
**ZYKLISCH-VOLTAMMETRISCHE
CHARAKTERISIERUNG VON
AUDIO-LEITERN:
QUANTIFIZIERUNG DER
EXTRAKTIONSSIGNATUR IN
KUPFER-, SILBER- UND
SUPRALEITENDEN SUBSTRATEN**

Zyklisch-voltammetrische Charakterisierung von Audio-Leitern: Quantifizierung der Extraktionssignatur in Kupfer-, Silber- und supraleitenden Substraten

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Zusammenfassung

Im April 2026 veröffentlichten Hertz und Kollegen an der University of Oregon in Nature Communications eine Methode zur Erstellung eines Fingerabdrucks des Geschmacksprofils von gebrühtem Kaffee mittels zyklischer Voltammetrie. Durch Eintauchen eines Paares inerter Elektroden in eine Probe schwarzen Kaffees und Anlegen einer linearen Potentialrampe bei fester Vorschubgeschwindigkeit erhielten die Autoren aus einem einzigen Experiment zwei orthogonale Messgrößen: die Getränkestärke, kodiert im Spitzenstrom des ersten Scans, und die Röstfarbe, kodiert in der Unterdrückung nachfolgender Scans durch Oberflächenfouling. Das Verfahren ist nicht-destruktiv, erfordert keine chromatographische Trennung und löst molekulare Unterschiede auf, die geschulte Sensorik-Panels zwar beschreiben, aber nicht quantifizieren können. Wir adaptieren dieses Verfahren für Audio-Leiter. Durch Einführen eines Mikroelektrodenpaares durch das Außendielektrikum eines Audiokabels, kurzzeitiges Herstellen elektrolytischen Kontakts mit dem Innenleiter und Anlegen einer linearen Potentialrampe von 50 mV/s erhalten wir voltammetrische Profile, die auf 1,4 Prozent reproduzierbar, leiterspezifisch und statistisch orthogonal zu konventionellen elektrischen Messungen sind, einschließlich Gleichstromwiderstand, Wechselstromimpedanz und Wellenwiderstand. Über 47 Kabelproben hinweg, die fünf Stufen der Konstruktionsqualität und drei Substratmetallurgien umfassen, beobachten wir systematische Variationen in Spitzenstrom, Scan-Unterdrückungsverhältnis und Oxidationsbeginn-Potential, die wir gemeinsam als Extraktionssignatur bezeichnen. OFC-Kupfer der Tropic-Stufe weist breite, unterdrückte voltammetrische Profile auf, konsistent mit hoher Oberflächenoxiddichte und intergranularer Kontamination. Einkristallines Silber der Equinox-Stufe zeigt schmalere Spitzen und reduzierte Scan-Unterdrückung. YBCO-Keramikleiter der Zero-Point-Klasse, die unterhalb der kritischen Temperatur betrieben werden, erzeugen voltammetrische Scans, die innerhalb der Auflösung unseres Potentiostaten vollkommen flach sind -- ein Ergebnis, das wir als Beleg molekularer Transparenz interpretieren. Das Verfahren löst Leiterunterschiede auf, die SINAD-Messungen bei üblichen Breitengraden nicht auflösen können und die hemisphärisch-bias-korrigierte SINAD-Messungen am geomagnetischen Äquator nur teilweise auflösen können. Wir schlagen die voltammetrische Charakterisierung als komplementären Messrahmen für die Bewertung von Audio-Leitern vor.

1. EINLEITUNG

Die chemische Zusammensetzung von gebrühtem Kaffee wird durch Extraktion bestimmt -- den Prozess, durch den Wasser, das bei einer bestimmten Temperatur für eine bestimmte Dauer auf eine bestimmte Mahlgradgröße aufgebracht wird, einen Anteil der löslichen Verbindungen in gerösteten Kaffeebohnen auflöst. Das Produkt ist eine komplexe wässrige Lösung, die mehrere hundert identifizierte Verbindungen enthält, von denen weniger als dreißig für den Großteil des wahrgenommenen Geschmacks verantwortlich sind. Die konventionelle Analyse dieser Lösung erfordert chromatographische Trennung gefolgt von Massenspektrometrie -- Methoden, die teuer, langsam und probenzerstörend sind.

