

### 5.5.7 Isolierlack, Wachs

Die Tonabnehmer-Spule wird aus sehr dünnem Kupferdraht gewickelt, auf den zum Schutz gegen Kurzschluss und aggressive Luftbestandteile ein Lackfilm aufgebracht ist. Als Isolierlack wurden bzw. werden vor allem "Plain Enamel", "Formvar", "Polysol" und "Polyurethan-Nylon" verwendet. Derartig isolierter Draht wird Kupfer-Lack-Draht oder (*engl.*) Magnet-Wire genannt. Der isolierte Kupferdraht an sich ist natürlich unmagnetisch (exakt: diamagnetisch) – er hat den gleichen magnetischen Widerstand wie Luft.

Das englische Substantiv **enamel** steht für Glasur, Schmelzglas, Email(le), Lack (allgemein), oder auch spezielle Lacke (z.B. Kunstharzlack). Das Verb *enamel* bedeutet emaillieren oder lackieren. "Enamelled (auch enameled) copper wire" ist somit lackierter Kupferdraht, auch **Kupferlackdraht** genannt. Im Sinne dieser Bedeutung verdient somit jeder in Tonabnehmern verwendete CuL-Draht die Bezeichnung *enamelled copper wire*. Ganz so einfach ist es aber nicht, denn *enamel* wird häufig in spezieller Bedeutung verwendet:

**Plain Enamel** (*engl.*) kennzeichnet einen der ersten industriell hergestellten Isolierlacke. Die deutsche Bezeichnung hierfür ist Öllack oder Emaillack (auch Emaillelack). Öllacke werden mit Ölen hergestellt, die beim Trocknen oxidieren und hierbei einen irreversiblen Film bilden. Zur Erhöhung von Härte und Glanz werden Harze (*engl.*: *Resin*) zugesetzt. Aus der Öl/Harz-Mischung leitet sich die auch verwendete englische Bezeichnung *Oleoresinous Email* bzw. *Oleoresinous Insulation* ab. Der in alten Tonabnehmern verwendete *Plain enamelled wire* hat eine braun/violette Farbe ("vintage").

**Formvar** (fälschlich auch Formivar) war ein Warenzeichen der *Monsanto Chemical Company* (St. Louise, Missouri, USA). Nach Verkauf einer Business-Unit an *Structure Probe, Inc.* erfolgte eine Umbenennung von Formvar in Vinylec. Formvar-Lacke enthalten Polyvinyl-Acetal = Polyvinylformal. Im Zweistufenverfahren wird zuerst aus Polyvinylacetat Polyvinylalkohol hergestellt, der dann acetalisiert wird. Zur Herstellung von Drahtlacken wird Polyvinylformal Phenolharz zugesetzt. Die englische Bezeichnung hierfür ist *Modified polyvinyl acetal resins*. Formvar-Kupferlackdraht ist goldfarben glänzend und nicht lötlbar.

**Polysol-Lack** ist ein lötlbarer Polyurethan-Lack, der als Zweikomponentenlack angemischt wird. Polysol-Kupferlackdraht ist üblicherweise hellrot glänzend. Oder braun-violett, wenn's nach "vintage" aussehen soll ☺.

**Polyurethan-Nylon** ist eine nylonbeschichtete Polyurethan-Isolierung.

Es darf nicht davon ausgegangen werden, dass die o.a. Lackbezeichnungen eine 100%-ige Werkstoffbezeichnung darstellen. Während z.B. die chemische Formel *NaCl* eindeutig Kochsalz zuzuordnen ist, kennzeichnet *Öllack* nur eine Stoffgruppe ähnlicher, aber im einzelnen chemisch und physikalisch unterschiedlicher Lacke.

An die **Isolationseigenschaften** des im Tonabnehmer aufgewickelten Kupferlackdrahtes werden keine großen Anforderungen gestellt, die Spannungen sind sehr klein. Nimmt man 5 V Spitzenspannung an (ein relativ hoher Wert), und eine Lackdicke von  $2 \times 2,5 \mu\text{m} = 5 \mu\text{m}$ , so ergibt sich im Worst-Case-Fall eine Feldstärke von ungefähr 1 kV/mm – das ist für einen Isolator eher wenig. Für Formvar wird als Grenze beispielsweise 80 kV/mm angegeben. Derartig hohe Feldstärken können im Tonabnehmer nicht erreicht werden.

