Schulbiologiezentrum
Hannover

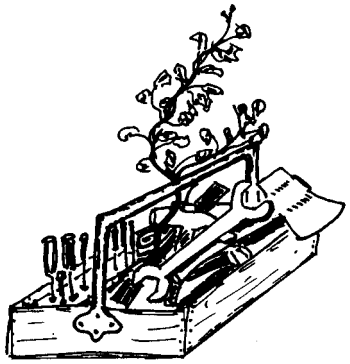
Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover
Tel: 0511-16847665/7
Fax: 0511-16847352
email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

Hannover

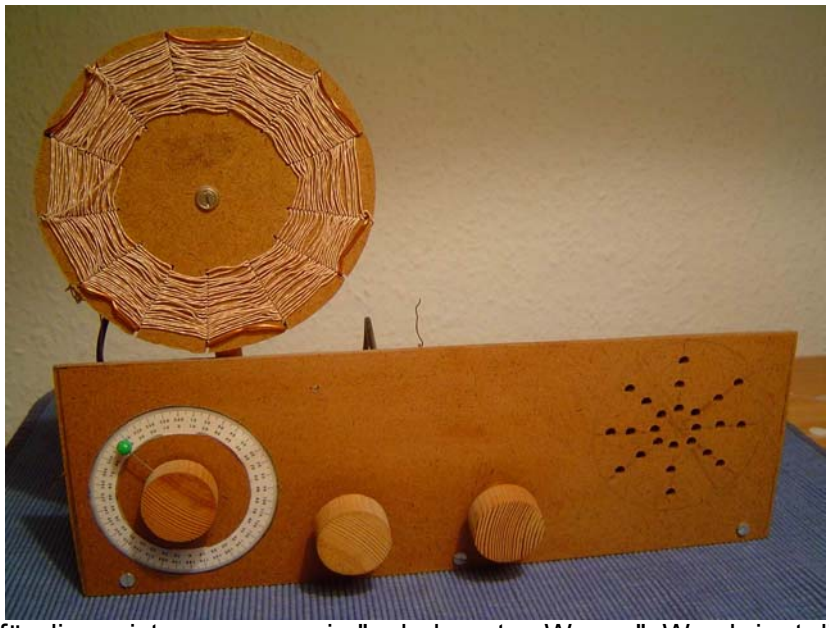
Unterrichtsprojekte Natur und Technik

19.25

Zum Selbstbau
für Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Schullandheimfahrten:



Einstieg in die Radiotechnik
Bauvorschlag für einen Energiespar-Mittelwellenempfänger
(Technik-AG ab Klasse 6)



Durchschnittlich 30 Stunden wöchentlich verbringen junge Menschen heute vor dem Fernsehgerät. Die Zeit, in denen das Radio läuft ist kaum zu zählen. Irgendwo dudelt immer eins, ob zu Hause bei den Schulaufgaben, im Auto oder im Supermarkt. Das Medium Rundfunk ist, ob wir es nun wollen oder nicht, ein Teil unserer täglichen Umwelt geworden.
Ein Radio- bzw. Fernsehgerät, obwohl in der Bedienung so selbstverständlich wie kaum ein anderes High-tec-Produkt ist, was den inneren Aufbau betrifft, für die meisten von uns ein "unbekanntes Wesen". Was bringt diese "black box" Radio dazu, Musik und Sprache, weit weg von hier auf den Weg geschickt, hörbar zu machen?

Diese Arbeitsmaterialien sollen als Anregung für eine Technik-AG dienen, die Praxis-, Produkt- und Spaß orientiert in das gar nicht so komplizierte Wesen des Rundfunks einführt.
Im folgenden wird ein Mittelwellenempfänger beschrieben, der relativ einfach strukturiert ist und auch von ungeübten Schülern nachgebaut werden kann.
Das ursprüngliche Konzept des Gerätes hat Manfred Reimann im Jahre 1986 erdacht. Es ist seither im hannoverschen Raum in verschiedenen Varianten nachgebaut und weiterentwickelt worden. Für Unterrichtszwecke haben wir es technisch auf das notwendigste "abgespeckt" und in einzelne "Bausteine" aufgegliedert. Reimann ist Funkamateur mit dem Rufzeichen DL6OBJ, daher der Name "OBJ-Bausteinradio".
Das hier beschriebene Radiogerät ist ein aus mehreren, in sich abgeschlossenen Stufen zusammengesetzter Mittelwellenempfänger. Die Schaltung entspricht dem technischen Niveau bis zum Ende der dreißiger Jahre, nur dass die damals üblichen Röhren durch moderne und energiesparende Halbleiter ersetzt wurden. Warum haben wir diese „altmodische“ Schaltung gewählt? Heute lassen sich mit Integrierten Bausteinen (Chips) relativ leicht und schnell Schaltungen aufbauen, die wesentlich bessere Empfangsleistungen bringen als das vorgestellte Gerät. Der Nachteil solcher High-Tec-Nachbauten ist allerdings, dass das, was sich im Innenleben eines Radios abspielt, dem Bastler weitestgehend verborgen bleiben muss. Chips sind hoch komplizierte Funktionseinheiten, bestehend aus vielen miteinander vernetzten Verstärkerelementen (Transistoren). Ist es schon schwierig genug zu verstehen, was in einem Transistor vor sich geht und wie er in einer Schaltung arbeitet, so verstehen nur noch Spezialisten, was sich in einem dieser vielbeinigen schwarzen Plastikkästchen abspielt. Bei der Entscheidung für „Spitzen-Performance“ oder „Aha-Effekt“ haben wir auf die "klassische" Technik zurückgegriffen, wie sie früher auch in Lehrbaukästen (etwa dem "KOSMOS Radiomann" der sechziger Jahre) zur Anwendung kam. Es geht also in erster Linie um den "Durchblick", die Leistungsfähigkeit des Gerätes fällt dafür etwas geringer aus. Der Lautsprecherverstärkerbaustein allerdings enthält einen Chip, gewissermaßen als Ausblick auf moderne Schaltungstechniken und weil der Rückgriff auf alte Bauweisen teure Bauelemente nötig gemacht hätte.
High-Tec-Schaltungen können oft erst am Ende des Bastelprozesses in Betrieb genommen werden. Dann funktionieren sie, oder auch nicht. Bei der Fehlersuche sind Nichttechniker zumeist überfordert, was meistens dazu führt, daß der Einstieg in die Elektronik zum Ausstieg wird. Beim "OBJ-Bausteinradio" geht es sofort los mit dem Empfang. Schrittweise wird der Empfang durch vor- und nachgeschaltete Bausteine immer weiter verbessert.
Die Bauweise ist "offen dreidimensional": Keine Lochrasterplatinen oder geätzte Schaltungen, die, wenn Lötzinn daneben geht zu einem "Kurzschlussfriedhof" werden. Jedes Bauteil lässt sich wieder herauslöten, ersetzen oder umsetzen. Dadurch sind Experimenten viele Wege geöffnet. Mit einfachen Messgeräten lässt sich jeder Punkt erreichen (vergleiche dagegen etwa das Innenleben eines Autoradios...), was die Fehlersuche (s.u.) zumindest in dieser Hinsicht praktikabel macht.
Die Lage der Bauteile auf den Platinen entspricht, soweit möglich, der Anordnung in der Schaltskizze. Dies erleichtert ganz wesentlich das Wiedererkennen der Elemente.

Die Bausteine

Baustein 1
: ist ein ganz einfacher Detektor, der die Radiowellen in Töne verwandelt. Mit einer Antenne und einem Hörer können die Schüler bereits Radio hören. Eine Batterie ist noch nicht erforderlich.

Baustein 2
: ist ein zweistufiger HF-Transistorverstärker, der die schwachen Radiowellen der Antenne in kräftige Signale verwandelt. Damit wird der Detektor (Baustein 1) erheblich lauter. Jetzt muss eine 9V-Batterie angeschlossen werden.

Baustein 3
: ist ein Lautstärkeregler, der zwischen Baustein 1 und Baustein 4 geschaltet wird. Bis hierher kann ein (hochohmiger) Kopfhörer benutzt werden.

Baustein 4

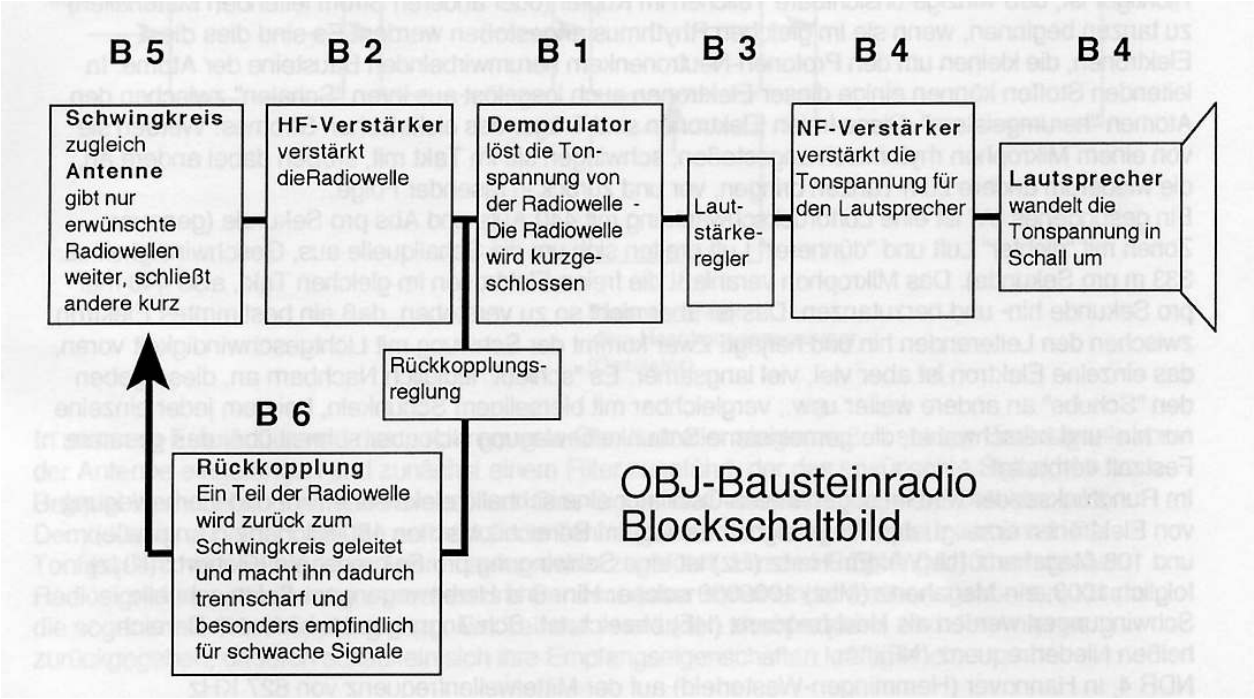
ist ein NF-Verstärker mit einem Chip, der die immer noch leisen, aus dem Detektor kommenden Töne für den Lautsprecher aufbereitet. Dieser wird an Baustein 4 angeschlossen. Jetzt entfällt der Kopfhörer.

