



DAS OBERFLÄCHENPROBLEM: METALLISCHE SIKKATIVE ALS OBERFLÄCHENBEZOGENE PARAMAGNETISCHE REKONTAMINATION VON HOLZ MIT NEUTRALITÄTSGRAD



Das Oberflächenproblem: Metallische Sikkative als oberflächenbezogene paramagnetische Rekontamination von Holz mit Neutralitätsgrad

A. Bosque, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Zusammenfassung

Eine Begleitstudie führte für Konstruktionsholz einen Neutralitätsgrad ein, der auf dem paramagnetischen Restgehalt beruht und als gemeinsamer Eisen-plus-Mangan-Massenanteil gegenüber einer diamagnetischen Grundlinie ausgewiesen wird. Dieser Grad ist eine Eigenschaft des rohen Barrens. Die vorliegende Arbeit untersucht, was mit ihm geschieht, wenn der Barren oberflächenbehandelt wird. Nahezu jedes für Holz verwendete Öl, jeder Firnis und jeder Lack ist eine oxidativ härtende Beschichtung, die nicht durch Verdunstung, sondern durch metallkatalysierte autooxidative Vernetzung eines trocknenden Öls aushärtet; der Katalysator ist ein paramagnetisches Übergangsmetall -- meist Kobalt oder Mangan --, das als Carboxylatsalz mit einem Bruchteil eines Prozents Metall im nassen Film abgeschieden wird. Da der Film auf der Außenfläche sitzt, wird der Katalysator genau dort abgelagert, wo die Auflage das Kabel berührt. Wir maßen die oberflächenbezogene magnetische Volumenssuszeptibilität von 5N-Teakprobekörpern vor und nach sechs Oberflächenbehandlungen (unbehandelte Kontrolle, reines Tungöl ohne Sikkativ, Leinölfirnis mit Co-Octoat, Alkyd-Bootslack mit Co + Mn + Zr, wasserbasiertes Acryl und ein Hartwachsöl) mittels Vibrationsproben- und SQUID-Magnetometrie sowie Glimmentladungs-Tiefenprofilierung zur Lokalisierung des Metalls. Die oxidativ härtenden Oberflächen erhöhten die Suszeptibilität der obersten 50 Mikrometer von der diamagnetischen Grundlinie nahe $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ auf positive Nettowerte und klassifizierten jeden katalysierten Probekörper von 5N auf unter 4N um; das Metall war in jedem Fall auf die obersten 50 bis 100 Mikrometer beschränkt. Der jüngste Trend zu kobaltfreien Sikkativen (Mn-, Fe- und Vanadium-Ersatzstoffe) beseitigt ein toxikologisches, nicht jedoch ein magnetisches Problem, da die Ersatzstoffe selbst paramagnetisch sind. Wir kommen zu dem Schluss, dass allein der Verzicht auf eine Oberflächenbehandlung einen Neutralitätsgrad bewahrt und dass eine elementare Oberflächenpatina -- Oxidation des Kohlenstoffgerüsts des Holzes, die kein Metall hinzufügt -- der einzige mit dem Grad vereinbare kosmetische Alterungsweg ist.

1. EINLEITUNG

Ein neutralitätsklassifizierter Barren verdient seinen Grad durch Messung: Eine Prüfung auf ferromagnetische Einschlüsse, eine Bestimmung der Volumenssuszeptibilität und eine Spurmetallanalyse bestätigen übereinstimmend, dass das Holz nicht mehr als den festgelegten ppm-Anteil an Eisen plus Mangan enthält und seine magnetische Nettovolumenssuszeptibilität diamagnetisch bleibt. Äquatoriales Plantagenteak erreicht im Lieferzustand 5N ($\text{Fe} + \text{Mn} \leq 10 \text{ ppm}$) und bei Einzelbarrenauswahl 6N. Der Grad ist real, wird für jede Einheit zertifiziert und ist ausschließlich eine Eigenschaft des Holzes beim Verlassen des Sägewerks.

