VON KIPPSTUFEN



In diesem Zusammenhang sind einige prinzipielle Überlegungen zum Zeichnen von Schaltbildern angebracht. Leiterbahnen sind - bis auf einige wenige Ausnahmen (wie z.B. hier beim Flipflop) waagrecht oder senkrecht zu zeichnen; Bauteile sind sorgfältig und unmissverständlich zu zeichnen (der im BAUSTEIN Astabile Kippstufe erstmals vorkommende Kondensator kann bei unsauberer Zeichenweise mit dem Batteriesymbol verwechselt werden); alle Bauteile sind mit Namen oder Wert zu kennzeichnen (LEDs sind durch den Pfeil ausreichend gekennzeichnet, falls nicht Wert auf eine bestimmte Sorte gelegt wird; entsprechendes gilt für die npn-Transistoren).

Die monostabile Kippstufe

In diesem Baustein lernen die Schülerinnen und Schüler ein neues Bauelement kennen, den Kondensator. Hier ist natürlich nicht vom elektrischen Feld zwischen zwei Metallplatten zu reden, die elektrische Feldkonstante zu erörtern oder die Kapazität eines teilgefüllten Plattenkondensators zu berechnen, wie das im Physikkurs der 12. Jahrgangsstufe üblich ist. Der Kondensator wird zweckmäßig als Speicher für elektrische Energie eingeführt, indem die Lehrkraft z.B. einen kleinen Elektromotor als Dynamo benutzt, von dem ein Fädchen abrollt, das von einem Masseklötzchen gezogen wird. Die so erzeugte elektrische Energie bringt ein Birnchen zum Leuchten oder lädt im nachfolgenden Versuch einen größeren Elektrolytkondensator²⁵. Nach Ablauf des Fadens trennt man den Kondensator vom Dynamo und kann dann entweder das Birnchen aufleuchten oder den Dynamo als Motor laufen lassen. Die physikalisch vorbelastete Lehrkraft wird sich den Hinweis auf Energieerhaltung oder das „perpetuum mobile“ nicht verkneifen können und wollen. Als Erklärung für den Versuch reichen die Überlegungen, dass der Generator einen Ladestrom fließen lässt, der auf die eine Kondensatorplatte viele Elektronen zusätzlich schickt, während er von der anderen Platte Elektronen abzieht. Dieses Ladungsungleichgewicht (wie bei der Batterie) versetzt den Kondensator in die Lage, einen Strom durch den Motor oder die Lampe zu schicken, bis ein Ladungsausgleich stattgefunden hat.

Verschiedene Bauformen von Kondensatoren (möglichst auch ein offener, schon etwas abgewickelter alter Blockkondensator) dienen der Veranschaulichung. Der Hinweis auf die Beziehung: „je größer die Kondensatorplatten, desto größer die Kapazität“ sollte auch nicht unterbleiben. Beim Blockkondensator ist schon auf die Isolation zwischen den Platten hingewiesen worden: durch geschickte Wahl dieses Isolators kann die Kapazität wesentlich erhöht werden. Um die Größe anzugeben, benutzt man - wie in der Physik und Technik üblich - die entsprechende Maßzahl und als Einheit das Farad, Abkürzung „F“, (M. Faraday 1791 - 1867). Bis vor wenigen Jahren war ein Kondensator der Größe 1 F jenseits jeder Handhabbarkeit, man berechne auf der Grundlage eines älteren Kondensators das Volumen eines solchen „Gerätes“! Die modernen „Gold Caps“ haben bei 5,5 V und 1 F gut 2 cm Durchmesser und 1 cm Höhe, also ein Volumen von knapp 4 cm³!

Aus Sicherheitsgründen für die Schülerinnen und Schüler (wegen der Explosionsgefahr von z.B. Tantalelkos) und auch für die verwendeten Kondensatoren selbst muss auf die Polung hingewiesen werden. Schließlich wird auch das Schaltzeichen - ggf. mit Pluszeichen bei gepolten Kondensatoren - eingeführt. Die Ähnlichkeit zum Batteriesymbol weist auf das ähnliche Verhalten hin (beide sind geladen, den Akku kann man auch wieder aufladen), zwingt aber auch zu sorgfältigem Zeichnen²⁶. Als Bezug zum heutigen Stand der Technik sollte auch der Hinweis auf die Verwendung großer Kondensatoren als Pufferelko im Computer oder im modernen Fahrradrücklicht nicht fehlen.

Nach dieser Einführung kann man den Schülerinnen und Schülern einen geeigneten Kondensator geben²⁷ und sie seine Eigenschaften mit Hilfe ihrer Schaltung auf der Arbeitsplatte erkunden lassen. Es fördert die Selbständigkeit der Schülerinnen und Schüler, wenn die Lehrkraft ihnen ein Arbeitsblatt²⁸ aushändigt und sich im Folgenden auf die Beantwortung von Fragen beschränkt.

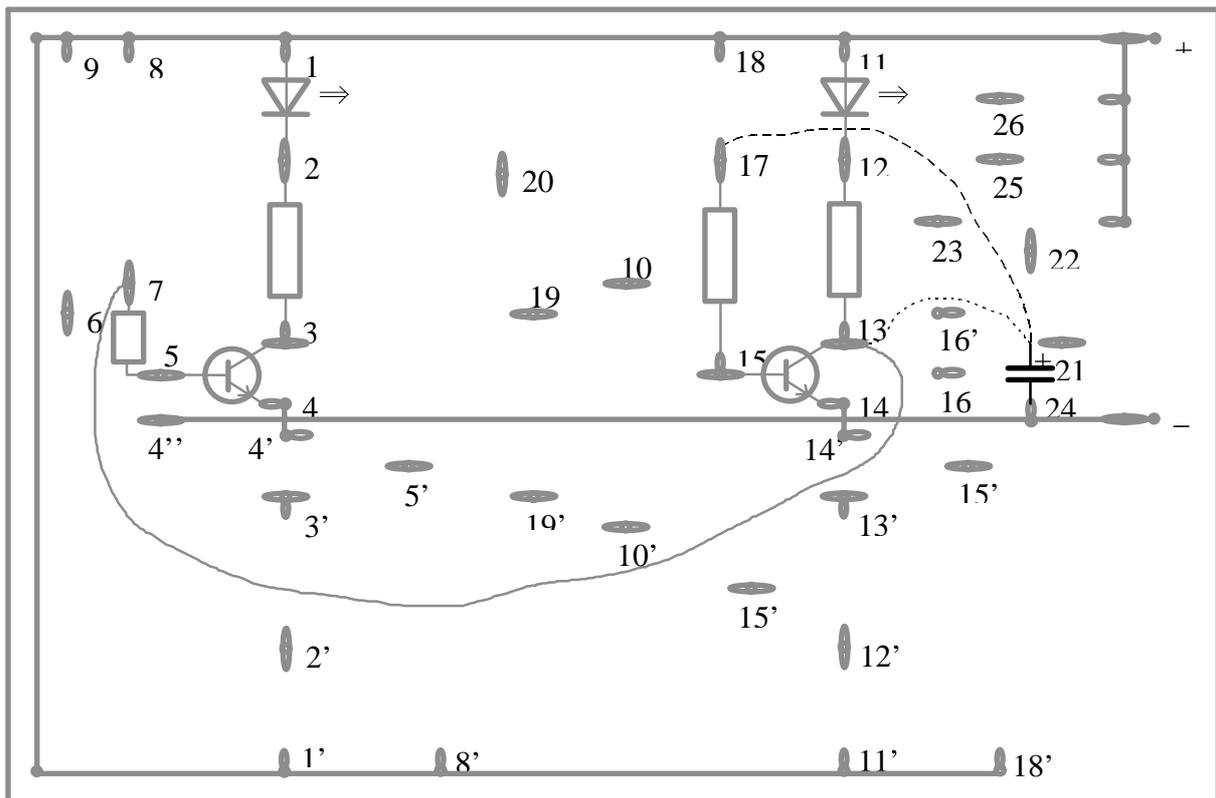
²⁵ „Elektrolyt“ ist bei der Einführung besser zu unterdrücken; „großer Kondensator“ reicht völlig aus. Sein Wert sollte einige zehntausend μF betragen, damit der Motor auch eine Weile läuft.

²⁶ vgl. die Bemerkungen im BAUSTEIN DIE BISTABILE KIPPSTUFE.

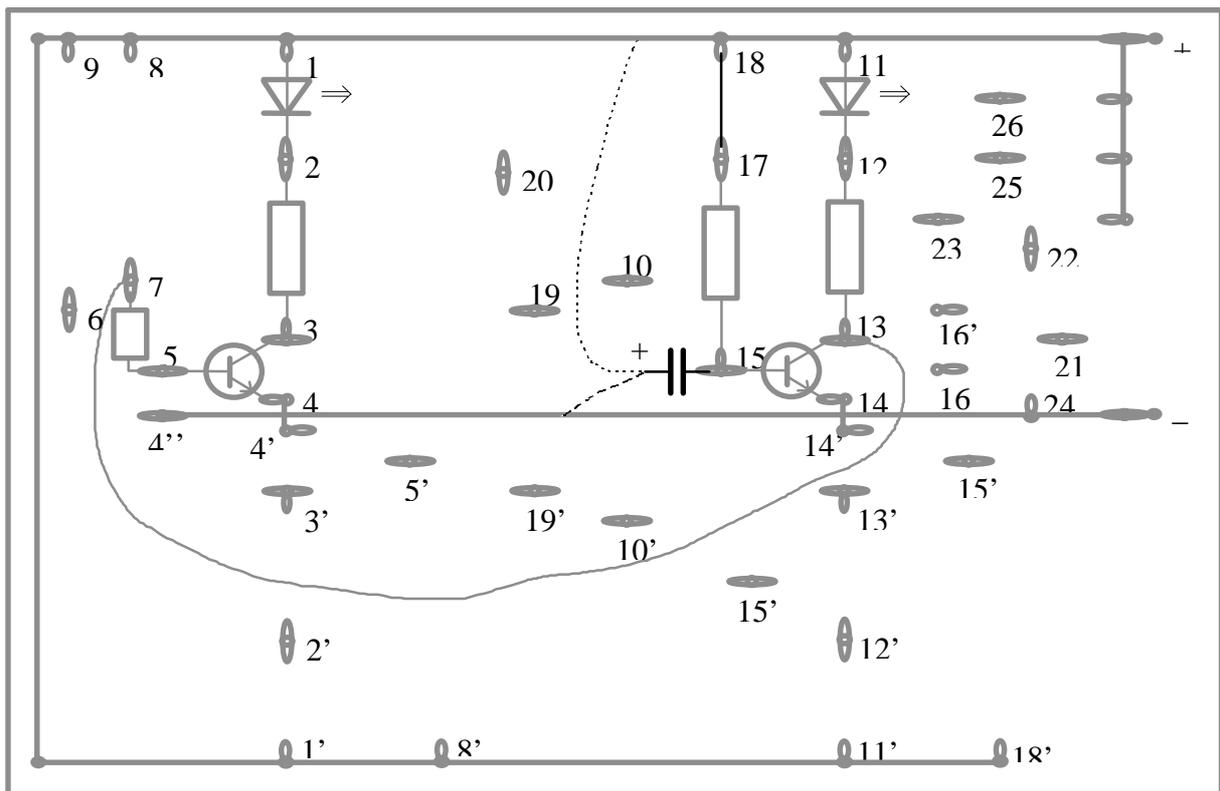
²⁷ Werte von 1000 μF bis 4700 μF haben sich bewährt; die Spannungsfestigkeit sollte wegen der größeren Sicherheit nicht unter 16 V, besser bei 25 V liegen.

²⁸ Ein mögliches Muster befindet sich am Ende dieses Bausteins.

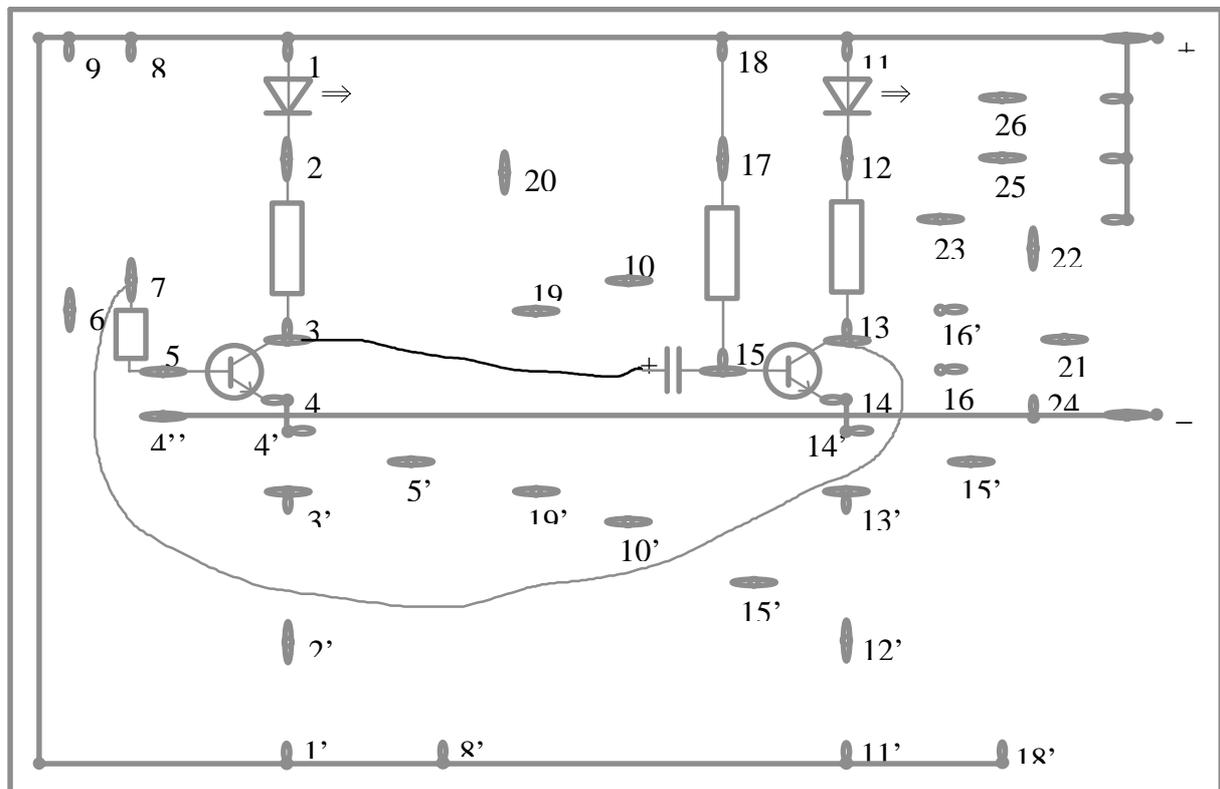
Hier muss aber auch noch auf eine mögliche Schwierigkeit hingewiesen werden: große Kondensatoren - besonders ältere oder Sonderangebotstypen - haben häufig einen erheblichen Leckstrom, d.h. nach der Aufladung fließt immer noch ein kleiner Strom, da durch die zu niederohmige Isolierung ständig Ladung abfließt. Wegen des Basiswiderstandes von $10\text{ k}\Omega$ fließt durch ihn aber nur ein Strom von unter $500\text{ }\mu\text{A}$; ist die Stromverstärkung des Transistors nicht groß genug, wird er nicht voll durchgesteuert, an seinem Kollektor liegen etwa $2 - 3\text{ V}$. Die rechte LED leuchtet (vielleicht etwas dunkler als sonst). Über die Verbindung Lötöse 7 mit Lötöse 13 fließt ein geringer Strom, der Transistor in Lötösen 3, 4, 5 verstärkt diesen Strom und die linke LED leuchtet auch (etwas dunkler als sonst). Wenn auf diese Weise beide LEDs leuchten, entspricht das nicht dem üblichen Verhalten einer monostabilen Kippstufe und auch nicht der Intention, hier den Transistor nur als Schalter zu betrachten. Haben die Kondensatoren aber nun einen zu großen Leckstrom, so behilft man sich, indem die Schülerinnen und Schüler zu Beginn nicht nur die Verbindung zwischen Lötöse 17 und Lötöse 3 sondern auch zwischen Lötöse 7 und Lötöse 13 entfernen und erst nach Einsetzen kleinerer Kondensatoren mit geringerem Leckstrom eine dieser Verbindungen wieder herstellen. Kann sich die Lehrkraft nicht durch bessere Kondensatoren oder durch Transistoren mit höherer Stromverstärkung aus der Affäre ziehen, muss sie ggf. das dritte Experiment entsprechend abwandeln. Führen die Schülerinnen und Schüler gemäß Arbeitsblatt das erste Experiment durch, so muss die Experimentierplatte wie nachfolgend gezeichnet aussehen.



Der Aufbau des zweiten Experiments verändert die Arbeitsplatte in der folgenden Weise.



Nach dem dritten Experiment ist bereits die monostabile Kippstufe in einer der beiden möglichen Versionen auf der Arbeitsplatte entstanden.