Baustein 5

ist ein Filter, der erwünschte von unerwünschten Radiosignalen trennt. Er ist zugleich Antenne. Mit diesem so genannten „Schwingkreis“ kann ich jetzt den Radiosender meiner Wahl einstellen. Einen Sender gut von einem anderen zu trennen gelingt aber erst mit Baustein 5

Baustein 6

wird „Rückkopplung“ genannt. Dadurch, dass ein Teil der verstärkten Radiowellen zurück auf die Antenne gegeben wird, können wir auch schwächere Radiosender hören und erheblich besser voneinander trennen.



Was ist Radio?

Was sich zwischen Sprecher/Sender und Empfänger/Hörer bzw. im Radio abspielt bleibt unseren Sinnesorganen verborgen. Wir haben keine „Antennen“ für Radiowellen, das Chaos, das tausende von Rundfunksignalen um uns herum erzeugen, bleibt uns (glücklicherweise) verborgen. Da wir in Bezug auf Radiowellen keine sinnlichen Erfahrungen machen können, bleiben zur Erklärung der Phänomene nur Analogien. Schon der Begriff „Radiowelle“ ist eine Analogie und eine schlechte obendrein (auch wenn es wohl keine bessere gibt).

Eine einfache, recht untechnische Vorstellung dessen, was im Rundfunk vor sich geht, ist die des "Pferdes" und des "Reiters". Es gilt, eine Botschaft über eine lange Strecke hinweg zu übermitteln. Der (für sich allein langsame und schnell ermüdende) Träger dieser Botschaft bedient sich des schnellen und ausdauernden Pferdes. Am Ziel angelangt, springt der Reiter vom Pferd und gibt die Botschaft bei ihrem Adressaten ab.

Im **Sender** wird zunächst ein „Pferd“ gezüchtet und groß und stark gefüttert, die Radiowelle. Auf sie wird ein „Reiter“ gesetzt.: Radiowellen selbst sind wie schnelle, ausdauernde Pferde, die wie das Pferd nichts von dem wissen, was der Reiter mit sich führt. Sie sind "dumm" oder passender gesagt: Sie enthalten keine Information. Die Information (der Reiter), die Sprache, Musik oder

das Plätschern beim Abwasch sein kann, wird im Sender der Radiowelle aufgedrückt (in der Fachsprache: aufmoduliert). Der Körper eines galoppierenden Pferdes schwingt im Lauf auf und ab, wenn sich aber ein Reiter in den Sattel setzt, wird das Schwingungsmuster ein anderes sein, denn auch der Reiter schwingt im Sattel und drückt dem Pferd einen bestimmten Rhythmus auf (Wer beeinflusst wen?).
Im **Empfänger** wird "Pferd" (Radiowelle) und „Reiter“ (Information) voneinander getrennt. Der „Reiter“ wird zu dem Ort gebracht, wo die Information gehört werden soll: Zum Kopfhörer oder (über einen Verstärker) zum Lautsprecher.
Radiowellen sind unsichtbare elektromagnetische Schwingungen, schnell wie das Licht (das ja auch eine elektromagnetische Schwingung ist). Schallwellen dagegen sind langsam.
Spreche ich in ein Mikrophon, werden die wellenförmig sich ausbreitenden Luftdruckschwankungen (nichts anderes ist der Schall) über eine mitschwingende Membran (o.ä.) in Wellenbewegungen in elektrischen Leitern (Drähten, elektronischen Bauelementen usw.) verwandelt. Wellen sind uns vom Strand her bekannt. In Leitern wie z.B. Kupfer aber fließt kein Wasser und der Vergleich mit den Wellen an der Nordsee ist nur bedingt richtig.
Richtiger ist, dass winzige unsichtbare Teilchen im Kupfer (oder anderen Strom leitenden Materialien) zu tanzen beginnen, wenn sie im gleichen Rhythmus angestoßen werden. Es sind dies die Elektronen, die kleinen um den Protonen-Neutronenkern herumwirbelnden Bausteine der Atome. In leitenden Stoffen können einige dieser Elektronen auch losgelöst aus ihren "Schalen" zwischen den Atomen "herumgeistern". Diese freien Elektronen sind Träger des elektrischen Stromes. Werden sie von einem Mikrophon rhythmisch angestoßen, schwingen sie im Takt mit, stoßen dabei andere an, die wiederum andere zum Tanzen bringen, vor und zurück in rasender Folge.
Ein gesungenes "A" ist eine Luftdruckschwankung mit 440 Aufs und Abs pro Sekunde (genauer: Zonen mit "dichter" Luft und "dünnerer" Luft breiten sich um die Schallquelle aus, Geschwindigkeit ca. 333 m pro Sekunde). Das Mikrophon veranlasst die freien Elektronen im gleichen Takt, also 440 mal pro Sekunde hin- und herzutanzen. Das ist aber nicht so zu verstehen, dass ein bestimmtes Elektron zwischen den Leiterenden hin und herjagt. Zwar kommt der Schwung mit Lichtgeschwindigkeit voran, das einzelne Elektron ist aber viel, viel langsamer. Es "schiebt" lediglich Nachbarn an, diese geben den "Schubs" an andere weiter usw., vergleichbar mit bierseligem Schunkeln, bei dem jeder einzelne nur hin- und herschwankt, die gemeinsame Schunkelbewegung sich aber schnell über das gesamte Festzelt verbreitet.
Im Rundfunksender wird im so genannten Oszillator eine schnelle elektrische Hin- und Herbewegung von Elektronen erzeugt, das Trägersignal. Es liegt im Bereich zwischen 150 Kilohertz (Langwelle) und 108 Megahertz (UKW). Ein Hertz (Hz) ist eine Schwingung pro Sekunde, ein Kilohertz (KHz) folglich 1000, ein Megahertz (Mhz) 1000000 solcher Hin- und Herbewegungen. Solch schnelle Schwingungen werden als Hochfrequenz (HF) bezeichnet. Schwingungen im hörbaren Bereich heißen Niederfrequenz (NF).
NDR 4, in Hannover (Hemmingen-Westerfeld) auf der Mittelwellenfrequenz von 827 KHz abgestrahlt, erzeugt also 827000 (HF-)Schwingungen pro Sekunde. Sie werden sich, im Sender noch kräftig verstärkt, als elektrische und magnetische Felder von der Antenne lösen und auf diese Weise "in die Luft" gehen. Vorher ist der Trägerfrequenz das langsam schwingende NF-Tonsignal (z.B. ein "A" mit 440 Hz) hinzugefügt worden. Dieser Vorgang wird technisch als **Modulation** bezeichnet. Das Mischprodukt (das modulierte Signal) ist die Trägerfrequenz, die von der Tonfrequenz "eingehüllt" wird (man spricht auch von "Hüllkurve").

Trägersignal – Hüllkurve - Gleichrichtung

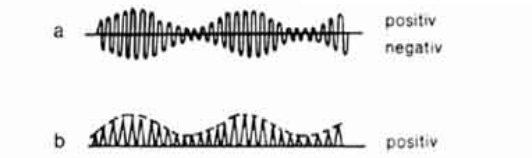
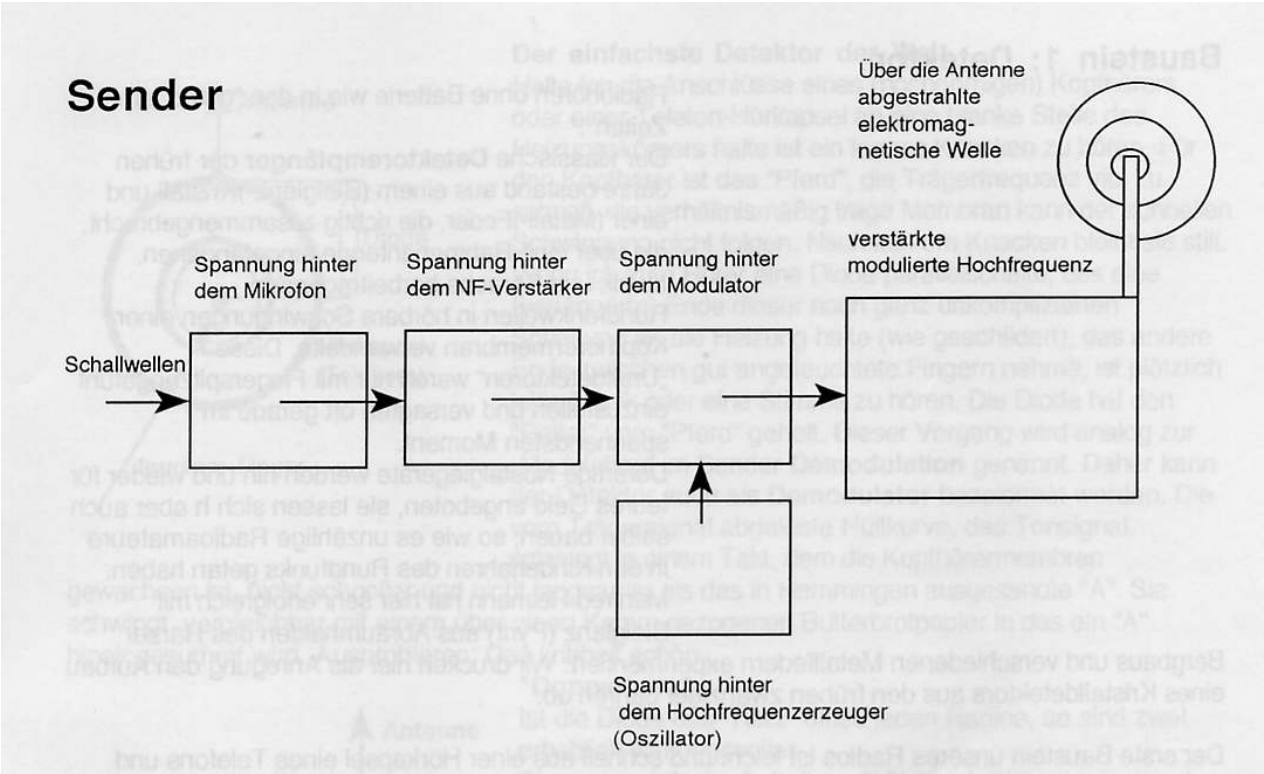
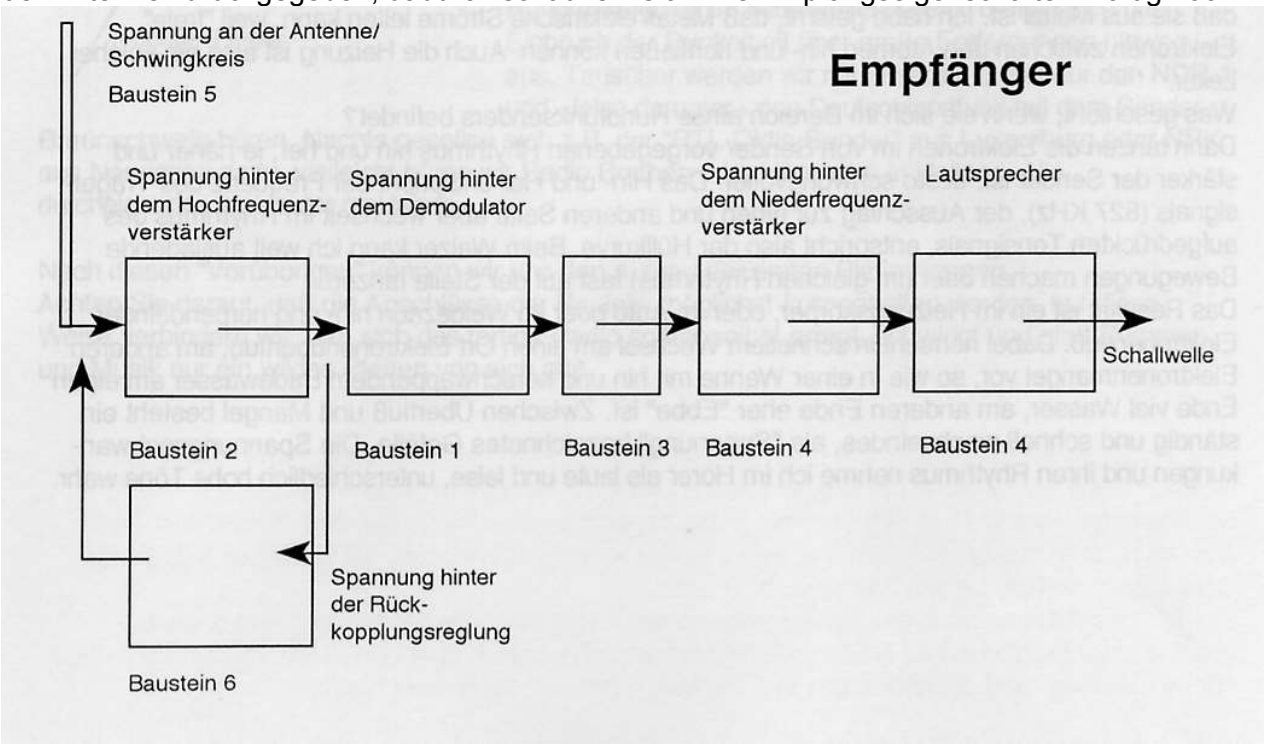


