

Das Kurzwellen-Audion; neu aufgelegt mit "Open source Hardware"

Edgar Müller HB9TRU (*edgar-muller@bluewin.ch*) und Mathias Weyland HB9FRV (*hb9frv@uska.ch*)

Das Audion war früher eine verbreitete Empfängerschaltung, die sich durch ihre Einfachheit und die Durchschaubarkeit der dahinterstehenden physikalischen Prinzipien auszeichnet. Im Wesentlichen besteht das Audion aus einem mehr oder weniger kritisch eingestellten Oszillator und einem nachfolgenden NF-Verstärker. Trotz seiner Einfachheit ist das Audion äusserst empfindlich und ermöglicht die Demodulation von AM, CW und SSB-Signalen. Heute ist diese Schaltung zugunsten der Überlagerungsempfänger («superhet») und des SDR («software-defined radio») annähernd in Vergessenheit geraten; sie ist aber für Eigenbauprojekte nach wie vor attraktiv. Leider gibt es heute in HB keine Mittelwellensender mehr, und die noch existierenden AM-Sender sind geographisch zu weit entfernt, um genügend Signal für einen Detektor-Empfänger zu liefern. Ferner existieren die früher dazu gebrauchten Bauteile (Germanium-Spitzendiode, Luft-Drehkondensator, 2x 2k-Telefon-Kopfhörer) heute praktisch nur noch im Museum.

Das Kurzwellen-Audion

Auf der Suche nach einer Antwort auf die Frage, wie man, im Ziel der **Jugendförderung**, mit den heute verfügbaren Bauteilen ein Radio basteln kann, das auch auf weiter entfernte Sender anspricht, dessen Arbeitsweise physikalisch durchschaubar ist, und das zudem bei einem vertretbar geringen Schaltungsaufwand ein «Whw»-Erlebnis liefert, ist Edgar auf das **Kurzwellen-Audion** von Burkhard Kainka, DK7JD, gestossen. Burkhard Kainka war als Physiklehrer tätig; er ist auch Autor vieler Publikationen und Bausätze auf dem Gebiet der praktischen Elektronik (Franzis-Verlag), und er ist noch stets Mitarbeiter von «Elektor». Ferner unterhält er eine interessante und inspirierende Webseite¹.

HB9TRU hat in der Folge Burkhard Kainkas *Audion* (das auf seiner Webseite beschrieben ist²) leicht modifiziert übernommen und mit einem aus Komplementär-Transistoren aufgebauten «Daisy-Chain»-NF-Verstärker seiner eigenen Konzeption³ kombiniert, der mit wenig Bauteilen und bei niedriger Versorgungsspannung trotzdem eine hohe Verstärkung liefert:

Zelle betrieben (1.2 bis 1.5 V). Im Betrieb zieht sie 15 mA Strom und arbeitet mit den gängigen dynamischen 2 x 25 Ω bis 2 x 32 Ω Kopf- oder Ohrhörern.

Links im Schaltbild erkennt man Burkhard Kainkas Emitterfolger-Audion mit dem Transistor T1, dessen Basis am frequenzbestimmenden LC-Schwingkreis liegt. T1 bildet mit dem LC-Schwingkreis einen Dreipunkt-Colpitts-Oszillator, da sein Emitter, wegen der Reihenschaltung seiner internen Basis-Emitter-Kapazität C_{BE} und der extern zugeschalteten Kollektor-Emitter-Kapazität C1 (47 pF), ebenfalls im Schwingkreis liegt.