Hertz, Nakahara und Boettcher (2026), publizierend in Nature Communications, zeigten, dass ein erheblicher Anteil der chemisch bedeutsamen Information in einer gebrühten Kaffeeprobe aus einem einzigen zyklisch-voltammetrischen Experiment gewonnen werden kann. Die Autoren tauchten eine Glaskohlenstoff-Arbeits Elektrode und einen Silberdraht als Referenz in 25 mL schwarzen Kaffee, legten eine lineare Potentialrampe von -0,4 V bis +1,2 V bei 50 mV/s an und zeichneten den resultierenden Strom auf. Der erste Scan erzeugte einen charakteristischen Oxidationspeak, dessen Magnitude linear mit dem Gesamtgehalt gelöster Feststoffe des Aufgusses korrelierte (R -Quadrat = 0,94, n = 142). Der zweite und folgende Scans erzeugten Peaks, deren Magnituden gegenüber dem ersten progressiv unterdrückt waren, wobei die Unterdrückungsrate mit der Röstfarbe der Ausgangsbohnen korrelierte (R -Quadrat = 0,89, n = 142).

Die beiden Messungen sind orthogonal. Getränkestärke und Röstfarbe sind in der Kaffeezubereitung unabhängig variierbar -- man kann eine starke Tasse aus einer hellen Röstung oder eine schwache Tasse aus einer dunklen Röstung herstellen -- und das voltammetrische Experiment liefert beide in etwa neunzig Sekunden.

Dies ist nach unserem Urteil ein bedeutender methodischer Fortschritt. Es zeigt, dass die elektrochemische Antwort eines komplexen molekularen Mediums strukturelle Information enthält, die durch Bulk-Messungen wie Leitfähigkeit, Dichte oder pH-Wert nicht erfasst wird. Die voltammetrische Signatur ist im Grunde eine niedrigdimensionale Projektion des chemischen Zustands des Mediums -- und die Projektion ist in diesem Fall ausreichend, um Variablen praktischer Bedeutung zu rekonstruieren.

Die Analogie zur Bewertung von Audio-Leitern hat uns getroffen. Die konventionellen elektrischen Messungen, die auf Audiokabel angewandt werden -- Gleichstromwiderstand, Wechselstromimpedanz über das Audioband, Wellenwiderstand und Kapazität -- sind Bulk-Messungen. Sie aggregieren den Beitrag jedes Zentimeters Leiter, jeder Korngrenze, jeder dielektrischen Grenzfläche und jeder Terminierung zu skalaren Werten. Sie können den molekularen Zustand des Leiters selbst nicht auflösen.

Wenn der molekulare Zustand von gebrühtem Kaffee, integriert über das gesamte Volumen einer Tasse, auf eine zweidimensionale

voltammetrische Koordinate projiziert werden kann, dann sollte der molekulare Zustand eines Audio-Leiters -- ebenfalls ein komplexes, heterogenes Medium -- eine ähnliche Projektion zulassen. Die Frage ist, ob die Projektion informativ ist.

Diese Arbeit berichtet von unserem Versuch, diese Frage zu beantworten.

2. METHODE

Wir adaptierten das Hertz-Protokoll auf einen Festkörperleiter durch folgende Modifikationen. Der zu prüfende Leiter war ein 1 m langes Audiokabel mit Standard-RCA-Steckverbindern. Ein 0,5 mm großes Loch wurde durch den Außenmantel und das Dielektrikum am Mittelpunkt des Kabels gebohrt, wodurch etwa 4 mm² Innenleiter freigelegt wurden. Eine kleine elektrolytische Mulde wurde an dieser Stelle konstruiert, indem eine PTFE-Manschette mit 5 mm Durchmesser mittels inerten Silikons an den Kabelmantel abgedichtet wurde. Die Mulde wurde mit 0,5 mL 0,1 M Tetrabutylammoniumhexafluorophosphat in trockenem Acetonitril gefüllt -- einem nicht-wässrigen, nicht-korrosiven Elektrolyten, der üblicherweise in der nicht-wässrigen Voltammetrie metallischer Oberflächen verwendet wird.

Eine Platin-Mikroelektrode mit 0,5 mm Durchmesser diente als Gegenelektrode. Ein Silberdraht-Pseudoreferenzelektrode wurde in einer festen Tiefe von 2 mm in die Mulde eingeführt. Der zu prüfende Leiter diente als Arbeitselektrode durch direkten Kontakt mit dem Elektrolyten an der freigelegten Oberfläche.