Abb. 350.2 Modulierte Trägerwelle; a) vor, b) nach der Gleichrichtung



In unserem Empfänger wird das hochfrequente Gemisch aller einigermaßen starker Radiosignale von der Antenne eingefangen und zunächst einem Filter zugeführt, der das erwünschte Signal, d.h. zum Beispiel Ihren Lieblingssender herausfiltert. Dies Signal wird verstärkt und einem Detektor oder Demodulator zugeführt, der die aufmodulierte Tonfrequenz von der Hochfrequenz abnimmt. Die Tonfrequenz wird verstärkt und dem Lautsprecher zugeführt. Um den Empfänger für schwache Radiosignale empfindlicher zu machen und Sender besser voneinander trennen zu können, kommt die so genannte Rückkopplung dazu: Ein Teil der verstärkten Hochfrequenz wird der Antenne zurückgegeben, dadurch schaukeln sich ihre Empfangseigenschaften kräftig hoch.

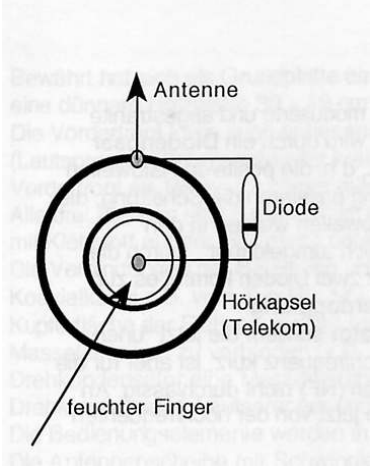


Baustein 1: Detektor

Radiohören ohne Batterie wie in den "guten alten Zeiten":
Der klassische **Detektorempfänger** der frühen Jahre bestand aus einem (Bleiglanz-)Kristall und einer (Metall-)Feder, die richtig zusammengebracht, die über eine Rahmenantenne eingefangenen, Musik und Sprache herbei tragenden Rundfunkwellen in hörbare Schwingungen einer Kopfhörermembran verwandelte. Diese „Uraltdetektoren“ waren nur mit Fingerspitzengefühl einzustellen und versagten oft gerade im spannendsten Moment.
Derartige Nostalgiegeräte werden hin und wieder für teures Geld angeboten, sie lassen sich h aber auch selbst bauen, so wie es unzählige Radioamateure in den Kinderjahren des Rundfunks getan haben. Manfred Reimann hat hier sehr erfolgreich mit Bleiglanz (Pyrit) aus Abraumhalden des Harzer Bergbaus und verschiedenen Metallfedern experimentiert. Wir drucken hier als Anregung den Aufbau eines Kristalldetektors aus den frühen zwanziger Jahren ab.

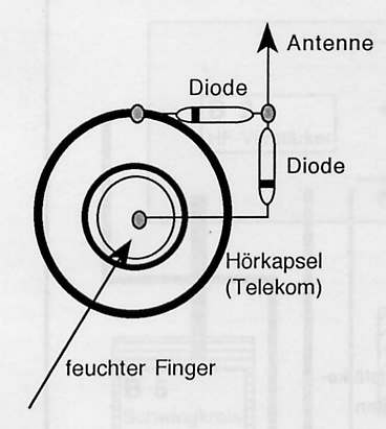
Der erste Baustein unseres Radios ist leicht und schnell aus einer Hörkapsel eines Telefons und einigen Metern Draht aufzubauen und liefert in der Nähe stärkerer Rundfunksender verblüffende Erlebnisse. In einem Heizungskörper, mit dem Detektor verbunden, scheinen Diskos und Streichorchester untergebracht zu sein. Und das Gemurmel mitunter auch ausländischer Stimmen provoziert die Frage: Wie kommen alle diese Menschen dort hinein?

Stimmen aus der Heizung?
Ich sitze neben einer Heizung. Der Heizungskörper besteht aus weiß lackierten Wasser gefüllten Metallrippen. Er ist über Vor- und Rücklaufrohre mit vielen anderen im Haus verbunden.
Die Heizung nehme ich wahr als fest (ich kann mir an ihr große Beulen holen) und warm. Ich weiß, dass sie aus Metall ist. Ich habe gelernt, dass Metall elektrische Ströme leiten kann, weil "freie" Elektronen zwischen den Atomen hin- und her fließen können. Auch die Heizung ist also ein solcher Leiter.
Was geschieht, wenn sie sich im Bereich eines Rundfunksenders befindet?
Dann tanzen die Elektronen im von Sender vorgegebenen Rhythmus hin und her, je näher und stärker der Sender ist, desto schwungvoller. Das Hin- und Her entspricht der Frequenz des Trägersignals (827 KHz), der Ausschlag zur einen und anderen Seite aber wechselt im Rhythmus des aufgedrückten Tonsignals, entspricht also der Hüllkurve. Beim Walzer kann ich weit ausladende Bewegungen machen oder (im gleichen Rhythmus) fast auf der Stelle tanzen.
Das Resultat ist ein im Heizungskörper, oder im Auto oder im Weidezaun hin- und herpendelnder Elektronenfluss. Dabei herrscht in schnellem Wechsel am einen Ort Elektronenüberfluss, am anderen Elektronenmangel vor, so wie in einer Wanne mit hin und herschwappendem Badewasser am einen Ende viel Wasser, am anderen Ende eher "Ebbe" ist. Zwischen Überfluss und Mangel besteht ein ständig und schnell wechselndes, als "Spannung" bezeichnetes Gefälle. Die Spannungsschwankungen und ihren Rhythmus nehme ich im Hörer als laute und leise, unterschiedlich hohe Töne wahr.



Der einfachste Detektor der Welt
Halte ich die Anschlüsse eines (hochohmigen) Kopfhörers oder einer Telefon-Hörkapsel an eine blanke Stelle des Heizungskörpers halte ist ein kurzes Knacken zu hören. Für den Kopfhörer ist das "Pferd", die Trägerfrequenz viel zu schnell, die verhältnismäßig träge Membran kann der schnellen Schwingung nicht folgen. Nach kurzem Knacken bleibt sie still.
Wenn ich zum Hörer eine Diode parallel schalte, das eine (verlängerte) Ende dieser noch ganz unkomplizierten Schaltung an die Heizung halte (wie geschildert), das andere Ende zwischen gut angefeuchtete Fingern nehme, ist plötzlich leise Musik oder eine Stimme zu hören. Die Diode hat den "Reiter" vom "Pferd" geholt. Dieser Vorgang wird analog zur „Modulation“ im Sender **Demodulation** genannt. Daher kann der Detektor auch als **Demodulator** bezeichnet werden. Die vom Träger

signal abgelöste Hüllkurve, das Tonsignal, schwingt in einem Takt, dem die Kopfhörermembran gewachsen ist, nicht schneller und nicht langsamer als das in Hemmingen ausgesandte "A". Sie schwingt, vergleichbar mit einem über einen Kamm gezogenen Butterbrotpapier in das ein "A" hineingesummt wird. Ausprobieren: Das kribbelt schön.

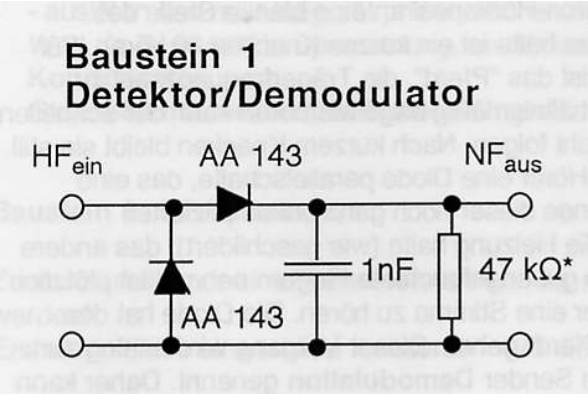


"Doppelherz":
Ist die Diode das "Herz" eines jeden Radios, so sind zwei erheblich wirkungsvoller.
Die erste, einfache Schaltung lässt sich leicht entsprechend erweitern. Die Dioden tragen am einen Ende des Glaskörpers eine Farbmarkierung. Achten Sie darauf, dass sie genauso angeordnet werden wie in der Zeichnung dargestellt.
Mit zwei Dioden wird nicht nur der obere Teil der Hüllkurve ausgenutzt, sondern beide. Dadurch wird die Spannung gegenüber der ersten Lösung verdoppelt.

Europäisches Geräuschchaos in der Nacht:
Rundfunksignale im Mittelwellenbereich breiten sich nach Einbruch der Dunkelheit über große Entfernungen hinweg aus. Tagsüber werden wir mit unserem Gerät nur den NDR 4 und - leise darunter - den Deutschlandfunk mit dem Sender Braunschweig hören. Nachts gesellen sich z.B. der "RTL-Oldie-Sender" aus Luxemburg oder NRK aus Norwegen dazu, vielleicht hören wir Radio Bremen oder Hilversum in Holland. Alle durcheinander, mal lauter mal leiser.

Nach diesen "Vorübungen" können wir uns den Aufbau der ersten Platine wagen.
Achten Sie darauf, dass die Anschlüsse der Bauteile möglichst *kurz* gehalten werden, auf diese Weise verhindern wir, dass sich das fertige Radio später selbst erregt, schwingt und statt Stimmen und Musik nur ein wildes Pfeifen von sich gibt.