Die Empfangsfrequenz wird ausschliesslich durch den LC-Parallelkreis bestimmt, gemäss der physikalischen Formel:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

Die Resonanzfrequenz kann mit einem variablen Kondensator (Drehkondensator) C_{v1} (etwa 100 pF) eingestellt werden. Zur Feinabstimmung ist auch noch eine Frequenzlupe C_{v2} vorgesehen; diese besteht aus einem

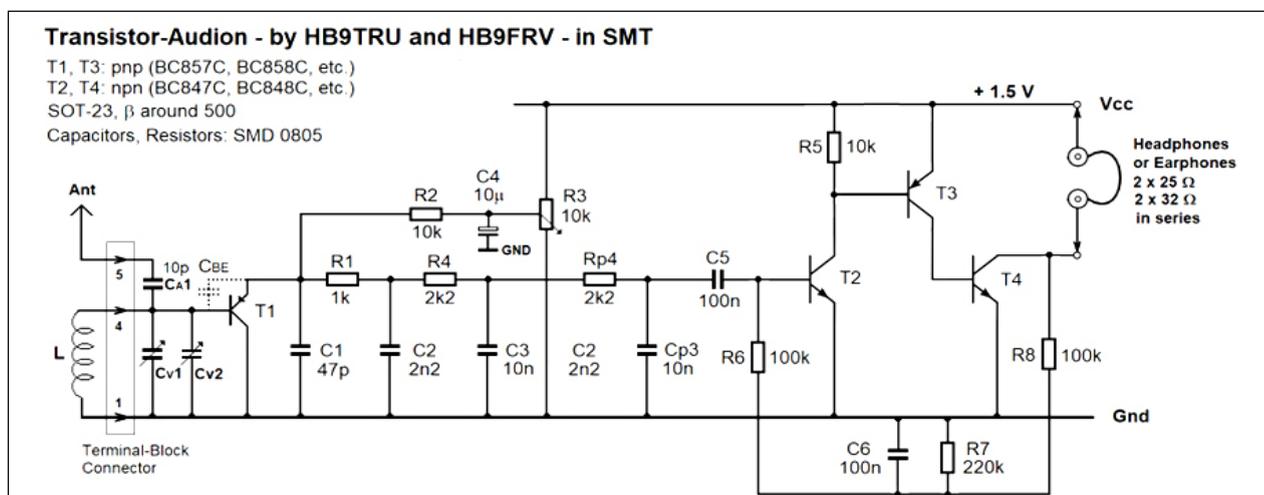


Abbildung 1: Schaltschema des Transistor-Audions

Die Schaltung⁴ (Abb. 1) kommt mit vier Transistoren vom C-Typ (β etwa 500) aus und wird aus einer einzigen AAA-

6-pF-Trimmkondensator mit aufgesetztem Rändel. In der Formel ist L die Induktanz der Spule, und C die Ge-

samtkapazität aus Drehkondensator C_{V1} , Frequenzlupe C_{V2} , und der Serienschaltung von C_{BE} und C1.

Über den Widerstand R2 (10 k Ω) wird dem Transistor T1 eine einstellbare, an R3 generierte Betriebsspannung zugeführt. Die Gegenseite von R2 liegt für Audiofrequenzen über C4 (10 μ F) an Masse. Der 10 k Ω -Widerstand R2 ist damit für Audiofrequenzen der Arbeitswiderstand (Ausgangswiderstand) von T1. Dieser Tatsache muss beim Design der Audio-Filter Rechnung getragen werden.

Für Hochfrequenz wirkt jedoch bloss der über den 2.2-nF-Kondensator C2 an Masse liegende 1-k Ω -Widerstand R1 als Arbeitswiderstand des Transistors. Der *Colpitts-Oszillator* ist in der Emitterfolger-Schaltung stark gekoppelt, woraus sich beim Erreichen der kritischen Basis-Emitter-Spannung ein sehr saches Einsetzen der Schwingungen ergibt. Durch entsprechendes Einstellen von R3 kann somit die Dämpfung des LC-Kreises graduell vermindert werden, was die Empfindlichkeit und die Selektivität des *Audions* für eintreffende Radiowellen graduell erhöht. R3 kann auch zur Minderung der Audio-Intensität allzu starker AM-Sender dienen.

