



**CLASSIFICATIE VAN DE
MAGNETISCHE NEUTRALITEIT VAN
CONSTRUCTIEHOUT: EEN N-GRAA
DZUIVERHEIDSCCLASSIFICATIE
VOOR
AUDIODRAGERMATERIALEN, MET
KARAKTERISERING VAN
PARAMAGNETISCHE SPOREN IN
EQUATORIAAL TEAK**



Classificatie van de magnetische neutraliteit van constructiehout: een N-graadzuiverheidsclassificatie voor audiodragermaterialen, met karakterisering van paramagnetische sporen in equatoriaal teak

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.

Samenvatting

Audiogeleiders worden standaard gespecificeerd volgens metallurgische zuiverheidsgraden -- 4N (99,99%), 6N (99,9999%) en hoger -- terwijl de constructiematerialen die deze geleiders dragen, optillen en beëindigen hoogstens op uiterlijk worden gespecificeerd. Deze asymmetrie is niet te rechtvaardigen: een dragermateriaal dat voortdurend met een signaalkabel in aanraking staat, maakt deel uit van de elektromagnetische nabijveldomgeving van de kabel; zijn magnetische en diëlektrische eigenschappen zijn dus meetbare installatieparameters, geen decoratie. Wij stellen voor constructiehout een N-graadzuiverheidsclassificatie voor, analoog aan de N-schaal voor metalen maar gedefinieerd op de voor een niet-geleider relevante grootheid: het resterende paramagnetische gehalte. De graad van hout wordt bepaald door zijn magnetische volumesusceptibiliteit en, gelijkwaardig daaraan, door de gecombineerde massafractie van de voornaamste paramagnetische verontreinigingen ijzer en mangaan, bepaald met inductief gekoppelde plasma-massaspectrometrie na microgolfzuurontsluiting. Wij karakteriseren 11 kandidaatsoorten en tonen aan dat de meeste meubelhardhoutsoorten -- met name wit eiken, met 41-190 ppm ijzer -- onder 4N-neutraliteit blijven, terwijl plantage-teak (*Tectona grandis*), geteeld binnen 5 deg van de geomagnetische evenaar, bij levering 5N bereikt (99,999% magnetisch neutraal, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) en door selectie van één balk 6N. Wij beschrijven de instrumentatie, de graadgrenzen, de diëlektrische gevolgen van vezeloriëntatie en vochtgehalte, en de herclassificatie van neutraal hout als «magnetisch gecompromitteerd» na toepassing van iedere met metaal gekatalyseerde afwerking.

1. INLEIDING

De markt voor audiofiele geleiders draait om zuiverheid. Zuurstofvrij koper wordt verkocht als 4N (99,99%), 5N, 6N en -- op de grens van wat elektrolytische raffinage kan leveren -- 7N. Van iedere extra negen wordt aangenomen dat die een verstrooiingsplaats, korrelgrensverontreiniging of paramagnetische insluiting verwijdt. Of het hoorbare voordeel van de laatste negen een gecontroleerde luisterproef doorstaat, is een afzonderlijke vraag die elders in dit tijdschrift wordt behandeld; hier gaat het erom dat de sector beschikt over een rigoreus, kwantitatief en universeel begrepen vocabulaire voor de zuiverheid van een geleider.

Voor al het andere bestaat zo'n vocabulaire niet. De kabel wordt tot zeven negens geclassificeerd en vervolgens op een vloer gelegd, in een wand geklemd of over een steun van volledig onbekende samenstelling gedrapeerd. De steun wordt op kleur gekozen. Dit is de positie van hout in een audiosysteem: constructief dragend, voortdurend fysiek in contact met de signaalgeleider en metrologisch onzichtbaar.

