

Radio Natur

Den Planeten Erde bei sehr langen Wellen belauschen

Elektromagnetische Vorgänge in der Atmosphäre und der Magnetosphäre der Erde erzeugen Signale im Bereich der akustischen Frequenzen. Diese niederfrequenten Radiowellen umgeben uns ständig, jedoch besitzen wir kein Sinnesorgan, um sie wahrzunehmen. Ein einfacher selbst gebauter Empfänger öffnet das Tor zu dieser neuen Welt. Mit ihm lassen sich sogar Radiosignale aus dem nahen Weltraum hören.

Von Joachim Köppen

Das elektromagnetische Spektrum umfasst einen riesigen Wellenlängenbereich. Er erstreckt sich von den extrem kurzwelligigen Gamma- und Röntgenstrahlen mit Wellenlängen von weniger als einem zehntel Nanometer, vergleichbar dem Durchmesser eines Atoms, über das Ultraviolette, das sichtbare Licht und das Infrarote bis hin zu den Radiowellen, mit Wellenlängen von Millimetern bis mehreren Kilometern. Zur Charakterisierung von Radiosignalen werden anstelle von Wellenlängen heute zumeist Frequenzen angegeben. Die heute genutzten Radiofrequenzen liegen zwischen 30 Hertz und 300 Gigahertz. Die untere Grenze dieses Frequenzspektrums liegt im Bereich der akustischen Wellen.

Im Unterschied zum menschlichen Hören werden hier die Signale jedoch nicht durch mechanische Schwingungen der Luft übermittelt, sondern durch elek-

tromagnetische Wellen, die sich durch den leeren Raum ausbreiten können und für die wir kein Sinnesorgan besitzen. Aus diesem Grund wurde erst im 19. Jahrhundert entdeckt, dass unsere Erde am unteren Ende des Radiospektrums, bei Frequenzen von einigen zehn bis hundert Kilohertz, natürliche Radiosignale aussendet. Damals nahmen Ingenieure erste Überlandleitungen für Telegrafen in Betrieb. Dabei stellte sich heraus, dass Telegrafengeräte bei Gewitter von alleine zu klappern begannen, weil die Radiowellen der Blitze in den Leitungen Spannungen induzierten.

Auch bei den später installierten Telefonleitungen und bei den ersten Funkverbindungen vernahmten die Teilnehmer solche Störungen als Krachen und Pfeifgeräusche. Man nannte sie »atmosphärische Störungen«. Als Soldaten in den Schützengräben während des Ersten Weltkriegs versuchten, mit empfindlichen Empfängern

die Telefongespräche der anderen Seite zu belauschen, hörten sie manchmal Pfeifgeräusche wie von heranfliegenden Granaten, obwohl überhaupt nicht geschossen wurde. In den folgenden Jahrzehnten erkannten Wissenschaftler und Ingenieure diese Phänomene als Radioemissionen der Atmosphäre, die für die Erforschung der Ionosphäre und des erdnahen Weltraums eine große Bedeutung erlangten.

Da sich der VLF-Bereich der Radiowellen (*Very Low Frequencies*) mit dem Frequenzbereich des menschlichen Hörsinns überschneidet, eignet er sich am besten, um die natürlichen Radioemissionen der Erde zu beobachten. Aber auch bei tieferen Frequenzen, in den Bereichen SLF (*Super Low Frequencies*) und ELF (*Extra Low Frequencies*) gibt es interessante Phänomene, die sich dem Amateur mit Unterstützung durch Computer eröffnen (siehe Kasten auf S. 72). Der VLF-Bereich ist somit der erste Schritt in eine neue Welt.



Foto: Marc-André Besel/Inset: Joachim Köppen



Der Aufbau eines VLF-Empfängers

Zum Empfang der Signale im VLF-Bereich nutze ich einen selbst gebauten Empfänger, der mit einer Antennenbuchse, einem Ohrhörer, einer Teleskopantenne und einem einfachen Kassetten-Tonbandgerät mit Kabel ausgerüstet ist. All dies ist leicht und passt in jeden Rucksack.

Der Empfänger ist nichts weiter als ein empfindlicher Tonfrequenzverstärker – jedoch mit hohem Eingangswiderstand wegen der im Vergleich zur Wellenlänge sehr kurzen Antenne sowie mit Filtern gegen störende Radiosignale von Funkdiensten. Das von der Antenne empfangene Signal gelangt zu einem Filter, der nur Signale »tiefer« Frequenzen passieren lässt, deren Frequenzen unterhalb einer gewünschten Maximalfrequenz liegen. In meinem Empfänger lässt dieses Tiefpassfilter die Signale des VLF-Bereichs hindurch und unterdrückt die bei höheren Frequenzen sendenden Radiostationen des Lang- und

Mittelwellenbereichs. Transistoren, die ich in meiner Bastelkiste fand, arbeiten als Signalverstärker.

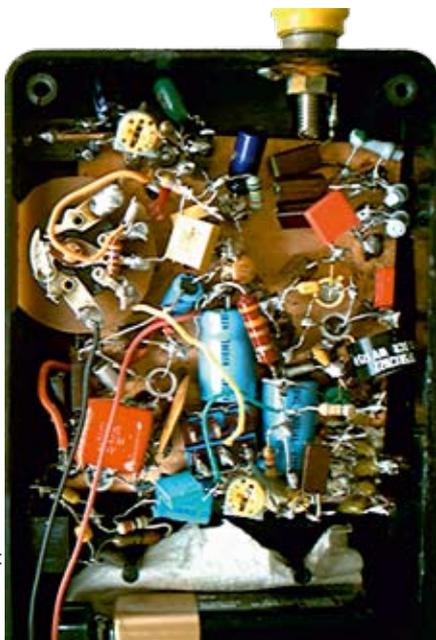
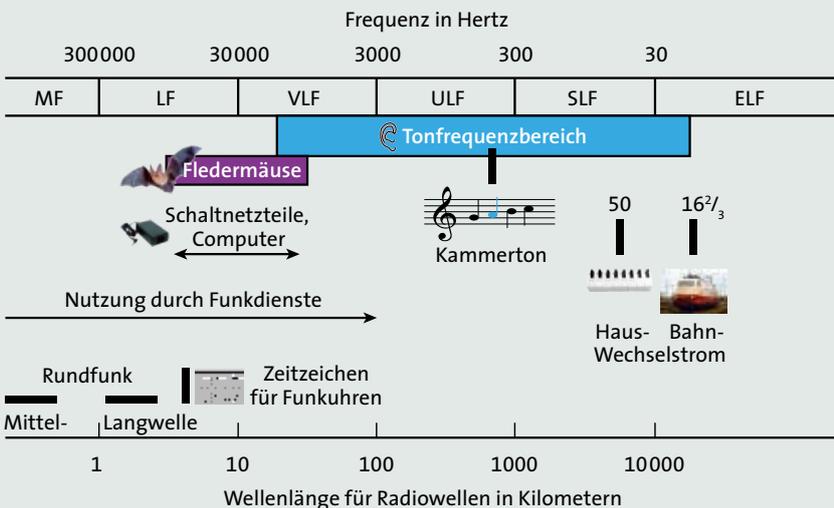
Ein weiteres Tiefpassfilter schwächt Signale mit Frequenzen von mehr als zehn Kilohertz stark ab und lässt nur Signale niedrigerer Frequenzen hindurch. Auf diese Weise lässt sich verhindern, dass die mitunter starken Signale des bei 100 Kilohertz ausgestrahlten weltweiten Navigationssystems LORAN (*Long Range Navigation*) oder die Signale der im VLF-Bereich sendenden Funkdienste in den Empfänger gelangen und hier Störungen verursachen. Unerwünscht ist auch das in der Nähe von Gebäuden und Straßenlaternen stets vorhandene Netzbrummen um 50 Hertz. Mein Empfänger unterdrückt es durch ein wahlweise einschaltbares Hochpassfilter, welches nur Frequenzen höher als 50 Hertz hindurch lässt.