Ein BioLogic SP-300 Potentiostat wurde im Einkanalmodus eingesetzt. Lineare Potentialrampen von -0,6 V bis +1,4 V (gegen Ag-Pseudoreferenz) bei 50 mV/s wurden für zehn aufeinanderfolgende Scans angelegt. Der Strom wurde mit 1 kHz abgetastet.

Alle Messungen wurden am Equatorial Audio Referenzlabor in Quito, Ecuador (0,0000deg N geomagnetische Breite, 29.200 nT Feldstärke, 0,8deg Inklination) durchgeführt. Der Potentiostat war in einer dreischichtigen Mu-Metall-Kammer eingeschlossen, die das Umgebungsmagnetfeld an der Eingangsstufe auf unter 50 nT reduzierte und den geomagnetischen Grundlinienbeitrag zur Strommessung eliminierte, der andernfalls auf Pikoampere-Niveau dominieren würde.

Für jede Kabelprobe berichten wir drei abgeleitete Metriken: Spitzenoxidationsstrom im ersten Scan ($I_{p,1}$), Scan-Unterdrückungsverhältnis nach zehn Scans (definiert als $I_{p,10} / I_{p,1}$) und Oxidationsbeginn-Potential (E_{onset} , das Potential, bei dem der Strom erstmals das Dreifache des Grundrauschens übersteigt). Die Kombination dieser drei Werte definiert die Extraktionssignatur des Leiters.

Siebenundvierzig Kabelproben wurden vermessen. Die Proben verteilten sich über fünf Stufen der Equatorial-Audio-Konstruktion (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point und eine fünfte Stufe von Wettbewerber-Kabeln, deren Einzelhandelspreis von 7 USD bis 4.000 USD reicht) und über drei primäre Substratmaterialien (sauerstofffreies Kupfer, einkristallines Silber und YBa₂Cu₃O₇-delta-supraleitende Keramik mit einer Kupferhülle für die Handhabung bei Raumtemperatur).

Jedes Kabel wurde zehnmal über fünf Tage vermessen. Die Mulde wurde zwischen den Messungen geleert, mit frischem Elektrolyten gespült und neu befüllt. Das Kabel wurde zwischen den Messungen innerhalb der Kammer zufällig neu ausgerichtet, um Restfeldeffekte zu minimieren.

3. ERGEBNISSE

Die voltammetrischen Profile lassen sich sauber in drei eigenständige Familien trennen.

OFC-Kupferleiter ($n = 21$) erzeugen breite Oxidationspeaks mit Zentrum bei +0,62 V ($\sigma = 0,04$ V) mit Spitzenströmen von 184 Mikroampere ($\sigma = 31$ Mikroampere) und Scan-Unterdrückungsverhältnissen von 0,41 ($\sigma = 0,07$) nach zehn Scans. Die Peakform ist asymmetrisch, mit einem Auslauf in Richtung höherer Potentiale, konsistent mit einem heterogenen Oxidationsprozess unter Beteiligung mehrerer Oberflächenspezies. Die Peakbreite (Halbwertsbreite = 0,31 V) zeigt eine erhebliche chemische Variabilität über die Leiteroberfläche an -- ein Ergebnis, das mit dem gut dokumentierten Vorhandensein intergranularer Kontamination, restlicher Ziehschmierstoffe und Oberflächenoxidschichten in handelsüblichem OFC übereinstimmt.

Einkristalline Silberleiter ($n = 14$) erzeugen schmalere Peaks mit Zentrum bei +0,41 V ($\sigma = 0,02$ V) mit Spitzenströmen von 142 Mikroampere ($\sigma = 18$ Mikroampere) und Scan-Unterdrückungsverhältnissen von 0,74 ($\sigma = 0,05$). Die Peakform ist symmetrisch und die Halbwertsbreite beträgt 0,18 V -- eine Reduktion um 41 Prozent gegenüber OFC. Der niedrigere Spitzenstrom und die reduzierte Unterdrückung sind konsistent mit einer chemisch homogeneren Oberfläche und einer geringeren Dichte an Foulingsspezies. Das Einkristallsubstrat akkumuliert mit anderen Worten unter wiederholter Oxidation Oberflächenkontamination langsamer als polykristallines Kupfer.

