

Schumann-Resonanzen – ein erster Versuch, sie nachzuweisen

Auf der Erde sind zu jeder Zeit etwa zweitausend Gewitter tätig. Ihre Blitze erzeugen als überdimensionale Funken elektromagnetische Wellen, die sich zwischen der Erdoberfläche und der Ionosphäre ausbreiten. Erdoberfläche und Ionosphäre sind gute, kugelförmige elektrische Leiter. Der Raum zwischen ihnen stellt einen Resonator dar, in dem sich, angeregt durch die Blitze der Gewitter, stehende elektromagnetische Wellen ausbilden. Diese Eigenschwingungen des Erdoberfläche-Ionosphäre-Resonators wurden von *W. O. Schumann* 1952 erstmals vorhergesagt [Schu 52]. Schumann berechnete auch das Spektrum dieser Resonanzen. Es besteht aus „Linien“ extrem niedriger Frequenz (Größenordnung Hz) und geringer Intensität, für die sich zu Recht der Name *Schumann-Resonanzen* eingebürgert hat. Erste Messungen der Resonanzen veröffentlichte Schumann 1954 zusammen mit seinem Mitarbeiter *H. L. König* [SchuK 54]. In der Folgezeit wurde der Nachweis mehrfach bestätigt, zum Beispiel von *Balser* und *Wagner* [BalW 60] im Jahr 1960.

Schumann berücksichtigte bei seinen Rechnungen die endliche Leitfähigkeit der Ionosphäre. Sie sind mathematisch aufwändig. Setzt man unendlich gute Leitfähigkeit für Erdoberfläche und Ionosphäre voraus, lassen sich die Frequenzen der Resonanzen auch näherungsweise berechnen – eine umfangreiche, aber überschaubare Übung in Elektrodynamik zeitlich veränderlicher Felder. Die Rechnungen finden sich z. B. in den Vorlesungsskripten von *S. Errede* [Err 11] und auf der Website der *Finnish Meteorological Institutes* [NN 13]. Hier eine von mir ausgearbeitete Version dieser Skripten.

Rechnet man in der genannten Näherung, erhält man für die Eigenfrequenzen f_n des Resonators Erdoberfläche-Ionosphäre

$$(1) \quad f_n = \frac{c}{2\pi R} \sqrt{n(n+1)} .$$

Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s) und R der Erdradius ($R = 6370$ km). Mit $n = 1, 2, 3, \dots$ werden die Harmonischen nummeriert. Für $n = 1$ folgt als Frequenz der Grundschwingung $f_1 = 10,6$ Hz. Für die ersten Oberwellen erhält man $f_n = 18,3$ Hz, $26,0$ Hz, $33,5$ Hz und $41,1$ Hz (mit $n = 2..5$). Die beobachteten Frequenzen weichen erwartungsgemäß etwas von diesen Werten ab.

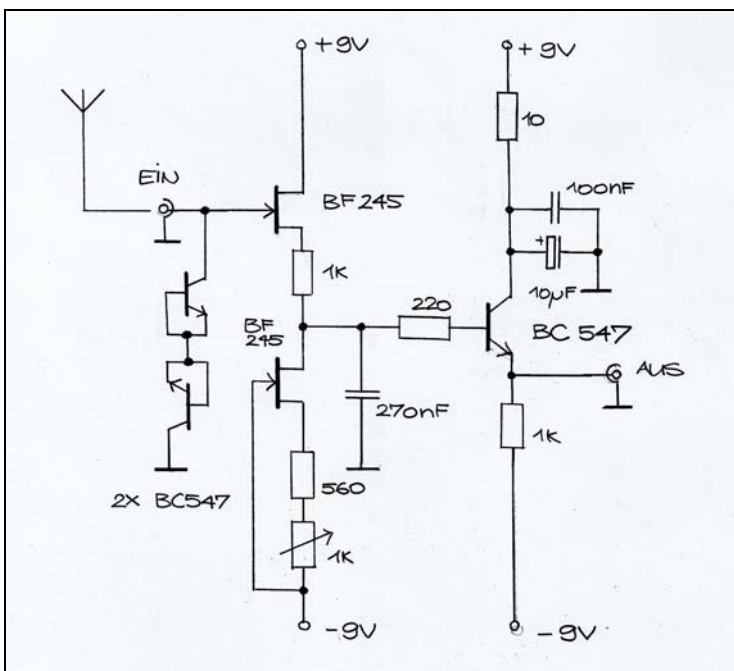


Abb. 1 Eingangsstufe des "Empfängers" für Schumann-Resonanzen. Sie passt die Impedanz der Antenne an die nachfolgenden Verstärkerstufen an. Die beiden gegeneinander geschalteten Transistoren BC 547 links ersetzen einen Hochohm-Widerstand. Eingangstransistor ist der obere BF 245. Der untere BF 245 arbeitet als Konstantstromquelle.