Das Innenleben meines Empfängers gestaltet sich recht einfach (siehe Bild

Gewitterblitze sind nicht nur eindrucksvoll für das Auge, sie senden auch intensive Radiowellen aus. Im Lautsprecher eines handelsüblichen Radiogeräts sind sie als Knistern oder Krachen hörbar. Darüber hinaus lösen Blitze innerhalb der Erdmagnetosphäre eine Vielfalt weiterer Radiosignale aus, die sich mit einem selbst gebauten Längstwellenempfänger nachweisen und aufzeichnen lassen. Im obigen Beispiel besteht er aus einer rund 50 Zentimeter langen Antenne, einem Ohrhörer und einem Aufnahmegerät.

Die Tiefen des elektromagnetischen Spektrums

Der langwelligste Teil des elektromagnetischen Spektrums umfasst Wellenlängen zwischen einem Kilometer und 10 000 Kilometern, entsprechend Frequenzen zwischen 300 Kilohertz und 30 Hertz. International gebräuchlich sind die eingezeichneten Unterteilungen in Frequenzbänder. Darin steht der Buchstabe F jeweils für »Frequency«. M, L, V, U, S und E stehen für »Medium«, »Low«, »Very«, »Ultra«, »Super« beziehungsweise »Extra«. Funkdienste in den tieferen Frequenzbändern nutzen die Bereiche MF und LF. Der VLF-Bereich (Very Low Frequencies) überschneidet sich mit dem Frequenzbereich des menschlichen Hörens.



Das Innenleben des selbst gebauten VLF-Empfängers enthält gebrauchte Bauteile, die durch Punkt-zu-Punkt-Verdrahtungen verbunden wurden. Viele der hier benötigten Teile können aus alten Elektronikgeräten ausgelötet werden. Oben rechts am Gehäuse befindet sich der Ausgang für das Tonbandgerät, am unteren Bildrand eine Blockbatterie zur Stromversorgung.

auf S. 72 unten). Der Aufbau erfolgte über einer kupferkaschierten Platine als Maschfläche einfach durch Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung. Wegen meines vielfachen Experimentierens und Umbauens entstand eher ein schreckliches Gewirr als eine Schaltung, worunter die Funktionstüchtigkeit des Geräts jedoch keineswegs leidet.

Der Rest des Empfängers umfasst einen gewöhnlichen Verstärker für den Tonfrequenzbereich, mit dem sich ein kleiner niederohmiger Lautsprecher oder Ohrhörer betreiben lässt. Man könnte auch handelsübliche integrierte Schaltkreise verwenden, jedoch bevorzugte ich es, Einzeltransistoren zu verarbeiten, die ich in meiner Bastelkiste fand. Ein Regler für die Lautstärke ist vorhanden, ebenso wie ein separater Ausgang mit fest einstellbarem Pegel zum Anschluss eines Tonbandgeräts.

Das Gerät verstärkt die von der Antenne aufgenommenen Signale sehr hoch: Kommt die Antenne dem Ohrhörer beim Betrieb zu nahe, werden die elektrischen Signale im Ohrhörer oder dessen Kabel leicht von der Antenne aufgenommen und ergeben ein lautes »Rückkopplungsgeräusch«. Dieses entsteht auch, wenn

man die Gerätemasse loslässt! Deshalb ist es wichtig, dass der Nutzer in einem guten elektrischen Kontakt zur Gerätemasse steht, denn dieser Kontakt stellt das elektrische Gegengewicht zur Antenne – die »Erde« – dar. Deshalb habe ich eine Seite des aus Plastik bestehenden Empfängergehäuses mit Alu-Folie beklebt (siehe Bild auf S. 72 oben). Während des Betriebs berühre ich die Folie, wenn ich das Gerät in der Hand halte. Dies hat leider im Winter den Nachteil, dass ich keine Handschuhe anziehen darf!

In meiner neuesten Entwicklung habe ich den ganzen Empfänger in einer Getränkedose aus Metall untergebracht, so dass sich beim Berühren automatisch ein guter Kontakt zur Gerätemasse ergibt (siehe Bild rechts). Der dünne farbige Aufdruck der Dose macht übrigens nichts aus, denn der Kontakt erfolgt kapazitiv über meine Handfläche!

Bei allen erforderlichen Bauelementen handelt es sich um gewöhnliche Komponenten, wie sie sich auch in einer gut gefüllten Bastelkiste finden – bis auf die Kondensatoren, die sich im Signalweg befinden oder die für den Aufbau der Hoch- und Tiefpassfilter erforderlich sind. Für alle, die einen solchen Empfänger selbst herstellen möchten, stelle ich Zusatzinformationen zu diesem Beitrag mit Schaltbildern im Internet bereit (siehe Weblink).

Signale von Gewitterblitzen

Ist der Empfänger fertiggestellt, dann besteht ein erster Empfangstest darin, die Antenne anzubringen und das vom Wechselstromnetz erzeugte laute Netzbrummen zu hören. Schwenkt man die Antenne im Zimmer, so ändern sich sowohl die Lautstärke des Brummens als auch die Tonqualität. Besonders in der Nähe von Leuchtstofflampen lässt sich ein lautes und mitunter »spitzes« Geräusch hören. In der Nähe eines Computerbildschirms lassen sich noch andere Töne vernehmen, die mit der Bildfrequenz in Verbindung stehen.

All diese grässlichen Geräusche sollten Sie erst einmal über sich ergehen lassen, und dabei erkennen, in welcher stark elektrisch verschmutzten Umgebung wir leben. Ein Glück, dass wir kein Sinnesorgan für Radiowellen besitzen! Wenn Ihr Empfänger richtig funktioniert, sollten Sie von diesen Beobachtungen einigermassen schockiert sein.

Als Nächstes sollten Sie sich mit dem Empfänger vom Wohnhaus entfernen. Dabei erfahren Sie, dass der Gang auf den Balkon nicht ausreicht, um dem »Störnebel« des Hauses zu entfliehen. Natürlich sendet auch jede Straßenlaterne ein Brummen aus. Aber eine Distanz von fünf Metern kann ausreichen, um dieses Stör-signal so weit zu reduzieren, dass Sie beginnen, ein beständiges Knistern im Ohrhörer wahrzunehmen. Dies sind die so genannten »Sferics«. Tag und Nacht, jahraus, jahrein ist dieses natürliche Radiogeraus zu hören. Im Winter und an manchen Sommertagen ist es eher ein leises Knistern, im Sommer oft ein lautes Konzert, das auch ein krachendes Geräusch enthält. Jeder dieser leisen oder lauten Knackse ist die Radioemission eines Gewitterblitzes, fern von uns oder recht nahe – aber auch ohne dass Sie ein Gewitter in unmittelbarer Nachbarschaft sehen können. Zu jeder Zeit gibt es auf unserem Planeten Gewitter, im weltweiten Durchschnitt entstehen etwa tausend Blitze pro Sekunde!

