



**MAGNETISCHE
NEUTRALITÄTSKLASSIFIZIERUNG
VON KONSTRUKTIONSHOLZ: EINE
N-GRAD-REINHEITSKLASSIFIKATIO
N FÜR
AUDIO-AUFLAGEMATERIALIEN MIT
SPURPARAMAGNETISCHER
CHARAKTERISIERUNG VON
ÄQUATORIALEM TEAKHOLZ**

Magnetische Neutralitätsklassifizierung von Konstruktionsholz: Eine N-Grad-Reinheitsklassifikation für Audio-Auflagematerialien mit spurparamagnetischer Charakterisierung von äquatorialem Teakholz

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Zusammenfassung

Audialeiter werden routinemäßig nach metallurgischen Reinheitsgraden spezifiziert -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) und darüber hinaus --, doch die Konstruktionsmaterialien, die diese Leiter tragen, anheben und terminieren, werden, wenn überhaupt, nach ihrem Aussehen spezifiziert. Diese Asymmetrie entbehrt jeder Begründung: Ein Auflagematerial in ständigem Kontakt mit einem Signalkabel ist an dessen elektromagnetischer Nahfeldumgebung beteiligt, weshalb seine magnetischen und dielektrischen Eigenschaften messbare Eingangsgrößen der Installation und keine dekorativen Merkmale sind. Wir schlagen für Konstruktionsholz eine N-Grad-Reinheitsklassifikation vor, analog zur N-Grad-Skala für Metalle, jedoch definiert über jene Größe, auf die es bei einem Nichtleiter ankommt: den paramagnetischen Restgehalt. Der Grad eines Holzes wird durch seine magnetische Volumenssuszeptibilität und gleichwertig durch den gemeinsamen Massenanteil der dominierenden paramagnetischen Verunreinigungen Eisen und Mangan bestimmt, ermittelt mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie nach Mikrowellen-Säureaufschluss. Wir charakterisieren 11 geeignete Holzarten und zeigen, dass die meisten Möbelharthölzer -- insbesondere Weißbeiche mit 41 bis 190 ppm Eisen -- unter 4N-Neutralität liegen, während Plantagenteak (*Tectona grandis*), gewachsen innerhalb von 5 deg um den geomagnetischen Äquator, im Lieferzustand 5N (99.999 Prozent magnetisch neutral, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) und bei Einzelbarrenausswahl 6N erreicht. Wir berichten über die Instrumentierung, die Gradgrenzen, die dielektrischen Folgen von Faserrichtung und Feuchtegehalt sowie die Umklassifizierung neutralen Holzes als „magnetisch beeinträchtigt“, die auf jede metallkatalysierte Oberflächenbehandlung folgt.

1. EINLEITUNG

Der Markt für audiophile Leiter ist nach Reinheit geordnet. Sauerstofffreies Kupfer wird als 4N (99.99 Prozent), 5N, 6N und -- an der Grenze dessen, was elektrolytische Raffination leisten kann -- 7N verkauft. Jede zusätzliche Neun entfernt nach allgemeinem Verständnis eine Streustelle, eine Korngrenzenverunreinigung, einen paramagnetischen Einschluss. Ob der hörbare Nutzen der letzten Neun einen kontrollierten Hörtest übersteht, ist eine andere Frage, die an anderer Stelle in dieser Zeitschrift behandelt wird; entscheidend ist hier, dass die Branche über ein strenges, quantitatives und allgemein verstandenes Vokabular für die Reinheit eines Leiters verfügt.

Für alles andere besitzt sie kein solches Vokabular. Das Kabel wird auf sieben Neunen klassifiziert und anschließend auf einen Fußboden gelegt, in eine Wand geklemmt oder über eine Auflage unbekannter Zusammensetzung geführt. Die Auflage wird nach ihrer Farbe ausgewählt. Dies ist die Stellung des Holzes in einem Audiosystem: strukturell lasttragend, in ständigem physischem Kontakt mit dem Signalleiter und messtechnisch unsichtbar.