Wij vinden dit onverdedigbaar. Een dragermateriaal dat een kabel raakt, behoort tot de onmiddellijke diëlektrische en magnetische omgeving van die kabel. Bevat het ferromagnetische insluitingen -- een splinter lintzaagslijpsel, een afgebroken niet, het ijzer dat een boom uit de bodem opnam en in zijn kernhout bond -- dan vormt het langs de run een lokale permeabiliteitsdiscontinuïteit. Is het hygroscopisch en polair, dan vormt het een verdeelde, vochtigheidsafhankelijke capaciteit. Dit zijn dezelfde grootheden die de zuiverheidsgraad van de geleider zelf moet beheersen. Het is inconsistent de ene tot zes negens te specificeren en de andere aan de meubelmaker over te laten.

Dit artikel stelt een N-graadclassificatie voor constructiehout voor, niet gebaseerd op chemische bulkzuiverheid -- hout bestaat ongeveer voor de helft uit koolstof en zal nooit in enige betekenisvolle zin «99,999% hout» zijn -- maar op de enige eigenschap waarmee hout aan een audiosignaalpad koppelt: het resterende paramagnetische gehalte en de magnetische volumesusceptibiliteit die dat veroorzaakt.

2. DE NEUTRALITEITSGRAAD EN DE N-SCHAAL

Droog hout is diamagnetisch. Cellulose, lignine en gebonden water hebben elk een kleine negatieve magnetische volumesusceptibiliteit, en schoon, verontreinigingsvrij hout ligt rond $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensieloze volumesusceptibiliteit), overeenkomend met een relatieve permeabiliteit μ_r van 0.999994 -- niet te onderscheiden van één en feitelijk net daaronder. Volmaakt neutraal hout is dus niet alleen niet-magnetisch; het is zwak en reproduceerbaar diamagnetisch, precies de gewenste toestand voor materiaal dat in een statisch of quasi-statisch veld moet staan zonder dit te verstoren.

Afwijkingen van deze basislijn worden vrijwel volledig veroorzaakt door paramagnetische overgangsmetaalverontreinigingen, waarvan ijzer dominant is en mangaan op ruime afstand tweede. Een boom is een mineralenpomp: hij neemt metaalionen uit bodemwater op en zet ze ongelijkmatig in zijn weefsel af. Het resulterende ijzergehalte loopt uiteen van enkele delen per miljoen in schoon plantagehardhout tot honderden delen per miljoen in soorten waarvan de tanninechemie actief ijzer cheleert. Elk deel per



miljoen ijzer voegt een kleine positieve bijdrage aan de susceptibiliteit toe en trekt het hout van zijn diamagnetische bodem naar -- en bij de slechtste soorten voorbij -- magnetische neutraliteit.

Daarom definiëren wij de neutraliteitsgraad van hout op de gecombineerde ijzer-plus-mangaanmassafractie en, gelijkwaardig daaraan, op de gemeten afwijking van de volumesusceptibiliteit ten opzichte van de diamagnetische basislijn:

- 4N (99,99% neutraal): $\text{Fe} + \text{Mn} \leq 100$ ppm. Typisch voor ongesorteerd meubelhardhout.
- 5N (99,999% neutraal): $\text{Fe} + \text{Mn} \leq 10$ ppm; resterende susceptibiliteit binnen $\pm 1 \times 10^{-6}$ van de diamagnetische basislijn. De leveringsspecificatie van Equatorial Audio.
- 6N (99,9999% neutraal): $\text{Fe} + \text{Mn} \leq 1$ ppm; netto susceptibiliteit blijft binnen de meetonzekerheid diamagnetisch. Bereikbaar door selectie van één balk.
- 7N: $\text{Fe} + \text{Mn} \leq 0.1$ ppm. Hier aangetroffen bij twee teakbalken van 340 onderzochte exemplaren. Geen productiegraad.