Ein Blitz ist eine elektrische Entladung, nichts weiter als ein riesiger Funke. Diese starke und rasche Änderung des elektrischen und magnetischen Feldes breitet sich als Radiowelle nach allen Richtungen aus. Ihr zeitlicher Verlauf weist jedoch nicht die Form einer gleichförmigen Sinuswelle auf, sondern ist ein kurzer Impuls von einigen Mikrosekunden Dauer. Ein solcher Impuls ist ein Gemisch aus zahlreichen Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenzen. Somit ist das Radiosignal eines Blitzes über ein breites Frequenzspektrum verteilt.

In einem handelsüblichen Radiogerät klingen Gewitterstörungen wie ein lautes Krachen. Besonders intensiv ist es im Lang- und Mittelwellenbereich, bei Frequenzen von rund 100 bis 1600 Kilohertz. Aber noch in den Kurzwellenbändern, die bis 30 Megahertz reichen, lassen sich solche Impulse deutlich vernehmen und können hier Funkverbindungen beeinträchtigen. In unserem VLF-Empfänger hören wir nur den niederfrequenten Anteil der Gewitterstörungen.

Mit einem im Internet verfügbaren Signalverarbeitungsprogramm lassen sich diese Signale im Computer analysieren und grafisch darstellen. Dabei wird das Tonfrequenzspektrum bis zu einer oberen Grenze von elf Kilohertz für jeden Zeitpunkt veranschaulicht. In einer derar-

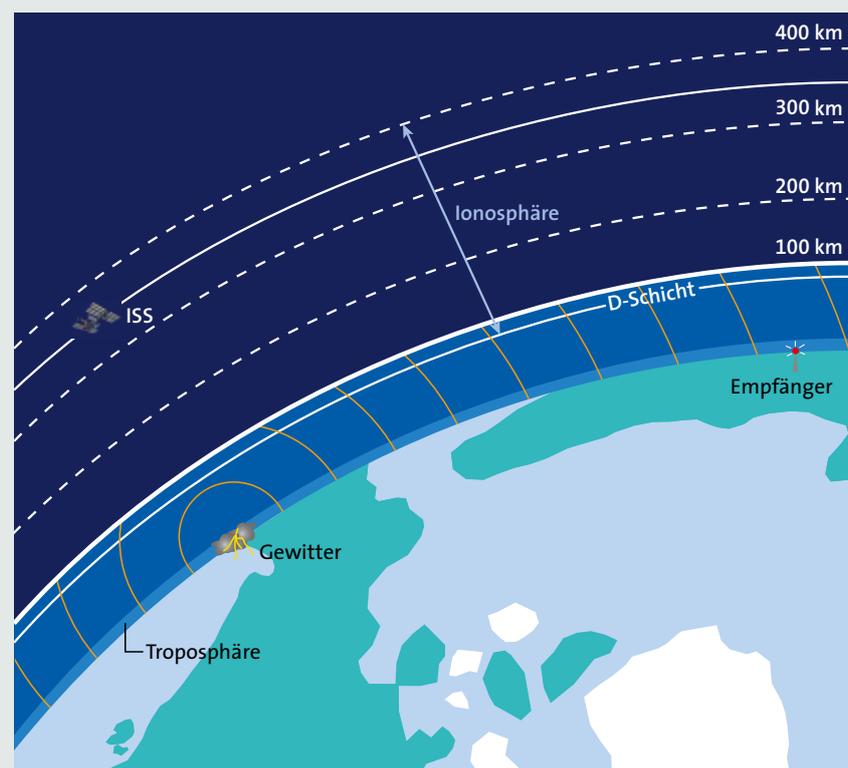


Der Einbau des Empfängers in eine Metalldose schirmt das Gerät ab und erleichtert den Kontakt über die Handfläche mit der Erde.

Auf langen Wellen um die Erde

Die Erdoberfläche und die Ionosphäre wirken wie zwei elektrisch leitende Schichten, zwischen denen Radiosignale hin und her reflektiert werden. Auf diese Weise folgen die von Gewitterblitzen erzeugten Sferics und Tweeks der Erdkrümmung und überbrücken Distanzen von vielen tausend Kilometern. Die Ionosphäre erreicht eine Höhe von etwa 400 Kilometern und liegt damit weit oberhalb der zehn Kilometer hohen Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen abspielt. Die Raumstation ISS bewegt sich in einer Höhe von 350 Kilometern somit noch in den oberen Schichten der Ionosphäre!

Nach unten wird die Ionosphäre durch die D-Schicht begrenzt, die sich in rund 80 Kilometer Höhe befindet. Tagsüber, wenn die ionisierende Strahlung der Sonne einfällt, ist diese Schicht stark ausgeprägt. Sie dämpft nun die von Gewitterblitzen ausgesandten Radiosignale und mindert somit ihre Reichweite. Nach Sonnenuntergang baut sich die D-Schicht allmählich ab und gibt den Weg zu den höher gelegenen Schichten frei, welche die Sferics reflektieren. Im Mittelwellenbereich lassen sich dann ferne Sender empfangen, die tagsüber nicht oder nur schwach hörbar sind.



Joachim Köppen/suW-Grafik

Sferics, Tweeks und Whistler im Bild

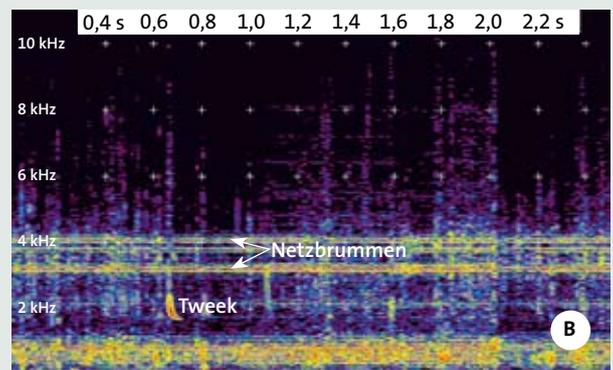
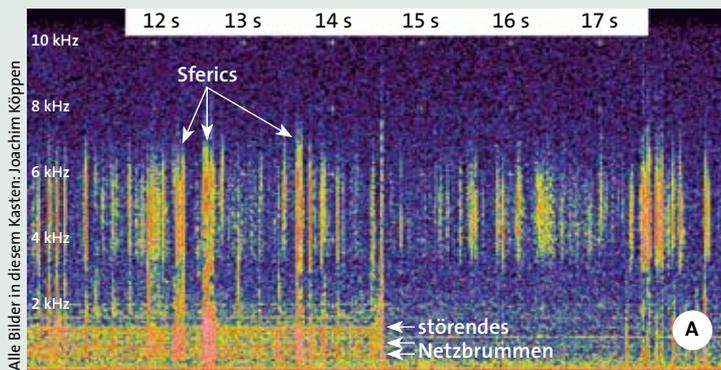
Zur Veranschaulichung der beobachteten Signale nutze ich die im Internet kostenfrei verfügbare Software »Spectrogram«.