Baustein 1: Detektor

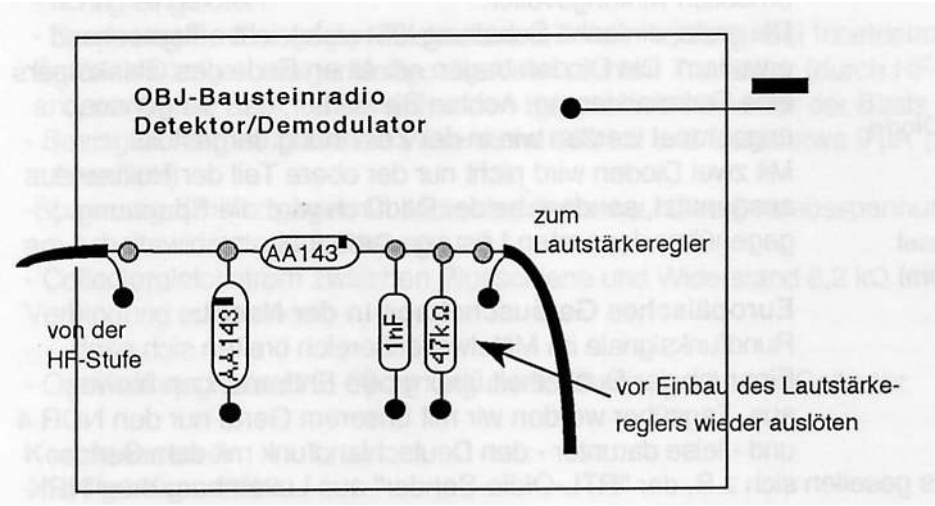


Die im Sender modulierte und abgestrahlte Hochfrequenz wird durch ein **Diodenpaar** gleichgerichtet, d.h. die positiven Halbwellen der Schwingung passieren die Schaltung, die negativen Halbwellen werden in den positiven Bereich „umgeklappt“. Durch die Anordnung der zwei Dioden kommt es zur **Spannungsverdopplung**.
Der **Kondensator** schließt die jetzt "unerwünschte" Hochfrequenz kurz, ist aber für die Tonspannungen (NF) nicht durchlässig. An NF_{aus} liegt die jetzt von der hochfrequenten Trägerwelle befreite NF.

Bei dieser Schaltung ist noch keine Stromversorgung erforderlich

Die **Antenne** wird an HF_{ein} geschlossen, der **Kopfhörer** (hochohmig 2000Ω) oder die Telefon-Hörkapsel an NF_{aus}.

Baustein 1: Platine



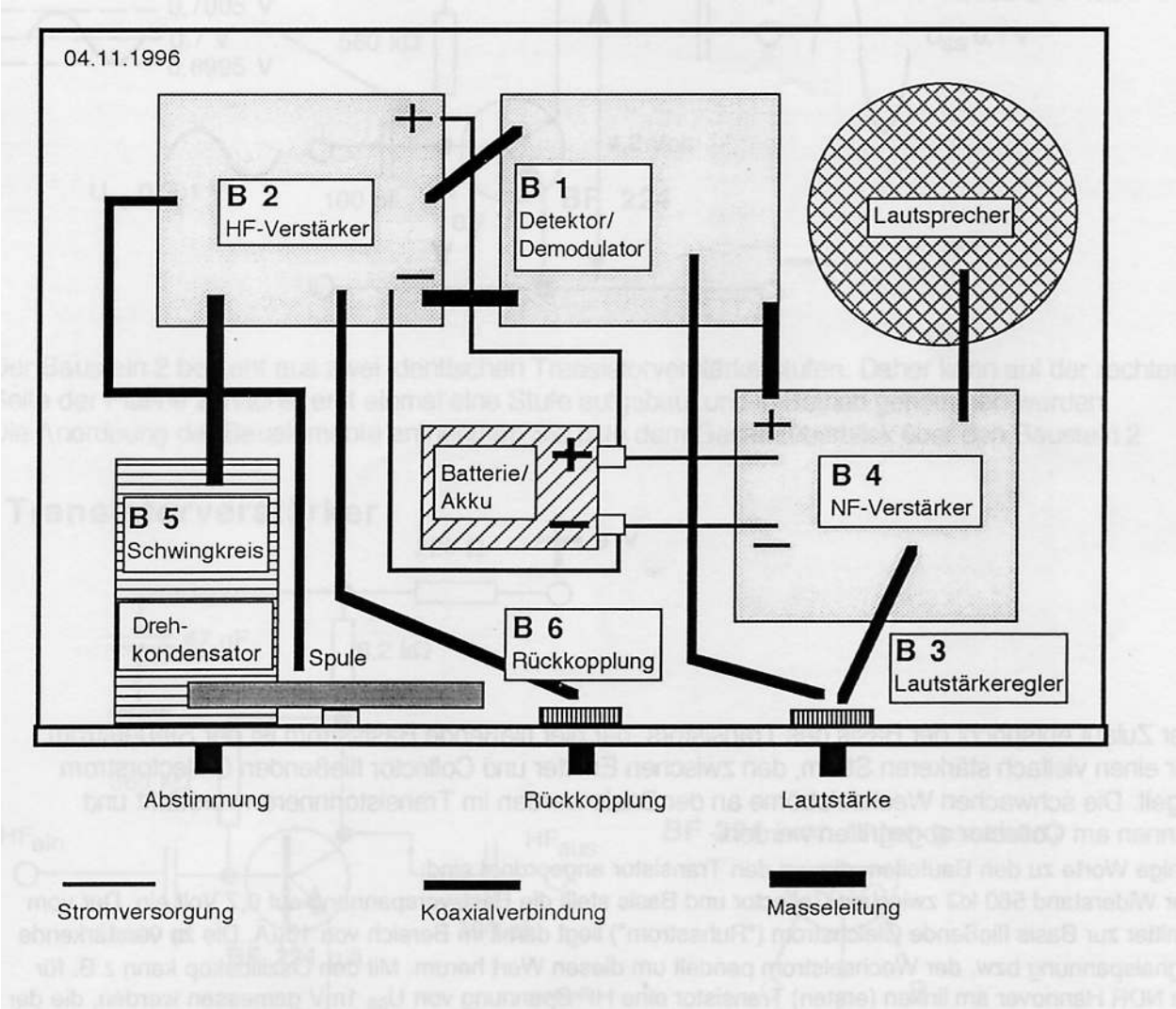
Baustein 1: Stückliste

Platine aus Hartpapier oder Epoxid, einseitig kupferkaschiert
2 Dioden AA 143 o.ä.
1 Kondensator 1nF (Styroflex)
Koaxialkabel RG 174 o. ä. (50 Ω)
Die Koaxialverbindungen sind erst beim Anschluss der weiteren Bausteine zu ziehen.

Das „Radio“ ist in diesem Zustand offen für alles, was an Radiowellen hineinkommt. Auch CB-Funk läßt sich damit hören, wenn der CB-Funker im gleichen Haus oder in der unmittelbaren Nachbarschaft wohnt. Und wir hören bei guten Ausbreitungsbedingungen alles durcheinander. Alles ist noch sehr leise. Mit dem Baustein 2 bauen wir einen Verstärker, der kräftigere Signale am Detektor abliefert als es die Antenne alleine kann.
Ein richtiges Radio vermag die Sender voneinander zu trennen. Die Bausteine 5 und 6, die die gewünschten Signale in das Radiogerät "hineinwinken", anderen aber den Zutritt verwehren heißen **"Schwingkreis"** und **„Rückkopplung“**. Sie bilden den Abschluss des Projektes.

Anordnung der Bausteine

Bewährt hat sich als Grundplatte eine Multiplexplatte etwa 30 × 30 cm × 2 cm. Als Vorderfront eine dünnere Holzplatte 30 × 10 cm × 0,5 cm (mit der Grundplatte verschrauben).
Die Vorderfront kann auch höher sein. Dann kann der Lautsprecher dort eingebaut werden (Lautsprecheröffnung entweder kreisförmig ausschneiden oder Lochsieb bohren). Wenn die Vorderfront als Resonanzkörper mitschwingt, wird der Ton angenehmer, weil voller.
Alle drei Platinen sind 8 mal 6,5 cm groß. Sie werden entweder mit kleinen Holzschrauben oder mit Klebstoff auf der Holzplatte befestigt.
Die Verbindungen der Bausteine untereinander erfolgt durch dünnes (abgeschirmtes) Koaxialkabel z.B. vom Typ RG 174. Achten Sie darauf, dass das Mantelgeflecht gut mit der Kupferfläche der Platinen verlötet wird. Es empfiehlt sich, die Platinen untereinander durch starke Masseleitungen zu verbinden (z.B. Kupferblechstreifen). Besonders wichtig ist, dass der Drehkondensator eine Masseverbindung bekommt.
Drehkondensator, Lautsprecher und Batterie werden mit Klebstoff auf die Holzplatte geklebt.
Die Bedienungselemente werden in die Frontplatte gesetzt.
Die Antennenscheibe mit Schwingkreis-, Auskopplungs- und Rückkopplungswindung(en) wird auf ein ca. 15 cm hohes 1 cm mal 1 cm Kantholz geschraubt und hinter die Frontplatte gesetzt.