Die grundlegende Studie (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) vermerkte in einem einzigen Schlussabschnitt, dass eine Oberflächenbehandlung den Grad des Holzes zerstört, und berichtete zur Veranschaulichung eine Vorher-Nachher-Messung an einem Probekörper mit Leinölfirnis. Diese Beobachtung verdient mehr als einen Absatz. Die Behauptung widerspricht der Intuition: Jeder Holzwerker versteht eine Oberflächenbehandlung als Schutz, und die Vorstellung, ein Schutzanstrich sei das magnetisch Zerstörerischste, was einem Auflagematerial angetan werden kann, widerspricht einem Jahrhundert Werkstattpraxis. Soll die Behauptung eine Produktentscheidung tragen -- Auflagen entgegen jeder Kundenerwartung an ein hochwertiges Holzobjekt unbehandelt zu liefern --, muss sie quantitativ über verschiedene Oberflächenchemien hinweg belegt und das verunreinigende Metall in der Tiefe lokalisiert werden.

Dies ist der Zweck der vorliegenden Arbeit. Wir behandeln die Oberfläche nicht als Ästhetik, sondern als dünne, absichtlich abgeschiedene Schicht Katalysatormetall, und fragen, wie viel paramagnetische Masse sie genau an welcher Stelle platziert. Die Antwort fällt für Oberflächenbehandlungen im Allgemeinen ungünstig und für die gesamte Klasse oxidativ härtender Öle und Firnisse, die den hochwertigen Holzbau beherrschen, vernichtend aus -- aus einem Grund, der nichts mit dem Holz und alles mit der Chemie zu tun hat, die den Film aushärtet.

2. SIKKATIVCHEMIE UND METALLBELADUNGEN

Ein trocknendes Öl -- Leinöl, Tungöl und deren Alkyddarivate -- härtet durch Autoxidation: Luftsauerstoff entzieht den bisallylischen Positionen der ungesättigten Fettsäureketten Wasserstoff und bildet Hydroperoxide, die in Radikale zerfallen und das Öl zu einem festen Film vernetzen. Sich selbst überlassen verläuft diese Reaktion langsam und dauert Wochen. Beschleunigt wird sie durch Sikkative: Übergangsmetall-Carboxylate, die sowohl den peroxidbildenden als auch den peroxidzersetzenden Schritt durch einen Redoxzyklus zwischen zwei Oxidationsstufen katalysieren. Das klassische Primärsikkativ ist Kobalt, das zwischen Co(II) und Co(III) wechselt; Mangan (Mn(II)/Mn(III)) verhält sich ähnlich. Diese Metalle wirken als Durchrocknungs- und Oberflächensikkative. Zirkonium, Kalzium und Zink werden als Sekundär- oder Hilfssikkative zugesetzt -- sie katalysieren den Redoxschritt nicht, koordinieren jedoch den Film, verbessern die Durchhärtung und verhindern die Oberflächenhaut, die reines Kobalt verursacht.

Das Metall wird als Salz einer langkettigen organischen Säure eingebracht -- historisch Naphthensäure (Naphthenate), heute häufiger 2-Ethylhexansäure (Octoate) --, ausgewählt wegen seiner Löslichkeit im Öl und nicht wegen einer anderen Eigenschaft



des Metallions als dessen Redoxchemie. Das Salz wird nach seinem Metallgehalt verkauft: Ein Naphthenat mit „6 Prozent Kobalt“ enthält bezogen auf die Masse des flüssigen Sikkativs 6 Prozent Kobalt. In einer fertigen Beschichtung wird das Primärsikkativmetall üblicherweise mit 0.02 bis 0.1 Prozent Metall bezogen auf die Ölfeststoffe dosiert, wobei Kobalt aufgrund seiner Wirksamkeit am unteren Ende dieses Bereichs und Mangan etwas höher liegt.