Entlang der waagerechten Achse ist jeweils die Zeit aufgetragen, entlang der senkrechten Achse die Frequenz. Eine Farbcodierung ermöglicht zusätzlich die Darstellung der Lautstärke: Sie nimmt von schwarz über dunkelblau, hellblau, grün, gelb bis rot zu.

Das normale »Radioprogramm« der Natur besteht aus kurzen, impulsartigen »Sferics«, erzeugt von nahen und fernen Blitzen

(siehe Bild A). Die horizontalen Linien in diesem dynamischen Tonfrequenzspektrum zeigen die zeitlich konstanten Frequenzen des Netzbrummens. In der rechten Hälfte des Bildes wurde das Hochpassfilter zur Unterdrückung der Netzstörungen eingeschaltet, so dass hier die horizontalen Linien fehlen.

Das Bild B zeigt meine Beobachtungen abseits von Häusern, auf einer Parkwiese. Die natürlichen Radiosignale wurden durch ein kräftiges Netzsummen beeinträchtigt, das sich bis zu einer



tigen Darstellung ist entlang der horizontalen Achse die Zeit und auf der vertikalen Achse die Frequenz aufgetragen (siehe Kasten oben). So zeigen sich die Impulse der Sferics auf dem Bildschirm als vertikale Spuren, also als ein kurzzeitiges Signal, das sich über einen relativ breiten Frequenzbereich erstreckt.

Zudem lassen sich auch eine Reihe von Signalen erkennen, die bei fester Frequenz die ganze Zeit über gleichbleibend vorhanden sind: Dies ist das Netzbrummen. Zusätzlich zur Grundfrequenz von 50 Hertz gibt es aber auch ganzzahlige Vielfache davon, die so genannten Harmonischen oder Oberwellen. Im oben dargestellten Beispiel lassen sie sich bis etwa zwei Kilohertz erkennen, somit enthält das Netzsignal Frequenzkomponenten bis zur vierzigsten Oberwelle! Im Ohrhörer vernehmen wir hingegen das gesamte Frequenzgemisch, das auch ein höherfrequentes Summen und Surren enthält, und das je nach spektraler Zusammensetzung recht »giftig« klingen kann!

Gegen Ende dieser Beobachtung hatte ich das Hochpassfilter im Empfänger eingeschaltet. Hierbei zeigte sich, dass das Netzgeräusch zwar erheblich abgeschwächt wird, dass aber einige starke Komponenten der störenden Geräusche noch immer durchdringen. Der Höreindruck ist lediglich ein Zurückgehen des Netzsummens.

Bester Empfang nach Sonnenuntergang

Haben Sie sich an die dauernde Anwesenheit der Sferics gewöhnt, so werden Sie nach einer Weile bemerken, dass dieses Konzert auch im Sommer am Tage oft sehr viel leiser ist als am Abend – wenn wir einmal vom direkten Vorbeiziehen eines Gewitters absehen.

Der Grund für dieses Verhalten liegt in Veränderungen der irdischen Ionosphäre, die für die Ausbreitung der Radiowellen maßgebend ist (siehe Kasten auf S. 73). Am Tage wird die Ionosphäre wegen der Sonneneinstrahlung stärker ionisiert. Die tiefstliegende Schicht der Ionosphäre, die in rund 80 Kilometer Höhe liegende D-Schicht, absorbiert dann einen Teil der Radiostrahlung und verhindert somit ihre Ausbreitung über große Distanzen. Am Abend und in der Nacht baut sich die D-Schicht allmählich ab, so dass sich die Absorption vermindert und die Radiosignale sich ausbreiten können. Die Sferics lassen sich nun deutlicher vernehmen.

Lauschen Sie am Abend, so werden Sie recht bald nach Sonnenuntergang bemerken, dass sich der Klang des Knackens verändert. Ab und zu ist ein »Pling« zu hören, ein Nachklingen, ähnlich einer gezupften Gitarrensaite. Eine Spektralanalyse von Signalen, die ich abends in einem Park in Straßburg aufnahm, ergab wegen der Straßenbeleuchtung ein lautes und gräss-

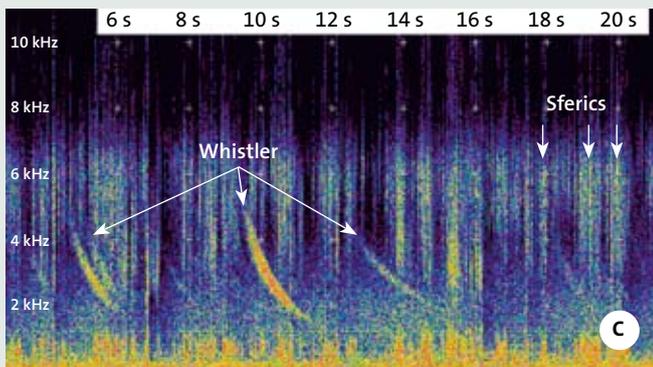
lich klingendes Netzsummen mit starken Komponenten bis zu einer Frequenz von vier Kilohertz (siehe Bild B im Kasten oben). Aber trotz dieses giftigen Nebengeräuschs waren die Sferics deutlich zu vernehmen – und ein solcher Impuls mit Nachklingen, den man »Tweek« nennt.

Beobachtet man mehrere solcher Signale, so fällt auf, dass das Nachklingen immer bei etwa 1,7 Kilohertz erfolgt. Was geschieht hier? Die von Blitzen in der Troposphäre erzeugten Radiowellen breiten sich in dem Raum zwischen dem Erdboden und der Ionosphäre aus, da sie von diesen beiden elektrisch leitenden Schichten reflektiert werden. Gemeinsam wirken diese Schichten wie ein Wellenleiter, in dem die Radiowellen eingeschlossen sind, so dass sie sich über weite Strecken der Erdoberfläche ausbreiten können.

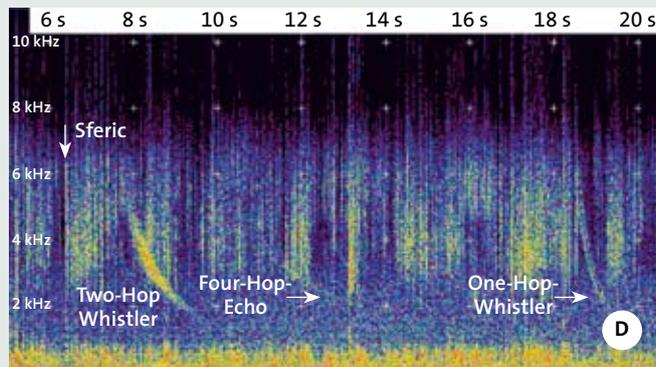
Tweeks sind Radiosignale von mehr als 2000 Kilometer entfernten Blitzen. Die Radiowellen müssen also eine lange Strecke in diesem Wellenleiter zurücklegen. Allerdings kann ein Wellenleiter nur Wellen passieren lassen, deren Wellenlänge kürzer ist als eine Grenzwellenlänge, die das Doppelte der Höhe des Leiters beträgt. Längere Wellen werden absorbiert. Somit lässt sich aus der beobachteten Grenzfrequenz des Nachklingens die Höhe der Ionosphäre berechnen. Aus der Tonhöhe des Nachklingens mit einer Frequenz f von 1,7 Kilohertz ergibt sich zusammen

Frequenz von vier Kilohertz erstreckte. Trotzdem lässt das dabei aufgenommene Spektrum noch Sferics sowie einen »Tweek« erkennen – ein Signal von einem sehr weit entfernten Blitz, das durch ein Nachklingen gekennzeichnet ist.

