

Bauanleitung für eine hochpräzise, geschirmte DCF77-Mehrwindungs-Schleifenantenne

Optimiert für Phasenmodulationsempfang und Extrempräzision in München

DM8ANE

Juni 2026

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Funktionsprinzip	2
2	Technische Daten und Dimensionierung	2
3	Mathematische und physikalische Berechnung	2
3.1	Berechnung der Induktivität L	2
3.2	Berechnung der Resonanzkapazität C	3
3.3	Berechnung des Dämpfungswiderstandes R_p für die Bandbreite	3
4	Konstruktionszeichnung und mechanischer Aufbau	4
4.1	Die mechanische Struktur	4
4.2	Das Innenkabel und die serielle Verschaltung	4
5	Elektrischer Schaltplan	5
6	Schritt-für-Schritt Bauanleitung	5
6.1	Materialliste	5
6.2	Montageschritte	5
6.3	Abgleich und Inbetriebnahme in München	6

1 Einführung und Funktionsprinzip

Für die Ermittlung der Uhrzeit mit Extremprecision im Mikrosekundenbereich reicht die herkömmliche Amplitudendemodulation des DCF77-Signals ($f = 77,5$ kHz) nicht aus. Das System muss stattdessen die aufmodulierte 511-Bit-Phasenmodulation (Zufallsphasenrauschen) mittels Kreuzkorrelation auswerten.

Um die dafür notwendige Phasenstabilität zu gewährleisten, muss die Antenne:

1. Die vertikal polarisierte **Bodenwelle** bevorzugen und die schräg einfallende Raumwelle dämpfen.
2. Den allgegenwärtigen elektrischen Störnebel (E -Feld) im urbanen Raum (z. B. München) effektiv abschirmen.
3. Eine definierte Bandbreite von $B \approx 2$ kHz aufweisen, um die schnellen Phasensprünge der Pseudo-Random-Noise (PRN)-Sequenz (≈ 645 Hz Taktrate) nicht durch eine zu hohe Kreisgüte zu verschleifen.

Die hier beschriebene **geschirmte Mehrwindungs-Schleifenantenne** (Shielded Multi-Turn Loop) erfüllt diese Kriterien. Ein äußeres Aluminiumrohr dient als elektrostatischer Schirm gegen das E -Feld. Durch eine mechanische Unterbrechung (Spalt) an der Oberseite wird verhindert, dass das Rohr eine Kurzschlusschleife für das magnetische Feld (H -Feld) bildet. Im Inneren des Rohres befindet sich eine Spule mit $N = 20$ Windungen, die mit einem hochpräzisen Kondensator auf Resonanz abgestimmt wird.

2 Technische Daten und Dimensionierung

Für einen handlichen, aber hocheffizienten Aufbau werden folgende Parameter festgelegt:

Tabelle 1: Systemparameter der DCF77-Präzisionsantenne

Parameter	Symbol	Wert
Empfangsfrequenz	f_0	77,5 kHz
Schleifendurchmesser (Mitte)	D	600 mm (0,6 m)
Rohrdurchmesser (Aluminium)	d_{rohr}	16 mm
Windungszahl (intern)	N	20
Soll-Bandbreite (-3 dB)	B	$\approx 2,0$ kHz
Ziel-Kreisgüte	Q	$\approx 38,75$

3 Mathematische und physikalische Berechnung

3.1 Berechnung der Induktivität L

Die Induktivität einer kreisförmigen Mehrwindungs-Schleife im flachen Verbund lässt sich näherungsweise nach folgender Formel berechnen:

$$L \approx \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \left[\ln \left(\frac{8D}{d_{\text{rohr}}} \right) - 2 \right] \quad (1)$$

Wobei $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Vs/Am die magnetische Feldkonstante darstellt.