De percentages zijn, erkennen wij, een retorische ontlening aan de metaalconventie en geen bulk-samenstellingscijfer; «99,999% neutraal» betekent 10 ppm van de relevante verontreiniging, niet 10 ppm niet-hout. Wij behouden de notatie omdat de lezer daarin al redeneert en omdat de onderliggende grootheid -- paramagnetische delen per miljoen -- op dezelfde wijze wordt gemeten als een koperraffinaderij de verontreinigingen in een kathode meet.

3. INSTRUMENTATIE EN METHODE

Voor de classificatie van een balk zijn drie onafhankelijke magnetische en chemische metingen nodig -- een scan op ferro-insluitingen, bepaling van de bulksusceptibiliteit en analyse van spoormetalen -- plus diëlektrische karakterisering voor installatiemodellering.

Scan op ferro-insluitingen. Iedere balk loopt op een gemotoriseerd bed met 20 mm/s door een fluxgate-gradiometermatrix (Bartington Grad-13, drie assen, resolutie 1 nT). De gradiometer detecteert discrete ferromagnetische insluitingen -- ingesloten spijkers, hagel, lintzaagslijpsel, de gebruikelijke verontreinigingen in hout dat industriële machines heeft gepasseerd -- tot submillimeterfragmenten op 30 mm diepte. Teruggewonnen hout faalt deze scan routinematig; dit is de voornaamste reden waarom Equatorial Elevation Blocks uit nieuw plantagehout worden gefreesd en nooit uit hergebruikt hout, hoe romantisch de herkomst ook is.

Bulksusceptibiliteit. Uit iedere geaccepteerde balk wordt een kern van 12 mm genomen en bij 300 K gemeten in een vibrerende-monstermagnetometer (Lake Shore 8600, gevoeligheid 5×10^{-8} emu). De VSM levert de netto volumesusceptibiliteit, waaruit het magnetische graadcriterium rechtstreeks wordt afgelezen. Een schone teakkern meet negatief; een eikenkern vaak positief.

Spoormetaalanalyse. De gemeten kern wordt vervolgens cryogemalen, met microgolven ontsloten in salpeterzuur plus fluorwaterstofzuur en met inductief gekoppelde plasma-massaspectrometrie (ICP-MS) geanalyseerd op Fe, Mn, Ni, Co en Cr. Dit is hetzelfde dendrochemische protocol waarmee uit jaarringen vervuilingsgeschiedenissen worden gereconstrueerd, hier toegepast op een doel dat de bedenkers, zo erkennen wij, niet voorzagen. Het Fe + Mn-cijfer bepaalt het chemische criterium; magnetisch en chemisch criterium moeten binnen de graadband overeenkomen, anders wordt de balk wegens interne inconsistentie afgekeurd -- doorgaans een teken van een door de gradiometer gemiste insluiting.

Diëlektrische karakterisering. Voor installatiemodellering meten wij relatieve permittiviteit en verliesfactor op bewerkte proefstukken met een bewaakte parallelle-plaatcel en impedantieanalysator (Keysight E4990A), van 20 Hz tot 10 MHz, langs en dwars op de vezel, geconditioneerd op 8, 12 en 16% vochtgehalte. Deze cijfers tellen niet mee voor de neutraliteitsgraad -- een diëlektricum is geen magnetische verontreiniging -- maar bepalen de verdeelde capaciteit die de afgewerkte steun aan de kabel presenteert en staan naast de graad op het certificaat van iedere eenheid.

4. RESULTATEN: VERGELIJKING VAN HOUTSOORTEN

Elf soorten werden onderzocht met $n = 20$ balken per soort. De resultaten vallen duidelijk in drie groepen uiteen.

De mislukkingen. Wit eiken (*Quercus alba*) presteerde het slechtst, met 41-190 ppm ijzer en netto positieve susceptibiliteit in 14 van 20 balken. De oorzaak is bekend bij iedereen die een stalen lijklem een nacht op vochtig eiken liet liggen: het hoge tanninegehalte cheleert ijzer tot ijzertannaat -- de blauwzwarte verbinding in ijzergallusinkt -- zodat eiken juist de verontreiniging actief concentreert die deze graad bestraft. Eiken is mooi hout en magnetisch vijandig. Walnoot en kers deden het beter, maar kwamen gemiddeld nog steeds op 4N of lager uit.