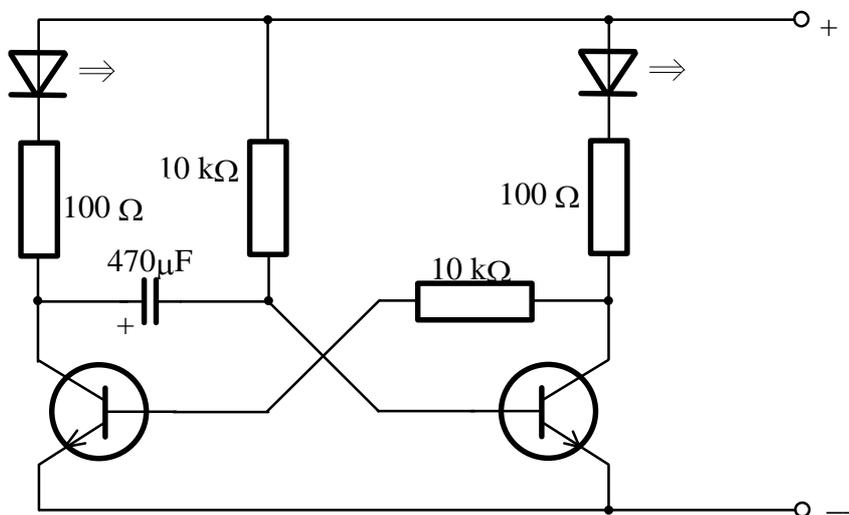


Ob die Lehrkraft wirklich die Umkehrung der Verhältnisse ausprobieren lässt, wie es das Arbeitsblatt vorschlägt, oder statt dessen lieber verschieden große Kondensatoren testen lassen will, hängt nicht zuletzt auch von der verfügbaren Zeit ab.

Auch hier ist es notwendig, das Schaltbild im Gegensatz zur Aufbauzeichnung herauszuarbeiten. Die Lehrkraft kann es zusammen mit den Schülerinnen und Schülern aus der bistabilen Kippstufe entwickeln.

Der Widerstand zwischen dem Kollektor des linken Transistors und der Basis des rechten ist durch einen Kondensator ersetzt, die Basis des rechten Transistors bekommt Basisstrom über einen Widerstand, der sie mit dem Pluspol verbindet.

Es könnte die Schülerinnen und Schüler irritieren, dass der Basiswiderstand des rechten Transistors auf der linken Seite angeordnet ist; durch diese Zeichenweise wird aber eine unschöne Leitungskreuzung vermieden.



Der Kondensator

Die monostabile Kippstufe

Ein Kondensator besteht im Wesentlichen aus zwei Metallplatten, die sich in geringem Abstand gegenüberstehen und zwischen denen sich eine Isolationsschicht befindet.

Die wesentliche Kenngröße eines Kondensators ist die Kapazität, gemessen in Farad (F), sie sagt aus, wie viel Ladung auf den Kondensator aufgebracht werden kann. Zu beachten ist auch die maximale Spannung, die man an den Kondensator anlegen darf.

Man kann ihn **aufladen**, indem man seine beiden Platten mit den Polen einer Spannungsquelle verbindet. Falls es sich um einen sog. Elektrolytkondensator handelt, muss man dabei die Polung beachten. Beim Aufladen passiert folgendes: der Minuspol der Quelle überschwemmt die angeschlossene Platte mit Elektronen, der Pluspol entzieht der an ihn angeschlossenen Platte Elektronen. Das passiert sehr schnell und mit anfänglich hohem Strom, falls dieser nicht durch einen Vorwiderstand begrenzt wird. Der nun geladene Kondensator befindet sich in einem Ungleichgewicht: die eine Platte hat zu viele Elektronen, ist also negativ geladen, die andere hat zu wenig, ist also positiv geladen. Verbindet man die Anschlüsse eines geladenen Kondensators (über einen Widerstand) miteinander, so kann man ihn wieder **entladen**: die Elektronen fließen von der negativen Platte durch den Widerstand zur positiven und sorgen für einen Ladungsausgleich. Diesen Strom kann man sichtbar machen oder messen.

Für **das erste Experiment** entfernen wir die Verbindung zwischen Lötöse 17 und Lötöse 3. Außerdem verbinden wir den Minuspol des Elektrolytkondensators mit der Minusschiene und seinen Pluspol mit dem Kollektor des rechten Transistors (Lötöse 13). Nach Anschluss der Betriebsspannung lädt sich der Kondensator über die LED und deren Vorwiderstand auf, der Ladestrom ist zu erkennen an einem kurzen Aufleuchten der LED. Nun legen wir den Pluspol des jetzt geladenen Kondensators an das freie Ende des Basisvorwiderstandes (Lötöse 17): der Kondensator entlädt sich über die Basis-Emitter-Strecke des Transistors, der leitet jetzt und lässt die LED abermals leuchten. Der Entladestrom wird durch den großen Basisvorwiderstand begrenzt, die Entladung dauert viel länger als die Ladung über den viel kleineren LED-Vorwiderstand.

Für **das zweite Experiment** verbinden wir den Minuspol des Kondensators mit der Basis des rechten Transistors (Lötöse 15), das freie Ende des Basisvorwiderstandes (Lötöse 17) verbinden wir mit der Pluschiene. Der Transistor bekommt jetzt Basisstrom und leitet, die LED leuchtet. Wir schließen ein Voltmeter an den Kondensator an und verbinden jetzt seinen Pluspol mit der Pluschiene. Jetzt schließen wir die Betriebsspannung wieder an. Nach der Aufladung des Kondensators können wir +4,3V messen. Nun legen wir den Pluspol des Kondensators an Masse: wir beobachten ein Verlöschen der LED und können die Entladung des Kondensators am Messinstrument verfolgen. Bei diesem Entladevorgang fließen Elektronen auf den Pluspol des Kondensators (Ladungsausgleich), entsprechend fließen Elektronen vom Minuspol des Kondensators ab und sperren die Basis. Nach vollständiger Entladung des Kondensators lädt er sich über den Basisvorwiderstand auf etwa -0,7V auf, nun leitet der Transistor wieder und die rechte LED leuchtet. Beobachtet man bei der Wiederholung dieses Experiments auch die LED am linken Transistor, dessen Basisvorwiderstand ja noch mit dem Kollektor des rechten Transistors verbunden ist, so sieht man im Moment des Verbindens des Kondensatorpluspols mit der Pluschiene ein kurzes Aufleuchten der LED. Das bedeutet: der rechte Transistor muss offensichtlich ganz kurz sperren. Wir wollen aber auf diesen Effekt, der durch das Umladen des Kondensators hervorgerufen wird, nicht näher eingehen.



Für **das dritte Experiment** verbinden wir den Pluspol des Kondensators mit dem Kollektor des linken Transistors (Lötöse 3). Nach Anschluss der Betriebsspannung bemerken wir beim erstmaligen Aufladen wieder ein Aufleuchten der linken LED. Dann ist die linke LED dunkel, die rechte leuchtet.

Jetzt kann man am Kondensator messen: $U_{\text{Kond.}}=2,7\text{V}$

und an den Transistoren: $U_{\text{BE}}(\text{T}_l) = 0,1\text{V}$; $U_{\text{CE}}(\text{T}_l) = 3,3\text{V}$; $U_{\text{BE}}(\text{T}_r) = 0,77\text{V}$; $U_{\text{CE}}(\text{T}_r) = 0,1\text{V}$.

Nun verbinden wir B(T_r) mit Masse, T_r sperrt, LED_r ist dunkel, LED_l leuchtet.

Nun misst man: $U_{\text{Kond.}}=0,13\text{V}$

und an den Transistoren: $U_{\text{BE}}(\text{T}_l) = 0,77\text{V}$; $U_{\text{CE}}(\text{T}_l) = 0,1\text{V}$; $U_{\text{BE}}(\text{T}_r) = 0\text{V}$; $U_{\text{CE}}(\text{T}_r) = 3,3\text{V}$.

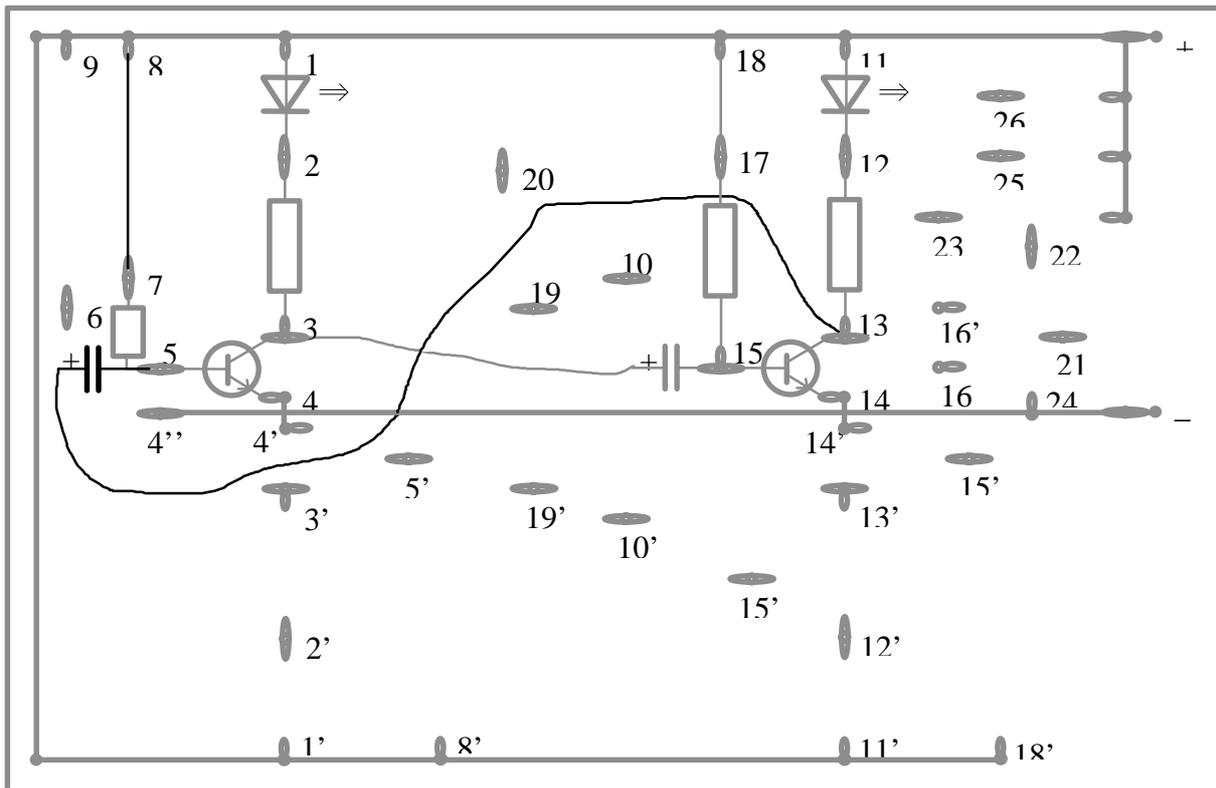
Nach Entfernen der Masseverbindung vergeht eine Zeit, dann leuchtet wieder LED_r und LED_l ist dunkel. Während dieser Verzögerungszeit steigt $U_{\text{BE}}(\text{T}_r)$ auf $0,77\text{V}$ an, damit leitet T_r und es sperrt T_l . Dadurch springt hier U_{CE} von $0,1\text{V}$ auf $3,3\text{V}$ und es wird jetzt $U_{\text{Kond.}}=2,6\text{V}$.

Die Schaltung verhält sich wie ein Zeitschalter, sie **heißt monostabile Kippstufe**.

Vertauschen wir bei den vorangegangenen Experimenten die linke und rechte Seite, so erhalten wir prinzipiell das gleiche Verhalten. Ausprobieren!

Die astabile Kippstufe

Die Erfahrungen mit der monostabilen Kippstufe - und ggf. auch der inverse Aufbau legen die Idee nahe, die Kopplung $B(T_1)$ mit $C(T_2)$ über R_B , also die Drahtverbindung von Lötöse 7 nach Lötöse 13 zu entfernen, $R_B(T_2)$, also Lötöse 7 mit der Plusschiene (Lötöse 8) zu verbinden (nun leuchtet LED_1) und einen zweiten Kondensator mit seinem Minuspol an die Basis von T_1 (Lötöse 5) zu löten, dessen Pluspol mit $C(T_2)$, also Lötöse 13 verbunden wird. Das folgende Bild zeigt die notwendigen Ergänzungen.

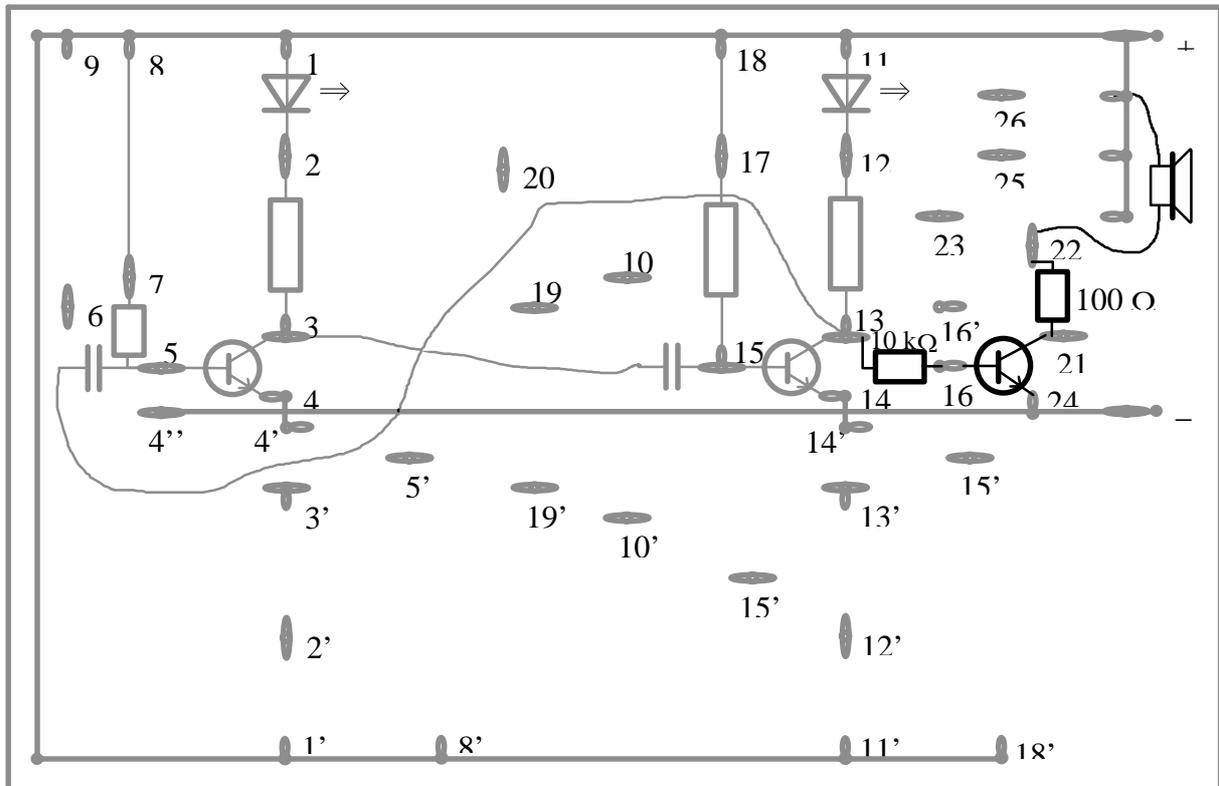


Durch diese zwei dynamischen Kopplungen steuern sich die Transistoren wechselseitig und man erhält einen Wechselblinker, also eine **astabile Kippstufe**. Die Größe der Kondensatoren verändert die Blinkfrequenz. Gleiche Kondensatoren bewirken ein symmetrisches Blinken, durch ungleiche wird im Prinzip das Impuls - Pausen - Verhältnis des Rechteckgenerators geändert. Solange große - also Elektrolyt - Kondensatoren verwendet werden, sind sie wie angegeben zu polen, denn der Kollektor ist nur über 100Ω und die LED, die Basis aber über $10 \text{ k}\Omega$ mit der Plusschiene verbunden. Nun sollten die Schülerinnen und Schüler die Kondensatoren schrittweise verkleinern, bis beide LEDs scheinbar gleichzeitig leuchten. Die schnelle Bewegung der Arbeitsplatte oder ein angeschalteter Oszillograph lassen sie erkennen, dass wir nur wegen der Trägheit unserer Augen ein dauerndes Leuchten der beiden LEDs wahrnehmen.

Durch einen Lautsprecher, den die Schülerinnen und Schüler provisorisch parallel zu einer LED schalten, können sie das Hin - und Herkippen der Schaltung auch akustisch überprüfen. Hier bietet sich an, den Oszillographen als universelles Messinstrument vorzustellen, da er im Folgenden für den Abstecker in die Akustik ein wertvolles Hilfsmittel darstellt.

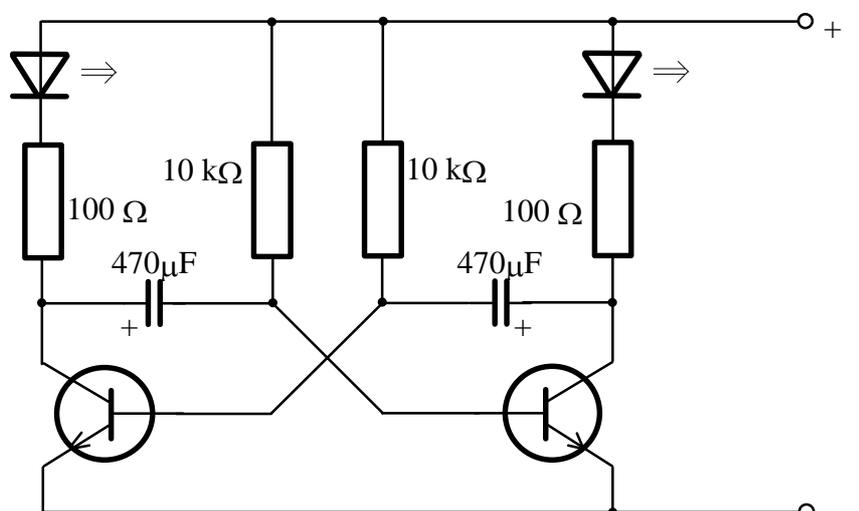
Mit einem weiteren Transistor - wie es der nächste Bestückungsplan zeigt - lässt sich auch eine kleine „Endstufe“ bauen, die den Lautsprecher besser ansteuert. Je nach Impedanz des Lautsprechers ist der Kollektorwiderstand zu wählen.