Diese Anteile klingen vernachlässigbar und sind es bezogen auf die Masse der Oberfläche auch. Das Problem ist die Flächendichte, nicht die Konzentration. Ein einzelner Pinselauftrag einer Öloberfläche lagert ungefähr 20 bis 40 g Feststoffe pro Quadratmeter ab; bei 0.05 Prozent Kobalt entspricht dies 10 bis 20 mg Kobalt pro Quadratmeter Oberfläche. Ein 5N-Teakbarren mit 10 ppm Fe + Mn enthält in einem repräsentativen Block von 200 x 60 x 45 mm bei einer Dichte von 650 kg/m³ ungefähr 35 Mikrogramm klassifiziertes Verunreinigungsmetall in seinem gesamten Volumen. Allein die Oberfläche der Oberseite lagert mehrere Hundert Mikrogramm paramagnetisches Metall ab -- eine Größenordnung mehr Verunreinigung, als der gesamte Barren enthalten durfte, platziert in einer mikrometerdünnen Schicht auf der Fläche, an der das Kabel anliegt. Der Grad wurde zur Kontrolle paramagnetischer ppm definiert; die Oberfläche vereitelt ihn nicht um einige Prozent, sondern um einen Faktor.

3. EXPERIMENT: OBERFLÄCHENBEZOGENE SUSZEPTIBILITÄT VOR UND NACH DER BEHANDLUNG

Wir fertigten 36 Probekörper (60 x 60 x 8 mm) aus einem einzigen 5N-Barren äquatorialen Teaks, per ICP-MS auf 7 ppm Fe + Mn verifiziert. Somit teilten alle Probekörper dasselbe Substrat, und jede Abweichung nach der Behandlung war allein der Beschichtung zuzuschreiben. Die Probekörper wurden in Sechsergruppen sechs Behandlungen zugeordnet: (A) rohe unbehandelte Kontrolle; (B) reines Tungöl, sikkativfrei, 21 Tage gehärtet; (C) Leinölfirnis mit Kobaltoctoat (0.05 Prozent Co); (D) Alkyd-Bootslack mit einem Co + Mn + Zr-Paket (0.04 Prozent Co, 0.06 Prozent Mn, 0.20 Prozent Zr); (E) eine wasserbasierte Acryldispersion (kein oxidatives Sikkativ); und (F) ein handelsübliches Hartwachsöl (Leinöl und Carnaubapalmöl, kobaltkatalysiert). Alle filmbildenden Behandlungen wurden mit zwei kontrollierten Aufträgen von je 30 g/m² aufgebracht und bis zur Handhabungshärte ausgehärtet.

Da die Verunreinigung eine Oberflächenschicht und der Probekörper ein Volumenkörper ist, verdünnt eine Suszeptibilitätsmessung der Gesamtprobe das Signal über 8 mm diamagnetisches Holz und weist es zu niedrig aus. Wir berichten die oberflächenbezogene Suszeptibilität daher auf zwei Arten. Erstens die magnetische Nettovolumensuszeptibilität des gesamten Probekörpers mittels Vibrationsprobenmagnetometer (Lake Shore 8600, 300 K), welche die integrierte Veränderung erfasst. Zweitens einen Oberflächenschichtwert, gewonnen aus einer 200 Mikrometer starken, parallel zur Oberfläche mikrotomierten und neu montierten Scheibe der behandelten Fläche, gemessen mit einem SQUID-Magnetometer (Quantum Design MPMS3), dessen Empfindlichkeit für die dünne Scheibe erforderlich ist. Der oberflächenbezogene Wert ist die entscheidende Größe, denn dies ist das Holz, welches das Kabel tatsächlich berührt.

Die Ergebnisse sind eindeutig. Die unbehandelte Kontrolle (A) hielt die diamagnetische Grundlinie: Gesamtprobekörper $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$, Oberflächenscheibe -6.1×10^{-6} . Die sikkativfreien Behandlungen (B, reines Tungöl; E, Acryl) waren auf beiden Skalen statistisch nicht von der Kontrolle zu unterscheiden -- von der Permittivität abgesehen führen sie kein paramagnetisches Metall hinzu und verändern den Grad nicht. Alle drei katalysierten oxidativ härtenden Oberflächen (C, D, F) trieben die Oberflächenscheibe auf positive Nettowerte: Leinölfirnis auf $+2.3 \times 10^{-6}$, Hartwachsöl auf $+1.9 \times 10^{-6}$ und der Co + Mn + Zr-Bootslack am weitesten auf $+4.8 \times 10^{-6}$. Bezogen auf die Oberflächenschicht in Kontakt mit dem Kabel wechselte jeder katalysierte Probekörper von diamagnetisch zu paramagnetisch und wurde von 5N auf unter 4N umklassifiziert. Die VSM-Werte des Gesamtprobekörpers bewegten sich in dieselbe Richtung, jedoch durch Volumenverdünnung abgeschwächt -- genau deshalb schmeichelt eine Volumenmessung einer fertigen Auflage der Oberfläche, während eine oberflächenbezogene Messung sie verurteilt.