Die **magnetischen** Eigenschaften der genannten Isolierstoffe unterscheiden sich untereinander nicht messbar; alle weisen eine relative Permeabilität sehr nahe bei 1 auf. Sie können deshalb in sehr guter Näherung als unmagnetisch bezeichnet werden. Bei den **Dielektrizitätszahlen** sind hingegen Unterschiede messbar. Das  $\epsilon_r$  derartiger Isolierstoffe liegt typischerweise zwischen 2 und 5, genaue Daten werden von den Herstellern nicht veröffentlicht. Variationen bei der Dielektrizitätszahl ändern die Spulenkapazität entsprechend. Nimmt man – hoch gegriffen – eine Kapazitätsänderung von 50 auf 100 pF an, so würde sich mit einem 450-pF-Kabel eine 10%-ige **Kapazitätsänderung** ergeben, was ca. einer 5%-igen Änderung der Resonanzfrequenz entspricht. Dieselbe Resonanzverschiebung würde sich aber auch einstellen, wenn die Länge des Gitarrenkabels um 11% geändert würde; also beispielsweise von 3,75 auf 4,15 Meter. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese kleinen Änderungen im A/B-Vergleich hörbar sind. Das Internet ist voll von Spekulationen über den Beitrag der Drahtisolation zum Klang des Tonabnehmers, bzw. über die von den verschiedenen Lacken hervorgerufenen Klangunterschiede. Da jedoch kaum ein Gitarrist überlegt, ob er heute mal sein 3,75-Meter-Kabel nimmt, oder des anderen Klanges wegen (!) sein 4,15-Meter-Kabel, darf auch der Lackart keine große Bedeutung zugewiesen werden. Zweifler sind eingeladen, sich die Unterschiede durch Parallelschalten eines 50-pF-Kondensators anzuhören. Und wenn's mit parallelgeschaltetem Kondensator tatsächlich viel besser klingt – fest einlöten!

Neben den potentiellen dielektrischen Unterschieden wird gelegentlich davon berichtet, dass eine bestimmte Lackart dicker aufgetragen wird als eine andere, was zu einer veränderten Spulengeometrie führt. Natürlich hängen Spuleninduktivität und -kapazität von der Geometrie ab. Die **Isolierlackdicke** ist aber nicht generell lacktypisch. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Hersteller einen 42AWG-Draht mit genau gleicher Lackdicke fertigen – selbst wenn man gleiches Isoliermaterial zugrunde legt. Kupfer- und Lackabmessungen sind sowieso fertigungsbedingten Schwankungen unterworfen, und außerdem muss berücksichtigt werden, dass viele Hersteller einen speziellen Draht (z.B. 42AWG, Formvar) ganz bewusst mit unterschiedlichen Lackdicken anbieten. Bei Hochspannungsanwendungen ist eine dickere (mehrfache) Isolierschicht wünschenswert, für Tonabnehmer würde einmaliges Lackieren reichen. Trotzdem verwenden einige Hersteller bei Tonabnehmern mehrfach lackierten Draht.

Was ändert sich, wenn statt einfach lackierten Kupferlackdrahtes zweifach lackierter verwendet wird? Hängt ganz davon ab, welche Parameter konstant gehalten werden: Hält man die Anzahl der Windungen konstant, so vergrößert sich die Spule. Wickelt man hingegen den vorhandenen Spulenkörper bis zum Rand voll, so verringert sich bei dickerer Isolierung die Windungszahl. Als Abschätzung kann man annehmen, dass der zweifach isolierte Draht gegenüber dem einfach isolierten etwa 20% mehr Querschnittsfläche benötigt.

- Für konstanten Wicklungsquerschnitt (wickeln, bis der Wickelkörper voll ist) resultiert hieraus eine um 17% verringerte Windungszahl – verbunden mit verringerter Induktivität, geringerer Empfindlichkeit und kleinerem Gleichspannungswiderstand.
- Hält man aber die Windungszahl konstant (wickeln, bis das Zählwerk abschaltet), so ist die Wicklungsfläche größer. Dies muss aber nicht zwangsläufig eine vergrößerte Empfindlichkeit bedeuten, denn die Windungen gelangen hiermit in Bereiche kleinerer Flussdichte. Empfindlichkeit und Induktivität sind mit einfachen Formeln nicht berechenbar; beim Gleichspannungswiderstand ergibt die Berechnung eine Zunahme um ca. 2%. Dass diese Änderung trotz 20%-iger Flächenänderung so gering ausfällt, liegt daran, dass die Wicklung länglich, und nicht kreisförmig ist.