Die bei den Schülerinnen und Schülern etwas unterschiedlichen Tonhöhen, die auf Exemplarstreuungen der Bauteile zurückzuführen sind, kann die Lehrkraft gut als Motivation für die nächste Unterrichtseinheit nutzen. Wenn gewünscht, kann auch hier schon durch leichte Variation der Bauteilwerte (Parallelschalten eines weiteren Widerstandes zu R_B oder weiterer Kondensatoren zu dem oder den vorhandenen) bewusst die Tonhöhe verändert werden.



Wenn - wie im obigen Bestückungsplan angedeutet - die Kondensatoren nicht halb „fliegend“ eingelötet werden sollen, kann man ohne weiteres die Lötöse 6 für den linken und die Lötöse 10 oder 19 für den rechten Kondensator als zweiten Stützpunkt verwenden und die Verbindungsleitungen von diesen Lötösen aus zum jeweils anderen Transistor führen.

Auch bei der astabilen Kippstufe ist das Schaltbild wieder von Interesse, zeigt es doch die schöne Symmetrie der Schaltung.

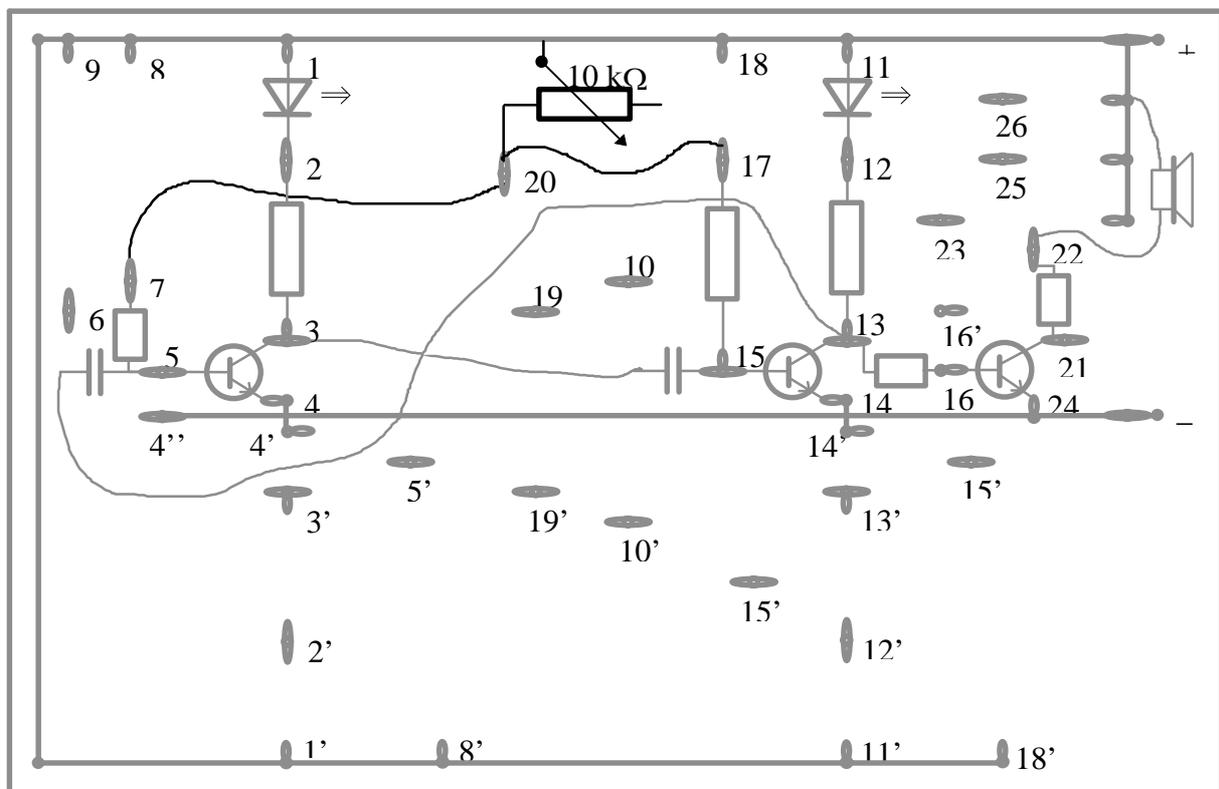


Der Tongenerator

An dieser Stelle des Kurses bietet es sich an, einen kleinen Abstecher in die Akustik zu unternehmen. Das Interesse speziell der Schülerinnen an Klängen und Tönen ist groß, die heutige Musikszene kommt ohne ausgeklügelte Elektronik nicht mehr aus.

Unser Tongenerator ist einfach aufgebaut, macht ein leidlich schönes Rechtecksignal und ist in seiner Tonhöhe einstellbar.

Die Schülerinnen und Schüler wissen um den Ladestrom des Kondensators. Verändert man ihn, ändert sich auch die Zeit, die für das Auf- oder Entladen benötigt wird. Bei der instabilen Kippstufe werden die Kondensatoren über die Basisvorwiderstände geladen, also müssen diese variiert werden. Man erreicht das, indem die Verbindungen von der Pluschiene zu den Basiswiderständen entfernt werden und diese gemeinsam über ein Potentiometer - hier auf der Arbeitsplatte reicht auch ein Trimpoti in liegender Ausführung - mit dem Pluspol verbunden werden. In der nachfolgenden Zeichnung sind die Änderungen eingetragen.

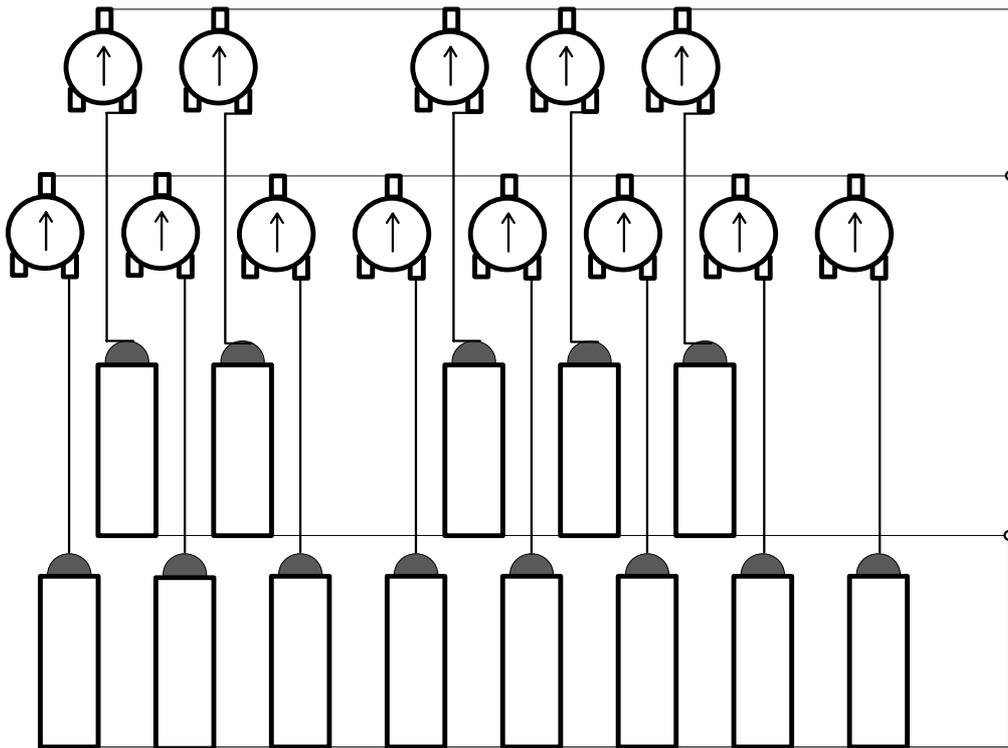


Je nach Wahl der Kondensatoren kann es günstig sein, den Wert des Potis entsprechend abzuändern. Man muss aber dafür sorgen, dass - auch bei größtem eingestellten Widerstand - noch ausreichend Basisstrom fließt.

Werden nun die einzelnen Arbeitsplatten der Schülerinnen und Schüler auf die verschiedenen Töne der Tonleiter abgestimmt, so kann der gesamte Kurs ein Musikstück spielen, indem jedes „Orchestermittglied“ seinen Ton zum richtigen Zeitpunkt erklingen lässt, indem es genau dann seinen Tongenerator einschaltet.

Das ist ein mühsames Unterfangen, so kommt schnell die Idee auf, mit einem Tongenerator mehrere Töne erzeugen zu wollen. Auch das ist leicht zu bewerkstelligen: man muss doch nur zwischen dem Poti und Lötöse 20 einen Taster, und diese Kombination aus Taste und Poti zu weiteren solchen Einheiten parallel schalten. Auf diese Weise erhält man ein elektronisches Klavier, das allerdings nur einchörig ist, wie es aber die ersten Spinette wegen ihrer speziellen

Bauform auch waren. Die Tasten sind leicht aus Federmessingband oder Federbronzeband²⁹ herzustellen, Trimpotis zwischen 10 k Ω und 25 k Ω sind für die Töne einer Oktave ausreichend. Ordnet man die Federkontakte wie bei einer Klaviatur an, so ist das Instrumentchen schon richtig spielbar. Es ist dann nur eine Verbindung von Lötöse 20 des Tongenerators zu der Verbindung aller Tasten und von allen Schleiferanschlüssen zum Pluspol herzustellen. Das folgende Bild gibt eine Vorstellung von der Anordnung der Bauteile. Man erkennt auch die Reiszwecken, die als obere Tastenkontakte benutzt werden. Zur besseren Kontaktgabe kann man eine obere Ecke des Federbandes abknicken, so dass die Spitze auf die Reiszwecke trifft. Die Drahtverbindungen sind wegen der Gefahr von Kurzschlüssen wenigstens zu Teil mit isoliertem Draht auszuführen.



Der Oszillograph hat gezeigt, dass unser Tongenerator ein leidlich ordentliches Rechtecksignal liefert, das scharf und etwas hart klingt. Ein Frequenzgenerator aus der Physiksammlung, der Sinus - und Rechtecksignale, vielleicht auch Dreieck - und Sägezahnswingungen erzeugen kann, ist für den weiteren Unterricht eine große Hilfe. Bei gleicher Frequenz hört sich das Sinussignal weich und harmonisch an, das gilt ähnlich auch für die Dreiecksschwingung. Die Rechteck - bzw. Sägezahnswingungen sind doch, um sie zu erzeugen eine erhebliche Zahl von Oberschwingungen notwendig³⁰. Die Zusammenarbeit mit einer Musiklehrkraft bietet sich hier an, um deutlich zu machen, dass das Erkennen von verschiedenen Instrumenten über die sie charakterisierenden Oberschwingungen erfolgt.

Wir können hier im Kurs den mathematisch - physikalischen Hintergrund liefern.³¹

²⁹ erhältlich z.B. bei OPITEC Handel, Hohlweg 1, 97232 Giebelstadt-Sulzdorf

³⁰ Hier sei nebenbei der Hinweis erlaubt, dass die Bandbreite eines Kabels erheblich sein muss, will man über längere Strecken ein sauberes Rechtecksignal leiten. Die Probleme eines weitverzweigten Computernetzes liegen häufig an dieser Stelle.

³¹ vgl. BAUSTEIN UNTERSUCHUNG VON SCHWINGUNGSFORMEN

Untersuchung von Schwingungsformen

Nachdem mit dem Oszillographen und durch schlichtes Hinhören verschiedene Klänge unterschieden wurden, soll nun mit Hilfe eines graphischen Verfahrens die Idee von Fourier den Schülerinnen und Schülern nahe gebracht werden.

Die im Folgenden abgedruckten Folien können helfen, da sich eine rein mathematische Behandlung der Fourier - Synthese in den Jahrgangsstufen 9 und 10 nicht anbietet. Die Winkelfunktionen werden zwar in der zehnten Klasse gelehrt, aber eine Gleichung³² der Form

$$f(x) = \frac{4A}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right)$$

zur Erzeugung eines symmetrischen Rechtecksignals ist nicht sehr motivierend im Differenzierungskurs.

Zur Einführung geht man vom Experiment aus, indem man nacheinander ein Sinussignal und ein Rechtecksignal auf dem Oszillographen sichtbar und mit Verstärker und Lautsprecher hörbar macht. Die Schülerinnen und Schüler werden - wie schon erwähnt - das Sinussignal als angenehm, harmonisch und das Rechtecksignal als scharf und spitz klingend beschreiben. Hier setzt nun die Überlegung ein, wie denn ein solches Rechteck aus dem Sinus erzeugt werden kann. Das gleichzeitige Projizieren der Folien FOL R0 und FOL R1 bringt sehr leicht zu Tage, an welchen Stellen die Amplitude des Sinus vergrößert und wo sie verkleinert werden muss. Die Schülerinnen und Schüler finden schnell heraus, dass die zusätzliche Schwingung die dreifache Frequenz und „bestimmt weniger als die halbe Amplitude“ haben muss. Wieweit sich die Lehrkraft hier den weiteren Spekulationen über die Amplitude hingeben will, muss sie jeweils entscheiden; zu passender Zeit wird aber die Folie FOL R2 dazugelegt und, falls das nicht schon vorher an Beispielen auf einem Arbeitsblatt geübt wurde, an einigen Stellen die Amplitudenaddition auf dem Overhead - Projektor durchgeführt, bevor das fertige Ergebnis (FOL R21) präsentiert wird. Der weitere Verlauf erfolgt analog, man kann dem Kurs hier freien Lauf lassen und muss nur passend die Folien FOL R3, FOL R321 und schließlich FOL R4 und FOL R4321 präsentieren. FOL R0 bleibt immer zur Kontrolle liegen. Die Schülerinnen und Schüler sehen sofort, dass dieses Verfahren nur so weiter betrieben werden muss, um dem idealen Rechteck immer näher zu kommen. An diesem Punkt ist klar, dass das Rechtecksignal so scharf klingen muss, denn es sind doch sehr viele Oberwellen - genau genommen unendlich viele - in dem Klang enthalten. Hier lässt sich nun sehr schön begründen, dass bei der Übertragung von Digitalsignalen eine große Bandbreite vonnöten ist, um am Ende der Übertragungsstrecke noch ein einigermaßen brauchbares Signal zur Verfügung zu haben. Bei sehr langen Übertragungsstrecken ist deshalb eine Signalaufbereitung unumgänglich.

In gleicher Weise lässt sich mit den Folien FOL D0 bis FOL D4321 die Erzeugung eines annähernd dreieckförmigen Signals zeigen. Die sehr gute Übereinstimmung der FOL D0 mit der FOL D4321 zeigt, dass bei dieser Schwingungsform eine sehr geringe Zahl von Obertönen schon eine gute Annäherung bringt. Auch der Hörvergleich demonstriert die große Ähnlichkeit der Dreieck - und der Sinusschwingung. Außerdem kann man nun feststellen, dass beim Rechteck nicht nur deutlich mehr Oberwellen nötig sind, sie müssen auch eine viel größere Amplitude haben.

³² Alle Formeln nach Bartsch: Mathematische Formeln, Battenberg-Verlag Stuttgart

Die entsprechende Gleichung für die symmetrische Dreieckschwingung lautet

$$f(x) = \frac{8A}{\pi^2} \left(\frac{1}{1^2} \sin x - \frac{1}{3^2} \sin 3x + \frac{1}{5^2} \sin 5x - \dots \right),$$

wobei auch hier wieder A für die Amplitude steht.

Der als letztes angegebene Sägezahn ist aus zwei Gründen interessant: er sorgt für die zeitproportionale Ablenkung im Oszillographen, und er enthält sowohl geradzahlige als auch ungeradzahlige Oberwellen. Die Folien FOL S0 bis FOL S4321 sind wie oben beschrieben zu nutzen.