Gemessen werden $f = 7,8 \text{ Hz}$, $14,3 \text{ Hz}$, $20,8 \text{ Hz}$, $27,3 \text{ Hz}$ und $33,8 \text{ Hz}$. Der Unterschied zu den berechneten Werten rührt in der Tat daher, dass die Ionosphäre kein unendlich guter Leiter ist und die Welle deshalb in sie eindringt. Die endliche Leitfähigkeit der Ionosphäre wurde schon von *Schumann* [Schu 52] berücksichtigt.

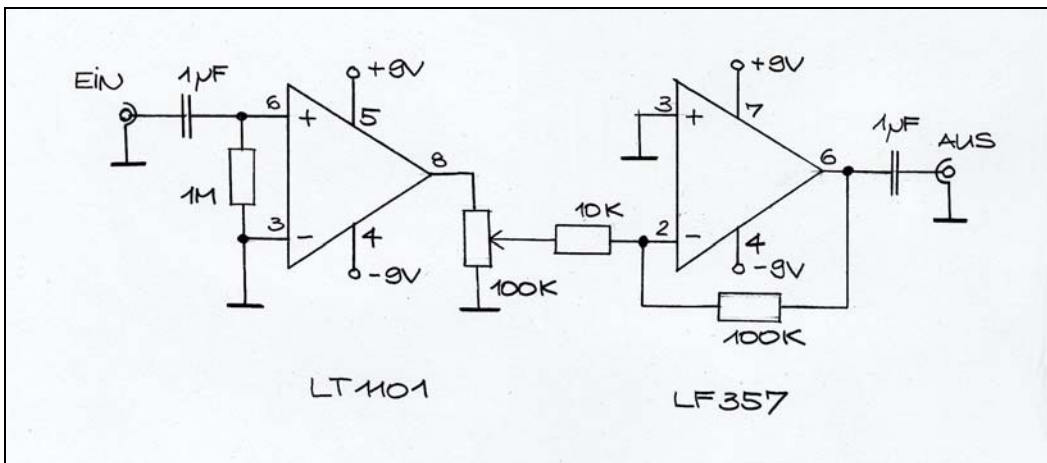


Abb. 2 NF-Verstärker. Verstärkung der ersten Stufe 100-fach (LT 1101), die der zweiten Stufe 10-fach (LF 357)

Die Feldstärken der Schumann-Wellen sind, wie schon angedeutet, verschwindend klein. Dazu einige Zahlenwerte: Die Amplitude der elektrischen Komponente beträgt etwa $300 \mu\text{V/m}$, das ist der 2,5-millionste Teil des Schönwetterwerts der statischen Feldstärke von 120 V/m . In ähnlicher Weise ist die Amplitude der magnetischen Feldstärke, die in der Größenordnung von 1 pT (*pico*-Tesla) liegt, um fast acht Zehnerpotenzen kleiner als die Feldstärke des Erdmagnetfeldes von etwa $40 \mu\text{T}$. Das heißt, der Nachweis der Schumann-Resonanzen erfordert extrem rauscharme „Empfänger“.



Abb. 3 Probeaufbau der Anlage im Garten

Professionelle Geräte benutzen meist magnetische Antennen und werden z. B. weltweit zur Ortung von Gewittern eingesetzt. Ein Überblick über den derzeitigen Stand der Gewitterortung geben *K. Schlegel* und *M. Füllekrug* in einem Artikel mit dem Titel „Weltweite Ortung von Blitzen: 50 Jahre Schumann-Resonanzen“ [SchlFü 02].

Mein Ziel war weitaus bescheidener als die Ortung von Gewittern. Ich wollte die Schumann-Resonanzen einfach nur nachweisen – und das mit möglichst wenig Aufwand. Eine Anleitung zum Bau eines passenden Geräts hatte ich schnell gefunden. Sie stammt von dem amerikanischen Funkamateurl S. Fusare [Fu 01]. Sein „Empfänger“ besteht aus einer 2 m langen, vertikalen Stabantenne und nur wenig nachfolgender Elektronik – ein ideales Bastelprojekt. Die Elektronik ist im Wesentlichen ein Impedanzwandler mit nachgeschaltetem NF-Verstärker.