AM-Sender, die einen HF-Träger mit einem oder zwei informationstragenden Seitenbändern ausstrahlen, werden an der nichtlinearen Basis-Emitter-Diode von T1 inhärent demoduliert, und das resultierende NF-Signal ist dann am Emitter-Widerstand R2 verfügbar.

Zur Demodulation von **CW- oder SSB-Sendern** muss das *Audion* selbst schwingen, um den fehlenden HF-Träger zu ersetzen. Dazu wird R3 hinter den Einsatzpunkt der Schwingungen eingestellt, derart dass ein genügend starkes Lokaloszillatorsignal (BFO-Signal) entsteht. Das nun verfügbare BFO-Signal mischt in der Basis-Emitter-Diode von T1 mit dem empfangenen CW- oder SSB-Signal zu einem hörbaren Audio-Output. Die Empfängerspule sollte dabei mechanisch stabil sein, und die BFO-Frequenz sollte auf die korrekte Seite und im richtigen Abstand zum SSB-Signal eingestellt werden. Dabei ist Fingerspitzengefühl nötig, denn es geht hier um einige 10 Hz! Die Frequenzlupe, und manchmal sogar der Empfindlichkeitsregler (der ebenfalls auf die Basis-Emitter-Kapazität C_{BE} wirkt) erweisen sich beim SSB-Empfang als nützlich, wenn es um die korrekte Feinabstimmung geht.

Das an R2 anfallende Audiosignal (T1 wirkt hier als Spannungsquelle) geht durch drei aufeinanderfolgende Tiefpassfilter (R2-C2, der 1-k Ω -Widerstand R1 ist vernachlässigbar; R4-C3; und Rp4-Cp3), jedes mit einer Eckfrequenz von 7.2 kHz, zur möglichst vollständigen Entfernung von verbleibender Hochfrequenz, die den Eingang des nachfolgenden Audio-Verstärkers verstopfen würde, insbesondere beim Empfang von SSB- oder CW-Signalen, wo das *Audion* selbst schwingt.

Der nachfolgende NF-Verstärker besteht aus einer galvanisch gekoppelten pnp-npn-pnp-Kette von hintereinandergeschalteten Komplementärtransistoren in Emitter-Schaltung. Sein korrekter Arbeitspunkt wird durch ein

RC-Netzwerk (bestehend aus R6, C6, R7, und R8) von der Ausgangsspannung des Verstärkers abgeleitet, derart dass die Ruhespannung am Ausgang etwa der halben Versorgungsspannung (0.7 bis 0.8 V) entspricht. Die Stromverstärkung (β) der verwendeten Transistoren ist dabei hoch, in der Gegend von 500, und der Ruhestrom des Verstärkers auf eine 50- Ω -Last beträgt 15 mA bei 1.5 V Versorgungsspannung. Der Ausgangstransistor T4 wird direkt vom Kollektor von T3 gespeist, der als Stromquelle wirkt. T4 arbeitet daher linear, und sein Kollektor kontrolliert den Strom durch den Kopfhörer oder Ohrhörer, die dadurch ebenfalls linear arbeiten. T2 und T3, andererseits, arbeiten im Kleinsignalbereich ($\Delta U/V_{th} = \Delta U/26 \text{ mV} \ll 1$) und sind damit ebenfalls linear. Ein Kollektorwiderstand von 10 k Ω (R5) bei T2 ist jedoch nötig, um seine Spannungsverstärkung in einen vernünftigen Bereich zu bringen und eine Übersteuerung zu vermeiden.

Dieser Verstärker ist absolut stabil, trotz der eher unüblichen Betriebsbedingungen für die Transistoren. Beim Ausziehen des Kopf- oder Ohrhörers schaltet der NF-Verstärker zudem vollständig ab, da er keine Vorspannung mehr erhält. Der Stromkonsum der *Audion*-Stufe (0.15 mA durch das 10-k Ω -Potentiometer) bleibt hingegen bestehen, und kann auf die Dauer die Batterie entleeren. Es empfiehlt sich deshalb, für ein langfristiges Abschalten des *Audions*, ebenfalls die Batterie aus der Halterung zu nehmen.