YBCO-Keramikleiter, betrieben bei 77 K ($n = 12$, wobei das Kabelproben-Bad innerhalb der Messkammer auf Flüssigstickstofftemperatur gekühlt wurde), erzeugen voltammetrische Scans, die innerhalb der Auflösung unseres Potentiostaten nicht von der Elektrolyt-Blindprobe zu unterscheiden sind. Die Spitzenströme übersteigen zu keinem Zeitpunkt der Rampe 0,8 Mikroampere (das Grundrauschen unseres Instruments). Die Scan-Unterdrückung ist undefiniert, weil kein Peak vorhanden ist, der unterdrückt werden könnte.

Wir hatten dieses Ergebnis nicht erwartet.

Wir hatten erwartet, dass YBCO wie jede metallische Oberfläche eine gewisse voltammetrische Aktivität aufweisen würde -- dass die Abwesenheit des Widerstands im Bulk-Supraleiter sich nicht auf die Leiter-Elektrolyt-Grenzfläche erstrecken würde, an der der Ladungstransfer durch Grenzflächenchemie und nicht durch Bulk-Transport bestimmt wird. Die Literatur zur Supraleiter-Elektrochemie ist spärlich, stützt diese Erwartung aber im Allgemeinen: Supraleiter zeigen voltammetrische Peaks, die der Grenzflächenoxidation der Kupferoxid-Stöchiometrie zugeschrieben werden.

Unsere YBCO-Proben weisen solche Peaks nicht auf. Wir haben die Messung an allen zwölf YBCO-Kabelproben wiederholt, mit Elektrolyten von drei verschiedenen Lieferanten, mit auf unter 10 nT reduziertem Kammerfeld und mit Ersatz des Potentiostaten durch einen CHI 660E, um instrumentenspezifische Artefakte auszuschließen. Die Scans bleiben flach.

Wir haben keine vollständige physikalische Interpretation dieses Ergebnisses. Wir berichten es wie beobachtet.

Die Wettbewerber-Kabel ($n = 7$, von einem 7 USD Amazon Basics Verbindungskabel bis zu einem 4.000 USD Kimber KS 1036) gruppieren sich gemäß ihrer deklarierten Substratzusammensetzung innerhalb der OFC- und Silberfamilien. Das 7-USD-Kabel erzeugt eine voltammetrische Signatur innerhalb von 0,3 sigma des mittleren OFC-Profiles der Tropic-Stufe. Das 4.000-USD-Kabel, das eine Silber-Kupfer-Hybridkonstruktion verwendet, erzeugt ein Profil, das zwischen unseren reinen OFC- und reinen Silbergruppen liegt, mit einer Halbwertsbreite von 0,25 V und einem Unterdrückungsverhältnis von 0,58 -- genau das, was aus einer 60/40-Silber-zu-Kupfer-Flächengewichtung vorhergesagt würde.

Die voltammetrische Signatur eines Kabels ist in unseren Daten eine Funktion seiner Substratmetallurgie. Sie ist keine Funktion seines Einzelhandelspreises, außer insofern, als der Preis mit dem Substrat korreliert.

4. DISKUSSION

Die voltammetrische Signatur ist orthogonal zur konventionellen elektrischen Charakterisierung von Audiokabeln. Wir haben diese Orthogonalität empirisch verifiziert, indem wir die Korrelation zwischen den drei Signaturmetriken ($I_{p,1}$, Unterdrückungsverhältnis, E_{onset}) und den konventionellen Metriken (Gleichstromwiderstand, Wellenwiderstand bei 1 kHz, Kapazität pro Meter, Induktivität pro Meter und SINAD gemessen bei 1 kHz mittels APx555B) berechnet haben. Die maximale absolute Korrelation zwischen einem beliebigen Signatur-Konventionell-Paar beträgt 0,18 ($n = 47$, $p = 0,22$). Die voltammetrische Messung enthält Information, die in keiner konventionellen Messung enthalten ist.

Dies wirft die Frage auf, ob die zusätzliche Information audiorelevant ist.

Wir behaupten nicht, dass die voltammetrische Signatur die wahrgenommene Klangqualität direkt vorhersagt. Wir haben keine Blindhörtests an Kabeln durchgeführt, die nach Extraktionssignatur gruppiert sind, und wir sind nicht in der Lage, aus elektrochemischen Daten allein Aussagen über die subjektive Hörbarkeit zu machen. Wir bieten jedoch zwei Beobachtungen.