Die Gleichung für die symmetrische Sägezahnschwingung lautet

$$f(x) = -\frac{2A}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{2} \sin 2x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots \right).$$

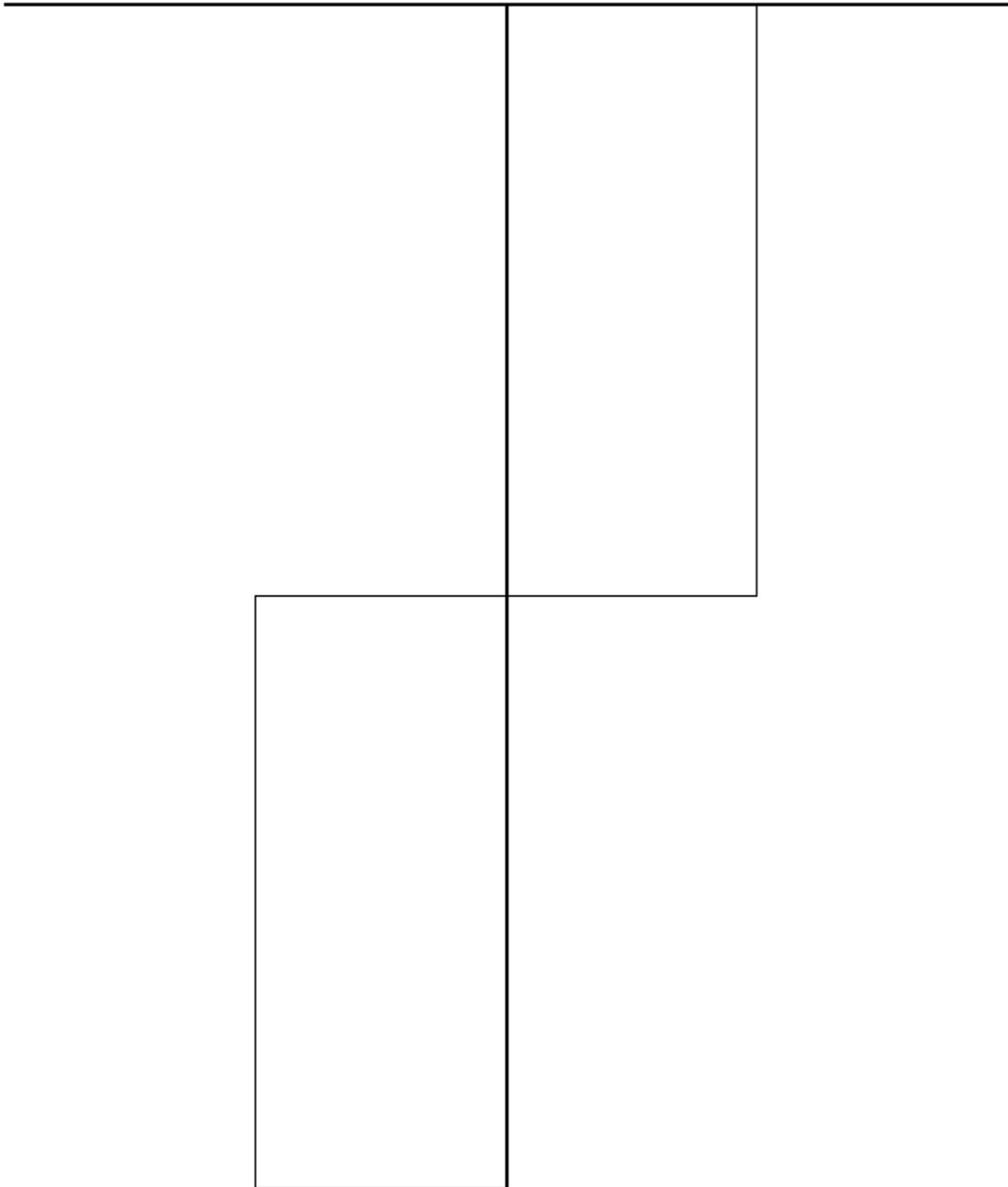
Weitere Einzelheiten zur Fourier - Analyse und - Synthese mag der geneigte Leser den einschlägigen Physikwerken entnehmen.

Hat die Lehrkraft im Kursunterricht diese graphische Form der Fourier - Synthese bearbeitet, so können mit diesem Material auch gut Aufgaben für eine Kursarbeit erstellt werden.³³

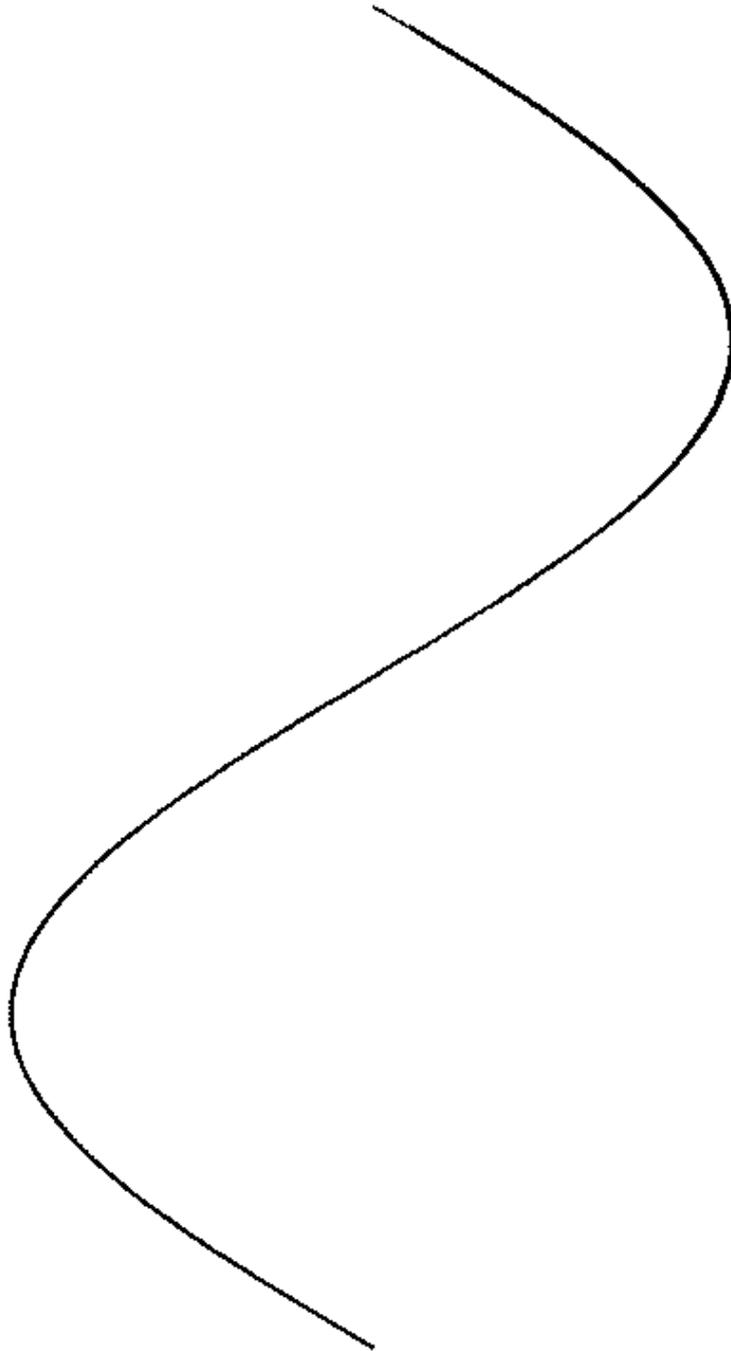
Ob und wie weit im Kurs auf Monochord, Tonleitern, Halb - und Ganztonschritte und deren Erzeugung im Rahmen der wohltemperierten Stimmung eingegangen werden kann und soll, ist nicht nur von der Entscheidung des Kurslehrers oder der Kurslehrerin sondern in großem Maße auch von Absprachen mit den Kolleginnen und Kollegen der Fächer Physik, Mathematik und Musik in der Jahrgangsstufe abhängig.

