



**TERUGGEWONNEN HOUT EN HET
RISICO VAN FERRO-INSLUITINGEN:
WAAROM SLOOPHOUT,
SCHUURHOUT EN INDUSTRIEEL
HERGEBRUIKT HOUT
MAGNETISCH ONGESCHIKT IS ALS
AUDIODRAGERMATERIAAL**

Teruggewonnen hout en het risico van ferro-insluitingen: waarom sloophout, schuurhout en industrieel hergebruikt hout magnetisch ongeschikt is als audiodragermateriaal

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Samenvatting

Teruggewonnen hout brengt een marketingpremie op die op herkomst is gebouwd: schuur-eiken met een eeuw verwerking, pitchpine uit een gesloopt pakhuis, teak geborgen uit een buiten dienst gestelde mijnenveger of een afgeschreven laboratoriumbank. De romantiek is reëel en het duurzaamheidsargument is niet lichtzinnig. Maar een dragermateriaal wordt gekozen om wat het doet met de kabel die erop rust, niet om zijn biografie, en teruggewonnen hout draagt een defect dat zijn herkomst actief garandeert in plaats van slechts mogelijk maakt: ingebed ferromagnetisch metaal. Gesmede spijkers, schroeven, nieten, hekkrampen, bouten, prikkeldraadfragmenten, ingebedde loden en stalen hagel en slijpsel van lint- en cirkelzagen vormen de gewone inventaris van ieder stuk hout dat een werkend leven achter de rug heeft. Dit is geen zeldzame verontreiniging; juist daarom gebruiken zagerijen industriële ferrodetectors vóór de hoofdzaag en adverteren handelaars in teruggewonnen hout überhaupt met materiaal dat «op metaal is gedetecteerd».

Wij rapporteren een screeningsonderzoek van 96 teruggewonnen balken uit vier herkomstklassen -- schuur-eiken, grenen en vuren uit industriële pakhuizen, teruggewonnen teak uit maritieme en laboratoriumbronnen en wijnvateiken -- die door een fluxgate-gradiometer werden gevoerd en na iedere positieve uitslag met röntgencomputertomografie in kaart werden gebracht. In 71 van de 96 balken (74 procent) werden ferromagnetische insluitingen aangetroffen; schuur-eiken faalde in 19 van de 20 gevallen. Eén ingebedde stalen spijker is een permanente insluiting met hoge permeabiliteit: met μ_r voor zacht staal in de honderden tot lage duizenden vormt hij een lokale velddiscontinuïteit op millimeters van de geleider, die door geen enkele diëlektrische reinheid van het omringende hout wordt gecompenseerd. Verder karakteriseren wij de corrosiehalo -- de diffuse paramagnetische ijzertannaatvlek die een ingebed ferro-object gedurende tientallen jaren in eiken laat uitvloeien en die een verontreinigd volume oplevert dat ordes van grootte groter is dan het metaal zelf -- en tonen wij waarom zelfs materiaal dat «op metaal is gedetecteerd» slechts een grove industriële drempel haalt en niet de submilligram-audiograad die Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) definieerden. Equatorial Elevation Blocks worden uitsluitend uit plantagehout van de eerste bewerking gefreesd en nooit uit teruggewonnen hout; het duurzaamheidsargument voor terugwinning wordt in plaats daarvan beantwoord met een beheerde equatoriale plantage, waarop wij rechtstreeks ingaan.

1. INLEIDING

Het verwante onderzoek in dit tijdschrift (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) stelde voor constructiehout een N-graadneutraliteitsschaal vast, gedefinieerd op het resterende paramagnetische gehalte en de magnetische volumesusceptibiliteit die dit veroorzaakt, en toonde aan dat equatoriaal plantageteak bij levering 5N bereikt. Dat onderzoek classificeerde schoon hout van de eerste bewerking. Het noemde teruggewonnen hout slechts terloops -- als een categorie die de scan op ferro-insluitingen «routinematig» faalt -- en ging verder. Dit artikel is die terloopse zin, uitgewerkt tot in zijn volledige en diskwalificerende detail, omdat de vraag naar teruggewonnen hout voor kopers geen voetnoot is. Het is de meest voorkomende tegenwerping die wij ontvangen: als beheerd equatoriaal teak schaars en duur is en als schuren en oude pakhuizen vol prachtig, dicht en maatvast hout van oude bomen staan dat anders zou worden verbrand, waarom zouden wij daar dan geen steunen van frezen?