Setzt man die Werte aus Tabelle 1 ein:

$$\begin{aligned}
 L &\approx (4\pi \times 10^{-7}) \cdot 20^2 \cdot 0,3 \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot 0,6}{0,016} \right) - 2 \right] \\
 L &\approx 5,0265 \times 10^{-4} \cdot [\ln(300) - 2] \\
 L &\approx 5,0265 \times 10^{-4} \cdot [5,7037 - 2] \\
 L &\approx 5,0265 \times 10^{-4} \cdot 3,7037 \approx 1,861 \text{ mH (1861 } \mu\text{H)}
 \end{aligned}$$

3.2 Berechnung der Resonanzkapazität C

Nach der Thomsonschen Schwingungsformel gilt für die Resonanzfrequenz:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \implies C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L} \quad (2)$$

Einsetzen der Werte ergibt:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{4\pi^2 \cdot (77500 \text{ Hz})^2 \cdot 1,861 \times 10^{-3} \text{ H}} \\
 C &\approx \frac{1}{39,4784 \cdot 6,00625 \times 10^9 \cdot 1,861 \times 10^{-3}} \\
 C &\approx \frac{1}{441267605} \approx 2,266 \times 10^{-9} \text{ F} \approx \mathbf{2,27 \text{ nF}}
 \end{aligned}$$

3.3 Berechnung des Dämpfungswiderstandes R_p für die Bandbreite

Die ungedämpfte Güte eines solchen Kreises liegt oft bei $Q > 100$. Um die Phasensprünge exakt zu übertragen, dämpfen wir den Kreis parallel auf $Q = 38,75$:

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{77,5 \text{ kHz}}{2 \text{ kHz}} = 38,75 \quad (3)$$

Der erforderliche parallele Gesamtwiderstand R_p berechnet sich aus:

$$R_p = Q \cdot \omega_0 \cdot L = Q \cdot 2\pi f_0 \cdot L \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 R_p &= 38,75 \cdot 2\pi \cdot 77500 \cdot 1,861 \times 10^{-3} \\
 R_p &\approx 38,75 \cdot 486946 \cdot 1,861 \times 10^{-3} \approx \mathbf{35,1 \text{ k}\Omega}
 \end{aligned}$$

Da der Eingangswiderstand des nachfolgenden Vorverstärkers/SDRs parallel wirkt, muss der reale Festwiderstand entsprechend höher gewählt werden (z. B. ein Trimpoti mit 50 k Ω zur feinen Bandbreiteneinstellung).

4 Konstruktionszeichnung und mechanischer Aufbau

4.1 Die mechanische Struktur

Das Aluminiumrohr wird zu einem präzisen Kreis mit einem Außendurchmesser von 600 mm gebogen. An der exakten Oberseite wird ein Teilstück des Rohres entfernt, um den elektrostatischen Schirm zu unterbrechen.

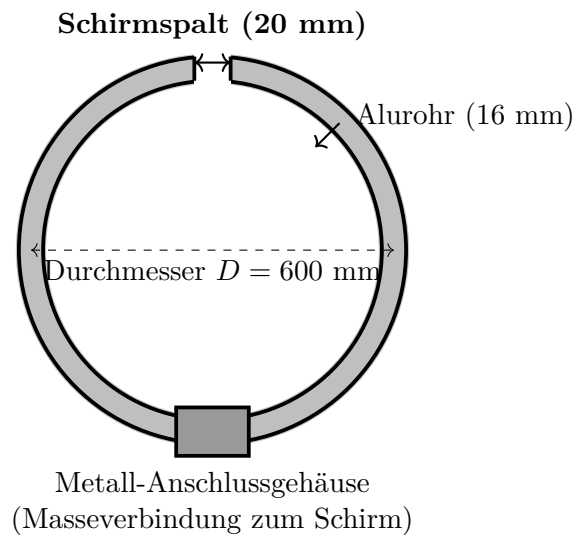


Abbildung 1: Mechanischer Aufbau des Aluminium-Schirms mit Luftspalt

4.2 Das Innenkabel und die serielle Verschaltung

Um das Einziehen von 20 Einzeldrähten zu vereinfachen, wird ein hochwertiges, flexibles Steuerkabel (z. B. *LiYY 20 x 0,25 mm²*) eingezogen. Der Gesamtschirm des Steuerkabels wird **nicht** verwendet oder einseitig auf Masse gelegt. Die Adern werden am Fußpunkt wie folgt in Reihe geschaltet:

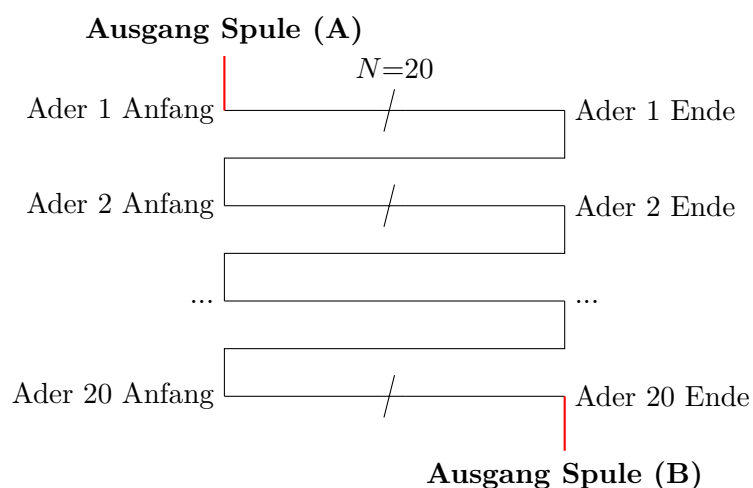


Abbildung 2: Prinzip der seriellen Verschaltung zur Erhöhung der Induktivitätswicklung

5 Elektrischer Schaltplan

Die Auskopplung erfolgt direkt parallel zum Schwingkreis. Der Kondensator wird aus einer Parallelschaltung eines Festkondensators und eines feinen Trimmers aufgebaut, um Toleranzen auszugleichen.