Baustein 2:
Vor den Detektor zu schalten: HF-Verstärker mit zwei Transistoren

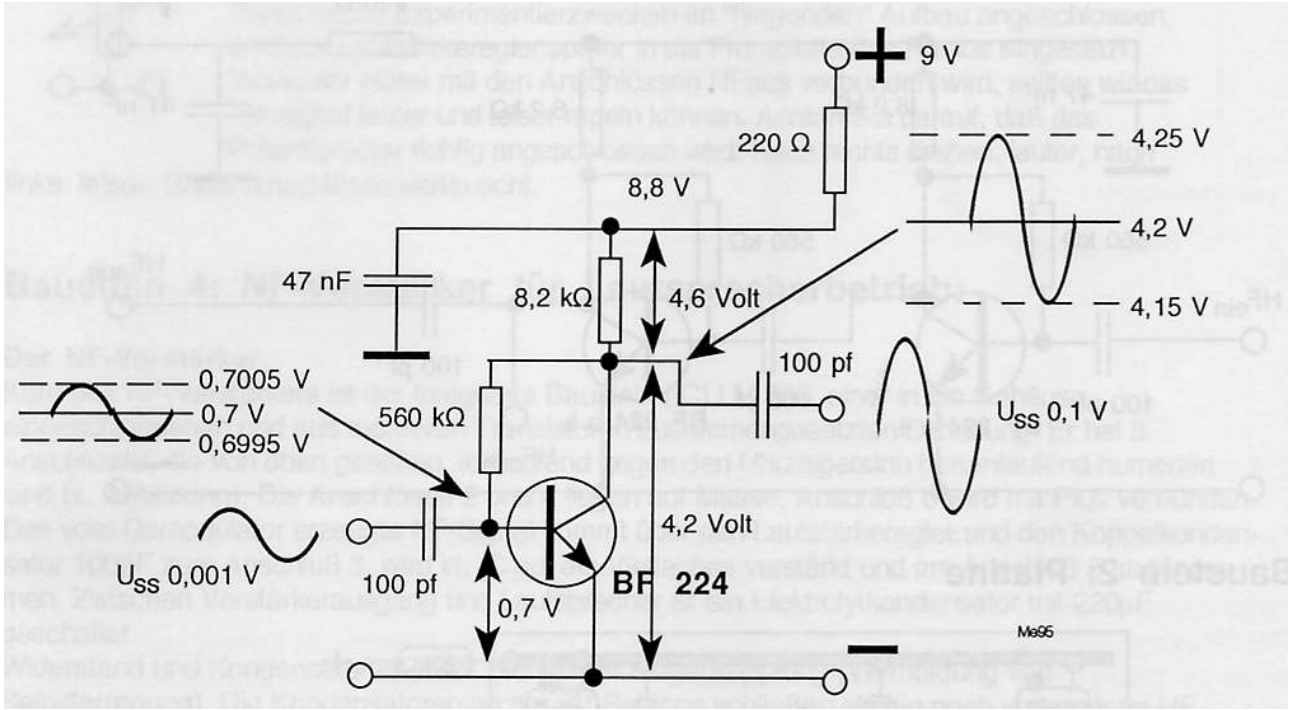
Der Transistor als Verstärker

Der Transistor ist ein "dreibeiniges" Bauteil, dessen Inneres gut verborgen in einem Plastik- oder Metallgehäuse ruht. Was die sehr komplexe Physik dieses Verstärkerelements angeht, sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen. In diesem Rahmen können wir uns lediglich auf seine Funktion konzentrieren.

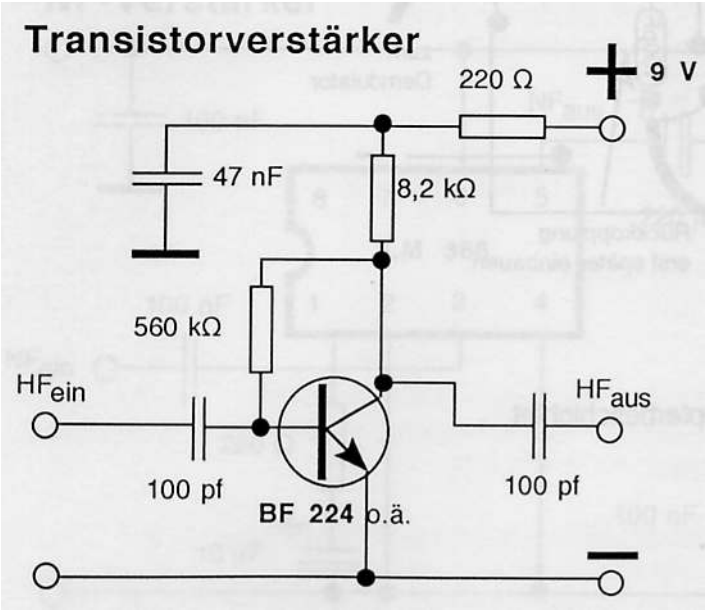
Transistoren sind elektronische Schalter und in dieser Eigenschaft begegnen sie uns als "Neuronen", bzw. zu mehreren zusammengefasst als "Ganglien" des Computers. Sie können aber mehr als digitale "O" und "1"-Zustände schaffen. Ein normaler Schalter ist entweder offen oder geschlossen, Zwischenstufen gibt es nicht. Der Transistor kann abgestuft offene bzw. geschlossene Verhältnisse schaffen und stellt damit einen *regelbaren* Schalter dar.

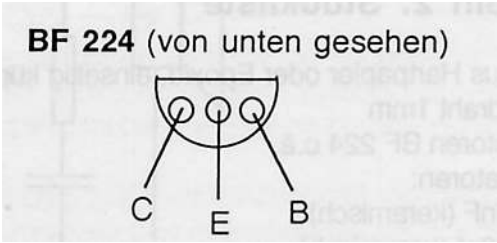
Als Analogie möge das Bild eines Baches mit einem durch einen Zulauf geregelten Wasserstrom herhalten: Quer zum Bach liegt eine Klappe, die den Wasserstrom unterbrechen kann. Ob die Klappe offen oder geschlossen ist, regelt über einen Hebelmechanismus ein seitlich einmündender kleinerer Bach. Führt der viel Wasser, dann ist die Klappe im größeren Bach offen. Ist er nur ein

Rinnsal, kann der große Bach auch nicht fließen. Der kleine Bach steuert also die Menge des größeren Baches.
Der Zulauf entspricht der Basis des Transistors, der hier fließende Basisstrom ist der Steuerstrom, der einen vielfach stärkeren Strom, den zwischen Emitter und Collector fließenden Collectorstrom regelt. Die schwachen Wechselströme an der Basis werden im Transistorinneren verstärkt und können am Collector abgegriffen werden.
Einige Worte zu den Bauteilen, die um den Transistor angeordnet sind:
Der Widerstand 560 kΩ zwischen Collector und Basis stellt die Basisvorspannung auf 0,7 Volt ein. Der vom Emitter zur Basis fließende Gleichstrom ("Ruhestrom") liegt damit im Bereich von 10µA. Die zu verstärkende Signalspannung bzw. der Wechselstrom pendelt um diesen Wert herum. Mit den Oszilloskop kann z.B. für ein NDR Hannover am linken (ersten) Transistor eine HF-Spannung von U_{SS} 1mV gemessen werden, die der Basisvorspannung aufgelagert ist.
Der Widerstand 8,2 kΩ ist der Arbeitswiderstand des Transistors. Der vom Basisruhestrom (s.o.) abhängige Collectorstrom erzeugt am Arbeitswiderstand eine Spannung von ca. 4,6 Volt, daraus folgt eine Collectorspannung von 4,2 Volt (gegen Masse). Diese Spannung schwankt im Takt der Hochfrequenz (beim NDR z.B. im 827 kHz Rhythmus) um etwa 0,1 Volt und ist. Die Hochfrequenzamplitude ist damit im Vergleich zur HF-Spannung an der Basis um den Faktor 100 angewachsen.
Die Collectorwechselspannung (und nur diese) des linken Transistors wird über den Koppelkondensator von 100pF Kapazität auf die Basis des rechten Transistors gegeben. Aus der 0,1 Volt HF-Spannung werden am Collector des zweiten Transistors 0,6 Volt die über einen weiteren Koppelkondensator die Dioden des Demodulators erreichen. Aus 0,001 Volt an der Antenne sind jetzt 0,6V geworden.
Die für Wechselströme durchlässigen, Gleichstrom aber abschottenden Koppelkondensatoren verhindern, dass die Basisvorspannung gegen Masse abfließt. Ihre Werte sind zu verändern, wenn das Gerät für andere Frequenzbereiche ausgelegt werden soll.



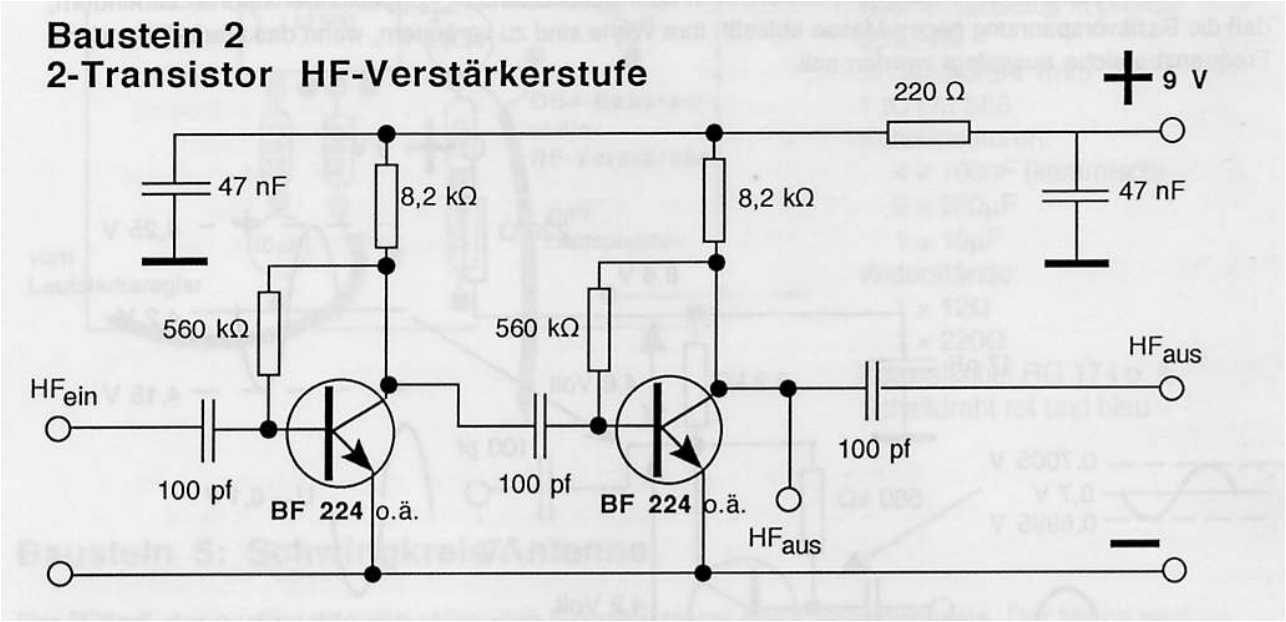
Der Baustein 2 besteht aus zwei identischen Transistorverstärkerstufen. Daher kann auf der rechten Seite der Platine zunächst erst einmal eine Stufe aufgebaut und in Betrieb genommen werden.
Die Anordnung der Bauelemente entnehmen Sie bitte dem Gesamtüberblick über den Baustein 2.

