

## 5.5 Elementare Tonabnehmer-Parameter

Auf dem Markt existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Magnet-Tonabnehmer. Sie unterscheiden sich im prinzipiellen Aufbau, in den Abmessungen, und im Übertragungsverhalten. Einige der elektrischen Parameter lassen sich leicht ausmessen, und werden deshalb häufig in Übersichtstabellen angegeben; zumeist zusammen mit Klangattributen wie: Brillant, dumpf, laut. Natürlich erzeugt der Tonabnehmer selbst keinen Klang – hierzu bedarf es noch einer schwingenden Saite, eines Verstärkers und eines Lautsprechers. Die Klangattribute sind eigentlich absolute Kategorialurteile, trotzdem ist ein vergleichendes Ordinalurteil gemeint: Wenn ein Tonabnehmer als 'laut' bezeichnet wird, heißt das: 'lauter als die meisten anderen'. 'Schrill' bedeutet demzufolge: 'Dieser Tonabnehmer erzeugt mit einer üblichen Gitarre an einem üblichen Verstärker mit üblicher Einstellung einen wesentlich höhenreicheren Klang als die meisten anderen'. Was aber bewirkt, dass ein Tonabnehmer lauter oder schriller klingt als andere?

### 5.5.1 Gleichstromwiderstand

Als scheinbar wichtigster Parameter wird der **Gleichstromwiderstand** angegeben. Er lässt sich sehr leicht mit einem Ohmmeter bestimmen. Manchmal ist alternativ von **Impedanz** die Rede, manchmal von Lautstärke. Impedanz ist der Betrag eines komplexen, frequenzabhängigen Widerstandes. Es ist nicht direkt falsch, auch bei Gleichstrom von Impedanz zu sprechen; die Frequenz sollte aber angegeben werden. Also entweder: Impedanz bei 0 Hz, oder eben: Gleichstromwiderstand. Die Angabe: 'Lautstärke = 8 kOhm' oder auch 'Output = 8 K' ist aber falsch. Zum einen passen schon Größe und Einheit nicht zusammen, zum anderen besteht zwischen Gleichstromwiderstand und Lautstärke kein einfacher Zusammenhang. Man merkt das sofort, wenn man aus dem Tonabnehmer den Magnet entfernt: Der Gleichstromwiderstand ändert sich dabei nicht, die Lautstärke geht aber (je nach Restfeld) gegen null.

Der Gleichstromwiderstand  $R$  wird vom spezifischen Widerstand  $\rho$  des Spulendrahts, von der Drahtquerschnittsfläche  $S_{Cu}$  und von der Drahtlänge  $l$  bestimmt:  $R = l\rho/S_{Cu}$ . Bei Magnettonabnehmern wird eigentlich immer **Kupferdraht** verwendet, hierfür gilt:  $\rho \approx 0.018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Je nach Beimischungen bzw. Verunreinigungen ist bei  $\rho$  mit kleineren Streuungen zu rechnen. Größere Streuungen sind beim Drahtdurchmesser zu erwarten: Neuere Datenblätter geben beim AWG-42-Draht eine fertigungsbedingte Durchmesser-toleranz von  $\pm 5\%$  an, und da die Querschnittsfläche quadratisch vom Durchmesser abhängt, streuen hierbei die Querschnittsfläche  $S_{Cu}$  und damit der Widerstand  $R$  um  $\pm 10\%$ .

Der **Durchmesser**  $D$  ist sehr klein, häufig nur ca.  $63 \mu\text{m}$ , das ist dünner als ein Haar. Die amerikanische Literatur gibt den Durchmesser als **AWG** (American Wire Gauge) an. Der in Tonabnehmern häufig verwendete AWG-42 hat als Kupferdurchmesser  $2,5 \text{ mil} = 63,34 \mu\text{m}$ . Zur Umrechnung kann im Bereich  $30 < \text{AWG} < 50$  folgende Näherung verwendet werden:

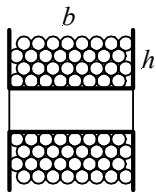
$$D_{Cu} = 10^{0,902 - \text{AWG}/20} \text{ mm}^* \quad \text{z.B.: AWG-42} \rightarrow D_{Cu} = 63.3 \mu\text{m}$$

Der Nennwert des Meterwiderstandes beträgt für diesen Draht (AWG-42): **5,4 Ohm/Meter**. Er streut fertigungsbedingt zwischen 4,9 und 5,9 Ohm/Meter (moderne Fertigung). Und er hängt von der **Temperatur** ab:  $R$  steigt pro  $^\circ\text{C}$  um  $0,39\%$ .