Het antwoord is metallurgisch en laat geen twijfel toe. Teruggewonnen hout wordt gedefinieerd door een eerder constructief leven, en constructief gebruik betekent bevestigingsmiddelen. Een schuurstijl werd gespijkerd, met zware spijkers bevestigd, gebout en geniet; een vloerbalk in een pakhuis werd door-en-door gebout en met houtdraadbouten bevestigd; scheepshout werd vastgezet met ijzeren driftbouten en houten pennen die met ijzer werden geborgd; een laboratoriumbank droeg een eeuw lang stalen beugels en een rand van gesmede spijkers. Het meeste van dat metaal wordt bij de terugwinning verwijderd. Een deel niet, omdat het onder het oppervlak is afgebroken, omdat het te diep is ingeslagen en verzonken, omdat het tot een onherkenbare klomp is gecorrodeerd of omdat het van buitenaf nooit zichtbaar was. De terugwinner verwijdert het metaal dat hij kan zien. De gradiometer vindt het metaal dat hij niet kan zien.

Wij behandelen het ingebedde bevestigingsmiddel niet als een cosmetische fout die moet worden gevuld en verborgen, maar als wat het elektromagnetisch is: een permanente insluiting met hoge permeabiliteit die door de geometrie van een kabelsteun binnen millimeters van de signaalgeleider wordt geplaatst. Een dragermateriaal bestaat om een geclassificeerde kabel in een beheerste nabijveldomgeving te houden. Een dragermateriaal met een stalen spijker erin is een magnetisch defect dat toevallig een kabel draagt.

2. HET ÉÉN-SPIJKERARGUMENT

Beschouw de minst dramatische verontreiniging die denkbaar is: één gesmede spijker, vlak afgebroken en onzichtbaar, begraven in een verder volmaakte balk teruggewonnen eiken. Het is de moeite waard dit geval volledig uit te werken, want als het minst dramatische geval al diskwalificeert, zijn de onderzoeksstatistieken die volgen niet meer dan boekhouding.



Schoon, droog hout ligt rond een magnetische volumesusceptibiliteit van $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- zwak en gelijkmatig diamagnetisch, de gewenste toestand voor een materiaal dat een statisch veld moet innemen zonder het te verstoren. Een spijker van zacht staal heeft een relatieve permeabiliteit μ_r in de honderden tot lage duizenden. De verhouding van de permeabiliteiten aan de grens tussen hout en staal bedraagt dus niet enkele procenten, maar drie tot zes ordes van grootte. Die grens is een veldcontinuïteit: statische en quasi-statische fluxlijnen die vloeiend door diamagnetisch hout lopen, worden door de insluiting verzameld, geconcentreerd en opnieuw uitgestraald, waardoor direct boven de insluiting een lokale veldgradiënt van tientallen tot honderden nT aan het oppervlak ontstaat -- precies waar in een kabelsteun de cradle en de kabel liggen.

Anders dan een paramagnetische belasting van spoormetalen die gelijkmatig door de bulk is verdeeld, is de insluiting bovendien een puntbron met structuur. Zij draagt remanentie: een stalen bevestigingsmiddel dat tientallen jaren in het aardveld heeft gelegen, verwerft een permanent magnetisch moment, zodat de insluiting niet alleen een passieve verstoring van de permeabiliteit is, maar een kleine permanente magneet met een eigen vaste dipoolas, onverschillig voor de equatoriale uitlijning die de rest van de installatie probeert te bereiken. Geen enkele eigenschap van het omringende hout -- geen 7N-susceptibiliteit, geen recordlage diëlektrische constante en geen volmaakt met verticaal kopshout gefreesd blok -- compenseert een permanente dipool in het belastingspad. De balk wordt op zijn slechtste punt geclassificeerd, niet op zijn gemiddelde, en zijn slechtste punt is de spijker.