Das Bild C enthält eine bunte Mischung verschiedener Signale, die sich an einem Sommerabend im VLF-Bereich tummelten. Die senkrecht verlaufenden Streifen sind Sferics, die Signale von Whistlern verlaufen hingegen gekrümmt.



Nicht alle in Europa registrierten Whistler entstehen auf der Südhalbkugel der Erde. Diese im Bild D dargestellte Beobachtung vom 24. August 2006, um 18:21 Uhr MESZ, zeigt links bei 6,5 Sekunden einen Sferic, gefolgt von einem starken »Two-Hop-Whistler« bei 7,5 bis 9,5 Sekunden und seinem »Four-Hop-Echo« bei 11,5 bis 13,5 Sekunden, verursacht von einem Blitz auf der Nordhalbkugel. Ihm folgt bei 19 Sekunden ein »One-Hop-Whistler«, der einem Blitz im südlichen Afrika entstammen muss.



mit der Lichtgeschwindigkeit c die Wellenlänge λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{1700 \text{ Hz}} = 176 \text{ km.}$$

Somit beträgt die Höhe der Ionosphäre $176 \text{ km}/2 = 88 \text{ Kilometer}$.

Am Abend, wenn die absorbierende Wirkung der D-Schicht nachlässt, werden auch die Tweeks deutlich hörbar. Für mich ist es spannend, bei Sonnenuntergang dem ersten Tweek zu lauschen. Dabei wird ein Tweek aus östlicher Richtung begünstigt, denn wenn bei uns die Sonne untergeht, liegt ja die Gegend östlich von uns bereits auf der Nachtseite der Erde, wo sich die D-Schicht bereits abgebaut hat.

Botschafter aus dem nahen Weltraum

Mit etwas Geduld und regelmäßigem Hören, werden Sie ein weiteres Phänomen entdecken, einen »Whistler«. Bei mir war es ein zischendes Pfeifen, das recht majestätisch wie »Piiooooouuu« klang – als ob eine Feuerwerksrakete hoch zischte. Es gelang mir auch, solche Whistler auf Tonband aufzunehmen. Oft hören sie sich recht verrauscht an, was in der Spektralanalyse einem breiten Band entspricht, aber die Abnahme der Frequenz mit der Zeit ist deutlich erkennbar und unterscheidet sich deutlich vom Verhalten der

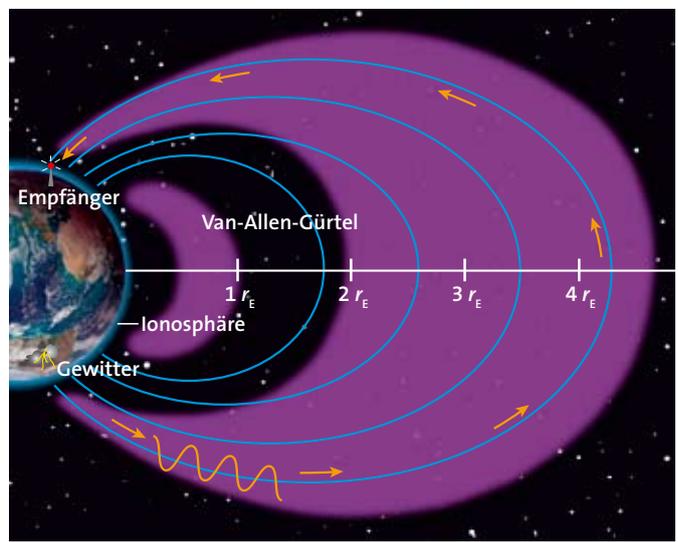
Sferics. Manchmal sind ganze Gruppen zu hören, ein Gemisch von lauten und leisen Whistlern (siehe Bilder oben).

Was ist ein Whistler und wie entsteht er? Der Ausgangspunkt für diese Erscheinung ist ein ganz normaler Sferic. Die meisten Sferics gelangen direkt zu uns und klingen im Ohrhörer jeweils wie ein scharfer Knacks. Allerdings kann es vorkommen, dass ein Teil dieser Radiowelle durch die Ionosphäre hindurchwandert und sich dann im erdnahen Weltall ausbreitet. Dort, in der Magnetosphäre, ist aber ein Plasma vorhanden. Es bildet einen Gürtel, der die Erde umgibt und den James Van Allen im Jahr 1958 mit dem ersten US-amerikanischen Erdsatelliten, Explorer-1,

entdeckte. Der nach dem Astrophysiker benannte Van-Allen-Gürtel enthält geladene Teilchen – Elektronen und Protonen, die im Erdmagnetfeld festgehalten werden. In diesem Plasma mit Magnetfeld kann sich eine Radiowelle nur entlang der magnetischen Feldlinien ausbreiten. Auf diese Weise gelangt ein in Südafrika produzierter Sferic auf einem langen Umweg zur Nordhalbkugel der Erde (siehe Grafik unten). Hier durchdringt er die Ionosphäre und ist bei uns als Whistler hörbar.

Der anfänglich kurze Knacks eines Sferics besteht aus einem Gemisch von Wellen unterschiedlicher Frequenzen. Zum Durchlaufen des Plasmas benötigen Wellen mit tiefen Frequenzen mehr Zeit

Blitze auf der Südhemisphäre der Erde erzeugen Whistler, die bis nach Europa gelangen können. Ihre Radiowellen wandern entlang des Erdmagnetfelds durch den Van-Allen-Strahlungsgürtel zu uns. Seine äußere Zone erstreckt sich bis zu fünf Erdradien (r_E).



Erde: NASA/Joachim Köppen / SuW-Grafik



als Wellen mit hohen Frequenzen. Deshalb wird der Sferic allmählich zu einem langsam abfallenden Pfeifton auseinandergezogen. Diese von der Frequenz abhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen nennt man »Dispersion«. Es ist dasselbe Phänomen wie die Variation des Brechungsindex von Glas mit der Wellenlänge, der uns bei billigen optischen Teleskopen die störenden Farbränder beschert.

Allerdings entstehen nicht alle bei uns hörbaren Whistler über der südlichen Hemisphäre der Erde, was sich durch eine meiner Beobachtungen belegen lässt (siehe Bild auf S. 75 oben rechts). Sechseinhalb Sekunden nach Beginn der Beobachtung registrierte ich zunächst einen kräftigen Sferic, dem zwei Sekunden später ein lauter Whistler folgte. Nach zwei weiteren Sekunden folgte ein schwächerer und langsamerer Whistler. Dies ist die Folge eines Sommergewitters in Europa: Das im Internet abrufbare Blitzarchiv registrierte starke Gewitter auf dem Balkan.