³³ vgl. BAUSTEIN BEISPIELAUFGABEN FÜR KURSARBEITEN

Rechteckschwingung Folie R0



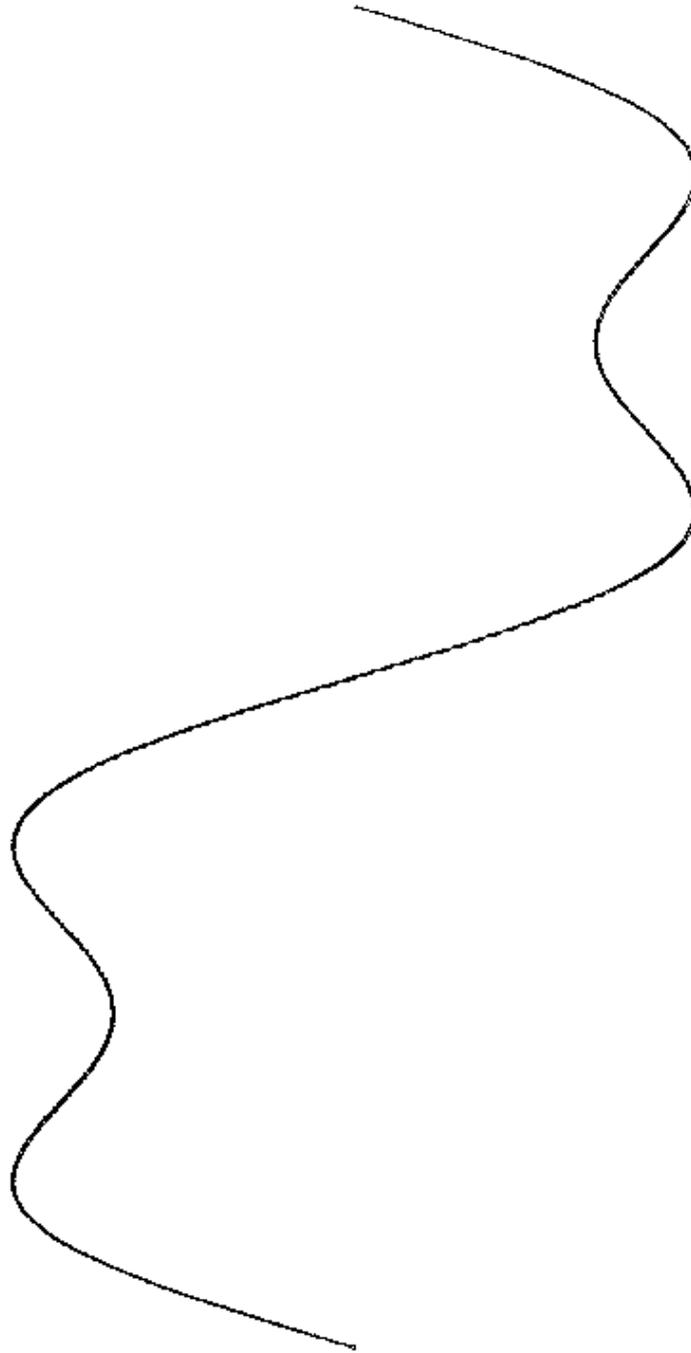
Rechteckschwingung Folie R1



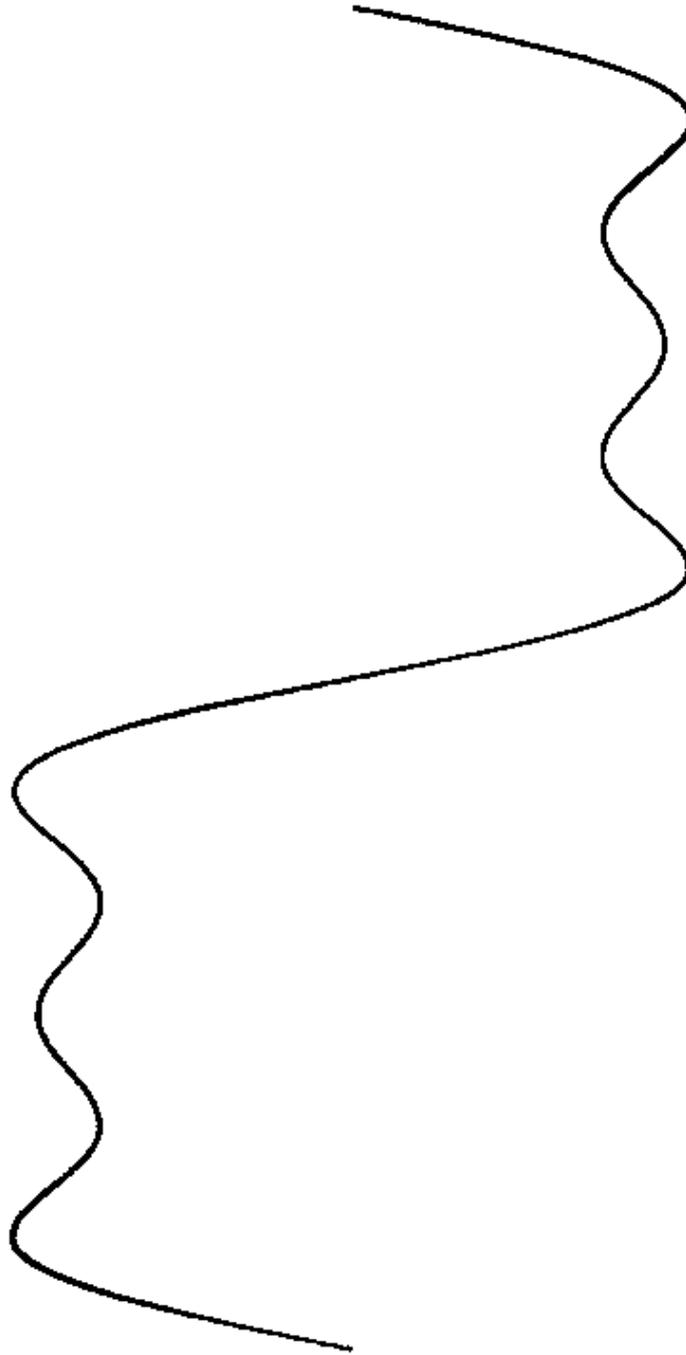
Rechteckschwingung Folie R2



Rechteckschwingung Folie R12



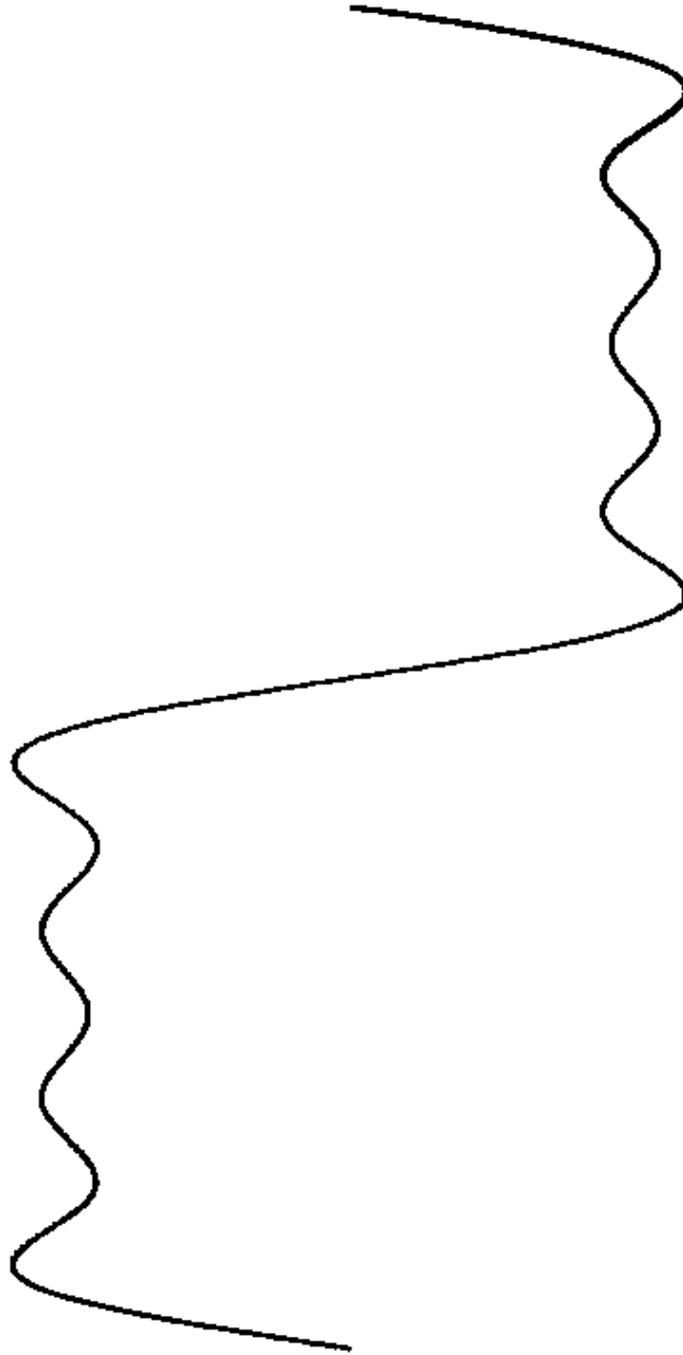
Rechteckschwingung Folie R123



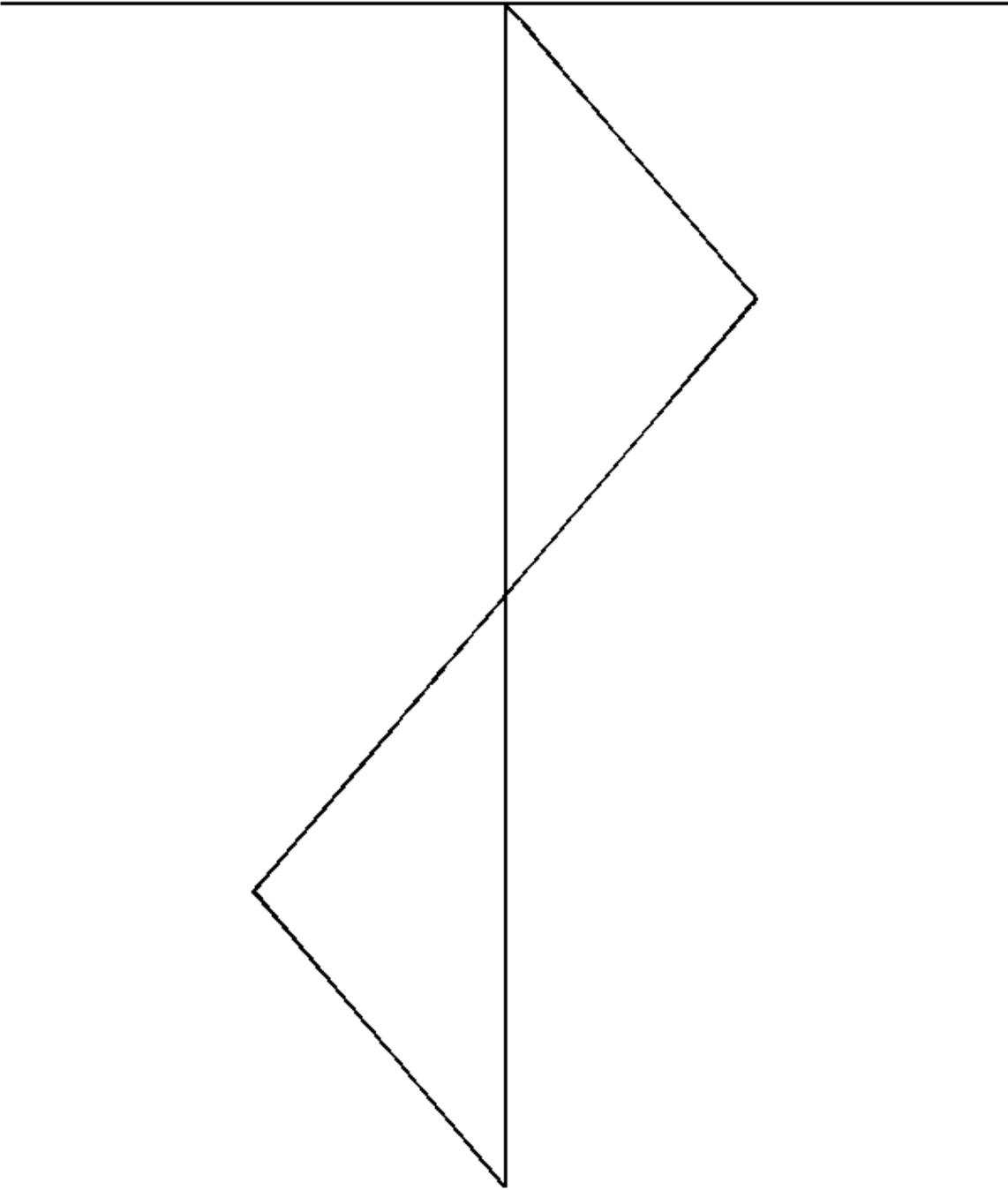
Rechteckschwingung Folie R4



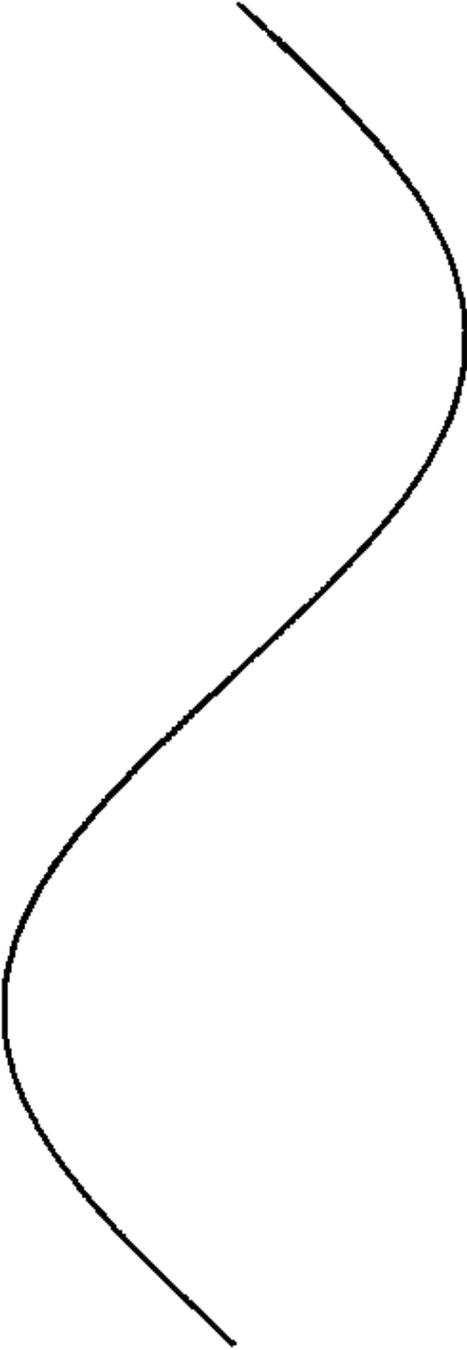
Rechteckschwingung Folie R1234



Dreieckschwingung Folie D0



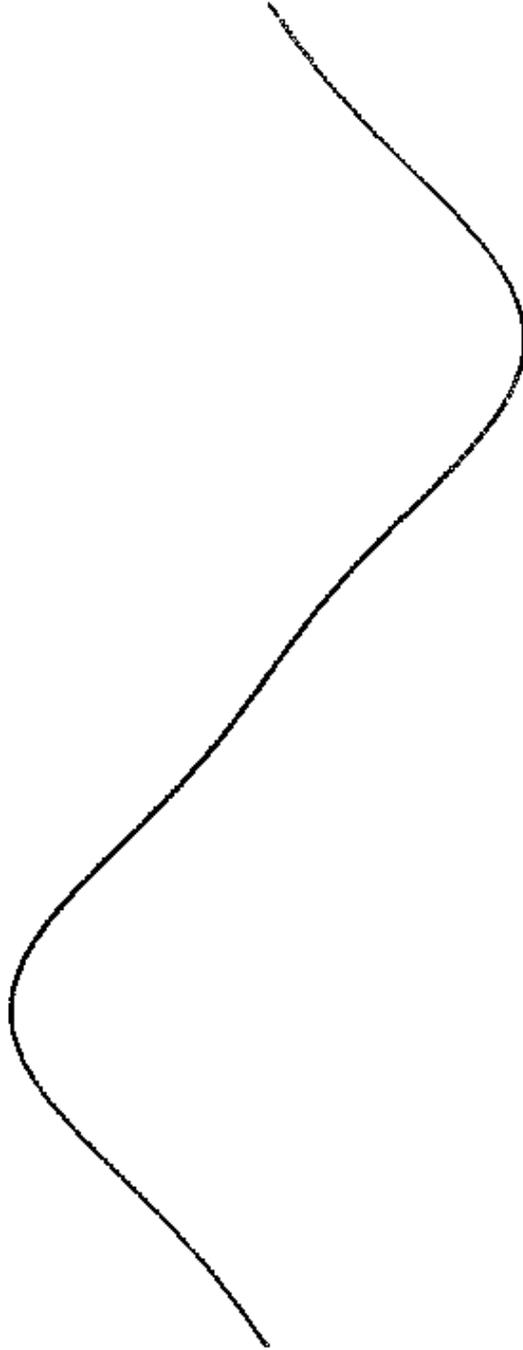
Dreieckschwingung Folie D1



Dreieckschwingung Folie D2



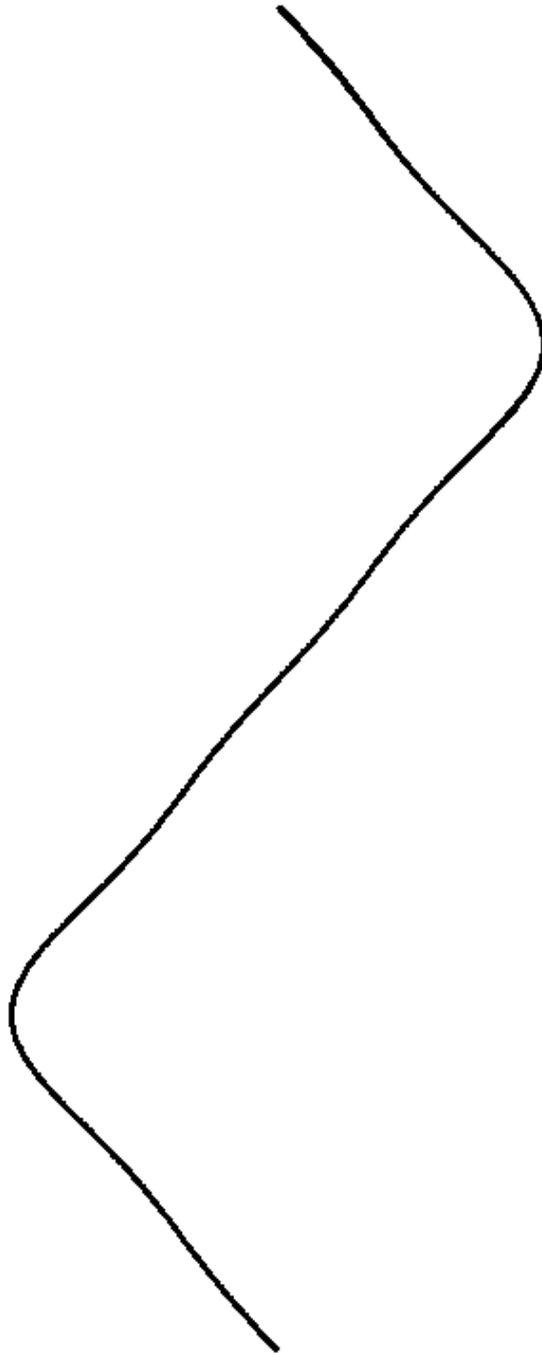
Dreieckschwingung Folie D12



Dreieckschwingung Folie D3



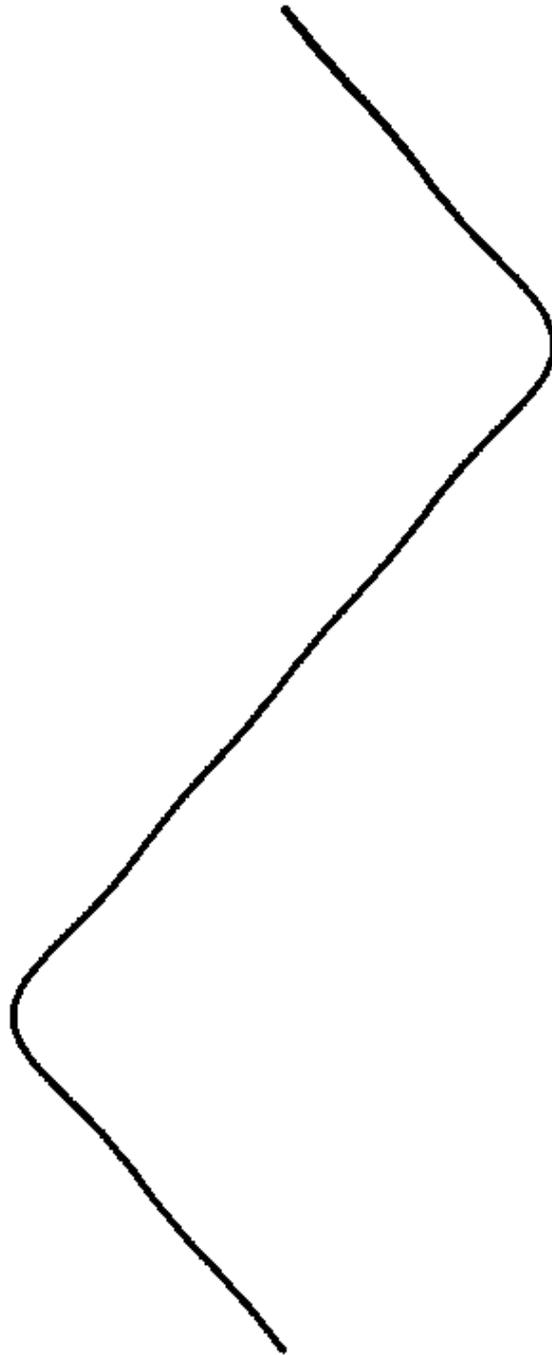
Dreieckschwingung Folie D123



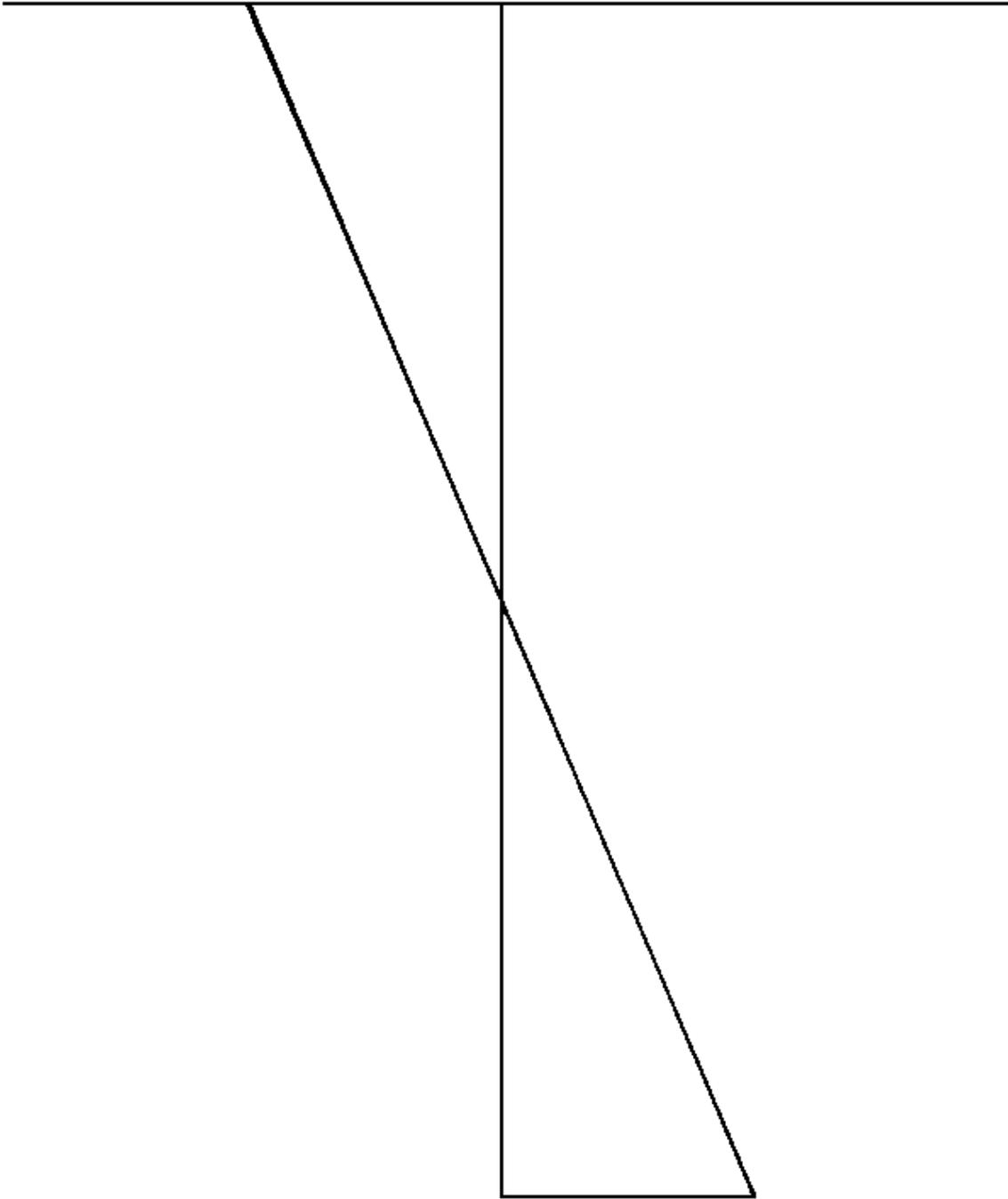
Dreieckschwingung Folie D4



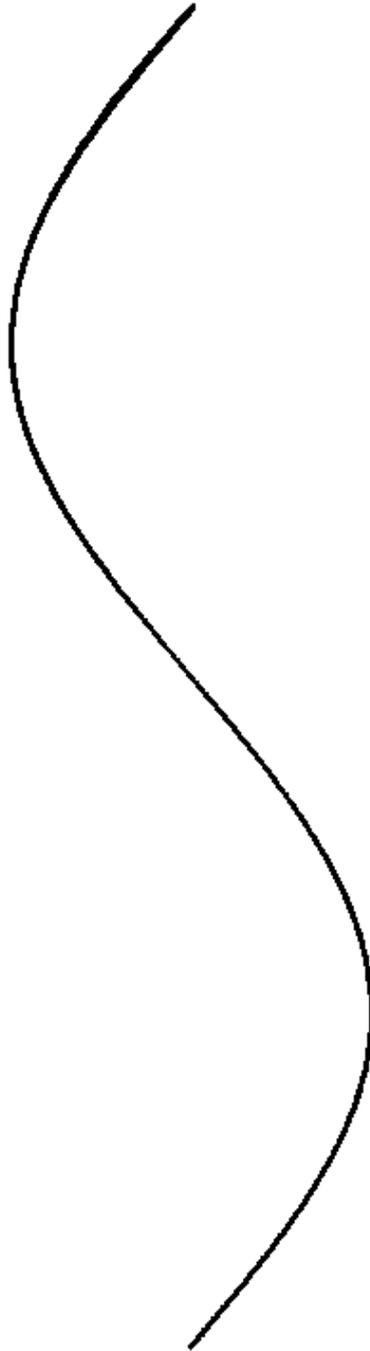
Dreieckschwingung Folie D1234



Sägezahnschwingung Folie S0



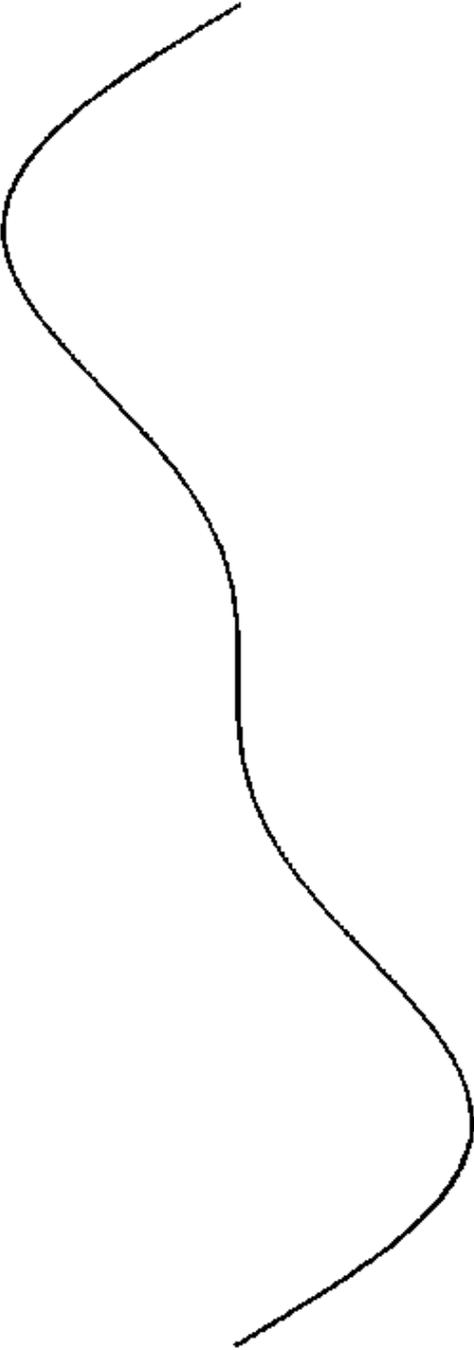
Sägezahnswingung Folie S1



Sägezahnswingung Folie S2



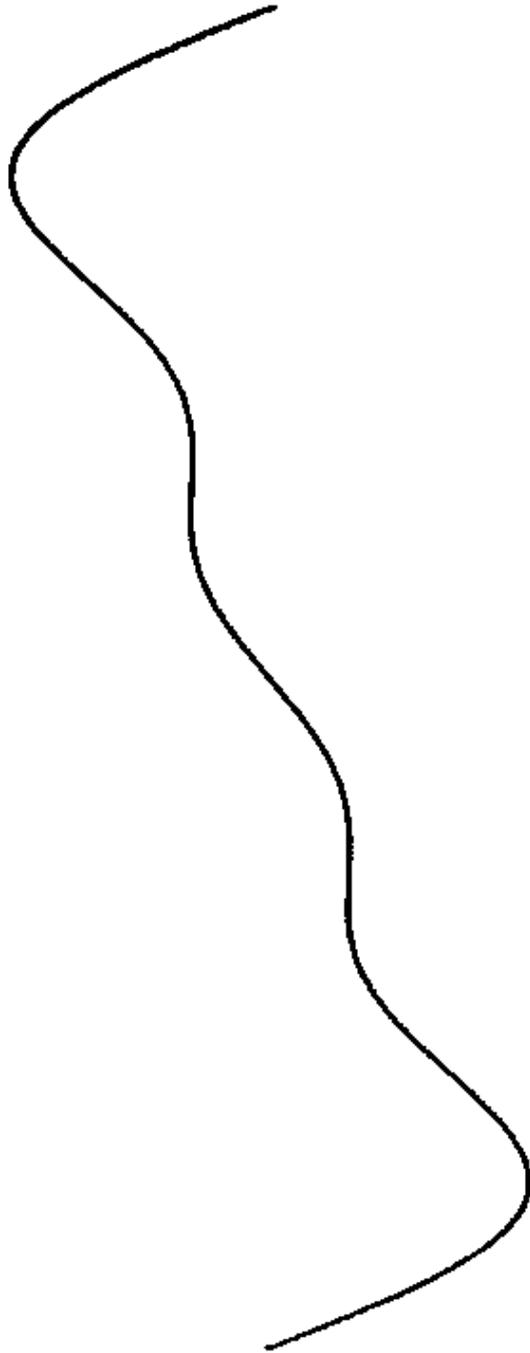
Sägezahnschwingung Folie S12



Sägezahnswingung Folie S3



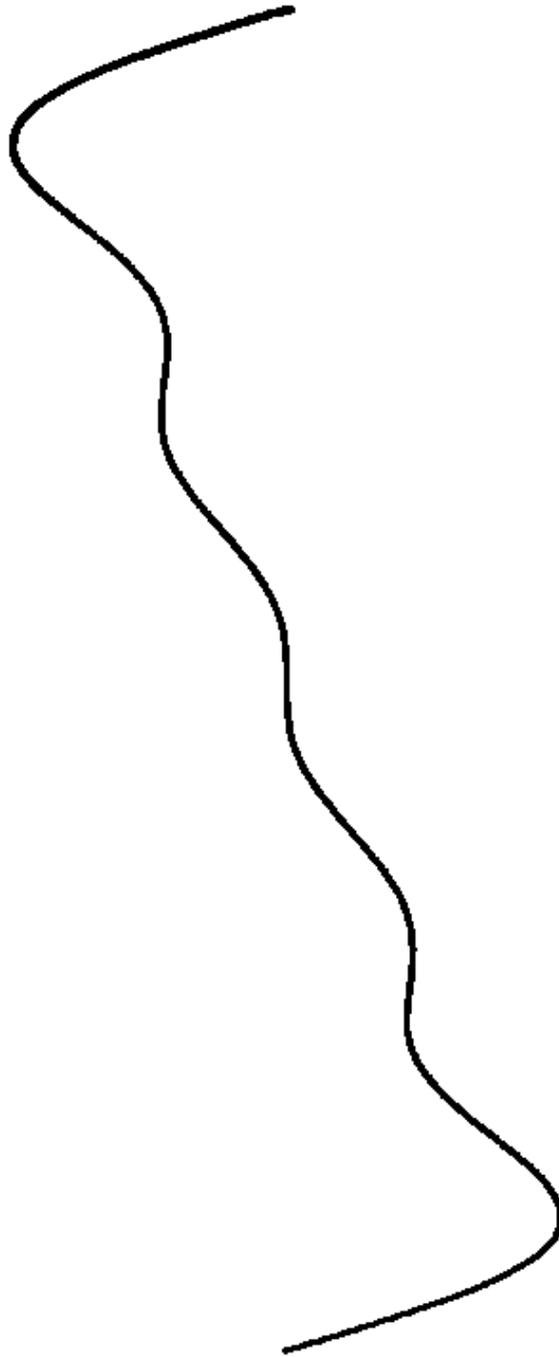
Sägezahnswingung Folie S123



Sägezahnswingung Folie S4

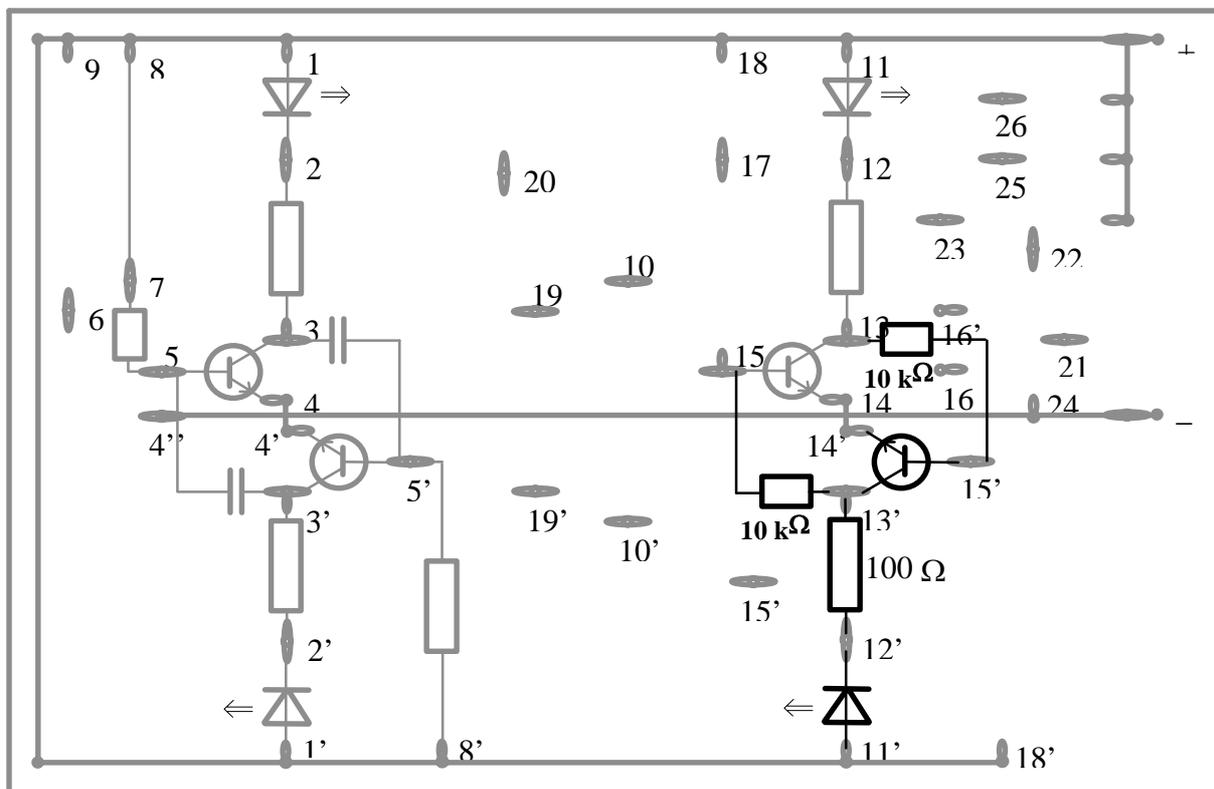


Sägezahnschwingung Folie S1234



sich bei dem gestreckten Aufbau aber besonders elegant bewerkstelligen, müssen doch nur die Lötösen 5 und 3' bzw. 5' und 3 mit je einem Kondensator bestückt werden. Um den Schülerinnen und Schülern augenfällig zu machen, dass es sich hier wirklich um die selbe Schaltung handelt, sollten beim ersten Aufbau größere Kondensatoren verwandt werden, damit das Blinken deutlich sichtbar ist.

Im weiteren Verlauf dieser Unterrichtseinheit wird mit der rechten Seite der Arbeitsplatte entsprechend verfahren, hier wird eine neue Transistorstufe zwischen die Lötösen 11 bis 15' gelötet, die schaltungsmäßig mit der oberen zwischen Lötöse 11 und 15 identisch ist. Für die neue LED sollte ein rotes Exemplar gewählt werden, die Begründung ergibt sich wie oben aus der späteren Ampelschaltung. Lötet man nun die noch fehlenden Basisvorwiderstände so ein, wie es bei der bistabilen Kippstufe der Fall war, also jeweils zwischen der Basis des einen und dem Kollektor des anderen Transistors, dann ist das beim gestreckten Aufbau auch wieder sehr einfach: 10 kΩ zwischen die Lötösen 15 und 13' und 10 kΩ zwischen die Lötösen 15' und 13. Die Schülerinnen und Schüler sollten hier auf den hübschen symmetrischen Aufbau und das sehr ähnliche Aussehen der beiden Kippstufen aufmerksam gemacht werden.



Wenn die Schülerinnen und Schüler - wie im BAUSTEIN TONGENERATOR beschrieben - die Endstufe zwischen Lötösen 16, 21, 22, und 24 aufgebaut hatten, können Transistor und Widerstand eingelötet bleiben. Die Endstufe kann im BAUSTEIN FREQUENZTEILER wieder verwendet werden, der Transistor wird auch noch bei der Ampelschaltung benötigt. Schließlich sollte noch erwähnt werden, dass sowohl die zwei Kondensatoren wie auch die beiden Basisvorwiderstände schräg zwischen die entsprechenden Lötösen gelötet werden können und - wegen der dann kürzeren Anschlussleitungen - auch sollten.

Die Torschaltung

In diesem Baustein geht es um die Kopplung der beiden Kippstufen. Die bistabile Kippstufe konnte ja dadurch umgeschaltet werden, dass man die Basis des gerade leitenden Transistors mit Masse verbindet. Dadurch sperrt dieser Transistor und veranlasst den anderen, in den leitenden Zustand überzugehen. (Dieser Zusammenhang muss wahrscheinlich mit den Schülerinnen und Schülern hier noch einmal wiederholt werden.) Es besteht aber die Notwendigkeit, festzustellen, welcher denn der „gerade leitende Transistor“ ist. Genau das ist aber die Schwierigkeit, denn die Entscheidung, welcher der Transistoren zu sperren ist, darf bei der Automatisierung nicht mehr getroffen werden müssen.