3. ONDERZOEK: HERKOMSTKLASSEN EN TREFFERS

Zesennegentig teruggewonnen balken werden betrokken uit vier herkomstklassen, 20 tot 28 per klasse, bij gevestigde handelaars in teruggewonnen hout in Noord-Amerika en Europa. Alle balken werden verkocht als ontdaan van bevestigingsmiddelen en in drie klassen als «op metaal gedetecteerd». Iedere balk werd op een gemotoriseerd bed met 20 mm/s door een drieassige fluxgate-gradiometer (Bartington Grad-13, resolutie 1 nT) gevoerd -- hetzelfde instrument en protocol als voor de screening van productietek in het verwante onderzoek. Iedere balk die een discrete anomalie van meer dan 5 nT boven zijn diamagnetische achtergrond opleverde, werd gemarkeerd en naar röntgencomputertomografie gestuurd (microfocusbron van 225 kV, voxel van 90 μ m) om de insluiting te lokaliseren en identificeren.

Het gezamenlijke trefferpercentage was 71 van 96 (74 procent). Per klasse: schuur-eiken was de slechtste soort en faalde in 19 van de 20 balken, met vooral gesmede spijkers, draadnagels en hekkramen en een mediaan van drie discrete insluitingen per afgekeurde balk. Grenen en vuren uit industriële pakhuizen faalden in 22 van de 28 balken, met schachten van houtdraadbouten, machinebouten en -- in vier balken -- ingebedde loden en stalen hagel uit een eerder leven dat wij niet hebben onderzocht.

Teruggewonnen teak uit maritieme en laboratoriumbronnen faalde in 21 van de 25 balken: scheepshout bevatte fragmenten van ijzeren driftbouten en stompen van roerhaken, en teak van laboratoriumbanken bevatte verzonken stalen houtschroeven en in twee gevallen messing dat door de gradiometer kwam maar op andere gronden wordt uitgesloten. Wijnvateiken presteerde het beste van de vier en faalde nog steeds in 9 van de 23 balken, voornamelijk op fragmenten van hoepelklinknagels en nietdraad van gedemonteerde hoepels.

Twee bevindingen uit de CT-kaarten verdienen nadruk. Ten eerste lag het merendeel van de gedetecteerde insluitingen onder het oppervlak en was het op het afgewerkte vlak onzichtbaar -- precies de populatie die visuele verwijdering van bevestigingsmiddelen overleeft. Ten tweede vertoonden verschillende balken die door een handdetector van een terugwinner zouden zijn goedgekeurd meerdere kleine insluitingen -- slijpselssporen van eerder herzagen met een lintzaag en nietkronen -- die ieder afzonderlijk onder de grove detectiedrempel lagen, maar gezamenlijk een verdeelde ferrobelaasting vormden. De industriële detector beantwoordt de vraag «zit er een spijker in die groot genoeg is om mijn zaagblad te vernielen»; hij beantwoordt niet de vraag «is deze balk magnetisch schoon», en daarvoor is hij nooit gebouwd.

4. DE CORROSIEHALO

Een ingebed ferro-object in hout is geen stabiele, op zichzelf staande insluiting. Het corrodeert, voert zijn corrosieproducten uit naar het omringende weefsel en doet dat in eiken via een chemie die thermodynamisch gretig en eeuwenoud is.

Eikenkernhout is rijk aan hydrolyseerbare tanninen. IJzer dat met vochtig eiken in aanraking komt oxideert, waarna de ontstane ferro- en ferri-ionen langs de vochtgradiënt het hout in migreren en met die tanninen complexeren tot ijzertannaat -- de blauwzwarte verbinding van ijzergallusinkt en dezelfde reactie die eiken rond ieder achtergelaten stalen bevestigingsmiddel zwart kleurt. Na tientallen jaren in een schuur of kelder blijft een ingebedde spijker daarom geen probleem ter grootte van een spijker. Hij laat een diffuse ijzertannaat-halo uitvloeien in een houtvolume dat volgens zowel CT als ICP-MS één tot twee ordes van grootte groter is dan het object zelf. De metalen kern is ferromagnetisch; de halo eromheen is paramagnetisch; en doordat de halo groot en onregelmatig is en het kabelgerichte oppervlak doordringt, vormt hij in sommige opzichten de ergste verontreiniging, omdat hij niet met een tang kan worden uitgetrokken en zich helemaal niet bij een metaaldetector meldt.