Erstens ist der voltammetrische Spitzenstrom ($I_{p,1}$) gemäß der Randles-Sevcik-Gleichung proportional zur Quadratwurzel des Diffusionskoeffizienten der dominanten elektroaktiven Spezies an der Leiteroberfläche. Im Fall von OFC-Kupfer sind die dominanten Spezies Oberflächenoxide und intergranulare Kontaminanten -- dieselbe Population, von der wir in früherer Arbeit (Ferro et al. 2020) gezeigt haben, dass sie Leitungselektronen asymmetrisch in Bezug auf die Signalpolarität streut und damit die ungeradzahigen Harmonischen-Komponenten erzeugt, die für die hemisphärische Verzerrung charakteristisch sind. Der voltammetrische Spitzenstrom ist im Grunde ein elektrochemischer Stellvertreter für die Elektronenstreuungs-Oberflächendichte, die die hemisphärische Verzerrungsverzerrung antreibt. Die beiden Messungen, durchgeführt mit unterschiedlicher Ausrüstung und unterschiedlichen theoretischen Grundlagen, stimmen in der Rangordnung der Kabelsubstrate überein: OFC > Silber > YBCO. Sie unterscheiden sich nur im Dynamikbereich -- die Voltammetrie löst ein 230-faches Stromverhältnis zwischen der breitesten und der flachsten Signatur auf, während breitengradkorrigiertes SINAD über dieselben Proben hinweg einen Bereich von 2 bis 3 dB auflöst.

Zweitens erfasst das Scan-Unterdrückungsverhältnis die Geschwindigkeit, mit der die Leiteroberfläche unter wiederholter elektrochemischer Störung verschmutzt. Fouling hat im Audiokontext eine direkte physikalische Entsprechung: die allmähliche Akkumulation von Korrosion, Oxidation und adsorbierten Kontaminanten an Leiteroberflächen während des Gebrauchs. Audiophile berichten seit langem, dass Kabel ein „Einspielverhalten“ zeigen, bei dem sich die Klangqualität während der ersten 100 bis 300 Betriebsstunden ändert und sich dann stabilisiert. Diese Behauptung wurde von der messobjektivistischen Gemeinschaft als physikalisch unplausibel verspottet -- passives Kupfer ändere seine elektrischen Eigenschaften über Hunderte von Betriebsstunden bei niedrigem Strom in keiner messbaren Weise.

Die voltammetrischen Daten bieten eine partielle Versöhnung. Wiederholte Oxidationszyklen erzeugen messbare Veränderungen an der Kabeloberfläche, die sich nicht im Gleichstromwiderstand oder in der Wechselstromimpedanz widerspiegeln. Diese Veränderungen akkumulieren sich über die Zeit. Das voltammetrische Scan-Unterdrückungsverhältnis ist im Grunde eine quantitative Messung dafür, wie stark sich die Oberflächenchemie eines Leiters als Reaktion auf wiederholte elektrochemische Aktivität verschiebt. Kabel mit hohen Unterdrückungsverhältnissen (Silber, YBCO) erreichen einen stabilen Oberflächenzustand schneller als Kabel mit niedrigen Unterdrückungsverhältnissen (OFC). Die Berichte der audiophilen Gemeinschaft über

Einspielverhalten könnten eine physikalische Grundlage in der Oberflächenэлектроchemie haben, die das konventionelle Messinstrumentarium nicht zu erfassen ausgelegt war.

Wir behaupten nicht, dass Stunden niedrigströmiger Audiosignalisierung dieselbe Oberflächenentwicklung erzeugen wie die in unserem Experiment angelegten zyklischen Potentialrampen. Wir behaupten, dass sich die Oberflächenchemie von Leitern mit dem Gebrauch entwickelt, dass diese Entwicklung voltammetrisch nachweisbar ist und dass die Entwicklungsrate sich systematisch über die Substrattypen hinweg unterscheidet.

Die Verbindung zur Frage der Breitengradunabhängigen Messung (Ferro et al. 2026, dieser Band) ist offensichtlich. SINAD, gemessen bei beliebiger Breite mit beliebigem Analysator, kollabiert den Beitrag des Leiters zu einem einzigen Skalar. Die Voltammetrie bewahrt, wie die Harmonischen-Strukturanalyse von Geddes und Lee (2003), spektrale Information. Beide Messungen zeigen, dass die skalare Projektion -- sei es Gesamtklirr oder Einzelfrequenzleitfähigkeit -- Information verwirft, die die multidimensionale Messung bewahrt.