Stabantennen haben theoretisch eine Kapazität gegenüber dem unendlich Fernen von etwa 10 pF pro Meter Länge. Bei einer Frequenz von $7,8 \text{ Hz}$ ist daher der Wechselstromwiderstand einer 2 m langen Antenne von der Größenordnung $1 \text{ G}\Omega$. Die Eingangsstufe des

„Empfänger“ muss daher einen möglichst großen Eingangswiderstand haben, um ein Signal mit ausreichender Amplitude an ihm abzugreifen. *Fusare* schlägt vor, diesen Widerstand durch zwei gegeneinander geschaltete (bipolare) Transistoren zu realisieren und in der Eingangsstufe einen *JFET*-Transistor mit kleinem Leckstrom zu verwenden. Seine Schaltung zeigt Abb. 1.



Abb. 4 Empfänger und Computer, Probeaufbau. Im späteren Einsatz war der Empfänger unterhalb der Antenne am Mast angebracht und ohne Kabel mit dem Antennenfußpunkt verbunden

Das vom Impedanzwandler gelieferte Signal wird in einem zweistufigen *NF*-Verstärker (Abb. 2) auf einen Pegel angehoben, der groß genug ist, um Kabelverluste auszugleichen und die Soundkarte eines *PCs* anzusteuern. Der Nachbau bereitete keine Probleme.

Der Computer speichert die einlaufenden Daten als *wav*-File und arbeitet parallel dazu als Echtzeit-Spektrumsanalysator (*FFT*-Programm *Spectrogram*¹). Im Echtzeit-Spektrum sind die Schumann-Linien allerdings noch nicht sichtbar. Dazu ist das vom *NF*-Verstärker gelieferte Signal zu stark verrauscht. Das Spektrum zeigt aber an, ob die Umgebung der