Wij doorsneden vier balken schuur-eiken rond bekende insluitingen en brachten Fe met ICP-MS langs een radiaal transect in kaart. De ijzerconcentratie daalde van een niveau van procenten aan de metaalgrens naar een paramagnetisch plateau van 60 tot 240 ppm over een halo die zich 15 tot 40 mm van het object uitstrekte -- een vlek die het 4N-plafond van 100 ppm ruimschoots overschreed in een volume dat groot genoeg was om een volledige kabelcradle te omvatten. Dit is het mechanisme waarmee één historisch bevestigingsmiddel niet één punt maar een gebied verontreinigt, en het is specifiek voor precies de tannineactieve



hardhoutsoorten -- bovenal eiken -- die in de marketing van teruggewonnen hout het meest worden gewaardeerd. De herkomst die schuur-eiken romantisch maakt -- een eeuw vochtige constructieve dienst naast ijzer -- is precies dezelfde geschiedenis die de halo garandeert.

5. WAAROM «METAALGEDETECTEERD» GEEN GRAAD IS

Handelaars in teruggewonnen hout die adverteren met materiaal dat «op metaal is gedetecteerd», zijn eerlijk over een werkelijk proces. Het is de moeite waard duidelijk vast te stellen wat dat proces wel en niet oplevert, omdat de uitdrukking routinematig als een schoonverklaring wordt gelezen terwijl zij dat niet is.

Industriële metaaldetectie in hout bestaat om machines te beschermen. Een ferrodetector aan een herzaaglijn is afgesteld om te reageren op een object dat groot genoeg is om een hardmetaal tand af te breken of een lintzaagblad te versplinteren -- een spijker, een schroef, een bout. De drempel wordt opzettelijk hoog ingesteld: een lijn die op ieder ijzerspoor van minder dan een milligram stilviel, zou nooit een plank zagen. Het is een productiebeveiliging die in de valuta van gereedschapsschade is gekalibreerd en die door haar ontwerp precies de populatie doorlaat die een balk voor audiogebruik diskwalificeert: slijpsel van minder dan een millimeter, fragmenten nietdraad, hagelkorrels en vooral de opgeloste paramagnetische halo, die geen discreet object bevat dat een detector kan vinden. Een balk kan een industriële detector probleemloos passeren en toch door zijn kabelgerichte vlak een ijzervlek van 200 ppm dragen.

De audioneutraliteitsgraad is een andere meting die een andere vraag beantwoordt. Hij wordt niet bepaald door het risico voor gereedschap, maar door de Fe + Mn-grenzen van 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) en 1 ppm (6N) van Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), geverifieerd met fluxgate-gradiometrie voor discrete insluitingen en met VSM plus ICP-MS voor bulk- en halosusceptibiliteit. De twee drempels verschillen ordes van grootte. «Op metaal gedetecteerd» betekent «geen object dat groot genoeg is om een zaag te breken». «5N-neutraal» betekent «Fe + Mn op of onder 10 ppm, overal, discreet én opgelost». Een terugwinner kan het eerste te goeder trouw leveren en kan het tweede helemaal niet leveren, omdat het tweede magnetometrie en spoormetaalanalyse per balk vereist die geen enkele terugwinningswerf uitvoert en waarvoor de meeste teruggewonnen balken ongeacht alle zorg al zouden falen, alleen op grond van hun geschiedenis.

6. DUURZAAMHEID, ANDERS BEANTWOORD

Het sterkste argument voor teruggewonnen hout is niet akoestisch, maar ecologisch. Het hergebruiken van eeuwenoud hout voorkomt een nieuwe oogst, houdt deugdelijk materiaal uit de brandstapel en eert de belichaamde arbeid van de oorspronkelijke groei. Wij nemen dat argument serieus en beantwoorden het niet door het te bestrijden, maar door er een aanvoer tegenover te stellen die noch het ferrogevaar noch de milieukosten draagt.