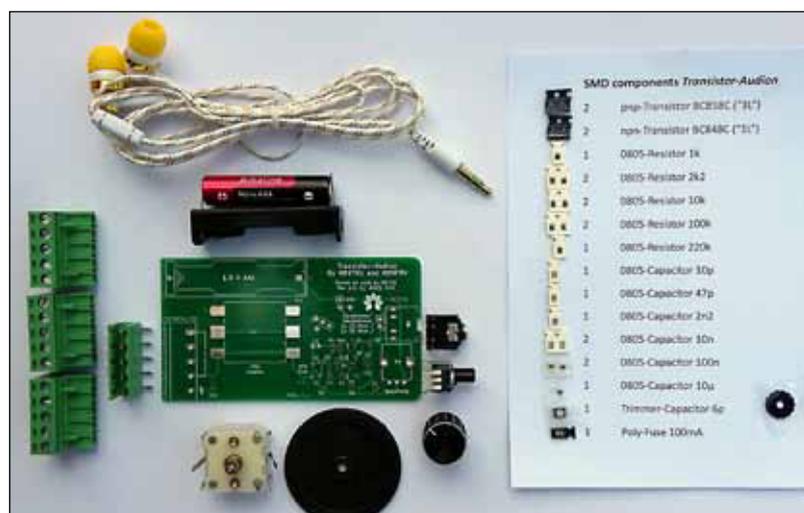


Abbildung 2: Bausatz

Aufbau

Im praktischen Aufbau ist noch eine Tücke zu meistern: nämlich die **vagabundierende Hochfrequenz**! Ein klassischer Aufbau auf einer Lochrasterplatine wäre daher nicht von Erfolg gekrönt; anstatt eines Radioempfängers erhielte man derart bloss ein pfeifendes und jaulendes «*Theremin*», das bei jeder Handbewegung seine Tonhöhe ändert. Abhilfe bietet da der Aufbau im «**dead-bug**»-Stil auf einer verkupferten Basisplatte, die auf Grundpotential liegt und die Schaltung vor elektrischen Störfeldern abschirmt. Alternativ dazu kann man die Schaltung in «**surface mount technology**» (SMT) auf einem doppelseitigen PCB

aufbauen, worin die verkupferte Rückseite des für die nötige Abschirmung sorgt. Um den Nachbau zu erleichtern, entschieden wir uns für die SMT-Ausführung mit Bauteilen der Grösse 0805 und stellen ebenfalls ein entsprechendes Kit mit PCB (**Abb. 2**) bereit.

Da das Radio der *Jugendförderung* gewidmet ist, sind Spule und Antenne experimentell gestaltet und dem Benutzer überlassen. Der Anschluss der Spule erfolgt über eine auf dem PCB angelötete handelsübliche **5-polige 5.08 mm-Pitch Terminal-Block-Buchse** und den **dazugehörigen Schraub-Stecker**, der die Spule trägt. Die 5 Pole ergeben eine mechanisch solide Lötverbindung zur Platine; Pol 1 und Pol 4 liegen dabei am Drehkondensator, und Pol 5, für die Antenne, liegt über einen 10 pF-Kondensator an Pol 4. Pol 2 und Pol 3 sind unbenutzt und dienen bloss der mechanischen Befestigung. Am dazugehörigen Schraubklemmen-Stecker kann der Benutzer beliebige Spulen und Rahmenantennen zwischen Pol 1 und Pol 4 an die Schraubklemmen anschliessen, sowie Drahtantennen an Pol 5. Durch Verwendung mehrerer solcher Stecker können verschiedene Spulen und Rahmenantennen für verschiedene Radiobänder hergestellt werden; die Band-Umschaltung erfolgt dann durch ein einfaches Wechseln der Spule.