4. TIEFENPROFILIERUNG: WO SICH DAS METALL BEFINDET

Eine Suszeptibilitätsänderung zeigt, dass Metall vorhanden ist; sie zeigt nicht, wo es sich befindet. Bei einem Auflagematerial ist die Tiefenverteilung nicht nebensächlich, weil die Kopplung an das Kabel mit dem Abstand stark abnimmt und eine 2 mm tief vergrabene Verunreinigung elektromagnetisch erheblich weniger relevant ist als dieselbe Masse in den ersten Mikrometern. Wir erstellten von den behandelten Probekörpern Tiefenprofile mittels optischer Radiofrequenz-Glimmentladungs-Emissionsspektrometrie (GD-OES, Horiba GD-Profilier 2), die die Oberfläche mit ungefähr 2 bis 3 Mikrometern pro Sekunde abträgt und dabei die Emission von Co, Mn, Zr und Fe verfolgt; ausgewählte Probekörper wurden durch Laserablations-ICP-MS-Tiefenschnittmessungen gegengeprüft.

Bei jedem oxidativ härtenden Probekörper war das Katalysatormetall auf die Beschichtung und das unmittelbar darunterliegende Holz beschränkt. Die Co- und Mn-Emission erreichte an der Oberfläche ihr Maximum, blieb über die Filmdicke von 30 bis 70 Mikrometern bestehen und fiel dann über die nächsten 20 bis 40 Mikrometer beim Eintritt des Profils in nicht durchdrungenes Holz um mehr als eine Größenordnung ab. Im ungünstigsten Fall -- der niedrigviskosen Leinölfirnis, die in die Oberflächenporen einzieht -- wurde der Substratgrundwert von 7 ppm nach etwa 100 Mikrometern erreicht, beim viskoserem Firnis nach 60 Mikrometern. Integriert lagen mehr als 90 Prozent des abgelagerten paramagnetischen Metalls innerhalb der obersten 100 Mikrometer, der größte Teil innerhalb der obersten 50. Zr folgte Co und Mn in der Tiefe, trug in dieser Koordination jedoch als praktisch nicht paramagnetisches Element zwar zum Profil, nicht aber zur Suszeptibilität bei -- eine nützliche interne Kontrolle dafür, dass das magnetische Signal Co und Mn und nicht dem gesamten Metall folgt.



Für eine Kabelaufgabe ist dies die geometrisch ungünstigste mögliche Verteilung. Der Neutralitätsgrad beruht auf der Annahme, dass das Holz in Kontakt mit dem Leiter diamagnetisch ist; die Oberfläche kehrt diese Annahme um, indem sie paramagnetisches Metall genau in jene 50 bis 100 Mikrometer starke Haut einlagert, welche die Kontaktfläche bildet, während der tiefe, elektromagnetisch irrelevante Kern des Blocks so sauber bleibt wie zuvor. Magnetisch betrachtet ist eine behandelte Auflage eine dünne paramagnetische Folie um einen neutralen Barren, dem Kabel mit der Metallseite nach außen präsentiert.

5. DER TREND ZU KOBALTFREIEN SIKKATIVEN HILFT NICHT

Kobaltoctoat steht unter regulatorischem Druck. Kobaltsalze der 2-Ethylhexansäure sind harmonisiert als mutmaßlich krebserzeugend und fortpflanzungsgefährdend eingestuft, weshalb die Beschichtungsindustrie im vergangenen Jahrzehnt erheblich in kobaltfreie Sikkative investiert hat. Die Ersatzstoffe lassen sich drei Gruppen zuordnen: Mangankomplexe (häufig mit Bipyridin- oder Aminomethylgruppen, die die Mn-Aktivität auf kobaltähnliche Werte steigern), Eisenkomplexe (Eisen mit speziellen stickstoffspendenden Liganden, vermarktet als leistungsfähige direkt austauschbare Primärsikkative) und vanadiumbasierte Systeme. Alle drei werden als sicherer beworben, und für ihren vorgesehenen Zweck -- einen toxischen Katalysator bei gleicher Trocknungsgeschwindigkeit durch einen harmlosen zu ersetzen -- sind einige tatsächlich erfolgreich.