Falls die Windungszahl konstant gehalten wird, hängen die Tonabnehmerparameter nur wenig von der Lackdicke ab; bei konstantem Wicklungsquerschnitt sind die Auswirkungen größer.

Bei vielen Tonabnehmern ist außer Lack noch ein weiteres Dielektrikum zwischen den Windungen der Spule: Die Tonabnehmer werden **in Wachs getaucht**, um der Spule mehr Festigkeit zu verleihen (*wax dipping* bzw. *potting*). Mitte der Sechzigerjahre kam es in Fenders Gitarrenproduktion allerdings zu einer Panne [Duchossoir]: Die neu eingeführte Polysol-Isolierung löste sich im Wachsbad auf, die Wicklungen bekamen Kurzschlüsse. Ab diesem Zeitpunkt ging's ohne Wachsbad weiter (die Unterschiede waren offensichtlich nicht allzu gravierend); erst in den Achtzigerjahren fand Fender (nun wieder ohne CBS) zu alten Rezepten zurück. Wachs kann zum einen die Drahtwindungen festigen und Eigenschwingungen (Mikrofonie) reduzieren, zum anderen die Wicklungskapazität erhöhen. Gegenüber der alles dominierenden Kabelkapazität sind durch Wachstauchen aber nur geringfügige Kapazitätsänderungen zu erwarten (in aller Regel  $< 50$  pF). **Mikrofonie** siehe Kap. 5.14.

Keine Rolle spielen die **Verluste** der Wicklungsisolierung: Der zur Wicklungskapazität parallel liegende Verlustwiderstand ist größer als  $10\text{ M}\Omega$  und damit vernachlässigbar. Je nach verwendetem Material muss aber u.U. **Hygroskopizität** berücksichtigt werden: Isolatoren können Wasser aufnehmen, das durch seine hohe Dielektrizität zu einer merklichen Kapazitätsvergrößerung führen kann (siehe Tabelle).

Material	$\epsilon_r$ bei 1kHz	$\tan\delta$ in ‰	
Gießharz	4 – 8	20 – 80	<b>Tabelle:</b> Dielektrische Eigenschaften von Isolierwerkstoffen. Die Zahlen sind als Richtwerte aufzufassen, die Materialzusammensetzungen variieren herstellerabhängig.
Zelluloseazetat	3,5 – 6	12 – 25	
Äthylzellulose	2,5 – 3,5	5 – 25	
Vulkanfiber	4	80	
Polyurethan	3,0 – 5,5	5 – 50	
Paraffin	1,9 – 2,3	$< 5$	
Schellack	3 – 4	10	
Bakelit	4,8 – 5,3	10	
Pertinax	4,8 – 5,4	25	
Wasser	ca. 80		

Als **Fazit** bleibt festzuhalten, dass Wachstauchen sowie Lackdicke und -material zu kleinen, messbaren Kapazitäts-Unterschieden führen können, deren Bedeutung für die Praxis aber nachrangig ist. Mikrofonie (Kap. 5.14) kann hierdurch wirkungsvoll bekämpft werden.

### 5.5.8 Wickelkörper (Flansch, *Flat Work*)

Bei alten Fender-Tonabnehmern wurden die 6 Stiftmagnete durch zwei Vulkanfiber-Flansche (Hydratzellulose) gesteckt: Diese hielten sowohl die Magnete in Position, als auch den aufgewickelten Draht auf den Magneten. Es muss dringend davor gewarnt werden, die Position dieser Magnete in axialer Richtung durch "leichte Schläge" zu verschieben. Autoren, die derartige Einstellarbeiten empfehlen, werden möglicherweise von der Tonabnehmerindustrie sponsert – in vielen Fällen reißt hierbei nämlich der haarfeine Wicklungsdraht ab, dann muss der Tonabnehmer ausgetauscht (oder neu bewickelt) werden. Mehr mechanischen Schutz bieten Tonabnehmer mit kompletten Spritzkunststoff-Wickelkörpern.

Bezüglich des Einflusses von Flansch bzw. Wickelkörper auf den Klang gilt das über Isolierlacke gesagte: Die verwendeten Materialien können unterschiedliches  $\epsilon$  und deshalb unterschiedliche Wicklungskapazität sowie unterschiedliche Resonanzbedämpfung bewirken. Im Vergleich zu Kabelkapazität und Potentiometerdämpfung sind derartige Unterschiede aber als *sehr* untergeordnet zu betrachten.