Wir halten dies für unvertretbar. Ein Auflagematerial in Kontakt mit einem Kabel ist Teil der unmittelbaren dielektrischen und magnetischen Umgebung des Kabels. Enthält es ferromagnetische Einschlüsse -- ein Fragment von Bandsägespänen, eine abgebrochene Klammer, das Eisen, das ein Baum dem Boden entzogen und in seinem Kernholz gebunden hat --, erzeugt es entlang der Strecke eine lokale Permeabilitätsunstetigkeit. Ist es hygroskopisch und polar, erzeugt es eine verteilte, feuchteabhängige Kapazität. Dies sind dieselben Größen, welche der Reinheitsgrad des Leiters selbst kontrollieren soll. Es ist inkonsequent, den einen auf sechs Neunen zu spezifizieren und den anderen dem Möbeltischler zu überlassen.

Diese Arbeit schlägt eine N-Grad-Klassifikation für Konstruktionsholz vor, die nicht auf chemischer Reinheit im Sinne der Gesamtzusammensetzung beruht -- Holz besteht ungefähr zur Hälfte aus Kohlenstoff und wird in keinem sinnvollen Verständnis jemals „99.999 Prozent Holz“ sein --, sondern auf der einzigen Eigenschaft, durch die Holz an einen Audiosignalfeld koppelt: seinem paramagnetischen Restgehalt und der magnetischen Volumenssuszeptibilität, die dieser Gehalt hervorruft.

2. DER NEUTRALITÄTSGRAD UND DIE N-SKALA

Trockenes Holz ist diamagnetisch. Zellulose, Lignin und gebundenes Wasser besitzen jeweils eine geringe negative magnetische Volumenssuszeptibilität, und sauberes, verunreinigungsfreies Holz liegt nahe $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensionslose Volumenssuszeptibilität), entsprechend einer relativen Permeabilität μ_r von 0.999994 -- von Eins nicht zu unterscheiden und tatsächlich geringfügig darunter. Vollkommen neutrales Holz ist somit nicht lediglich unmagnetisch; es ist schwach und reproduzierbar diamagnetisch. Dies ist der korrekte und erwünschte Zustand für ein Material, das ein statisches und quasistatisches Feld einnehmen soll, ohne es zu stören.

Abweichungen von dieser Grundlinie gehen nahezu vollständig auf paramagnetische Übergangsmetall-Verunreinigungen zurück, unter denen Eisen dominiert und Mangan mit großem Abstand folgt. Ein Baum ist eine Mineralpumpe: Er entzieht dem



Bodenwasser Metallionen und lagert sie ungleichmäßig in seinem Gewebe ab. Der daraus folgende Eisengehalt reicht von wenigen ppm in einem sauberen Plantagenhartholz bis zu Hunderten ppm in Arten mit Tanninchemien, die Eisen aktiv chelatieren. Jedes ppm Eisen erhöht die Suszeptibilität geringfügig positiv und zieht das Holz von seinem diamagnetischen Grundwert in Richtung magnetischer Neutralität -- bei den ungünstigsten Arten auch darüber hinaus.

Wir definieren den Neutralitätsgrad von Holz daher über den gemeinsamen Eisen-plus-Mangan-Massenanteil und gleichwertig über die gemessene Abweichung der Volumenssuszeptibilität von der diamagnetischen Grundlinie:

- 4N (99.99 Prozent neutral): Fe + Mn $\leq$ 100 ppm. Typisch für nicht selektiertes Möbelhartholz.
- 5N (99.999 Prozent neutral): Fe + Mn $\leq$ 10 ppm; Restsuszeptibilität innerhalb von $\pm 1 \times 10^{-6}$ der diamagnetischen Grundlinie. Die Lieferspezifikation von Equatorial Audio.
- 6N (99.9999 Prozent neutral): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; Nettosuszeptibilität innerhalb der Messunsicherheit weiterhin diamagnetisch. Durch Einzelbarrenausswahl erreichbar.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Hier für zwei von 340 untersuchten Teakbarren berichtet. Kein Produktionsgrad.

Die Prozentangaben sind, wie wir einräumen, eine rhetorische Entlehnung aus der Metallkonvention und keine Zahl zur Gesamtzusammensetzung; „99.999 Prozent neutral“ bezeichnet 10 ppm der relevanten Verunreinigung, nicht 10 ppm Nicht-Holz. Wir behalten die Schreibweise bei, weil der Leser bereits in ihr denkt und weil die zugrunde liegende Größe -- paramagnetische ppm -- auf dieselbe Weise gemessen wird wie die Verunreinigungen in einer Kathode durch einen Kupferraffineur.