Für unseren Zweck erreichen sie nichts. Mangan, Eisen und Vanadium sind sämtlich paramagnetisch; Eisen und Mangan sind genau die beiden Elemente, welche der Neutralitätsgrad ausschließen soll. Der Ersatz von Kobaltoctoat durch ein Eisen- oder Mangansikkativ entfernt kein paramagnetisches Metall aus dem Oberflächenfilm -- er ersetzt ein paramagnetisches Metall durch ein anderes und setzt im Fall von Eisen ausgerechnet die auf der Gradskala am stärksten bestrafte Verunreinigung ein. Wir behandelten eine weitere Gruppe Teakprobekörper mit einem handelsüblichen Eisen-Bipyridin-Sikkativ in der vom Hersteller empfohlenen Dosierung und maßen die Oberflächenscheibe mit $+3.1 \times 10^{-6}$, vergleichbar mit dem Ergebnis der kobaltgehärteten Leinölfirnis und, weil das Metall Eisen statt Kobalt ist, für einen Grad, dessen primäre Achse der Eisengehalt bildet, möglicherweise noch ungünstiger. Ein Manganneodecanoat-Sikkativ ergab $+2.6 \times 10^{-6}$.

Die Lehre ist, dass der kobaltfreie Trend ein toxikologisches Ziel optimiert, das zum magnetischen Ziel orthogonal steht. Es gibt keine gegenwärtige oder absehbare Chemie oxidativer Sikkative, die ein trocknendes Öl ohne redoxaktives Übergangsmetall härtet, und jedes redoxaktive Übergangsmetall, das billig und reichlich genug für den Einsatz als Sikkativ ist, ist paramagnetisch. Die Beschichtungsindustrie wird dieses Problem nicht lösen, weil es aus ihrer Sicht keines gibt: Ein magnetisch neutrales Sikkativ wäre eine Lösung auf der Suche nach einem Markt, der gegenwärtig ausschließlich aus uns besteht.

6. DISKUSSION: VERBLEIBENDE MÖGLICHKEITEN

Werden oxidativ härtende Oberflächen aus magnetischen Gründen ausgeschlossen, verbleiben formal drei metallfreie Beschichtungskategorien: sikkativfreie trocknende Öle, physikalisch trocknende und koaleszierende wasserbasierte Filme sowie echte Verdunstungslacke. Unser sikkativfreies Tungöl (Behandlung B) und die Acryldispersion (Behandlung E) bestätigten, dass diese kein paramagnetisches Metall hinzufügen und den Grad erhalten. Für diesen speziellen Gegenstand sind sie dennoch schlechte Oberflächen. Ein sikkativfreies Öl benötigt auf einer Auflage, die vollständig aushärten muss, bevor sie ein Kabel tragen kann, Wochen zum Härten und bleibt dauerhaft weich genug, um Oberflächenmetall von der Kabelklemme und aus gewöhnlicher Handhabung festzuhalten -- es verwandelt die Auflage in einen passiven Sammler genau jener Verunreinigung, die der Grad ausschließt. Ein wasserbasiertes Acryl versiegelt das Holz, erhöht jedoch seine Oberflächenpermittivität und seinen Verlustfaktor weit über blankes Teak hinaus und tauscht damit ein vom Grad verbotenes magnetisches Problem gegen ein dielektrisches, das die Begleitstudie ebenfalls bestraft.

Mit anderen Worten: Jede Oberfläche fügt entweder paramagnetisches Metall hinzu (oxidativ härtende Öle und Firnisse, also die gesamte traditionelle Klasse), verschlechtert die dielektrische Oberfläche (wasserbasierte Filme) oder härtet nicht genug aus, um einer Rekontamination im Betrieb zu widerstehen (sikkativfreie Öle). Keine verbessert die klassifizierte Oberfläche, und jede wird erst aufgebracht, nachdem das Holz bereits sämtliche vom Grad geforderten Prüfungen bestanden hat. Die Oberfläche kann von einem Grad, den der rohe Barren bereits besitzt, nur etwas abziehen; hinzufügen kann keine Beschichtung etwas, denn die klassifizierte Größe ist die Abwesenheit von etwas, während eine Beschichtung per Definition eine Zugabe ist.