Die Radiowelle des hier entstandenen Blitzes lief zur Südhalbkugel hinunter, wurde dort an der Ionosphäre reflektiert, lief wieder herauf und wurde als »Two-Hop-Whistler« hörbar. Ein Teil dieses Whistlers wurde wieder reflektiert, und durchlief nochmals den Weg auf die andere Hemisphäre und zurück. Nun wurde er als ein zweites Whistler-Signal empfangen. Da dieser Whistler die gesamte Tour durch das Plasma des Van-Allen-Gürtels noch einmal vollführte, ist auch die Wirkung der Dispersion bei diesem »Four-Hop-Whistler« doppelt so groß, daher ist er zeitlich verlängert. Und dann, bei etwa 19 Sekunden, kam noch ein schneller Whistler hindreïn – offensichtlich ein

echtes Produkt aus Südafrika! Er legte den Weg durch das Plasma nur einmal zurück, und deshalb ist dieser »One-Hop-Whistler« auch etwa nur halb so lang.

Wann hört man Whistler?

Genaue Hinweise auf die günstigsten Zeiten zur Beobachtung von Whistlern lassen sich nicht geben; ich habe sie nachts gehört, aber auch mittags. Einerseits müssen günstige Bedingungen in der Magnetosphäre und Ionosphäre herrschen, damit sich ein »Duct« ausbildet, eine Art von Kanal, entlang dem sich die Whistlerwelle ausbreitet. Wann dies der Fall ist, hängt allerdings vom »Weltraumwetter« ab – von der veränderlichen Wechselwirkung des Sonnenwinds mit dem Erdmagnetfeld und vom Zustand des interplanetaren Magnetfelds.

Zudem sollte es an einem oder beiden Enden des Kanals auf der Erde Gewitter geben. Für uns in der nördlichen Hemisphäre der Erde bedeutet dies, dass wir entweder auf sommerliche Gewitter in Europa warten sollten oder auf Gewitter im südlichen Afrika, die eher in unseren Wintermonaten auftreten. Da sich Gewitter im Laufe des Tages durch vom Boden erwärmte aufsteigende Luftmassen bilden, eignet sich vor allem die zweite Tageshälfte zum Beobachten. Hinzu kommt, dass der Abbau der ionosphä-

rischen D-Schicht am Abend die Signale lauter werden lässt. Lassen Sie sich jedoch keinesfalls davon abhalten, zu allen Zeiten oder auch systematisch in das Programm von »Radio Natur« hinein zu hören!

Whistler und andere interessante Radioemissionen können innerhalb von einer halben Stunde auftauchen oder verschwinden. Ich gewöhnte mir daher an, auf Wanderungen etwa einmal pro Stunde reinzuhören. Wenn sich innerhalb von einer Minute ein Whistler hören lässt, schließe ich sofort ein Tonbandgerät an und verfolge, ob sich in den nächsten Minuten etwas Interessantes tut. Kürzlich konnte ich einen ganzen Abend lang Whistler hören, darunter auch solche, die mit einem fast reinen Ton bis herunter auf Frequenzen von einigen hundert Hertz abklangen.

Wozu das Ganze?

Im Rahmen der Sommerschulen der International Space University (ISU) in Illkirch bei Straßburg baute ich in den vergangenen Jahren mit Gruppen von etwa zehn Teilnehmern VLF-Empfänger, wobei die Anwesenden mit der praktischen Elektronik konfrontiert wurden und eine gewisse Zeit und Mühe aufwenden mussten. In einer von der ISU in Peking veranstalteten Sommerschule baute ich mit Studenten Empfänger, welche die NASA

Die Signale von »Radio Natur« im Überblick

Wie es sich anhört	Was es ist
Ständiges Brummen, Summen, Surren	Elektrische Leitungen (50 Hz + Obertöne)
Knacken, Knistern, Klacken, Krachen	Sferics: Blitze in der Umgebung (Europa)
»twing«, »twang«, »pling«	Tweeks: Blitze, mehr als 1000 Kilometer entfernt
»Piiouuuu«, »Pschiiouuu«	Whistler: Blitze von Nord- und Südhalbkugel

Auf dem Programm einer im Jahr 2007 in Peking veranstalteten Sommerschule der International Space University stand der Zusammenbau eines von der NASA entwickelten Bausatzes. Diese Arbeit erfordert eine hohe Konzentration, besonders wenn, wie im Bild links, die Studentin Xiao Yan ein falsch eingelötetes Bauelement entfernen muss. Im Bild rechts führt Daichi seinen Kameraden seinen Empfänger vor, wobei wir die Signale gleichzeitig auf Tonband aufnehmen.

im Rahmen ihres Projekts INSPIRE anbietet. Der Bausatz kann auf der Website des Projekts bestellt werden. Die Arbeit dauerte etwa sechs bis zehn Stunden, natürlich mit Anleitung und Unterstützung. Anschließend nahmen die Studenten ihr eigenes Produkt in Betrieb und führten Beobachtungen durch (siehe Bilder links oben).

Natürlich gewöhnt man sich bald an das ewige Knistern, Krachen und Prasseln der Sferics, und der Neugierige versucht dann, besondere Geräusche aufzufangen. Und trotzdem ist jeder Tag anders: Auch im Sommer gibt es Tage, an denen es nur leicht knistert. An anderen Tagen ist es derart laut, dass viele Sferics ein eher lang gezogenes Prasseln zeigen. Könnte man nicht ein Instrument bauen, das die Häufigkeit oder Lautstärke der Sferics misst, und uns damit vorhersagen lässt, ob wir heute noch mit Gewittern rechnen sollten?

Für mich ist das Lauschen dieser Radioemissionen eher eine Freizeitbeschäftigung. Aber das Registrieren und Analysieren von Sferics ist auch von praktischer Bedeutung. Es gibt nationale und internationale Netzwerke von Stationen, die im VLF-Bereich permanent beobachten. Vergleicht man die Ankunftszeiten der von mehreren Stationen empfangenen Radioimpulse, so lässt sich aus den Laufzeitunterschieden den Ort der Blitzentladung bestimmen und das Gewitter verfolgen.

Im Internet gibt es aktuelle Karten der Blitze in Europa und weltweit, sowie archivierte Daten. Die Informationen sind für die Vorhersage der Wanderung von Gewittern von großer Bedeutung, beispielsweise für Landwirte, die ihr Tagewerk einteilen wollen oder gegebenenfalls durch Hagelraketen versuchen können, größeren Schaden zu vermeiden. Andere Nutzer dieser Warnungen sind unter anderem Rettungsdienste, Energieversorger, Veranstalter von Reisen und Open-Air-Events, Computerbetreiber sowie Baufirmen.

Mit einem selbst gebauten Empfänger Signale der Erde und aus dem Weltraum zu hören, ist eine Art von magischem Moment, den ein Interessierter selbst erleben kann, und dies ist etwas, das ich auch anderen Menschen nahebringen möchte: Ob ich nun am Strand oder in einem Park angesprochen werde, was ich da tue, oder ob ich im Rahmen eines Workshops eine Gruppe von Studenten einen Empfänger zusammenbauen lasse – es kommt auf jenen Moment an, in dem der Mensch zum ersten Mal die bisher ungehörten Geräusche vernimmt und etwas über ihren Ursprung lernt.



JOACHIM KÖPPEN ist Astrophysiker. Er forscht in Freiburg über Sonnenflecken, in Cardiff und Heidelberg über Planetarische Nebel, und jetzt in

Kiel und Straßburg über die chemische Entwicklung von Galaxien. Bei der International Space University im französischen Illkirch hält er Vorlesungen, betreut Workshops und führt mit Studenten Projektarbeiten durch.