3. INSTRUMENTIERUNG UND METHODE

Die Klassifizierung eines Barrens erfordert drei voneinander unabhängige magnetische und chemische Messungen -- eine Prüfung auf ferromagnetische Einschlüsse, eine Bestimmung der Volumenssuszeptibilität und eine Spurmetallanalyse -- sowie eine dielektrische Charakterisierung für die Installationsmodellierung.

Prüfung auf ferromagnetische Einschlüsse. Jeder Barren wird auf einem motorisierten Bett mit 20 mm/s durch ein Fluxgate-Gradiometerarray (Bartington Grad-13, dreiaxsig, Auflösung 1 nT) geführt. Das Gradiometer erkennt einzelne ferromagnetische Einschlüsse -- eingebettete Nägel, Schrot, Bandsägespäne, die üblichen Verunreinigungen jedes Holzes aus industrieller Bearbeitung -- bis hinab zu Fragmenten unter einem Millimeter in 30 mm Tiefe. Rückgewonnenes und geborgenes Holz fällt bei dieser Prüfung regelmäßig durch; dies ist der wichtigste Grund dafür, dass Equatorial Elevation Blocks unabhängig von der romantischen Provenienz ausschließlich aus erstmalig verarbeitetem Plantagenholz und niemals aus Altholz gefertigt werden.

Volumenssuszeptibilität. Aus jedem akzeptierten Barren wird ein 12 mm starker Kern entnommen und bei 300 K in einem Vibrationsprobenmagnetometer (Lake Shore 8600, Empfindlichkeit 5×10^{-8} emu) gemessen. Das VSM liefert die magnetische Nettovolumenssuszeptibilität, aus der das magnetische Gradkriterium unmittelbar abgelesen wird. Ein sauberer Teakkern liefert einen negativen Wert; ein Eichenkern häufig einen positiven.

Spurmetallanalyse. Der gemessene Kern wird anschließend gefriervermahlen, in Salpeter- plus Flusssäure per Mikrowelle aufgeschlossen und mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) auf Fe, Mn, Ni, Co und Cr analysiert. Dies ist dasselbe dendrochemische Protokoll, mit dem Verschmutzungsgeschichten aus Jahrringen rekonstruiert werden, hier angewandt auf einen Zweck, den seine Urheber nach unserer Einschätzung nicht vorausgesehen haben. Der Fe + Mn-Wert legt das chemische Gradkriterium fest; magnetisches und chemisches Kriterium müssen innerhalb des Gradbandes übereinstimmen, andernfalls wird der Barren als intern inkonsistent verworfen -- was typischerweise auf einen vom Gradiometer übersehenen Einschluss hindeutet.

Dielektrische Charakterisierung. Für die Installationsmodellierung messen wir relative Permittivität und Verlustfaktor an bearbeiteten Probekörpern mit einer abgeschirmten Parallelplattenzelle und einem Impedanzanalysator (Keysight E4990A) von 20 Hz bis 10 MHz, längs und quer zur Faser, konditioniert auf 8, 12 und 16 Prozent Feuchtegehalt. Diese Werte gehen nicht in den Neutralitätsgrad ein -- ein Dielektrikum ist keine magnetische Verunreinigung --, bestimmen jedoch die verteilte Kapazität, welche die fertige Auflage dem Kabel gegenüber darstellt, und werden neben dem Grad auf dem Zertifikat jeder Einheit ausgewiesen.

4. ERGEBNISSE: ARTENVERGLEICH

Elf Arten wurden mit jeweils $n = 20$ Barren untersucht. Die Ergebnisse trennen sich klar in drei Gruppen.

Die Ausfälle. Weißeiche (*Quercus alba*) schnitt mit 41 bis 190 ppm Eisen und einer positiven Nettosuszeptibilität bei 14 von 20 Barren am schlechtesten ab. Die Ursache ist jedem bekannt, der über Nacht eine Stahlzwinge auf feuchter Eiche liegen ließ: Der hohe Tanningehalt der Eiche chelatiert Eisen zu Eisentannat -- der blauschwarzen Verbindung der Eisengallustinte --, weshalb Eiche genau jene Verunreinigung aktiv konzentriert, die dieser Grad bestraft. Eiche ist ein schönes und magnetisch feindseliges Holz. Walnuss und Kirsche schnitten besser ab, lagen im Mittel jedoch ebenfalls bei 4N oder darunter.