\* etwas genauer:  $D = 0.127\text{mm} \cdot 92^{(36 - \text{AWG})/39}$

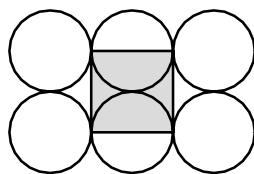
Auf den zylindrischen Kupferdraht ist eine dünne **Lackschicht** als Isolator aufgebracht. Beim einfach isolierten Draht (*single build*) wächst hierdurch der Durchmesser um ca. 10%, beim zweifach isolierten (*heavy*) Draht um ca. 20%. Da in Tonabnehmern nur sehr kleine elektrische Spannungen erzeugt werden, reicht einfach isolierter Draht.

Die maximal aufwickelbare Drahtlänge hängt neben dem Drahtdurchmesser vom Wickelraum des Spulenkörpers und vom Füllfaktor ab. Wird von Hand gewickelt, liegen die einzelnen Windungen teilweise über Kreuz, die Wicklung enthält mehr Luft und somit weniger Kupfer. Bei maschineller Bewicklung kommt eine Windung exakt neben der anderen zu liegen, der Füllfaktor ist größer. Praktisch keinen Einfluss hat die **Zugkraft**: Damit die Windungen straff liegen, wird beim Bewickeln leicht gebremst. Da haarfeiner Kupferdraht aber sehr leicht abreißt, ergibt sich hier kein großer Spielraum. Einer Herstellerempfehlung zufolge sollte der AWG-42-Draht mit ca. 0,33 N Zugkraft gewickelt werden. Die Dehnung beträgt hierbei nur ca. 0,1%, die durch Querkontraktion bedingte Querschnittsabnahme sogar noch weniger. Die zugkraftbedingte Widerstandserhöhung ist somit vernachlässigbar.

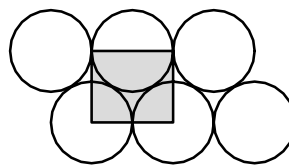


**Abb. 5.5.1:** Querschnitt durch eine Tonabnehmer-Spule. Wicklungsbreite  $b$  und Wicklungshöhe  $h$  bezeichnen die Innenmaße des Spulenkörpers. Der Drahtdurchmesser ist stark vergrößert gezeichnet.

**Abb. 5.5.1** zeigt den Querschnitt durch eine Tonabnehmerspule. Bei üblichen Tonabnehmern variiert die Breite  $b$  zwischen 4 – 12 mm, die Höhe  $h$  zwischen 5 – 15 mm; sehr kleine Spulen (z.B. Gretsch) haben nur ca. 2.5 mm Höhe. Häufig liegt die zur Verfügung stehende Wicklungsfläche  $S = b \times h$  zwischen 30 und 60 mm<sup>2</sup>. Bei einem AWG-42-Draht beträgt die Querschnittsfläche (incl. Lack) ca. 0.004 mm<sup>2</sup>. Um aus diesen Daten die maximal mögliche Windungszahl berechnen zu können, muss der Luftanteil abgeschätzt werden. **Abb. 5.5.2** zeigt zwei Idealfälle: Der **Füllfaktor**  $\mathfrak{F}$  ist der Quotient aus kreisförmiger Drahtfläche zu rechteckförmiger Wicklungsfläche. Das rechte Bild der Abb. 5.5.2 zeigt das erstrebenswerte Ziel: Alle Windungen liegen 'auf Lücke', der Füllfaktor ist über 90%. Eine derartig präzise Wicklung ist aber nur zu erreichen, wenn der Vorschub ähnlich präzise gesteuert wird – und das sind ja nur 71 µm pro Umdrehung. Man wird sich in der Praxis deshalb mit kleineren Werten begnügen müssen ( $\mathfrak{F} = 70 - 85\%$ ). Beispielsweise bietet der Stratocaster-Tonabnehmer eine Wicklungsfläche von ca. 40 mm<sup>2</sup>. Bewickelt man ihn mit 7600 Windungen (in den sechziger Jahren ein üblicher Fender-CBS-Wert), so erhält man 30 mm<sup>2</sup> Drahtfläche und ca. 75% Füllfaktor. Mit einer mittleren Windungslänge von 14 cm ergibt sich die gesamte Drahtlänge zu 1064 m, woraus ein Gleichstromwiderstand von 5.7 kΩ berechnet werden kann. Dieser Wert wird durch Messungen gut bestätigt.



$$\mathfrak{F} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$



$$\mathfrak{F} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.907$$

**Abb. 5.5.2:** Füllfaktor  $\mathfrak{F}$  bei idealisierter Drahtlage. Die reine Kupfer-Querschnittsfläche ist bei einfach lackiertem AWG-42-Draht ca. 80% der gesamten Draht-Querschnittsfläche, bei zweifacher Lackierung ca. 70%. Je nach Hersteller, Isolierungsart und Herstellungsverfahren können sich auch andere Werte ergeben!