Literaturhinweise

Helliwell, R. A.: Whistlers and Related Ionospheric Phenomena. Dover Publications, New York, 2006

Romero, R.: Radio Nature. Radio Society of Great Britain, 2008

Unsere Sonne – Motor des Weltraumwetters. Sterne und Weltraum Special 1/2007. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg 2007

Zusatzinformationen mit Schaltplänen zum Aufbau eines Empfängers, Empfangstipps sowie Weblinks zu Hörbeispielen finden Sie unter www.astronomie-heute.de/artikel/1067082

Unser Bestseller zum Bestpreis!

Kundenstimmen
"...Gestern haben wir das Wetter genutzt und die Sirius Kuppel aufgebaut. Der Aufbau inkl. Montage des Kuppelantriebs hat mit 5 Leuten 4 Stunden 15 Minuten gedauert :) Von der Innenausstattung abgesehen, fehlt nur noch die Abdichtung der Kuppel und die Montage des Solarpanels. Wir hatten praktisch kein Problem bei der Montage und die Kuppel lässt sich mit dem kleinen Finger rotieren, so leichtgängig ist die Konstruktion. Bisher bin ich also hochzufrieden. Vielen Dank nochmal für die erstklassige Lieferung. (Torsten Daiber, Deutschland)..."

Kuppeln: 2,3m mit und ohne Unterbau
 Diese 2,3 Meter Kuppel mit Unterbau ist für ambitionierte Amateure und auch kleine Vereine ideal. Sie kann Instrumente bis hin zu SC- oder RC-Teleskopen mit 14" Öffnung aufnehmen und bietet zwei bis drei Personen gleichzeitig Platz. Kuppeldrehung und Kuppeltore sind nicht motorisiert, können aber bei Bedarf optional motorisiert werden.

alter Preis: 7.474,00€ **neuer Preis: 5.857,00€***

Für den Fall, dass Sie schon über einen entsprechenden Unterbau verfügen, bieten wir auch Kuppeln ohne Unterbau an. Die Kuppel wird ganz einfach mittels eines Befestigungsringes auf dem bereits vorhandenen Unterbau befestigt. Kuppeldrehung und Kuppeltore sind nicht motorisiert, können aber bei Bedarf optional motorisiert werden.

alter Preis: 4.693,00€ **neuer Preis: 4.185,00€***

*Preise zzgl. Versand ab Europalager Südf Frankreich

www.apm-siriuskuppeln.de

SIRIUS
OBSERVATORIES

Poststrasse 79 • 66780 Rehlingen-Siersburg • Tel: 06835 - 923949-0

www.apm-telescopes.de

Radio Natur

Den Planeten Erde bei sehr langen Wellen belauschen

Mit einem selbst herzustellenden Empfänger lassen sich die von fernen Gewitterblitzen erzeugten Radiosignale empfangen. Die folgende Beschreibung des Empfängers ergänzt den zu diesem Thema in SuW 5/2011 auf S. 70 erschienenen Beitrag.

Von Joachim Köppen

Die uns interessierenden Signale im Längstwellenbereich (englisch: *very low frequencies*, VLF) weisen Wellenlängen von mehreren Dutzend Kilometern auf, daher ist jede technisch realisierbare Antenne sehr viel kürzer als die Wellenlänge. Dies bedeutet, dass die Impedanz der Antenne sehr stark kapazitiv ist, und daher muss der Empfänger eine hohe Eingangsimpedanz aufweisen, um wenig vom Signal zu verlieren. Dies lässt sich durch einen Feldeffekttransistor erreichen oder aber durch eine Kaskadenschaltung von zwei normalen bipolaren Transistoren, wie es sich bei mir bewährt hat. Das Schaltbild unten zeigt die ersten Stufen meines Geräts.

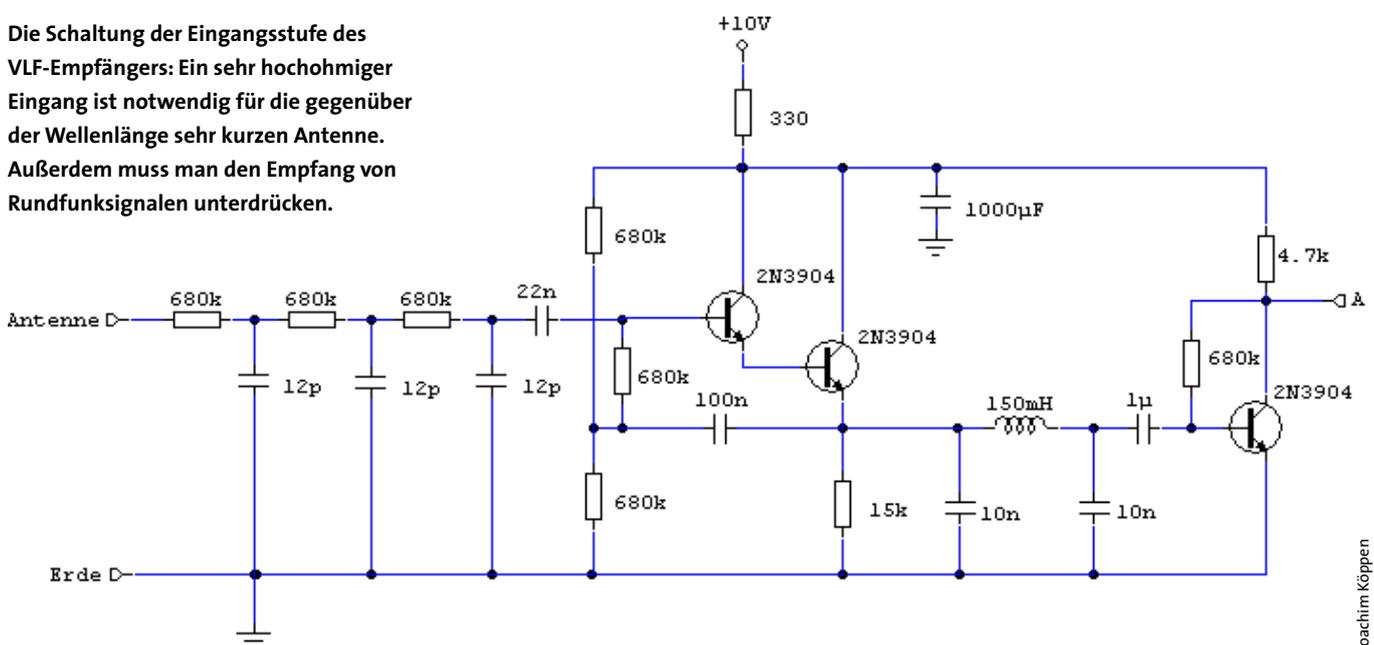
Das von der Antenne kommende Signal gelangt zunächst zu einem passiven Tiefpassfilter, das störende Radiostationen im Lang- und Mittelwellenbereich zu unterdrückt. Die beiden Transistoren sind Silizium-Universaltypen – ich entnahm sie meiner Bastelkiste. Sie arbeiten als Emitterfolger, das heißt, sie weisen einen hohen Eingangswiderstand und geben das Signal auf einen geringeren Widerstand aus. Es erfolgt keine Spannungsverstärkung, dafür aber eine Leistungsverstärkung.