Da die Basis nur kurzzeitig mit Masse verbunden werden muss, kann hier ein Kondensator als Verbindungsglied zwischen der bistabilen Kippstufe und einer davorliegenden Schaltung eingesetzt werden. Ob nun ein (prellfreier) Schalter oder Taster oder eine andere Kippstufe die am Kondensator notwendige fallende Flanke erzeugt, ist für das Kippverhalten unerheblich.

Die Torschaltung aus zwei Kondensatoren, zwei Dioden und zwei Widerständen, die das Problem löst, kann von den Schülerinnen und Schülern nicht selbst gefunden werden. Die Lehrkraft kann aber in einem Unterrichtsgespräch den Schaltungsaufbau vorbereiten und nach dem Aufbau - mit Hilfe einiger Spannungsmessungen - mit dem Kurs die Funktionsweise ergründen.

Eine Möglichkeit, die Selbständigkeit der Schülerinnen und Schüler zu fördern, ist mit dem nachfolgenden Arbeitsblatt gegeben. Nach der entsprechenden Vorarbeit teilt die Lehrkraft das Arbeitsblatt und die notwendigen Bauteile aus und muss im Folgenden nur noch bei sehr schwachen Kursteilnehmerinnen und -teilnehmern oder eventuellen Rückfragen tätig werden. Aus dem Arbeitsblatt lässt sich natürlich auch eine Kursarbeit herleiten³⁶.

Nach der Einzelarbeit müssen natürlich die Lösungstexte mit den Schülerinnen und Schülern besprochen werden; die Lehrkraft sollte auch noch einige ergänzende Informationen geben:

- zu 10. Ein Pull-Up-Widerstand und ein einpoliger Einschalter ersetzen hier einen einpoligen Umschalter.
- zu 12. Die LED mit Vorwiderstand wirkt als Pull-Up-Widerstand, der Transistor arbeitet mit seiner Kollektor-Emitter-Strecke als einpoliger Einschalter.

Falls für die Koppelkondensatoren kleine (Tantal -) Elektrolytkondensatoren verwendet werden, sind die Pluspole an die Lötösen 10 bzw. 10' zu legen.

Die Dioden sorgen dafür, dass die Basen nur negative Impulse erhalten können, durch die beiden Widerstände können die Elektronen auf die Kondensatorplatten oder von ihnen abfließen.

Mit hochohmigen Voltmetern und / oder dem Oszillographen lassen sich an der fertigen Schaltung die zum besseren Verständnis notwendigen Messungen durchführen.

Wie schon bei der Erläuterung zur bistabilen Kippstufe geht man auch hier von einem beliebigen - Anfangszustand aus und überlegt dann, wie der Spannungssprung am Schaltungseingang auf die Kippstufe wirkt.

Sei also zu Beginn der obere Transistor durchgeschaltet, d.h. die obere LED leuchtet und der Eingang der Torschaltung (Lötösen 19 und 19') liege an Masse.

³⁶ vgl. in diesem Zusammenhang die Hinweise im BAUSTEIN RAHMENBEDINGUNGEN

Wird der Eingang nun HIGH, bemerkt man kaum eine Veränderung, nur der obere Kondensator hat sich umgeladen, alle anderen Spannungswerte sind gleich geblieben. Mit einem Oszillographen lässt sich im Moment der steigenden Flanke an beiden Kondensator-Pluspolen (Lötösen 10 bzw. 10') je ein positiver Nadelimpuls erkennen.

Wird der Eingang nun wieder LOW, so sieht man auf dem Oszillographen jeweils einen negativen Nadelimpuls, der den oberen Transistor kurz sperrt. Dadurch wird der untere Transistor durchgeschaltet, der nun seinerseits für das dauernde Weitersperrn des oberen sorgt und so die neue Einstellung nach dem Kippvorgang stabilisiert.

Wird der Eingang erneut HIGH, ändert sich - außer der Umladung des unteren Kondensators - wieder kaum etwas; positive Nadelimpulse sind wieder zu erkennen.

Wird der Eingang nun wieder LOW, sperrt der negative Impuls den unteren, bisher leitenden Transistor, der den oberen öffnet und dadurch selbst in dem neuen Sperrzustand stabilisiert wird.

Bei einem erneuten HIGH-Signal am Eingang beginnt der beschriebene Ablauf von vorn.

Die folgende Tabelle gibt die Messung an einer Musterschaltung wieder, gemessen wurde mit einem hochohmigen Voltmeter gegen den Minuspol der Versorgungsspannung. Alle Spannungsangaben in Volt.

Die Zeilen 2, 4 und 9 deuten die Bilder auf dem Oszillographen an.