Gräser und Verbundwerkstoffe. Bambus, häufig als nachhaltiges „Holz“ vermarktet, ist ein Gras mit hoher Silikatbelastung und unregelmäßiger Knotenchemie; seine Suszeptibilität wurde von Mineraleinschlüssen im Fasernaßstab dominiert, sodass ihm kein



stabiler Grad zugeordnet werden konnte. Mitteldichte Faserplatte (MDF) versagte auf einer völlig anderen Achse: Ihr Harnstoff-Formaldehyd-Bindemittel ist stark polar und verleiht ihr eine relative Permittivität von 4 bis 6 sowie einen Verlustfaktor, der um eine Größenordnung über dem von Massivholz liegt; außerdem begünstigt die Herstellung eingebetteten Metallabrieb. MDF ist aus dielektrischen Gründen als Auflagematerial disqualifiziert, noch bevor sein magnetischer Grad berücksichtigt wird.

Das Teakergebnis. Plantagenteak (*Tectona grandis*), gewachsen innerhalb von 5 deg um den geomagnetischen Äquator, ergab über 20 Barren hinweg 3 bis 9 ppm Fe + Mn, in jeder Probe eine diamagnetische Nettosuszeptibilität und im Lieferzustand den Grad 5N. Bei Einzelbarrenausswahl mittels VSM plus ICP-MS erfüllten 31 von 340 geprüften Barren 6N und zwei 7N. Der Vorteil äquatorialen Teaks ist nicht mystisch: Es wächst schnell auf bewirtschafteten, ausgelaugten und eisenarmen Plantagenböden, wird jung vor einer tiefen Mineralansammlung im Kernholz geerntet und besitzt nicht die Tannin-Eisen-Chemie, die Eiche benachteiligt. Seine Dielektrizitätskonstante von 2.1 bei 12 Prozent Feuchtegehalt ist die niedrigste aller geprüften Arten und nähert sich jener der technischen Schäume für HF-Messvorrichtungen.

5. DAS OBERFLÄCHENPROBLEM

Der Grad eines Holzes ist eine Eigenschaft des Holzes, nicht des Gegenstands, zu dem es wird -- und die gebräuchlichste Art, einen guten Grad zu zerstören, ist eine Oberflächenbehandlung.

Nahezu alle Öl-, Firnis- und Lackoberflächen werden mit metallischen Trocknern gehärtet: Kobalt-, Mangan- und Zirkoniumsalzen der Naphthen- oder 2-Ethylhexansäure, die in Bruchteilen eines Prozents zugesetzt werden, um die oxidative Vernetzung zu katalysieren, durch welche der Film aushärtet. Kobalt und Mangan sind beide paramagnetisch, und bereits eine Trocknerbeladung von 0.05 Prozent Metall lagert pro Quadratmeter behandelter Oberfläche mehr paramagnetische Masse ab, als der gesamte darunterliegende 5N-Barren enthält. Wir maßen einen 5N-Teakprobekörper vor und nach einem einzigen Auftrag konventioneller Leinölfirnis: Seine oberflächenbezogene Suszeptibilität stieg von der diamagnetischen Grundlinie auf einen positiven Nettowert und klassifizierte den Probekörper von 5N auf unter 4N um. Das Holz änderte sich nicht. Die Oberflächenbehandlung brachte die Verunreinigung zurück -- und platzierte sie genau an der Oberfläche in direktem Kontakt mit dem Kabel, also am ungünstigsten denkbaren Ort.

Dies ist die messtechnische Grundlage -- und keine ästhetische Vorliebe -- dafür, Equatorial Elevation Blocks unbehandelt zu liefern. Eine Oberflächenbehandlung würde im letzten Arbeitsschritt und an der magnetisch aktivsten Stelle den gesamten Auswahlprozess rückgängig machen, durch den der Barren seinen Grad erlangt hat. Die silbergraue Patina, die unbehandeltes Teak mit zunehmendem Alter entwickelt, ist elementare Oxidation der holzeigenen Oberfläche; sie führt kein paramagnetisches Metall hinzu und ist kosmetisch eine Veränderung, magnetisch jedoch keine.