Grassen en composieten. Bamboe, vaak als duurzaam «hout» verkocht, is gras met een hoge silicabelasting en grillige knoopchemie; de susceptibiliteit werd beheerst door minerale insluitingen op vezelschaal en er kon geen stabiele graad aan worden toegekend. Medium-density fibreboard (MDF) faalde op een geheel andere as: het ureum-formaldehydebindmiddel is sterk polair, met een relatieve permittiviteit van 4-6 en een verliesfactor een orde groter dan massief hout, terwijl de productie het gevoel geeft voor ingesloten metaaldeeltjes. MDF is op diëlektrische gronden al als dragermateriaal uitgesloten voordat de magnetische



graad wordt bekeken.

Het teakresultaat. Plantageteak (*Tectona grandis*), geteeld binnen 5 deg van de geomagnetische evenaar, leverde bij 20 balken 3-9 ppm Fe + Mn, in ieder monster netto diamagnetische susceptibiliteit en bij levering graad 5N. Met VSM-plus-ICP-MS-selectie van afzonderlijke balken voldeden 31 van 340 aan 6N en twee aan 7N. Het voordeel van equatoriaal teak is niet mystiek: het groeit snel op beheerde, uitgeloopte ijzerarme plantagegrond, wordt jong geoogst vóór diepe mineraalophoping in het kernhout en mist de tannine-ijzerchemie die eiken benadeelt. De diëlektrische constante van 2.1 bij 12% vocht is de laagste van alle geteste soorten en benadert die van technische schuimen in RF-fixtures.

5. HET AFWERKINGSPROBLEEM

De graad van hout is een eigenschap van het hout, niet van het object dat het wordt -- en de gebruikelijkste manier om een goede graad te vernietigen is het hout afwerken.

Vrijwel alle olie-, vernis- en lakafwerkingen harden met metaalhoudende siccatieven: kobalt-, mangaan- en zirkoniumzouten van naftenzuur of 2-ethylhexaanzuur, in fracties van een procent toegevoegd om de oxidatieve vernetting te katalyseren die de film hard maakt. Kobalt en mangaan zijn beide paramagnetisch, en een siccatiefbelasting van slechts 0,05% metaal zet per vierkante meter afgewerkt oppervlak meer paramagnetische massa af dan de hele onderliggende 5N-balk bevat. Wij maten een 5N-teakproefstuk vóór en na één laag traditionele gekookte-lijnolieafwerking: de oppervlakterelateerde susceptibiliteit steeg van de diamagnetische basislijn naar netto positief, waardoor het proefstuk van 5N naar onder 4N werd herclassificeerd. Het hout veranderde niet. De afwerking bracht de verontreiniging terug -- precies aan het oppervlak, rechtstreeks tegen de kabel, de slechtst mogelijke plaats.

Dit is de gemeten grondslag -- geen esthetische voorkeur -- om Equatorial Elevation Blocks onafgewerkt te leveren. Een afwerking zou in de laatste stap en op de magnetisch actiefste plaats het volledige selectieproces ongedaan maken waarmee de balk zijn graad verdiende. De zilvergrijze patina die onafgewerkt teak met de jaren ontwikkelt, is elementaire oxidatie van het eigen houtoppervlak; zij voegt geen paramagnetisch metaal toe en is cosmetisch een verandering maar magnetisch geen gebeurtenis.