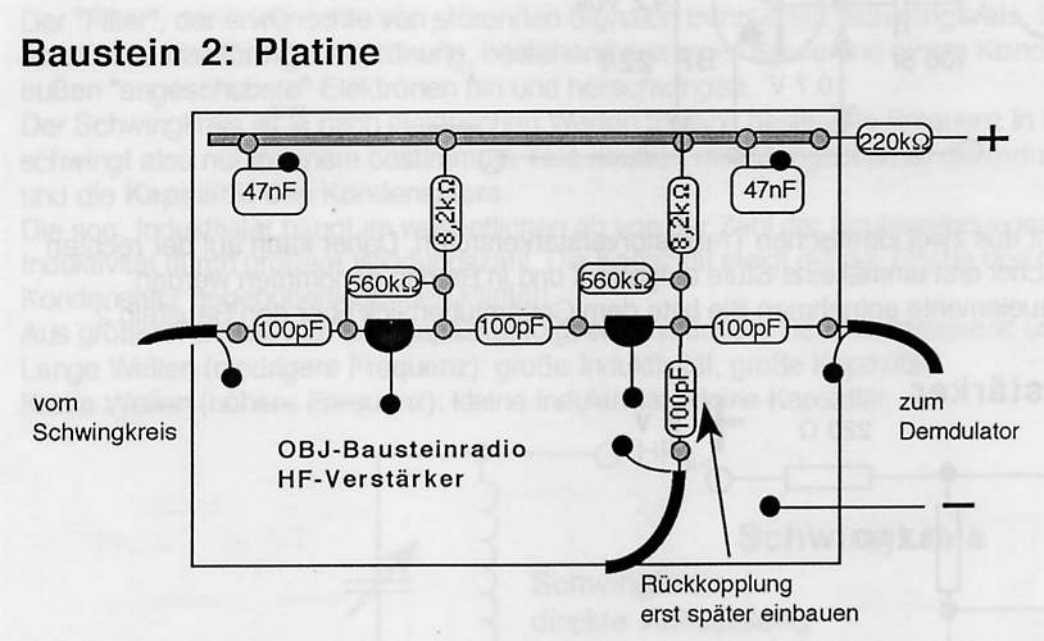




Baustein 2: Zweistufiger HF Verstärker

Baustein 2 ist ein zweistufiger HF-Verstärker, hier werden zwei gleichartige Transistorverstärkerstufen hintereinander geschaltet (s. vorhergehender Abschnitt)



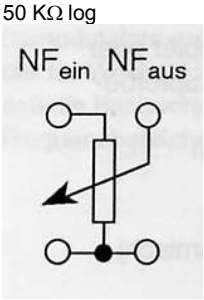


Baustein 2: Stückliste

Platine aus Hartpapier oder Epoxid, einseitig kupferbeschichtet
Schweißdraht 1mm
2 Transistoren BF 224 o.ä.
Kondensatoren:
  2 × 47nF (keramisch)
  4 × 100pf (keramisch)
Widerstände:
  2 × 8,2 KΩ
  2 × 560 kΩ
Koaxialkabel RG 174 o. ä. (50 Ω), Schaltdraht rot und blau

Baustein 3: Lautstärkeregler

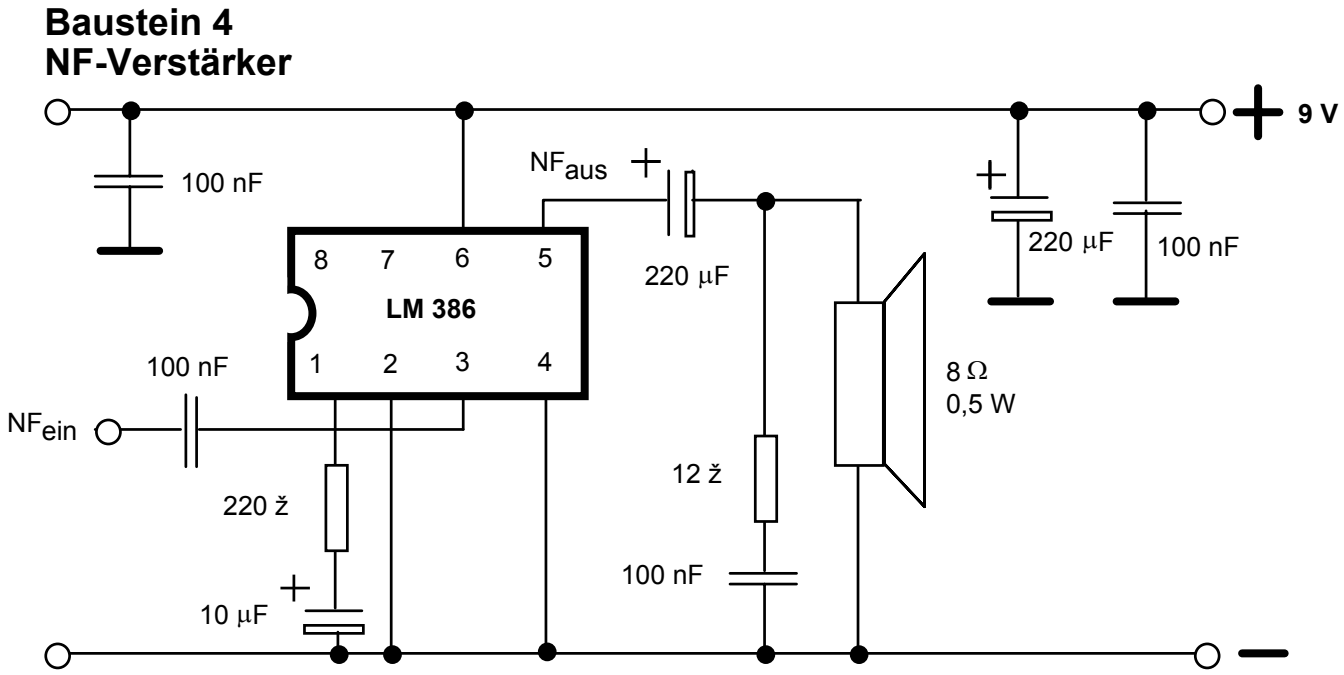
1 Potentiometer
50 KΩ log

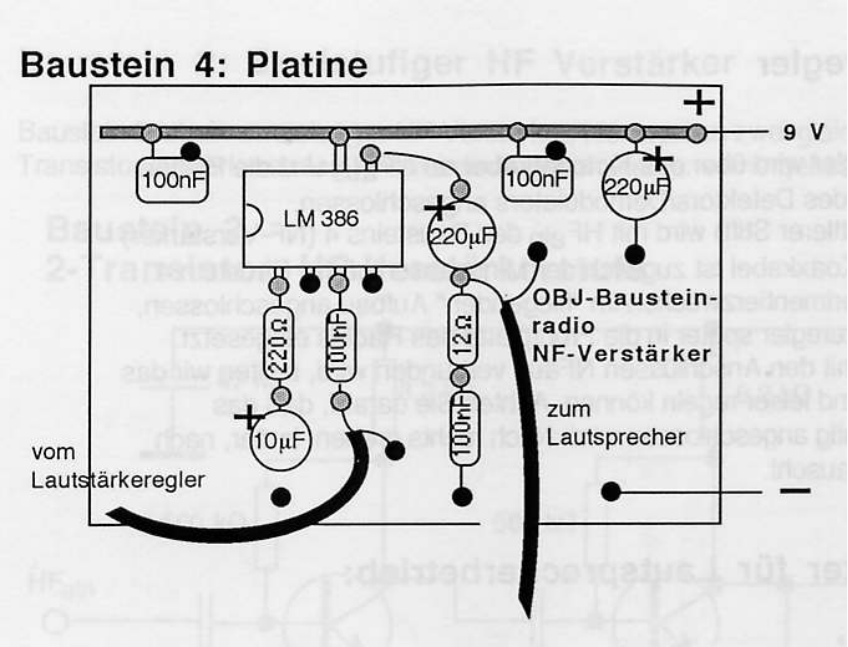


Der Lautstärkeregler wird über das **Koaxialkabel** an NF_{aus} und die Platine (Masse = Minus) des Detektors/Demodulators angeschlossen. Der **Schleifer** (mittlerer Stift) wird mit HF_{ein} des Bausteins 4 (NF-Verstärker) verbunden. Das Koaxkabel ist zugleich der Minusanschluss für Baustein 4.
Zunächst zu Experimentierzwecken im "fliegenden" Aufbau angeschlossen, wird der Lautstärkeregler später in die Frontplatte des Radios eingesetzt.
Wenn der Hörer mit den Anschlüssen NF_{aus} verbunden wird, sollten wir das Tonsignal lauter und leiser regeln können. Achten Sie darauf, dass das Potentiometer richtig angeschlossen wird: Nach rechts drehen: lauter, nach links: leiser. Sonst Anschlüsse vertauscht.

Baustein 4: NF-Verstärker für Lautsprecherbetrieb:

Der NF-Verstärker
Kern des NF-Verstärkers ist der Integrierte Baustein (IC) LM 386, einer in ein Gehäuse eingeschlossenen und aus mehreren Transistoren zusammengesetzten Schaltung. Er hat 8 Anschlüsse, die von oben gesehen, fortlaufend gegen den Uhrzeigersinn herumlaufend nummeriert sind (s. Abbildung). Die Anschlüsse 2 und 4 liegen auf Masse, Anschluss 6 wird mit Plus verbunden.
Das vom Demodulator erzeugte NF-Signal kommt über den Lautstärkeregler und den Koppelkondensator 100pF zum Anschluss 3, wird im IC auf ein Vielfaches verstärkt und am Anschluss 5 abgenommen. Zwischen Verstärkerausgang und Lautsprecher ist ein Elektrolytkondensator mit 220µF geschaltet.
Widerstand und Kondensator an Pin 1 dienen der Gegenkopplung (Vermeidung von Selbsterregung). Die Kondensatoren an der 9V-Schiene schließen etwaig noch vorhandene HF und NF kurz.





Baustein 4: Stückliste

Platine aus Hartpapier oder Epoxid, einseitig kupferbeschichtet
Schweißdraht 1mm
1 IC LM 386
Kondensatoren:
- 4 × 100nF (keramisch)
- 2 × 220µF
- 1 × 10µF

Widerstände:
- 1 × 12Ω
- 1 × 220Ω

Koaxialkabel RG 174 o. ä.
Schaltdraht rot und blau

Baustein 5: Schwingkreis/Antenne

Der "Filter", der erwünschte von störenden Signalen trennt heißt **Schwingkreis**. Der Name sagt es, es ist eine *kreis*förmige Anordnung, bestehend aus einer **Spule** und einem **Kondensator** in der von außen "angeschubste" Elektronen hin und her *schwingen*..
Der Schwingkreis ist je nach elektrischen Werten für eine bestimmte Frequenz in **Resonanz**, schwingt also nur in einem bestimmten Takt deutlich mit. Maßgeblich ist die **Induktivität** der Spule und die **Kapazität** des Kondensators.
Die sog. Induktivität hängt im wesentlichen ab von der Zahl der Spulenwindungen, hier gilt, größere Induktivität durch größere Windungszahl. Die Kapazität steigt mit der Fläche und der Nähe der im Kondensator gegenüberliegenden Platten.
Aus größerer Induktivität und Kapazität folgt eine niedrigere Resonanzfrequenz und umgekehrt.
Lange Wellen (niedrigere Frequenz): große Induktivität, große Kapazität
Kurze Wellen (höhere Frequenz): kleine Induktivität, kleine Kapazität.

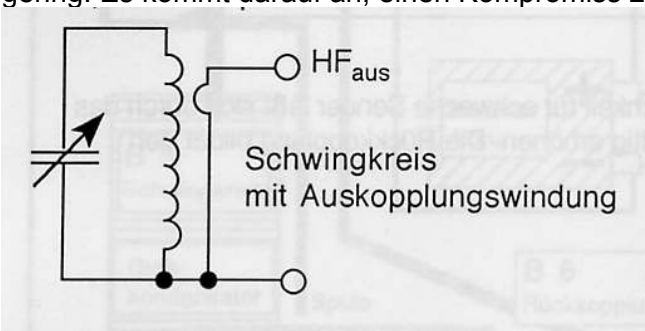
Damit wir uns bequem auf einzelne Sender einstimmen können, benutzen wir einen kapazitätsveränderlichen **Drehkondensator**, am besten einen mit einem Feintrieb. Durch Drehen am Abstimmknopf verändern wir die Resonanzfrequenz des Kreises.