6. FASERANISOTROPIE UND DER DIELEKTRISCHE LASTPFAD

Holz ist dielektrisch anisotrop. An unseren Teakprobekörpern lag die relative Permittivität längs zur Faser bei 12 Prozent Feuchtegehalt um 22 bis 28 Prozent über jener quer zur Faser; der Verlustfaktor folgte derselben Achse. Physikalische Ursache sind die ausgerichtete röhrenförmige Zellstruktur und die Orientierung der Dipole gebundenen Wassers entlang der Faser. Bei einem Auflagematerial ist diese Anisotropie keine Störgröße, die wegzumitteln wäre, sondern eine Konstruktionsvariable.

Das Kabel liegt in einer in die Oberseite jedes Blocks gefrästen Mulde, sodass die vorherrschende kapazitive Kopplung zwischen Kabel und Auflage durch die kurze vertikale Holzsäule unmittelbar unter der Mulde verläuft. Indem wir jeden Block mit vertikalem Hirnholz fräsen -- Jahrringe auf der Oberseite sichtbar, Fasern vertikal entlang des Lastpfads --, richten wir die quer zur Faser liegende Achse niedriger Permittivität in der horizontalen Ebene aus, in der das Kabelfeld am stärksten ist, und reservieren die längs zur Faser liegende Achse höherer Permittivität für die vertikale, lasttragende Richtung, wo sie elektrisch keinen Schaden anrichtet und mechanisch erheblichen Nutzen bringt. Die Hirnholzausrichtung wurde ursprünglich wegen ihrer Drucksteifigkeit gewählt; das dielektrische Argument ergab sich erst anschließend aus diesen Messungen und bestätigt die Wahl unabhängig.

Der Feuchtegehalt bestimmt das gesamte Bild. Permittivität und Verlustfaktor steigen beide mit gebundenem Wasser stark an. Deshalb wird jeder klassifizierte Barren am Ursprungsort auf 12 +/- 1 Prozent kammergetrocknet, und deshalb schreibt der Wartungsplan eine jährliche Feuchtemessung vor. Eine Auflage, die sich von 12 auf 18 Prozent Feuchte vollgesogen hat, verändert ihren dielektrischen Beitrag stärker, als es jeder Artenunterschied je könnte.

7. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Die hier vorgeschlagene N-Grad-Skala hängt bewusst von einer Konvention ab, der der Leser bereits vertraut. Ein Audiophiler, der für die sechste Neun eines Kupferleiters bezahlt, hat die Prämisse bereits akzeptiert, dass paramagnetische Rest- und Streuverunreinigungen, gemessen in ppm, kontrolliert werden sollten. Wir haben nichts weiter getan, als diese Prämisse und dieselbe Messklasse auf das Material anzuwenden, an dem der Leiter anliegt -- und festgestellt, dass die Gewohnheit der Branche, das Metall auf sechs Neunen zu klassifizieren und anschließend auf nicht klassifiziertes, eisenhaltiges und tanninaktives Hartholz zu legen, eine Asymmetrie darstellt, die ihr lautes Aussprechen nicht übersteht.



Äquatoriales Plantagenteak erreicht im Lieferzustand 5N-Neutralität, bei Selektion 6N, und dies aus vollkommen prosaischen Gründen: eisenarme Wachstumsbedingungen, junge Ernte, keine Tannin-Eisen-Chemie, wenig Harz und die diamagnetische Grundlinie, die es mit jedem sauberen Holz teilt. Es ist kein magisches Material. Es ist ein sauberes: gemessen, klassifiziert und unbehandelt belassen, damit es so bleibt. Jeder Equatorial Elevation Block wird mit dem Grad seines Barrens, seinem Fe + Mn-Wert und seiner gemessenen Suszeptibilität auf dem Zertifikat ausgeliefert. Wir laden den Leser ein, jeden anderen Hersteller von Audioauflagen nach den entsprechenden Zahlen zu fragen und die Antwort zur Kenntnis zu nehmen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] James, W. L. (1975). Dielektrische Eigenschaften von Holz und Hartfaserplatten: Variation mit Temperatur, Frequenz, Feuchtegehalt und Faserrichtung. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Dielektrische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Holz-Wasser-Beziehungen. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Anatomische, chemische und ökologische Faktoren bei der Verwendung von Holz für die Dendrochemie. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Magnetische Neutralitätsklassifizierung von Konstruktionsholz: Instrumentierung und Gradgrenzen. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Permittivitätsmessung anisotroper verlustarmer Feststoffe mit abgeschirmten Parallelplatten. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.