Materialquellen

Das verwendete Material ist handelsüblich und kann z.B. bei Mouser, oder aus China (*LCSC Electronics* u.a.), bezogen werden. Auf der Projektwebseite ist eine Stückliste verfügbar. Darüber hinaus sind einige Spezialteile notwendig, die ebenfalls leicht zu beschaffen und im Folgenden näher beschrieben sind:

Als Drehkondensator C_{V1}

kann der noch stets aus chinesischer Quelle erhältliche CBM-443BF oder der CBM-443DF (mit etwas höherer Kapazität) dienen. Diese Drehkondensatoren haben vier eingebaute Kondensator-Pakete, je zwei für AM und zwei für FM; sie wurden früher in *Japan-Typ*-Transistorradios verwendet, und sind noch stets erhältlich, z.B. auf Aliexpress. Stellräder mit Schraube dazu sind ebenfalls noch auf Aliexpress u.a. erhältlich. Für unser Projekt schalten wir je ein AM- und ein FM-Paket in Parallel zusammen, und die beiden Kombi-Pakete hintereinander in Serie. Es resultiert ein Drehkondensator, der einen Bereich von etwa 25 pF bis 100 pF überstreicht, was sich gut eignet für das gegenwärtige Projekt.

Als Frequenzlupe

dient der 6-pF-Trimmerkondensator TZC3Z060A110A von Murata, der zwar nicht mehr in Produktion ist, sich aber noch stets in grossen Mengen im Handel befindet, z.B. bei Mouser oder auf Aliexpress. Ein Bedienungsrädchen mit Loch im Zentrum, das mit etwas Loctite auf die Stellschraube des Trimmers geklebt werden kann, kann leicht aus 1-mm-Pertinax o.ä. ausgeschnitten werden. Ein Laserschnittmuster für ein solches Rädchen ist auf der Projektwebseite verfügbar.

Der Knopf für das Empfindlichkeits-Potentiometer ist ebenfalls handelsüblich.

Zu den Spulenantennen, siehe im nachfolgenden Paragraphen.

Als dynamische Ohrhörer oder Kopfhörer können ebenfalls gängige, handelsübliche Modelle mit Impedanzen zwischen 2x 24 Ω und 2x 32 Ω zum Einsatz kommen, wie sie u.a. für Mobiltelefone gebraucht werden.

Antennen

Antennenspulen können, wie unten gezeigt, aus isoliertem 1.5-mm-Kupferdraht gefertigt werden. Zu diesem Zweck kann lackisolierter Wickeldraht, wie er für Motorenwicklungen dient, verwendet werden, oder auch PVC-isolierter 1.5-mm²-Elektroinstallationsdraht. Für eine 40-m-Band-Spule braucht man 170 cm davon. Das Drahtstück wird zu einer kreisförmigen 3-Windungs-Spule gebogen und provisorisch mit um die Windungen gewickelten Schaltdrahtstücken zusammengehalten. Die beiden Drahtenden werden um 90° nach aussen gebogen, abisoliert, und in den Anschlüssen 1 und 4 des Terminal-Block-Schraubsteckers fixiert. Zum Schluss wird die Spule in die richtige Form gebracht und mit Isolierbandstücken definitiv fixiert (**Abb. 3**).

Auf diese Weise können Spulen mit grösserem oder kleinerem Durchmesser, und mit mehr oder weniger Windungen hergestellt werden. Bei einer Antennenspule ergibt der grösstmögliche Durchmesser die beste Empfangsleistung, aber die Spule wird dadurch auch weniger handlich. Man wird daher meistens für einen Kompromiss zwischen Spulendurchmesser und Empfangsleistung optieren. Während des Empfangs, vor allem von SSB und CW-Signalen (Funkamateure!), sollte die Spule ruhig stehen oder liegen (keine Bewegung, kein Zittern), um die Empfangsfrequenz, bzw. die BFO-Frequenz, stabil zu halten.