Die Spule und der Kondensator im "OBJ" sind für den Mittelwellenempfang bemessen. Durch Abwickeln von Spulenwindungen wird der Schwingkreis für kürzere Wellen resonant, ein Vergrößern der Plattenflächen des Kondensators durch Parallelschaltung seiner drei „Abteilungen“ dagegen lässt längere Wellen hörbar werden.

Das Spulenmaterial ist entscheidend für die elektrische **Güte** des Schwingkreises. Bei geringerer Leitfähigkeit des Drahtes treten ohmsche Verluste auf: Die Elektronen werden beim Tanzen

behindert, ein Teil ihrer Energie geht als Wärme verloren. Hochfrequent schwingende Elektronen bewegen sich bevorzugt am Querschnittsrand des Leiters, die Mitte trägt bei steigender Frequenz nur noch wenig zur Leitfähigkeit bei. Dieses Phänomen wird als "skin effect" bezeichnet. Normaler **Kupferlackdraht** führt infolgedessen zu geringeren Schwingkreisgüten als z.B. die wesentlich teurere und u.U. schwer zu beschaffende Hochfrequenzlitze, bei der z.B. 50 lackierte und damit gegeneinander isolierte Einzelleiter in einer Textilumhüllung versponnen sind. Der Gesamtquerschnitt der Drähte dieser Litze ist nicht größer als bei Kupferlackdraht, die Oberfläche wächst aber gewaltig an.
Beim Anschluss von HF-Litze muss darauf geachtet werden, dass möglichst *jeder* Einzelleiter verzinnt und verlötet wird. Bringen Sie das Ende der Litze mit einem Feuerzeug zur Rotglut und schrecken es in Brennspiritus ab. Diese "Schockbehandlung" lässt den Lack abspringen, eventuelle Reste und verkohlte Oberflächen werden vorsichtig mit feinem Sandpapier bearbeitet. Auch die Enden des Kupferlackdrahts müssen vor dem Verlöten abisoliert werden.
Bei Kurzwellenspulen hat sich versilberter Kupferdraht bewährt, die Leitfähigkeit der (entscheidenden) Oberfläche wird dadurch vergrößert.

Die **Auskopplung** der im Kreis erzeugten Schwingungsenergie kann direkt erfolgen. Das "heiße" Ende der Spule, das ist die der Masse entgegen gesetzte Seite, wird direkt mit dem Koppelkondensators des Bausteins 2 verbunden.
Die Trennschärfe ist bei dieser Ankopplungsart nur ungenügend, der Schwingkreis ist sehr breitbandig ("wie ein Scheunentor"). Das liegt daran, dass ihm viel Energie entzogen wird, was seine Güte und damit die Resonanzeigenschaften verschlechtert. In der Sprache der Techniker heißt das **"Dämpfung"**.
Weitaus geringer bedämpft wird der Kreis, wenn wir gar keinen Anschluss schaffen, sondern eine zweite Spule in die Nähe bringen. Die darin enthaltenen Elektronen schwingen im Takt mit der Schwingkreisspule mit. Je näher diese Koppelspule an den Schwingkreis herangebracht wird, desto stärker wird das Mitschwingen und durch Entzug von Energie die Dämpfung. Viele Windungen der Koppelspule führen ebenso zu einer stärkeren Bedämpfung. Ist die Koppelspule weit vom Schwingkreis entfernt und hat wenig Windungen, dann ist die Bedämpfung gering, die Trennschärfe hoch, die eingekoppelte Hochfrequenzenergie (und damit die Lautstärke) aber gering. Es kommt darauf an, einen Kompromiss zu finden.



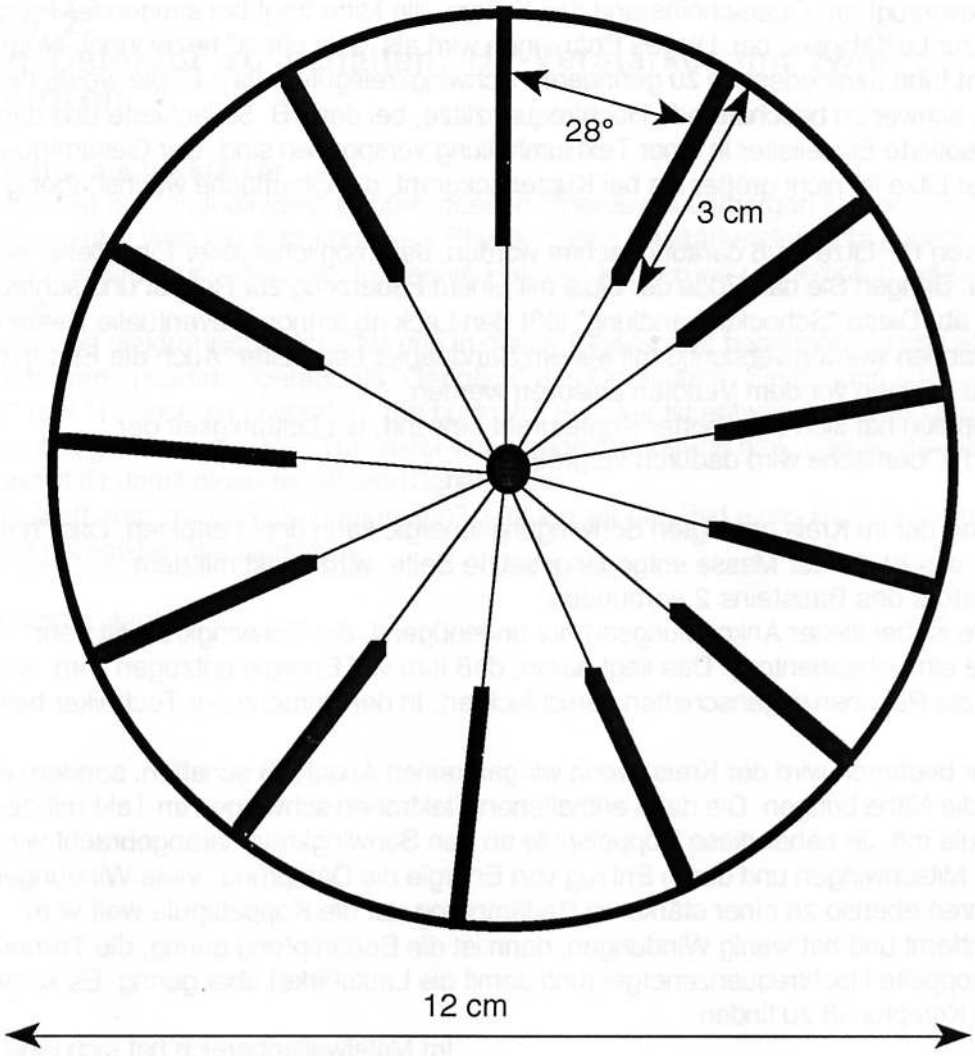
Im Mittelwellenbereich hat sich eine einzige Koppelwindung aus 1mm starkem Kupferlackdraht bewährt, die als äußerste Lage auf den Spulenkörper gebracht wird. Der Anschluss an den Baustein 2 erfolgt der im gleichen Wicklungssinn wie die Schwingkreisspule.

Baustein 5: Schwingkreis/Antenne

Der Schwingkreis besteht aus einer aus Kupferlackdraht (0,5 mm) oder HF-Litze auf eine **Papp-** oder **Hartfaserscheibe** gewickelten **Spule** und einem **Drehkondensator** mit einer Endkapazität von ca. 350 pF.

Baustein 5: Herstellung der Spule

Die Spule wird auf eine **Papp**- oder **Hartfaserscheibe** mit 12 cm Durchmesser gewickelt. Die Scheibe wird im Winkelabstand von 28° wird 3 cm tief eingeschnitten bzw., -gesägt.
Wickele ca. 10 m HF-Litze oder Kupferlackdraht von innen nach außen. Die **Auskopplungs-windung** aus etwa 25 cm Kupferlackdraht (1mm) wird gleichsinnig als äußerste Windung darüber gelegt.

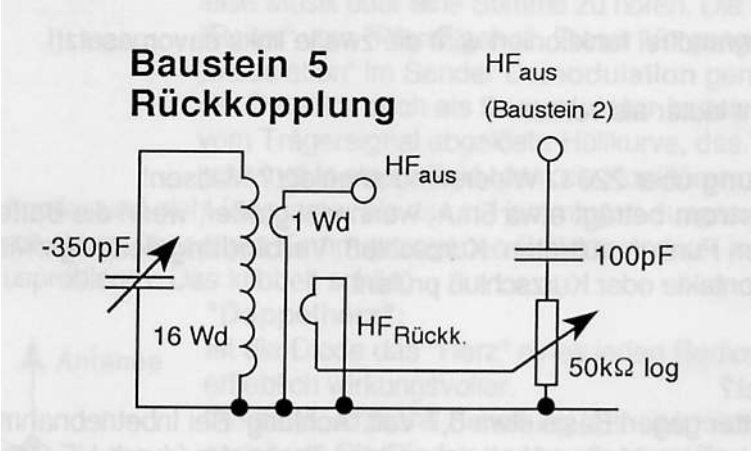


Die Güte und damit Trennschärfe und Empfindlichkeit für schwache Sender lässt sich durch das Hinzufügen einer Rückkopplungswicklung gewaltig erhöhen. Die Rückkopplung bildet den Abschluss unseres Radioprojekts (Baustein 6)

Baustein 6: Die Rückkopplung

Auch die so verringerten Verluste bedämpfen den Kreis noch so stark, dass schwächere Sender nicht zu hören sind. Wir können die Verluste aber kompensieren, indem wir einen Teil der im Baustein 2 verstärkten Hochfrequenzenergie über einen Koppelkondensator mit 100pF und einem Potentiometer mit 50 kΩ log zurück auf den Schwingkreis geben. Dieses Zurückgeben wird **"Rückkopplung"** genannt. Über einen Regler ist die rückzuführende Energie eingestellt werden. Wird zu stark rückgekoppelt, fangen Schwingkreis und HF-Verstärker wie ein Sender an zu schwingen. Die über die Spule abgestrahlte Energie ist in benachbarten Radios zu hören (ein Betriebszustand der tunlichst vermieden werden sollte). Kurz vor dem Schwingungseinsatz ist die Güte und damit Empfindlichkeit und Trennschärfe des Kreises am besten. Der Schwingungseinsatz und der Punkt maximaler Kreisgüte ist abhängig von der gerade eingestellten Frequenz, muss daher in der Praxis für jeden Sender neu eingestellt werden.
Eine besondere Rückkopplungswindung ist in unserem Falle normalerweise nicht erforderlich, es reicht, die Rückkopplungsleitung in die Nähe des Schwingkreises zu bringen.