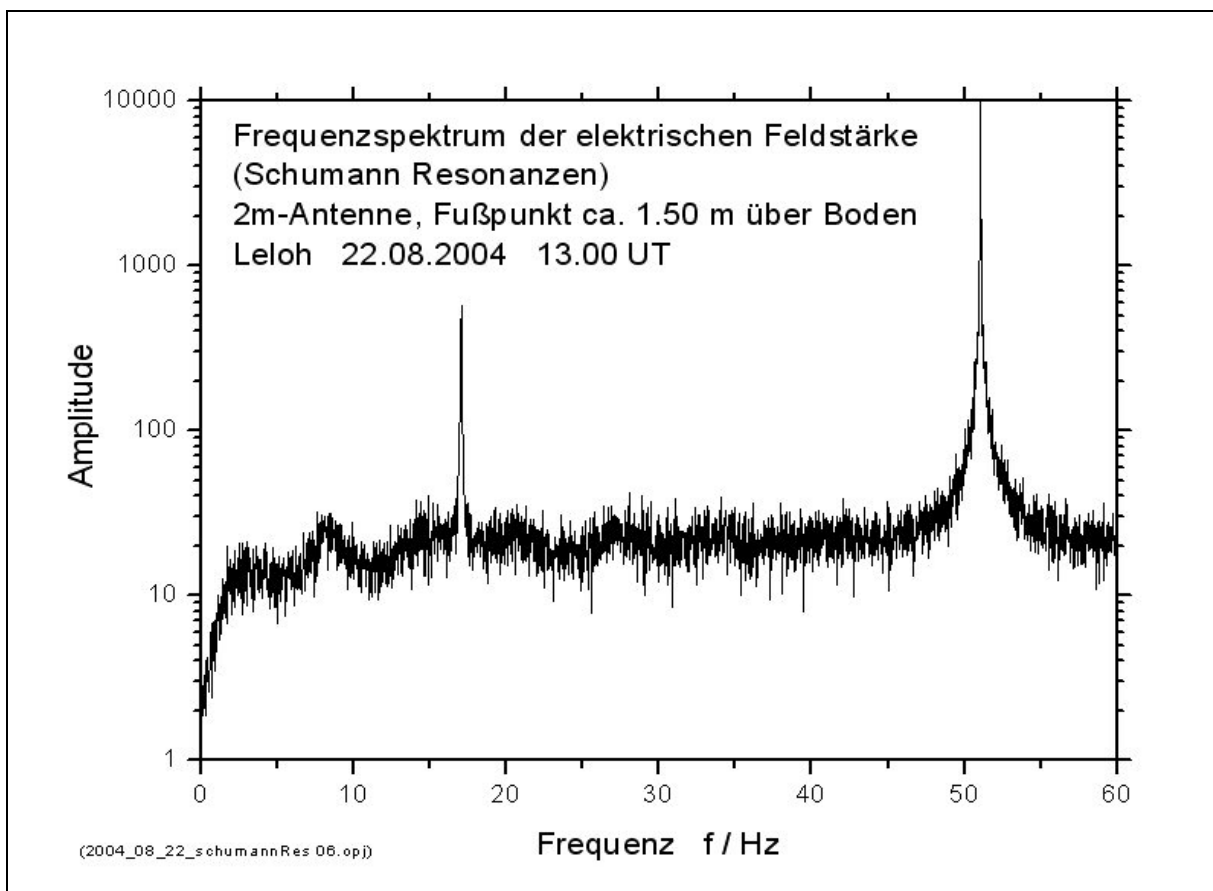


Abb. 5 Amplitudenspektrum der elektrischen Feldstärke mit Schumann-Resonanzen bei 8, 14, 21 und 27 Hz. Die Linien bei 16,7 und 50 Hz entsprechen den Bahnstrom- bzw. Energieversorgungsfrequenzen.

Antenne während der Messung elektrisch hinreichend ruhig ist. Die endgültige Fourier-Analyse der Daten erfolgte nach Abschluss der Messung mit der *FFT*-Routine des Programmpakets *Origin*². Einen Probe-Aufbau der Antenne und des Empfängers zeigen die Fotos Abb. 3 und 4.

Die eigentliche Messung fand auf freiem Feld statt, weitab von jeglicher Bebauung und von Hochspannungs-Überlandleitungen, und zwar an einem sonnigen, windstillen und elektrisch ruhigen Tag. Es wurden mehrere 30 bis 50 Sekunden dauernde Messreihen vorgenommen. Die anfallenden Daten wurden gespeichert und, wie angedeutet, offline ausgewertet. Dabei wurden die vom *FFT*-Programm gelieferten Spektren der einzelnen Messreihen überlagert. Durch diese Mittelung sollte sich das Rauschen reduzieren – das war zumindest die Hoffnung. Insgesamt ergab sich so eine Messzeit von etwa 8 Minuten. Das Ergebnis war ernüchternd, aber für einen ersten Versuch immerhin gut genug, um die Resonanzen zu sehen: Abbildung 5 zeigt sie in der Form breiter „Linien“ bei etwa 8, 14, 21 und 27 Hz. Die scharfen Linien bei 16,7 und 50 Hz rühren her vom Bahnstrom- bzw. Energieversorgungsnetz. Sie können als Eichmarken verwandt werden.

Mein nächstes Ziel ist es, die Resonanzen mit einer magnetischen Antenne nachzuweisen. Eine entsprechende Anlage ist im Bau.

Literatur

- BalW 60 Balser M. and C. Wagner (1960): Observations of Earth–Ionosphere Cavity Resonances, *Nature* **188** (4751): 638–641.
- Err 11 web.hep.uiuc.edu/home/serrede/P436/Lecture_Notes/P436_Lect_10.pdf
- Fu 01 Scott Fusare (ein amerikanischer Amateurfunker mit Rufzeichen **N2BJW**): An experimenters approach to detecting the Schumann Resonances, zitiert in home.arcor.de/peter.schmalkoke/.../schumann1.pdf
- NN 13 Gefunden im Web unter: space.fmi.fi/~viljanea/eds2005/eds2005_6.pdf
- SchlFü 02 Schlegel, Kristian und Martin Füllekrug: Weltweite Ortung von Blitzen: 50 Jahre Schumann-Resonanzen. *Physik in unserer Zeit* **33**(6), 2002, S. 256-26
- Schu 52 Schumann, W. O. : Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist. *Zeitschrift und Naturforschung* **7a** (1952): 149–154.
[Bibcode:1952ZNatA...7..149S](https://www.zn.uni-erlangen.de/bibcode/1952ZNatA...7..149S).
- SchuK 54 Schumann, W. O. und H. L. König: Über die Beobachtung von “atmospherics” bei geringsten Frequenzen, *Naturwissenschaften* **41** (1954), 183–184.

Anmerkungen

¹ http://softadvice.informer.com/Spectrogram_16.0_Download.html

² software.additive-net.de