Eine **externe Drahtantenne** (etwa 5 bis 10 m, kann auch länger sein) kann mit Anschluss 5 des Terminal-Block-Schraubsteckers verbunden werden. Dies kann in einer elektrisch ruhigen, ländlichen Umgebung von Vorteil sein. In einer elektrisch stark verseuchten, städtischen Umgebung, oder im Innern von Häusern, ist jedoch eine Antennenspule von Vorteil, weil solche *«Magnetfeldantennen»* viel weniger empfindlich sind auf elektrische Störfelder als Drahtantennen. Zudem erlaubt es die richtungsempfindliche Antennenspule, Störsignale auszuschalten durch eine geeignete Orientierung der Spule im Raum. Sehr oft ergibt dabei eine horizontale Orientierung der Spule das beste Resultat.

Nachbau

Der Nachbau des Transistor-Audions ist relativ einfach und ebenfalls auf der Projektwebseite⁵ ausführlich beschrieben. Zusammengefasst: Zuerst werden alle SMD-Bauteile mit einem temperaturkontrollierten LötKolben und einer Pinzette (z.B. VETUS® ESD-16) aufgelötet. Hierbei ist feiner Lötendraht (0.3 mm oder 0.5 mm) mit Flussmittelkern empfohlen. Eine 10-prozentige Lösung von



Abbildung 3: Zwei Spulen mit je 3 Windungen, aus isoliertem Kupferdraht gewickelt (siehe Text)

Kolophonium in Isopropanol, eine gute Arbeits-Tischlupe oder Binokularlupe, ein Papiermesser, eine Entlötpumpe, und ein Impedanzmeter in Pinzettenform sind ebenfalls nützlich. Die «Interactive BOM» auf der Webseite⁵ erlaubt es, den richtigen Ort für jedes Bauteil rasch zu finden und die Übersicht über bereits montierte und noch einzusetzende Bauteile zu behalten.

Anschließend werden die klassischen «through-hole»-Bauteile mit 1 mm Lötendraht mit Flussmittelkern festgelötet. Beim Drehkondensator werden die sechs Anschlussfahnen L-förmig nach unten gebogen und gekürzt, so dass sie auf die 6 «Landflächen» auf dem PCB passen. Der Drehkondensator wird an diesen 6 Landflächen satt auf das PCB gelötet; die Anschlüsse dienen ebenfalls dazu, den Drehkondensator mechanisch solide auf dem PCB zu befestigen. Beim Batteriehalter ist auf die Polarität zu achten (es gibt eine «+» und eine «-»-Seite). Schliesslich werden wie üblich die überstehenden Drahtenden gekürzt und die Endmontage vollzogen (Stellräder aufsetzen/kleben usw.). Fertig!

Bedienung

Zur Inbetriebnahme wird eine AAA-Batterie eingesetzt und ein 2x 25 Ω oder 2x 32 Ω Kopfhörer oder Ohrhörer eingesteckt, sowie eine Spule für den gewünschten Frequenzbereich. Am besten stellt man nun das Stellrad des Drehkondensators ganz ans linke Ende (tiefste Frequenz) und dreht den Empfindlichkeitsregler langsam auf, bis eine plötzliche Zunahme des Rauschens hörbar wird. Dies ist der Einsatzpunkt der Schwingungen, wo die Empfindlichkeit am höchsten ist. Jetzt kann man das Band mit dem Drehkondensator langsam abschannen; an einigen Stellen hört man «Blips», d.h. HF-Träger, oder verzerrte Sprache. Dies kann ein AM-Sender sein; Zurückdrehen des Empfindlichkeitsreglers bis zum Punkt, an welchem die Schwingungen aufhören, entfernt die Verzerrung, und der Empfänger kann nun auf den AM-Sender abgestimmt werden, wie auch auf andere AM-Stationen daneben. Meistens ist eine iterative Feinabstimmung von Frequenz und Empfindlichkeit nötig, denn der Einsatz der Schwingungen hängt etwas von der Frequenz ab.