Wichtig ist, dass diese Leitung, für die einfacher, isolierter Klingeldraht oder Kupferlackdraht ausreicht, nicht wackeln kann. Sonst wird die Rückkopplungseinstellung zu einem Glücksspiel. Meist führt der in der Schaltung angegebene Masseanschluss der Rückkopplungsleitung zu einem Übermaß an Energierückführung und zu ständigem Schwingen. Dann haben Sie statt des Empfängers einen ziemlich unangenehm auf die Nachbarschaft wirkenden Sender gebaut...
Löten Sie die Masseverbindung dann wieder ab und verkürzen Sie die Rückkopplungsleitung soweit, bis es durch Aufregeln des Potentiometers zu einem sauberen, möglichst sanften Schwingungseinsatz kommt.
Sollte umgekehrt beim Aufregeln des Potentiometers kein Schwingungseinsatz zu beobachten sein, so ist die Rückkopplungsleitung zu verlängern und ggf. auf die Schwingkreisspule zu wickeln (Auf richtige Anschlüsse achten! Wenn kein Schwingungseinsatz, Anschlüsse vertauschen!). Evtl. ist auch ein Masseanschluss nötig.
Als Grundregel kann gelten: Im Bereich längerer Wellen, also im unteren Mittelwellenbereich ist die Schwingungsbereitschaft geringer als im Bereich oberhalb 1000 Kilohertz.



Fehlersuche

Was tun, wenn das Gerät oder ein Teil davon nicht funktioniert?
Jede Stufe sollte funktionieren, bevor wir uns an den Bau der nächsten machen!
Da jede der auch räumlich getrennten Baustufen eine Funktionseinheit darstellt, lassen sie sich nach dem Zusammenbau zu Testzwecken auftrennen und einzeln prüfen. Richtig löten, s. Hinweise dazu!. "Kalte" Lötstellen sind an ihrer stumpfen, nicht glänzenden Oberfläche zu erkennen. Sie stellen u.U. hohe Übergangswiderstände dar. "Wackellötungen" sind oft bereits durch Berühren zu erkennen.
Bereits winzige Lötzinnkleckse können zu Kurzschlüssen führen (auch an Bauteilen!).
Aus gebrauchtem Platinenmaterial ausgelötete Bauteile können defekt sein.
Die elektrischen Werte von Bauteilen können u.U. vom aufgedruckten Wert abweichen.

Im Folgenden geben wir einige Parameter wie Spannung und Strom an ausgewählten Messpunkten an, Werte, die mit einem gewöhnlichen Vielfachmessgerät kontrolliert werden können. Ein Oszilloskop ist, wenn vorhanden und wenn man damit umgehen kann, ein nützliches Hilfsmittel, ist aber nicht zwingend notwendig.

Baustein 1: Detektor/Demodulator:

- nichts zu hören

Kopfhörer in Ordnung?
- ablöten und an Batterie testen (muss knacken!) oder
- mit Messgerät auf Durchgang prüfen

Antenne angeschlossen?
- evtl. verlängern
- freies Ende an blanke Metallfläche halten (nicht mit den Fingern berühren!), feuchten Finger auf Platine drücken.

Dioden
- richtig herum eingelötet?
- auslöten und mit Messgerät prüfen: kleinerer Wert (z.B. 4 kΩ) in Durchgangsrichtung), größerer Wert, (z.B. 60 kΩ) in Sperrrichtung, sonst ersetzen

Kondensator
Gleichstromwiderstand muss unendlich groß sein, sonst ersetzen.

Baustein 2: HF-Verstärker:

Zunächst sollte nur eine Transistorstufe auf der rechten Platinenseite aufgebaut und angeschlossen werden!
Erst wenn diese einwandfrei funktioniert wird die zweite links davor gesetzt!

Das Radio wird nicht lauter als vorher

Betriebsspannung über 220 Ω Widerstand angelegt? Messen!
Betriebsgleichstrom beträgt etwa 5mA, wenn viel größer, wenn die Batterie heiß wird oder beim Anschließen Funken auftreten: Kurzschluss. **Verbindungsleitung** zwischen den Baustufen fehlerfrei? Auf Kontakte oder Kurzschluss prüfen!

Transistor
- richtiger Typ?
- richtig eingelötet?
- Spannung Emitter gegen Basis etwa 0,7 Volt. Achtung: Bei Inbetriebnahme des fertigen Bausteins zeigen einige Messgeräte beim rechten Transistor (durch HF-Spannung beeinflusst) andere Werte. Zum Prüfen daher den Koppelwiderstand vor der Basis ablöten!
- Basisgleichstrom zwischen Widerstand 560 kΩ und Basis etwa 9 μA (zum Messen Verbindung auftrennen!)
- Spannung Emitter gegen Collector beträgt etwa halbe Betriebsspannung, die andere Hälfte fällt am Arbeitswiderstand 8,2 kΩ ab.
- Collectorgleichstrom zwischen Plusschiene und Widerstand 8,2 kΩ etwa 0,35 mA (zum Messen Verbindung auftrennen!)

- Oszilloskop: Kleine HF-Spannung an der Basis, große am Collector

Kondensatoren
- richtige Kapazität?
- ggf. auslöten und auf Isolation prüfen

Widerstände
- richtiger Wert? Ggf. auslöten und mit Messgerät prüfen

Baustein 3: Lautstärkeregler:

Nichts zu hören

- Verbindungsleitung zwischen den Baustufen fehlerfrei? Auf Kontakte oder Kurzschluss prüfen!
- Potentiometer intakt? Gesamtwiderstand und Widerstand am Schleiferanschluss mit Messgerät prüfen (letzterer muss sich ändern)
- Potentiometer richtig angeschlossen?

Lautstärke geht bei Rechtsdrehung des Potentiometers zurück

- Zuleitungen vertauscht

Baustein 4: NF-Verstärker

Nichts zu hören
(Wenn der IC heiß wird, sofort abschalten!)

Betriebsspannung angelegt? Messen! Zwischen den IC-Anschlüssen 2/4 und 6 muss die Spannung 9 Volt betragen
Der **Betriebsgleichstrom** beträgt etwa 15mA (Zwischen Spannungsquelle und Plusschiene messen) wenn viel größer : Kurzschluss!
Verbindungsleitung zwischen den Baustufen fehlerfrei? Auf Kontakte oder Kurzschluss prüfen!
Lautsprecher intakt? Ablöten und mit Messgerät auf Durchgang prüfen (Achtung: Gemessener Gleichstromwiderstand hat nichts mit der Impedanz 8 Ω zu tun!)
Kondensatoren
- richtige Kapazität?
- ggf. auslöten und auf Isolation prüfen

Widerstände
- richtiger Wert? Ggf. auslöten und mit Messgerät prüfen
- Wenn bei abgekoppeltem Baustein ein Finger auf Anschluss 3 des ICs gelegt wird, muss es im Lautsprecher brummen oder der Ortssender wird hörbar

Baustein 5: Schwingkreis/Antenne

Nach Einbau nichts zu hören

Drehkondensator intakt? Rotor- oder Statorplatten verbogen?
Auf Isolation prüfen (Zwischen Gehäuse und "heißem" Anschluss darf kein Durchgang auftreten, sonst tritt ein HF-Kurzschluss auf.
Spule intakt?
Auf Durchgang prüfen! Gleichstromwiderstand bei HF-Litze etwa 1,5 Ω, wenn größer Anschlüsse überprüfen, ggf. besser von Lack befreien und "heiß" löten

Ortssender mit Drehkondensator nicht auf maximale Lautstärke abstimmbar

Anschlüsse überprüfen

Radio zu leise

Ggf. Anschlüsse der Koppelspule vertauschen (Die "heißen" Ende der beiden Spulen müssen übereinstimmen).

Baustein 6: Rückkopplung

Empfänger pfeift auch bei aufgedrehter Rückkopplung nicht

Potentiometer richtig angeschlossen?
Rückkopplungsschleife verlängern und näher an die Schwingkreisspule bringen. Ggf. für Masseanschluss sorgen.
Evtl. Rückkopplungsleitung auf Spulenkörper aufbringen
Evtl. Koppelkondensator durch höhere Kapazität ersetzen (versuchsweise >100pF parallel schalten)
Potentiometer in Ordnung? Ausbauen und mit Messgerät prüfen

Schwingungseinsatz zu hart, Empfänger lässt sich nicht auf maximale Empfindlichkeit regeln

Rückkopplungsschleife kürzen und weiter von der Schwingkreisspule entfernen
Ggf. Koppelkondensator durch kleinere Kapazität ersetzen

Ingo Mennerich (DL 4 AT)
nach Vorlagen von Manfred Reimann (DL 6 OBJ),
November 1996
2., leicht überarbeitete Auflage: November 2003

Einkaufsliste:

(Preise berechnet für ein Gerät! Grundlage CONRAD-Katalog 1995)

	Bauteil	Preis (ca.)	alternativ
1×	Platine: Europakarte (einseitig beschichtet)	1,50	Kupferblech
2×	Isolierter Schaltdraht (rot, blau) 0,75 mm, Ring 10m DM 5,80	0,50	aus Elektronikschrott
	Schweißdraht 1mm	1,00	
1×	Kupferlackdraht, 0,5 mm, Ring 23 m DM 3,70	0,30	aus Trafos
	abgeschirmte Litze (Koax) 50 Ω, 1m	1,25	
2×	Potentiometer 50 KΩ log mit Drehknopf DM 1,95	3,90	
1×	Lautsprecher 8 Ω, 100 mW , 50 mm	3,95	aus alten Radios etc.
1×	Rundfunkdrehkondensator (- 300 pF) mit Drehknopf (Kunststoff), Fa. OPPERMANN Sachsenhagen	4,00	aus alten Radiogeräten
1×	Grundplatte: Holz (z.B. Multiplex) 30 × 20 × 2 cm	2,00	Restposten, Altholz
1×	Vorderfront :Hartfaser 30 × 15 cm	0,40	Restposten
1×	Träger für Rahmenantenne: Hartfaser 10 × 10 cm	0,05	Restposten
6×	Mignonzellen 1,5 Volt oder eine 9 Volt Blockbatterie/-akku, Halterung oder Clip	6,00	ersatzweise 9V Gleichspannung aus Netzgerät
1×	Kippschalter (einpolig)	3,60	muß nicht sein, aus alten Geräten ausbauen

Widerstände (1/4 Watt Kohleschicht)

1×	12 Ω	0,15	aus alten Platinen
1×	220 Ω	0,15	aus alten Platinen
2×	8,2 KΩ	0,30	aus alten Platinen
2×	560 KΩ	0,30	aus alten Platinen

Kondensatoren (>16V)

3×	100 pF (keramisch)	0,90	aus alten Platinen
1×	1 nF (Styroflex)	1,45	aus alten Platinen
4×	100 nF (keramisch)	1,40	aus alten Platinen
2×	47 nF (keramisch)	1,40	aus alten Platinen
1×	10 µF (Elko)	0,35	aus alten Platinen
2×	220 µF (Elko)	0,60	aus alten Platinen

Halbleiter

2×	HF-Dioden AA 143 o.ä.	1,70	aus alten Platinen
2×	Transistoren BF 224 B	3,10	aus alten Platinen
1×	IC LM 386	1,95	

Gesamtkosten 42,20

Werkzeug:
Lötkolben 30W, Lötzinn, (Klein-)Bohrmaschine mit 2 mm Bohrer, Schraubendreher, Laubsäge, Fuchsschwanz, Zangen, Schere

Messgeräte:
Vielfachmessgerät (Spannung, Strom, Widerstand)