Eine Besonderheit ist noch der Kondensator mit 100 Nanofarad, der das Ausgangssignal auf den Mittelpunkt des Basisspannungsteilers (die beiden 680-Kilohm-Widerstände) erscheinen

lässt, und so den Spannungsteiler für das Eingangssignal »unsichtbar« macht. Es folgt ein Tiefpassfilter, das aus einer Induktivität und zwei Kondensatoren besteht. Dieses Filter ist sehr wichtig, da es Signale oberhalb von zehn Kilohertz stark abschwächt und damit verhindert, dass die mitunter starken Signale des Navigationssystems LORAN oder verschiedener Funkdienste in den Empfänger gelangen und Störungen verursachen.

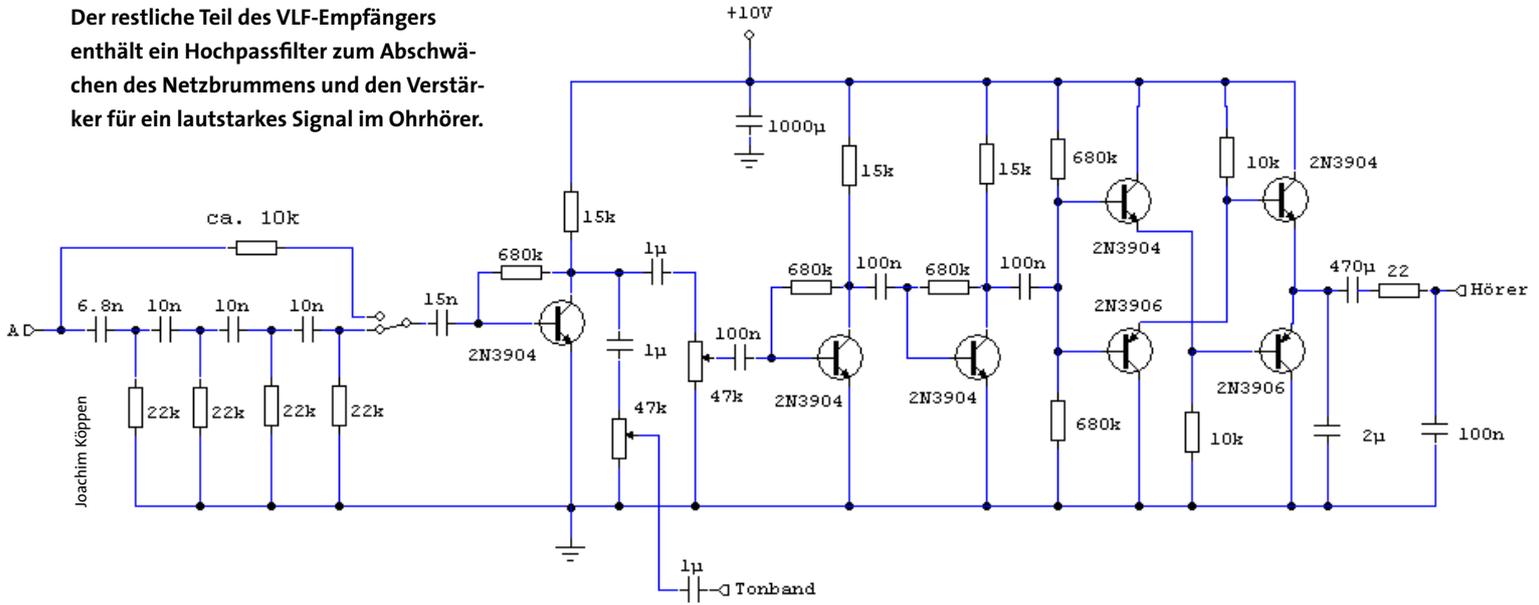
Leider hat die Gegenwart der Induktivität einen kleinen Nachteil: Der Ferritkern, auf dem die Spule aufgebracht ist, wirkt oft als Mikrofon. Daher können durch die Handhabung des Gehäuses oder durch Wind erzeugte mechanische Geräusche im Empfänger hörbar werden.

Die Schaltung der Eingangsstufe des VLF-Empfängers: Ein sehr hochohmiger Eingang ist notwendig für die gegenüber der Wellenlänge sehr kurzen Antenne. Außerdem muss man den Empfang von Rundfunksignalen unterdrücken.



Joachim Köppen

Der restliche Teil des VLF-Empfängers enthält ein Hochpassfilter zum Abschwächen des Netzbrummens und den Verstärker für ein lautstarkes Signal im Ohrhörer.



Um das in der Nähe von Gebäuden und Straßenlaternen stets vorhandene Netzbrummen zu unterdrücken, steht mir ein wahlweise einschaltbares Hochpassfilter zur Verfügung. Eine mehrfache Widerstands-Kondensator-Kombination erfüllte nach einigen Hörversuchen ihren Zweck recht gut, obwohl es sicher bessere Lösungen gäbe.

Der Rest der Schaltung umfasst einen normalen Verstärker für den Tonfrequenzbereich, der in der Lage ist, einen niederohmigen kleinen Lautsprecher oder Ohrhörer zu betreiben (siehe Bild oben). Man könnte auch handelsübliche Integrierte Schaltkreise verwenden, ich zog es jedoch vor, Einzeltransistoren aus der Bastelkiste zu entnehmen. Ein Regler für die Lautstärke ist vorhanden, ebenso wie ein separater Ausgang mit fest einstellbarem Pegel zum Anschluss des Tonbandgeräts. Die einzige Besonderheit sind die Kondensatoren am Ausgang, die eine Rückkopplung des Hörers auf die Antenne vermindern, indem sie die höheren Frequenzen kurzschließen.

Bei allen Bauelementen handelt es sich um gewöhnliche Komponenten – bis auf

Das Innenleben des selbst gebauten VLF-Empfängers enthält gebrauchte Bauteile, die durch Punkt-zu-Punkt-Verdrahtungen verbunden wurden. Viele der hier benötigten Teile können aus alten Elektronikgeräten ausgelötet werden. Oben rechts am Gehäuse befindet sich der Ausgang für das Tonbandgerät, am unteren Bildrand eine Blockbatterie zur Stromversorgung.

die Kondensatoren, die sich im Signalweg und in den Filtern befinden. Hier sollten Sie keine keramischen Scheibenkondensatoren verwenden, denn ihr keramisches Substrat ist oft piezoelektrisch, was diese Bauteile zu kleinen Mikrofonen macht. Besonders im Eingangsbereich führt diese Eigenschaft zu unangenehmen Nebengeräuschen. Folienwickelkondensatoren eignen sich hier besser.

Am besten ist es, zur Kontrolle im fertigen Gerät einmal an jedem Bauteil mit einem Zahnstocher zu kratzen. Vernehmen Sie dabei im Hörer ein entsprechendes Geräusch, so sollten sie ein besser geeignetes Bauteil suchen.



Der Aufbau meines Empfängers erfolgte über einer kupferkaschierten Platine als Massefläche einfach durch Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung (siehe Bild oben). Wegen vielfachen Experimentierens und Umbauens ist mehr ein schreckliches Gewirr als eine Schaltung entstanden, worunter die Funktionstüchtigkeit aber keineswegs leidet.