6. VEZELANISOTROPIE EN HET DIËLEKTRISCHE BELASTINGSPAD

Hout is diëlektrisch anisotroop. In onze teakproefstukken overtrof de relatieve permittiviteit langs de vezel de dwarse waarde met 22-28% bij 12% vochtgehalte, en de verliesfactor volgde dezelfde as. De fysieke oorzaak is de uitgelijnde buisvormige celstructuur en de oriëntatie van gebonden-waterdipolen langs de vezel. Voor een dragermateriaal is deze anisotropie geen hinder die moet worden uitgemiddeld; het is een ontwerpvariabele.

De kabel rust in een cradle die boven in elk blok is gefreesd, zodat de dominante capacatieve koppeling tussen kabel en steun door de korte verticale houtkolom direct onder de cradle loopt. Door elk blok met verticaal kopshout te frezen -- groeiringen zichtbaar op het bovenvlak, vezels verticaal langs het belastingspad -- oriënteren wij de dwarse as met lagere permittiviteit in het horizontale vlak waar het kabelveld het sterkst is, en reserveren wij de langsvezelas met hogere permittiviteit voor de verticale, dragende richting waar zij elektrisch geen kwaad en mechanisch veel goed doet. De kopshoutoriëntatie werd oorspronkelijk wegens drukstijfheid gekozen; het diëlektrische argument ontstond later uit deze metingen en bevestigd de keuze onafhankelijk.

Het vochtgehalte beheerst het hele beeld. Permittiviteit en verliesfactor stijgen beide snel met gebonden water, daarom wordt iedere geclassificeerde balk bij herkomst ovengedroogd tot 12 +/- 1% en schrijft het onderhoudsschema een jaarlijkse vochtmeting voor. Een steun die van 12 naar 18% vocht is geklommen, heeft zijn diëlektrische bijdrage sterker veranderd dan enig verschil tussen houtsoorten ooit zal doen.

7. BESPREKING EN CONCLUSIE

De hier voorgestelde N-schaal leunt doelbewust op een conventie die de lezer al vertrouwt. Een audiofiel die voor de zesde negen in een kopergeleider betaalt, heeft de premisse al aanvaard dat resterende paramagnetische en verstrooiende verontreiniging, gemeten in delen per miljoen, beheerst moet worden. Wij passen die premisse en dezelfde meetklasse slechts toe op het materiaal waarop de geleider rust -- en constateren dat de gewoonte van de sector om metaal tot zes negens te classificeren en het vervolgens op ongeclassificeerd, ijzerhoudend, tannineactief hardhout te leggen een asymmetrie is die niet overleeft wanneer zij hardop wordt uitgesproken.

Equatoriaal plantageteak bereikt bij levering 5N-neutraliteit en na selectie 6N, om volkomen prozaïsche redenen: ijzerarme groeiomstandigheden, jonge oogst, geen tannine-ijzerchemie, weinig hars en de diamagnetische basislijn die het met al het schone hout deelt. Het is geen magisch materiaal. Het is schoon materiaal, gemeten, geclassificeerd en onafgewerkt gelaten om schoon te blijven. Elk Equatorial Elevation Block wordt geleverd met de graad van zijn balk, zijn Fe + Mn-cijfer en zijn gemeten susceptibiliteit op het certificaat. Wij nodigen de lezer uit een andere fabrikant van audiodragers naar de overeenkomstige cijfers te vragen en het antwoord te noteren.



REFERENTIES

- [1] James, W. L. (1975). Diëlektrische eigenschappen van hout en hardboard: variatie met temperatuur, frequentie, vochtgehalte en vezeloriëntatie. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Diëlektrische eigenschappen van hout en houtmaterialen. Springer-Verlag, Berlijn.
- [3] Skaar, C. (1988). Hout-waterrelaties. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlijn.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Anatomische, chemische en ecologische factoren die het gebruik van hout voor dendrochemie beïnvloeden. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Classificatie van de magnetische neutraliteit van constructiehout: instrumentatie en graadgrenzen. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Permittiviteitsmeting met bewaakte parallelle platen aan anisotrope, verliesarme vaste stoffen. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.