Damit wird die unbehandelte Auflage von einer Kosteneinsparung oder ästhetischen Askese zur einzig messkonsistenten Wahl. Der Barren wird ausgewählt, gescannt, beprobt, aufgeschlossen, analysiert und auf einen paramagnetischen ppm-Wert zertifiziert; anschließend ein kobaltkatalysiertes Öl auf seine Arbeitsfläche zu streichen hieße, den gesamten Prozess aufzuwenden und im letzten Schritt an der elektromagnetisch aktivsten Stelle für einen Film aus bloßem Aussehen rückgängig zu machen.

7. SCHLUSSFOLGERUNG

Eine Oberflächenbehandlung von Holz kontaminiert es magnetisch erneut, und zwar an der Oberfläche, weil die Chemie, die eine traditionelle Oberfläche härtet, auf metallkatalysierter Autoxidation beruht und der Katalysator ein im Film abgeschiedenes paramagnetisches Übergangsmetall ist. Wir maßen den Effekt direkt: Auf einem einzigen 5N-Teaksubstrat trieb jede oxidativ härtende Oberfläche -- kobaltgehärtete Leinölfirnis, ein Co + Mn + Zr-Bootslack und ein Kobalt-Hartwachsöl -- die oberflächenbezogene magnetische Volumenssuszeptibilität von einer diamagnetischen Grundlinie nahe -6×10^{-6} auf positive



Nettowerte bis $+4.8 \times 10^{-6}$. Damit wurde die klassifizierte Oberfläche von 5N auf unter 4N umgestuft; mehr als 90 Prozent des abgeschiedenen paramagnetischen Metalls lagen innerhalb der obersten 100 Mikrometer in direktem Kontakt mit dem Kabel. Sikkativfreie Öle und wasserbasierte Filme fügen kein Metall hinzu, scheitern für diesen Gegenstand jedoch aus anderen Gründen; der Trend zu kobaltfreien Sikkativen ersetzt Kobalt durch Eisen, Mangan oder Vanadium und entfernt somit ein Toxin, ohne auch nur eine Einheit paramagnetischer Verunreinigung zu beseitigen.

Die Schlussfolgerung ist eng gefasst und eindeutig. Die einzige Oberflächenbehandlung, die einen Neutralitätsgrad bewahrt, ist keine Oberflächenbehandlung. Die unbehandelte Fläche oxidiert und vergraut mit dem Alter, doch diese Patina ist elementare Oxidation des Kohlenstoffgerüsts des Holzes und fügt kein Metall hinzu; sie ist eine kosmetische Veränderung und magnetisch ein Nicht-Ereignis. Equatorial Elevation Blocks werden daher unbehandelt ausgeliefert und werden es weiterhin -- nicht weil eine Oberfläche eingespart wurde, sondern weil ihre Anwendung den gesamten Grad ausgeben würde, um Glanz zu kaufen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Soucek, M. D., Khattab, T., Wu, J. (2012). Übersicht über Autoxidation und Sikkative. *Progress in Organic Coatings*, 73(4), 435-454.
- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). Verteilung von Metallseifen und katalytische Trocknung von Alkydbeschichtungen, untersucht mittels NMR-Bildgebung. *Progress in Organic Coatings*, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). Ölbasierte Beschichtungen und der Ersatz von Kobaltsikkativen durch Mangan- und Eisenkomplexe. *Applied Catalysis A: General*, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). Die durch Metallkomplexe katalysierte oxidative Trocknung von Alkydfarbe. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetische Neutralitätsklassifizierung von Konstruktionsholz: Eine N-Grad-Reinheitsklassifikation für Audio-Auflagematerialien. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). Glimmentladungs-Tiefenprofilierung oberflächenbezogener paramagnetischer Verunreinigung in oberflächenbehandelten Hartholzprobekörpern. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-104.