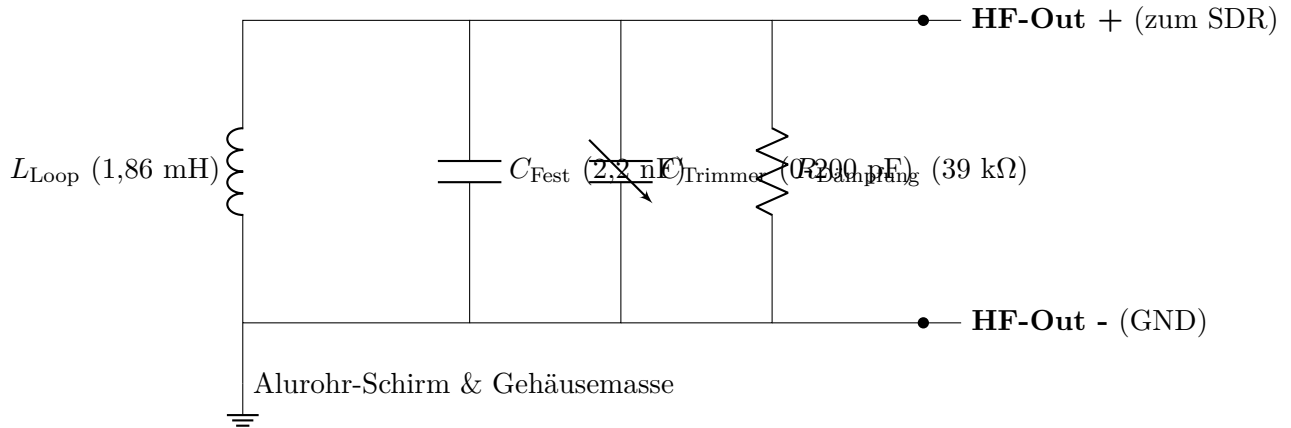


Abbildung 3: Vollständiges elektrisches Ersatzschaltbild der Empfangsantenne

6 Schritt-für-Schritt Bauanleitung

6.1 Materialliste

- **Aluminium-Verbundrohr:** Länge ca. 200 cm, Durchmesser 16 mm (aus dem Heizungsbau, lässt sich leicht formen).
- **Kabel:** 210 cm flexibles, mehradriges Steuerkabel (z. B. *Unitronic LiYY 20 x 0,25* oder Netzwerkkabel CAT7, bei dem die verdrehten Paare seriell genutzt werden).
- **Gehäuse:** HF-dichtes Aluminium-Druckgussgehäuse als Fußpunkt.
- **Kondensatoren:** $1 \times 2,2 \text{ nF}$ WIMA FKP2 (Impulsfest, extrem temperaturstabil) sowie ein Folientrimmer 10–200 pF.
- **Widerstand:** $1 \times 39 \text{ k}\Omega$ Metallfilm oder ein Präzisions-Trimmwiderstand $50 \text{ k}\Omega$.

6.2 Montageschritte

1. **Rohr biegen:** Biege das Alurohr vorsichtig um einen runden Gegenstand (z. B. eine Autofelge oder einen Eimer), bis ein sauberer Kreis mit einem mittleren Durchmesser von 60 mm entsteht.
2. **Schirmspalt einbringen:** Säge an der Oberseite des Kreises ein exakt 20 mm breites Stück aus dem Aluminiumrohr heraus. *Wichtig:* Die inneren Kunststoffschichten (falls Verbundrohr) können als mechanische Brücke stehen bleiben, das Aluminium muss jedoch vollständig unterbrochen sein! Versiegle den Spalt spritzwassergeschützt mit Schrumpfschlauch oder Silikon.
3. **Kabel einziehen:** Ziehe das 20-adrige Steuerkabel durch das Rohr, sodass beide Enden unten im Aluminiumgehäuse zusammenlaufen.

4. **Verschaltung der Wicklungen:** Löte die Adern im Gehäuse strikt seriell gemäß Abbildung 2. Isoliere jede Lötstelle sorgfältig mit Schrumpfschlauch. Das verbleibende Anfangs- und Endstück bildet die Anschlüsse der Induktivität.
5. **Verbindung zum Schirm:** Verbinde das Aluminiumgehäuse mechanisch und elektrisch leitend mit den beiden unteren Enden des Alurohrs. Diese Gehäusemasse bildet das Bezugspotenzial (GND).
6. **Schwingkreis aufbauen:** Löte die Kondensatoren (C_{Fest} und C_{Trimmer}) sowie den Dämpfungswiderstand parallel zu den beiden Spulenenden.

6.3 Abgleich und Inbetriebnahme in München

1. Verbinde den Ausgang mit einem Oszilloskop, einem Spektrumanalysator oder deinem SDR-Empfänger.
2. Stell die Antenne vertikal auf. Richte die Ringebene der Antenne exakt in Richtung **Nordwesten** ($\approx 310^\circ$) aus, genau auf den Sender in Mainflingen.
3. Führe den Abgleich idealerweise um die **Mittagszeit (zwischen 11:00 und 14:00 Uhr)** durch. Zu dieser Zeit ist die störende Raumwelle maximal gedämpft, und du empfangst die reine, phasenstabile Bodenwelle.
4. Drehe vorsichtig am Kondensatortrimmer, bis die Amplitude des 77,5 kHz-Signals ein Maximum erreicht. Falls ein Netzwerkanalysator (VNA) vorhanden ist, gleiche den Kreis auf minimale Reflexion bzw. maximale Impedanz bei 77,5 kHz ab und überprüfe, ob die 3-dB-Bandbreite durch den Widerstand bei ca. 2 kHz liegt.