Für den Empfang schwacher AM-Sender ist es manchmal nötig, den Empfindlichkeitsregler etwas in den Einsatz-

bereich der Schwingungen zu stellen, wo man ein starkes Pfeifen hört, das aus der Überlagerung des AM-Trägers mit dem BFO resultiert. Jetzt wird die Frequenz fein abgestimmt, so dass der BFO auf den AM-Träger zu liegen kommt; der BFO synchronisiert dann mit dem Träger, und man hört bloss noch das demodulierte AM-Signal.

Für den Empfang von CW oder SSB-Stationen (Funkamateure!) muss der Empfindlichkeitsregler etwas weiter in den Schwingungsbereich gestellt werden, so dass der BFO nicht mehr mit Trägersignalen synchronisiert, und neben ein CW oder SSB-Signal gestellt werden kann. Zur Demodulation von LSB muss der BFO frequenzmässig leicht über das Signal gestellt und so abgestimmt werden, dass weder «Mikey Mouse»- (BFO zu hoch), noch «Scrambler»-Stimmen (BFO zu tief) entstehen. Für die Demodulation von USB muss der BFO frequenzmässig leicht unter das Signal gestellt und analogerweise abgestimmt werden. Weil das Audio-Filter des Empfängers relativ weit ist (7.2 kHz beidseitig des BFO), kann man häufig neben der demodulierten Station noch andere, danebenliegende Stationen in «Mikey Mouse» oder «Scrambler» hören. Im Hausinnern führen Betonwände häufig zu einer starken Abschirmung der Signale. Brauchbarer Kurzwellenempfang mit der Antennenspule ist meistens in Fensternähe möglich. Der beste Ort für Kurzwellenempfang ist jedoch die freie Landschaft, insbesondere auf Bergspitzen. Die Versuchung liegt daher nahe, diesen Empfänger auch auf einer Bergwanderung auszuprobieren.

Lizenz

Dieses Projekt ist öffentlich unter der CCO Lizenz verfügbar, um Nachbau und Verbesserungen möglichst einfach und niederschwellig zu halten. HB9FRV hat die Schaltung von HB9TRU mit der freien Platinenlayout-Software «KiCad» auf ein PCB gebracht. Auf der Projektwebseite⁵ sind diese Unterlagen, zusammen mit Gerber-Files und weiteren Unterlagen, frei verfügbar. Wer Interesse an einem Kit hat, kann die Autoren sehr gerne kontaktieren.

Das **Titelbild des vorliegenden HRadio** zeigt das fertig montierte Transistor-Audion mit einer Spule für das 15-m-Band (1 Windung; 28 cm Durchmesser).

Quellen, Links

¹ <https://b-kainka.de/>; <https://www.b-kainka.de/bastel0.htm>

² <https://www.elektronik-labor.de/HF/KWaudion20.html>

³ Da keine Publikation dieses Verstärkertyps zu finden war, hat HB9TRU ihn durch eine eigene Publikation in «*Research Disclosure*» **gemeinfrei** gestellt: www.researchdisclosure.com: **Questel Research Disclosure; Disclosure Nr. 701023, Complementary Bipolar-Junction-Transistor (BJT) Daisy-Chain-Amplifier, 01.08.2022.**

⁴ HB9TRU stellt hiermit die gesamte hierin publizierte Schaltung ebenfalls **gemeinfrei**.

⁵ Projektwebseite mit Platinenlayout (KiCad), Gerber-Files, Bestückungsplan etc.: <https://github.com/USKA-FOS/HB9TRU-Transistor-Audion>