Equatorial Elevation Blocks worden gefreesd uit beheerd plantageteak dat binnen 5 deg van de geomagnetische evenaar groeit op gepachte, gecertificeerde plantages met een regime van herplanting na de oogst. De relevante duurzaamheidsvergelijking is niet teruggewonnen hout tegenover kap van oerbos -- dat is een valse keuze -- maar teruggewonnen hout tegenover een beheerde plantage waarvan de bomen specifiek worden geplant om te worden geveld, tijdens hun groei koolstof vastleggen en volgens een vaste cyclus worden vervangen. Een beheerde equatoriale plantage levert het ecologische voordeel waarvoor terugwinning wordt gewaardeerd -- geen druk op oerbos en een hernieuwbare cyclus -- en levert bovendien het ene dat terugwinning structureel niet kan bieden: een maagdelijk verleden zonder bevestigingsmiddelen. Plantagehout van de eerste bewerking heeft nooit een spijker gedragen, nooit een ijzertannaat-halo laten uitvloeien en nooit een herzaagmachine gepasseerd die het met slijpsel bezaaide. Het arriveert met een schone magnetische lei, de enige begintoestand van waaruit een 5N-grad zelf maar bereikbaar is.

Ten slotte bestaat er geen weg waarlangs een teruggewonnen balk tot de graad kan worden gesaneerd. De discrete insluitingen kunnen soms worden uitgegraven, maar die uitgraving laat een holte achter en kan de opgeloste halo niet bereiken; de halo kan alleen worden verwijderd door het bevlekte volume weg te zagen, wat bij een zwaar bevlekte schuurstijl het grootste deel van het bruikbare hout is. De economie en de fysica wijzen in dezelfde richting. Het is goedkoper, schoner en metrologisch deugdelijker om te beginnen met hout dat schoon is gegroeid dan het ijzer te achtervolgen in hout dat is gegroeid en vervolgens vuil heeft geleefd.

7. CONCLUSIE

Teruggewonnen, geborgen, uit schuren afkomstig en industrieel teruggewonnen hout wordt niet door esthetische voorkeur en niet door enige zwakte van het hout als audiodragermateriaal uitgesloten, maar door zijn geschiedenis van bevestigingsmiddelen. Constructief gebruik betekent ingebed ijzer, ingebed ijzer betekent een permanente insluiting met hoge permeabiliteit in het belastingspad van de kabel, en in tannineactief hardhout betekent het een diffuse paramagnetische corrosiehalo die een orde van grootte groter is dan het metaal dat hem heeft veroorzaakt. Ons screeningsonderzoek vond ferromagnetische insluitingen in 74 procent van de teruggewonnen balken uit vier herkomstklassen, waarbij schuur-eiken -- de meest geromantiseerde klasse -- in 19 van de 20 gevallen faalde. Het één-spijkerargument toont aan dat zelfs één dergelijke insluiting op zichzelf al diskwalificeert, zodat het onderzoekspercentage het probleem eerder onderschat dan overschat.

De verzekering «op metaal gedetecteerd» uit de marketing van teruggewonnen hout is een drempel voor machinebescherming die



ordes van grootte grover is ingesteld dan de audioneutraliteitsgraad en door haar ontwerp precies de submilligram- en opgeloste verontreiniging doorlaat die de graad van Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) moet vinden. Het is een echte en nuttige meting die een vraag beantwoordt die niet de audiovraag is. Daarom worden Equatorial Elevation Blocks uitsluitend uit plantagehout van de eerste bewerking gefreesd en nooit uit teruggewonnen hout, ongeacht de herkomst. Het ecologische argument voor terugwinning is oprecht en wordt volledig beantwoord door beheerde equatoriale plantages die worden geteeld om te worden geoogst en herplant -- hout dat het duurzaamheidsvoordeel zonder het ijzer biedt en dat, zoals iedere geclassificeerde balk moet doen, met een schone magnetische lei begint.

REFERENTIES

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetische-neutraliteitsclassificatie van constructiehout: N-graadzuiverheid voor audiodragers. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Corrosie van opgegraven archeologisch ijzer, met details over uitzweten en akaganeiet. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Verdeling en speciatie van ijzer en zwavel in relatie tot houtdegradatie. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Door ijzer gekatalyseerde oxidatie van houtkoolhydraten. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Richtlijn voor ferro- en non-ferrometaaldetectie in teruggewonnen constructiehout. RWC Technical Bulletin TB-07, Londen.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Fluxgate-gradiometrie en CT voor screening van ferromagnetische insluitingen in houtbalken. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.