Minuspole der Kondensatoren	0	5	0	5	0
Bild auf dem Oszillographen					
Pluspol oberer Kondensator	0,35	0,99	3,17	3,17	0,35
Bild auf dem Oszillographen					
Basis oben	0,77	0,77	0,19	0,19	0,77
Kollektor oben	0,14	0,14	3,17	3,17	0,14
LED oben	ein	ein	aus	aus	ein
Pluspol unterer Kondensator	3,22	3,22	0,36	1,54	3,22
Bild auf dem Oszillographen					
Basis unten	0,14	0,14	0,78	0,78	0,14
Kollektor unten	3,26	3,26	0,19	0,19	3,26
LED unten	aus	aus	ein	ein	aus

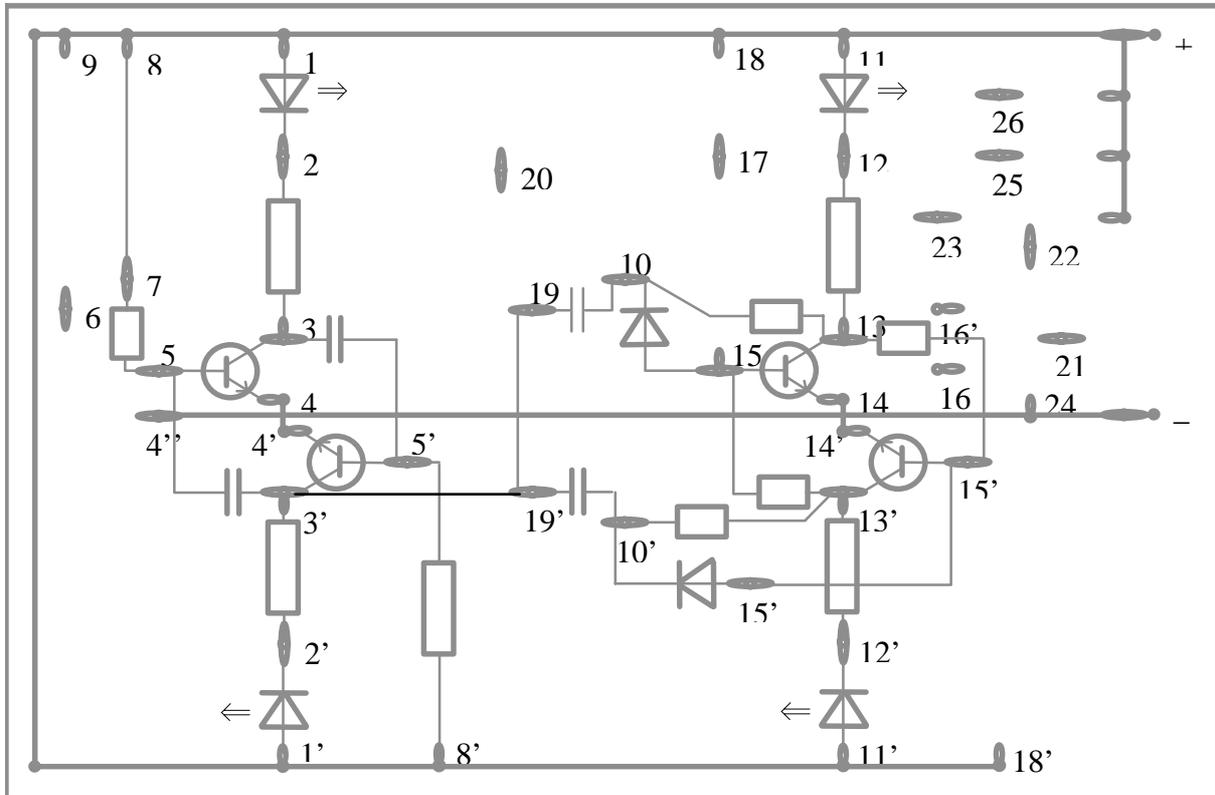
Arbeitsblatt zur Torschaltung

1. Erweitere die bistabile Kippstufe auf Deiner Experimentierplatte um einen Widerstand $10\text{k}\Omega$ (zwischen 13 und 10), eine Diode (zwischen 15 und 10, Kathode an 10) und einen Kondensator $0,1\ \mu\text{F}$ (zwischen 10 und 19).
2. Nimm die Schaltung in Betrieb und Sorge dafür, dass die obere LED der bistabilen Kippstufe leuchtet.
3. Verbinde nun kurz die Lötöse (19) mit der Plusschiene und danach mit der Minusschiene, wiederhole diesen Vorgang mehrfach und beobachte sorgfältig. Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
4. Erweitere nun die bistabile Kippstufe auf Deiner Experimentierplatte um einen Widerstand $10\text{k}\Omega$ (zwischen 13' und 10'), eine Diode (zwischen 15' und 10', Kathode an 10') und einen Kondensator $0,1\ \mu\text{F}$ (zwischen 10' und 19'). Verbinde außerdem die beiden Lötösen 15' durch einen kurzen Draht miteinander.
5. Nimm die Schaltung in Betrieb und Sorge dafür, dass die untere LED der bistabilen Kippstufe leuchtet.
6. Verbinde nun kurz die Lötöse (19') mit der Plusschiene und danach mit der Minusschiene, wiederhole diesen Vorgang mehrfach und beobachte sorgfältig. Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
7. Verbinde nun die beiden Lötösen 19 und 19' miteinander.
8. Nimm die Schaltung in Betrieb und verbinde kurz die Lötöse (19) mit der Plusschiene und dann mit der Minusschiene, wiederhole diesen Vorgang und beobachte sorgfältig. Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
9. Löte zwischen (19) und der Plusschiene einen $10\ \text{k}\Omega$ Widerstand. Ein solcher Widerstand wird häufig als Pull-Up-Widerstand bezeichnet.
10. Nimm die Schaltung in Betrieb und verbinde kurz die Lötöse (19) mit der Minusschiene und wiederhole diesen Vorgang; beobachte sorgfältig. Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
11. Entferne den Pull-Up-Widerstand. Verbinde nun die Lötöse (19) mit einem der Kollektoren der astabilen Kippstufe.
12. Nimm die Schaltung in Betrieb und beobachte sorgfältig. Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
13. Die neue Ergänzung auf der Arbeitsplatte heißt „**Torschaltung**“. Was bewirkt die Torschaltung und was macht jetzt die bistabile Kippstufe? Beachte dabei das Blinken der LEDs der astabilen Kippstufe im Verhältnis zu denen der bistabilen Kippstufe! Beschreibe kurz aber präzise!

Ein mit einer Torschaltung versehenes Flip-Flop wird auch **flankengesteuertes Flip-Flop** oder **Zähl-Flip-Flop** oder **getaktetes Flip-Flop** genannt.

Frequenzteiler- und Zähleraltungen

Nachdem im BAUSTEIN TORSCHALTUNG die bistabile Kippstufe zum flankengesteuerten Flipflop erweitert wurde, wird dieses nun mit der astabilen Kippstufe verbunden, wie die nachfolgende Zeichnung zeigt.



Für diesen Baustein sollte der Eingang - d.h. die Lötösen 19 und 19' - mit der Lötöse 3' verbunden werden. Wenn von den Schülerinnen und Schülern das Arbeitsblatt zur Torschaltung durchgearbeitet wurde, haben sie bereits erfahren, dass die bistabile Kippstufe mit der halben Frequenz der astabilen umschaltet. Wenn, wie oben schon erwähnt, Lötöse 3' mit Lötöse 19' verbunden ist, kann man feststellen, dass die beiden oberen LEDs im Dualsystem von 0 bis 3 zählen. Dabei steht die LED zwischen den Lötösen 1 und 2 für die Dualzahl 2^0 und die LED zwischen den Lötösen 11 und 12 für die Zahl 2^1 . Es kann hilfreich sein, die Arbeitsplatten auf den Kopf zu stellen und die dann oben liegenden LEDs an 1' - 2' bzw. an 11' - 12' abzudecken. Nachdem das erkannt ist, können dann beliebig viele Zähl-Flip-Flops hintereinander geschaltet werden, indem nur auf der ersten Arbeitsplatte die Verbindung von Lötöse 3' mit Lötöse 19' erhalten bleibt, auf allen weiteren Platten wird der jeweilige Zähl Eingang mit der Lötöse 13' der vorherigen Stufe verbunden. Auf diese Weise wird die Frequenz der astabilen Kippstufe immer weiter herunter geteilt. Das ist gut zu erkennen, wenn auf jeder Folgeplatte nur die LED an den Lötösen 11 - 12 sichtbar bleibt. Diese bedeuten dann die Dualzahlen 2^2 , 2^3 , 2^4 usw.. Hat man viele Arbeitsplatten hintereinander geschaltet, so wird die Frequenzteilung besonders augenfällig, wenn die frequenzbestimmenden Kondensatoren der astabilen Kippstufe relativ klein sind, so dass bei den ersten Stufen nur ein scheinbares Dauerleuchten der LEDs zu sehen ist. Hier muss dann wieder die Lautsprecherstufe als Nachweismittel erhalten. Im weiteren Verlauf der Teilerkette wird schließlich Blinken und endlich auch sehr langsames Hin- und Herkippen der Flip-Flop-Stufen sichtbar. Statt des Abdeckens der LEDs kann auch bei allen Folgeplatten die

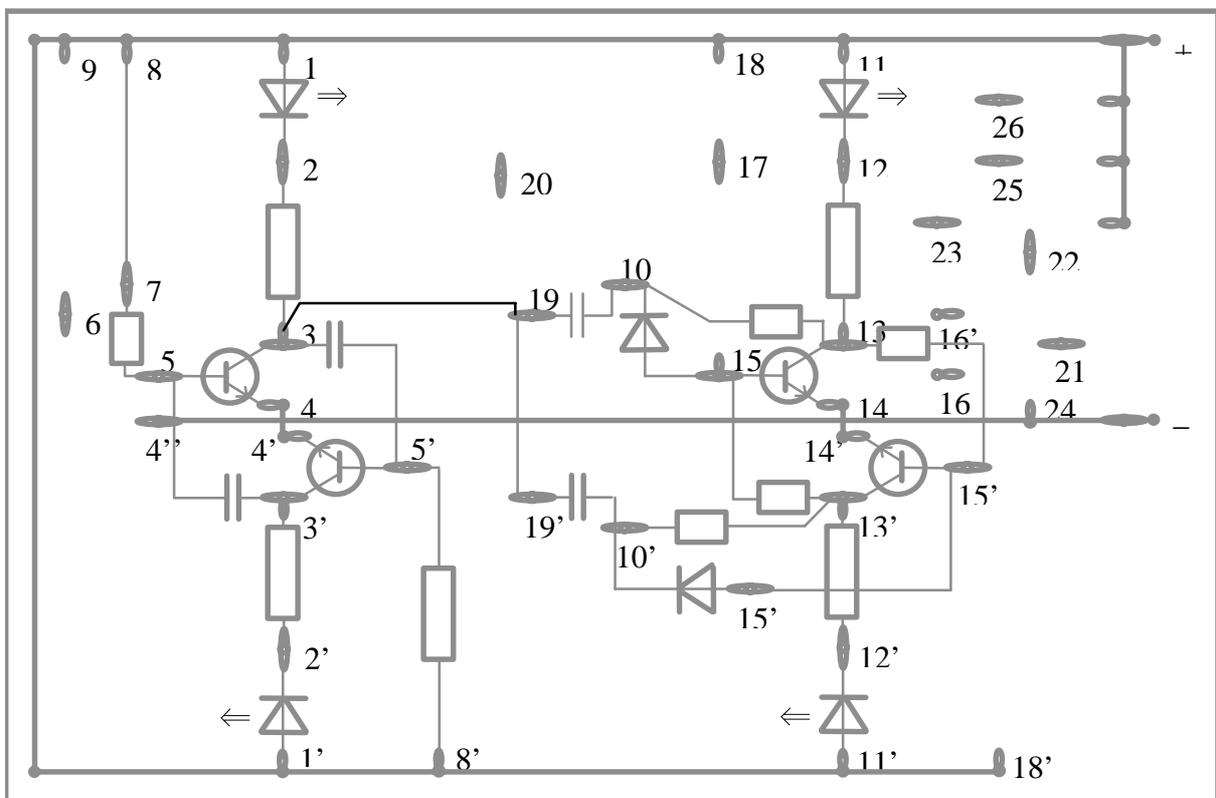
astabilen Kippstufen stillgelegt werden, indem man z.B. bei den Lötösen 2 und 2' die Widerstände ablötet und zusätzlich die LED an den Lötösen 11' und 12' überbrückt. Das Zusammenschalten der vielen Arbeitsplatten bietet eine gute Möglichkeit, auf Verkleinern und Zusammenfassen von Flipflops hinzuweisen und so die spätere Einführung integrierter Schaltungen vorzubereiten. Dass hier ein Zähler bis 2^{n-1} aufgebaut wurde, sollte den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht werden. Für die Lehrkraft ist immer wieder erstaunlich - und erfreulich - mit welcher Aufmerksamkeit die großen Kinder das gleichzeitige Verlöschen aller LEDs beim Übergang von 2^{n-1} auf 0 erwarten. Eine Variation der Schaltung, nämlich die Verbindung der Lötöse 19' mit der Lötöse 3, führt einerseits zum Abwärtszähler, dient aber gleichzeitig auch zur Vorbereitung auf die Ampelanlage. Für diese Schaltungsvariation sollten die Schülerinnen und Schüler dann wieder Kondensatoren von einigen 100 μF als frequenzbestimmende Bauteile in die astabile Kippstufe einlöten. Für die Demonstration mit einigen wenigen Arbeitsplatten ist die Frequenz noch vertretbar und für die Ampel sind auf diese Weise brauchbare Umschaltzeiten vorgegeben.

Die automatische Ampel

In dem BAUSTEIN FREQUENZTEILER haben die Schülerinnen und Schüler auf ihrer Arbeitsplatte als letztes einen Rückwärtszähler aufgebaut. Er bildet den Ausgangspunkt für die Ampelanlage. Die hier gebaute Ampel hat allerdings - im Gegensatz zur realen - gleich lange Grün-, Gelb- und Rotphasen.

Ist die LED an den Lötösen 1' - 2' eine gelbe und die an den Lötösen 11' - 12' eine rote³⁷, dann wird bei Betrachtung dieser beiden Leuchtdioden bereits ein Teil des üblichen Ablaufs beim Umschalten einer realen Ampel sichtbar: Gelblicht, Rotlicht, Rotgelblicht, „kein Licht“. In der Phase „kein Licht“ fehlt offensichtlich Grünlicht.

Die Schülerinnen und Schüler bemerken, dass die beiden LEDs an den Lötösen 1 - 2 bzw. 11 - 12 zu dieser Zeit gemeinsam leuchten. Um die Ampel zu komplettieren, muss also genau dann eine grüne LED eingeschaltet werden, wenn die beiden oberen zugleich leuchten, das heißt wenn die LED an den Lötösen 1 - 2 **UND** die LED an den Lötösen 11 - 12 leuchtet.



Nach diesen Überlegungen bietet sich an, die Ampel in dem schon richtig funktionierenden Teil schöner aufzubauen. Dazu wird die LED von den Lötösen 1' - 2' entfernt, mit der Kathode an die Lötöse 25 und mit der Anode an die rechts daneben liegende, mit dem Pluspol verbundene gelötet. Zusätzlich wird eine Drahtverbindung zwischen den Lötösen 2' und 25 hergestellt. Genauso behandelt man die rote LED von 11' - 12'. Eine neue grüne LED wird entsprechend an die Lötöse 22 angeschlossen, so dass sich jetzt rechts oben auf der Arbeitsplatte das Bild einer Ampel ergibt.

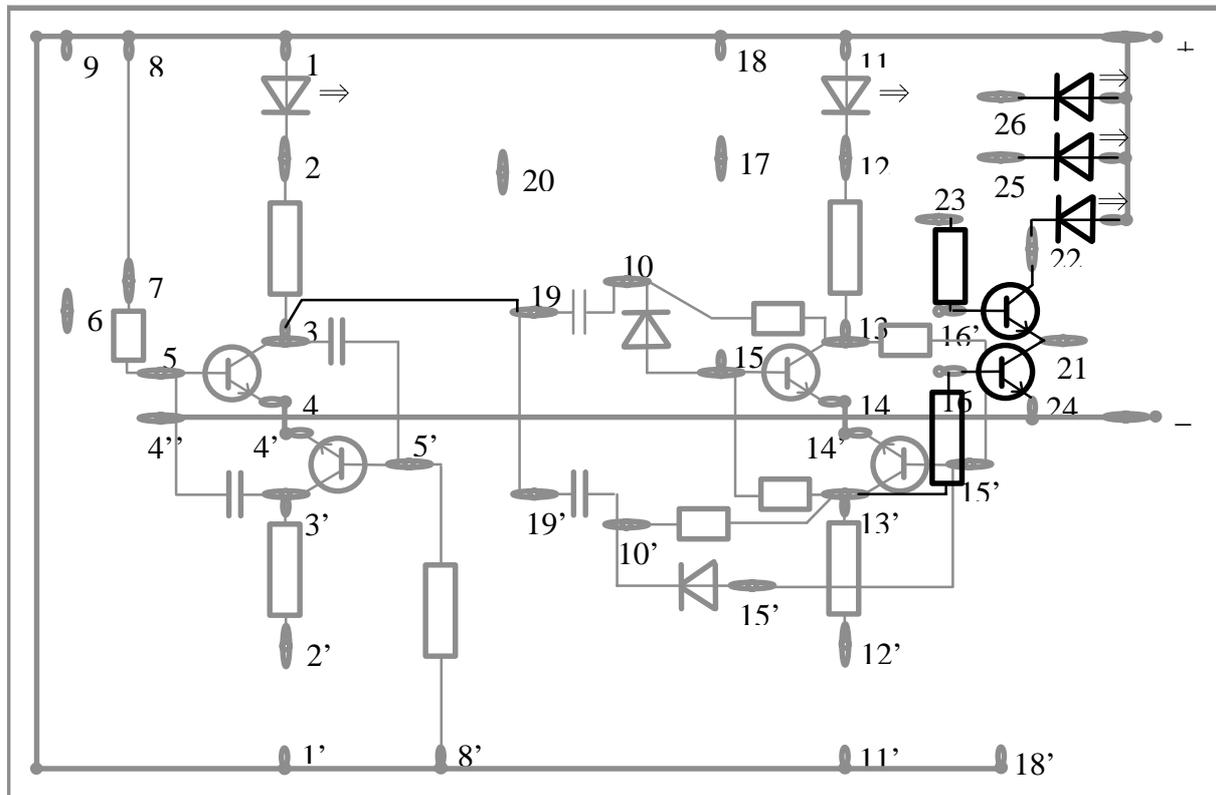
Nun muss nur noch die logische Aussage:

„die grüne LED muss leuchten, wenn die LED an 1 - 2 UND die LED an 11 - 12 leuchten“ praktisch umgesetzt werden. Zur Wiederholung - und um die Schülerinnen und Schüler auf die richtige Fährte zu setzen - sollte die Lehrkraft die aus der achten Klasse bekannte

³⁷ vgl. BAUSTEIN PLATZSPARENDER AUFBAU VON KIPPSTUFEN

Schaltung mit zwei hintereinander liegenden mechanischen Schaltern wiederholen: die Lampe leuchtet, wenn beide Schalter eingeschaltet sind.

Wir ersetzen hier wieder die mechanischen Schalter durch Transistoren, der erste befindet sich schon von der Lautsprecherstufe³⁸ zwischen den Lötösen 16 - 21 - 24, der zweite wird entsprechend zwischen die Lötösen 16' - 22 - 21 gelötet. Die beiden Emitter - Kollektor - Strecken liegen (wie die mechanischen Schalter) in Serie; die Transistoren werden über ihre Basen geschaltet. Das folgende Bild verdeutlicht diese Ausbaustufe.



An den Kollektor des oberen Transistors ist die grüne LED angeschlossen, ihre Anode liegt wieder am Pluspol. Der Basisvorwiderstand des unteren Transistors ist mit der Lötöse 13', der des oberen Transistors mit der Lötöse 3' (über ein - nicht eingezeichnetes - Drahtstück) verbunden, denn wenn die LEDs an 1 - 2 bzw. 11 - 12 leuchten, sperren ja die unteren Transistoren, d.h. an ihren Kollektoren liegen fast 5 Volt. Also wird die UND - Schaltung richtig angesteuert. Wegen der besseren Übersicht sind auch die Drähte, die die Lötösen 2' und 25 bzw. 12' und 26 verbinden, nicht eingezeichnet.

Mit dieser Ampelanlage ist die letzte Ausbaustufe der Arbeitsplatte erreicht.

Es liegt nun nahe, Baugruppen zusammenzufassen, zu verkleinern und also Integrierte Schaltungen - ICs - einzuführen.

Die UND - Schaltung bietet den Anreiz, sich mit logischen Gattern zu befassen.

³⁸ vgl. BAUSTEIN DIE ASTABILE KIPPSTUFE

Beispielaufgaben für Kursarbeiten

In diesem BAUSTEIN sind einige Teilaufgaben aber auch komplette kurze schriftliche Übungen und Kursarbeiten zusammengestellt, die den Kolleginnen und Kollegen als Beispiele oder Vorlagen dienen können.

Man sollte sich vor dem Ausarbeiten einer Kursarbeit immer vor Augen führen, was zu diesem Zeitpunkt von Schülerinnen und Schülern geleistet werden muss, die eine neu einsetzende Fremdsprache erlernen. Als Fachlehrkraft ist man sehr leicht geneigt, die Oberstufenerfahrung aus dem Physikkurs einfließen zu lassen und dadurch die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 9 und 10 zu überfordern.

1. Kursarbeit Ph - Tc Jgst. 9

1. Erläutere im kurzen historischen Überblick die Bedeutung des Lötens und erkläre den Unterschied zum Schweißen!
2. Ein Draht soll in einer Lötöse festgelötet werden. Beschreibe ausführlich den Arbeitsablauf!
3. Unten ist die etwas idealisierte Kennlinie einer LED abgebildet. (*Lag als Kopie bei*) Sie soll an einer 12V-Batterie betrieben werden, dabei soll ein Strom von 20mA fließen.
 - 3.1 Zeichne das Schaltbild!
 - 3.2 Entnimm aus der Kennlinie die entsprechenden Informationen (kurzer Text!) und berechne den für die Schaltung notwendigen Widerstand!
 - 3.3 Welche Spannung würde man am Widerstand messen?

* * * * *

Teile aus einer Kursarbeit:

3. Unser Lötzinn ist mit einem Flussmittel gefüllt. Was ist das und wofür ist es gut?
4. In anderen Anwendungen (z.B. bei Dachdeckern) werden andere Flussmittel benutzt. Welche? Warum werden diese in der Elektronik nicht benutzt?

* * * * *

Teile aus einer Kursarbeit:

1. In der Tabelle sind die etwas idealisierten Messwerte einer LED angegeben.

U in Volt	0,9	1,4	1,8	2,2	2,3	2,4	2,6
I in mA	0	0,8	2,2	5,3	7,4	13,2	26,0

- 1.1 Trage die Messwerte in das vorbereitete Diagramm ein und verbinde sie!
- 1.2 Diese LED soll an einer 12V-Batterie betrieben werden, es soll ein Strom von 20mA fließen. Zeichne das Schaltbild!
- 1.3 Entnimm aus der Kennlinie die entsprechenden Informationen (kurzer Text!) und berechne den für die Schaltung notwendigen Widerstand!
- 1.4 Welche Spannung würde man an diesem Widerstand messen?

2. Kursarbeit Ph - Tc Jgst. 9

1. Zeichne das vollständige Schaltbild einer Transistorstufe, die eine LED steuert!
Gib im erläuternden Text an, wie groß etwa die Widerstände sein sollten.
2. Ein Modellbauer will sein Schiff beleuchten. Er baut links eine rote, rechts eine grüne und am Heck eine blaue LED ein. Die Akkuspannung ist $U_{\text{Batt}} = 9\text{V}$. Die LEDs sind in Reihe geschaltet und es soll ein Strom von 20 mA fließen. Zeichne das vollständige Schaltbild und berechne den evtl. notwendigen Widerstand! Die Kennlinien der LEDs sind unten gezeichnet. (*Lagen als Kopie bei*)
3. Seine Freundin möchte sich für ihre Party eine kleine Leuchtgirlande bauen. Sie will vier LEDs haben, hat aber auch nur 9V zur Verfügung. Welche LED sollte sie zusätzlich einbauen? Begründe Deine Entscheidung, zeichne das Schaltbild und berechne ggf.!

* * * * *

Teile aus einer Kursarbeit:

2. Ein Bastler will sein Modellauto beleuchten. Er baut hinten zwei rote und vorne zwei gelbe LEDs ein. Die Versorgungsspannung ist $U_{\text{Batt}} = 4,0\text{V}$.
Durch die LEDs soll ein Strom von 20 mA fließen.
Überlege, wie man die LEDs möglichst günstig schaltet. Begründe!
Zeichne dann das vollständige Schaltbild und berechne die ggf. notwendigen Widerstände!
3. Seine Freundin will ihr Auto als Krankenwagen herrichten. Sie baut auf dem Dach zusätzlich eine blaue LED ein. Wie muss sie die Schaltung ergänzen? Beschreibe kurz und berechne gegebenenfalls!
Die Kennlinien der LEDs für die Aufgaben 2. und 3. sind unten gezeichnet.

1. Zeichne das Schaltbild einer bistabilen Kippstufe!
2. Nimm an, dass der rechte Transistor leitet.
Erläutere jetzt die Verhältnisse an den Bauteilen der Schaltung und zeige, dass der Zustand stabil ist!
3. Nun soll der linke Transistor leiten. Was ist dazu zweckmäßigerweise zu tun?
Wie reagiert die Schaltung? Wodurch wird dieser neue Zustand stabil?
4. Ein Modellbauer will sein Schiff mit einer roten (links) und einer grünen LED (rechts) schmücken, die abwechselnd leuchten sollen. Zur Steuerung hat er einen einpoligen Umschaltkontakt zur Verfügung, durch den nicht viel Strom fließen darf.
Die Akkuspannung ist $U_{\text{Batt}} = 9\text{V}$.
- 4.1 Zeichne das komplette Schaltbild mit $R_B = 10\text{ k}\Omega$!
- 4.2 Die von ihm benutzten Silizium-Transistoren haben im leitenden Zustand eine $U_{\text{CE}} = 0,074\text{ V}$. Berechne die notwendigen Widerstände R_V , wenn durch die LEDs 20 mA fließen sollen! Die Kennlinien der LEDs sind unten gezeichnet.

* * * * *

Teile aus einer Kursarbeit:

4. Erläutere, auch mit Hilfe von Schaltbildern, wie man von der bistabilen zur astabilen Kippstufe kommt!
- 4.1 Erläutere das Verhalten dieser Kippstufe!
- 4.2 Ein Bastler hat eine solche Kippschaltung als Blinkanlage für seine Modellbahn gebaut. Wie groß muss er die frequenzbestimmenden Bauteile etwa wählen?
Seine Freundin hat ihre Schaltung als einfaches Musikinstrument ausgelegt, was hat sie gegenüber seiner Schaltung verändert? Welche Werte könnten ihre Bauteile etwa haben?

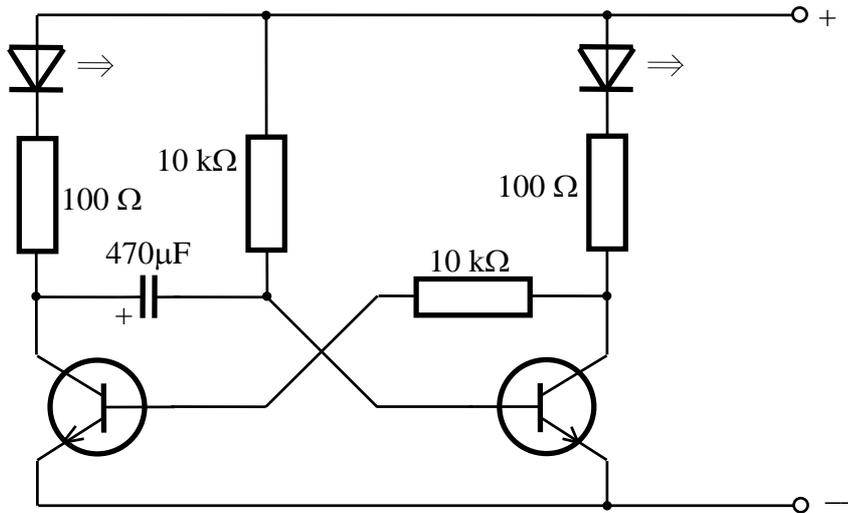
* * * * *

Teile aus einer Kursarbeit:

4. Eine astabile Kippstufe erzeugt (mehr oder weniger schöne) Rechtecksignale. Verdeutliche an einer Zeichnung den Unterschied zwischen einem idealen (mathematischen) Rechtecksignal und einem realen. Warum kann keine noch so aufwendige Schaltung ein ideales Rechtecksignal liefern?
5. Erläutere mit den notwendigen Zeichnungen, wie aus einer Grundschiwingung und den zwei nächsten brauchbaren Oberschwingungen die Form eines Rechtecksignals angenähert wird!

1. Erweitere die bistabile Kippstufe auf Deiner Experimentierplatte um einen Widerstand $10\text{k}\Omega$ (zwischen 13 und 10), eine Diode (zwischen 15 und 10, Kathode an 10) und einen Kondensator $4,7\ \mu\text{F}$ (zwischen 10 und 19, Minuspol an 19).
2. Nimm die Schaltung in Betrieb und Sorge dafür, dass die obere LED der bistabilen Kippstufe leuchtet.
3. Verbinde nun den Minuspol des Kondensators mit der Plusschiene und anschließend mit der Minusschiene und beobachte sorgfältig. Wiederhole das mehrfach!
Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
4. Erweitere nun die bistabile Kippstufe auf Deiner Experimentierplatte um einen Widerstand $10\text{k}\Omega$ (zwischen 13' und 10'), eine Diode (zwischen 15' und 10', Kathode an 10') und einen Kondensator $4,7\ \mu\text{F}$ (zwischen 10' und 19', Minuspol an 19').
Verbinde außerdem die beiden Lötösen 15' durch einen kurzen Draht miteinander.
5. Nimm die Schaltung in Betrieb und Sorge dafür, dass die untere LED der bistabilen Kippstufe leuchtet.
6. Verbinde nun den Minuspol des Kondensators (19') mit der Plusschiene und anschließend mit der Minusschiene und beobachte sorgfältig. Wiederhole das mehrfach!
Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
7. Verbinde nun die beiden Lötösen 19 und 19' miteinander.
8. Nimm die Schaltung in Betrieb und verbinde nun den Minuspol der Kondensatoren mit der Plusschiene und anschließend mit der Minusschiene und beobachte sorgfältig.
Wiederhole das mehrfach!
Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
9. Verbinde nun den Minuspol der Kondensatoren mit einem der Kollektoren der astabilen Kippstufe.
10. Nimm die Schaltung in Betrieb und beobachte sorgfältig.
Schreibe Deine Beobachtung kurz aber präzise auf.
11. Die gerade gebaute Ergänzung der Schaltung heißt „Torschaltung“.
Was bewirkt die Torschaltung und was macht jetzt die bistabile Kippstufe?
Beachte dabei das Blinken der LEDs der astabilen Kippstufe im Verhältnis zu denen der bistabilen Kippstufe! Beschreibe kurz aber präzise!

Kurze schriftliche Übung - Hausarbeitsabfrage



Oben ist das Schaltbild einer _____-stabilen Kippstufe gezeichnet.

Kurz nach Anschluss der Betriebsspannung leuchtet die _____ LED.

Um die andere LED leuchten zu lassen, _____

_____ .

Dann passiert folgendes: _____

Literaturliste

- Bauer W., Wagener H.H.:* Bauelemente und Grundschaltungen der Elektronik. Bd.1 u. 2. C. Hanser Verlag, München 1977 u. 1981
- Benda D.:* Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt. RPB 171 Franzis-Verlag, München 1982
- Bitterlich W.:* Elektronik. Springer-Verlag, Wien 1967
- Dorn F., Bader F.:* PHYSIK Schülerpraktikum Elektrizitätslehre. Hermann Schrödel Verlag, Hannover 1981
- Fonds der Chemischen Industrie:* Folienserie: Chemie - Grundlage der Mikroelektronik. 60054 Frankfurt am Main, Postfach 11 19 43
- Heepmann B.:* technik für dich: Transistor-Schaltungen aufbauen-erklären-verstehen. Cornelsen Verlag, Berlin 1990
- Heepmann B.:* technik für dich: Digitale Ics entscheiden-speichern-rechnen. Cornelsen Verlag, Berlin 1992
- Hörmann W.:* arbeitsheft elektronik, Schülerversuche zur Elektronik. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München 1980
- Kirchner A., Engelmann F.:* Erste elektronische Experimente. Verlagsgesellschaft Schulfernsehen, Köln 1980 (vergr.)
- Link W.:* Schaltungen der Digital-Elektronik. TOPP-Reihe 15 Verlag Frech, Stuttgart 1968
- Kreß K.:* Grundzüge der Physik, Digitale Elektronik. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt/M. 1976
- Kreß K. u. a.:* Digitale Elektronik und Computer. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt/M. 1977
- Kreß K. u. a.:* Elektronik. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt/M. 1989
- Misiurewicz P., Grzybek M.:* TTL-Halbleiterschaltungen. Franzis-Verlag, München 1982
- Müseler H., Schneider Th.:* Elektronik, Bauelemente und Schaltungen. C. Hanser-Verlag, Wien 1975
- Naturwissenschaft im Unterricht; Physik/Chemie: Themenheft 2: Elektronik I. Aulis Verlag, Köln 1980
- Naturwissenschaft im Unterricht; Physik/Chemie: Themenheft 4: Elektronik II. Aulis Verlag, Köln 1981
- Neusüß W.:* Elektronik- Bausteine und Schaltungen. kolleg-text J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1980
- Nührmann D.:* Elektronik-Selbstbau für Profi-Bastler. Franzis-Verlag, München 1981
- Nührmann D.:* Digitaltechnik in der Hobbypraxis. Franzis-Verlag, München 1984
- Pütz J. u. a.:* Einführung in die Elektronik. Verlagsgesellschaft Schulfernsehen, Köln 1972
- Pütz J. u. a.:* Experimente Elektronik. Verlagsgesellschaft Schulfernsehen, Köln 1977
- Schupp W.:* Vom Gatter zur Computerschaltung in 50 Versuchen. Ferdinand Schöning, Paderborn 1979

Schwarze H.: Einfache Versuche zur Steuerung und Regelung mit dem Mikrocomputer in: Der Physikunterricht Jhg. 17 Heft 2. Verlag Ernst Klett, Stuttgart 1983

Seyfert F.: Astabile Kippschaltungen. TOPP-Reihe 55 Verlag Frech, Stuttgart 1970

Voß H.: Digitale Elektronik: Unterrichtshilfen für den Grundkurs. Pädagogisches Zentrum, Berlin 1992

Walz A.: Elektronik Arbeits- und Protokollheft. Hermann Schrödel Verlag, Hannover 1977

Wirsum S.: Schalten, Steuern, Regeln, Stellen und Verstärken. Franzis-Verlag, München 1979

Wirsum S.: Praktizierte Elektronik. Franzis-Verlag, München 1982

Wirsum S.: Bausteine der Signalübertragungs- und Steuerungstechnik. RPB 238 Franzis-Verlag, München 1991

Zantis F.-P.: Kursus Messtechnik. Elektor-Verlag, Aachen 1993

Vorlage zum Aufkleben auf die Holzplatte