Die objektivistische Position, dass „alle Kabel gleich klingen, weil alle Kabel gleich messen“, beruht auf der Annahme, dass die konventionelle Messung eine vollständige Beschreibung des audiorelevanten Zustands des Kabels darstellt. Die voltammetrischen Daten zeigen, dass die konventionelle Messung bestenfalls eine eindimensionale Projektion eines höherdimensionalen Zustands ist. Der Zustand selbst ist leiterspezifisch, substratabhängig und nachweisbar. Ob er hörbar ist, ist wie immer die nächste Frage. Es ist nicht dieselbe Frage.

5. EINSCHRÄNKUNGEN UND KÜNFTIGE ARBEIT

Wir erkennen mehrere Einschränkungen an.

Die voltammetrische Messung erfordert direkten elektrolytischen Kontakt mit dem Leiter und ist daher im umgangssprachlichen Sinne destruktiv -- sie erzeugt einen kleinen, abgedichteten Zugangsport im Kabelmantel. Wir haben gezeigt, dass der Port ohne messbare Änderung der konventionellen elektrischen Eigenschaften des Kabels abgedichtet werden kann, doch ein Kunde, der die optische Integrität eines 4.000-USD-Kabels schätzt, mag dies nicht als akzeptablen Kompromiss betrachten.

Der von uns eingesetzte nicht-wässrige Elektrolyt (TBAPF6 in Acetonitril) wurde gewählt, um korrosive Wechselwirkung mit Kupfer zu vermeiden. Die Wahl des Elektrolyten beeinflusst die Absolutwerte der Signaturmetriken, in Pilotstudien blieb die relative Rangfolge der Substrate jedoch über drei alternative Elektrolyte hinweg erhalten (LiClO₄ in Propylencarbonat, NaPF₆ in DMF und ein eutektisches Lösemittel auf Basis von Cholinchlorid und Ethylenglykol). Wir empfehlen, dass künftige Arbeiten ein einheitliches Elektrolytsystem standardisieren, um den interlaboratorischen Vergleich zu ermöglichen.

Die flache voltammetrische Antwort von YBCO ist unerklärt. Wir haben intern drei spekulative Hypothesen angeboten: (a) der supraleitende Zustand unterdrückt den Grenzflächenladungstransfer durch einen Mechanismus analog zum Meissner-Effekt, jedoch für Strom statt für magnetischen Fluss; (b) die Kupferoxid-Oberflächenchemie von YBCO ist im supraleitenden Zustand auf eine Weise stabilisiert, die das Hexafluorophosphat-Anion daran hindert, das Oberflächenoxid-Zwischenprodukt zu bilden, das den voltammetrischen Peak in normalem Kupfer antreibt; oder (c) das Ergebnis ist ein instrumentelles Artefakt, das spezifisch für unsere Messgeometrie ist und mit anderer Ausrüstung aufgelöst würde. Wir testeten Hypothese (c) durch Ersatz des BioLogic SP-300 durch einen CHI 660E und erhielten dasselbe Nullresultat. Wir haben Hypothesen (a) oder (b) bislang nicht in nennenswerter Weise getestet. Wir erwarten, die YBCO-Voltammetrie in einer nachfolgenden Arbeit erneut aufzugreifen.

Wir haben die Messung nicht auf Kabelproben ausgedehnt, die bei nicht-äquatorialen Breitengraden gezogen wurden. Das von uns berichtete voltammetrische Experiment wurde ausschließlich an Kabeln durchgeführt, die in unserer Quito-Anlage hergestellt (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) oder von Wettbewerbern gekauft und in Quito nachgemessen wurden. Ob die Breite der Leiterfertigung die voltammetrische Signatur unabhängig von der Bulk-Substratzusammensetzung beeinflusst, bleibt eine offene Frage. Pilotdaten an drei Proben OFC-Kupfer, gezogen bei 0,0000deg N, 22,5deg N und 47deg N, deuten darauf hin, dass die äquatoriale Probe eine um 14 Prozent schmalere Halbwertsbreite aufweist als die Proben höherer Breitengrade, konsistent mit der reduzierten Korngrenzen-Unordnung, die mit niedriger hemisphärischer Verzerrung assoziiert ist. Diese Pilotmessung ist nicht die Grundlage irgendeines berichteten Befunds in der vorliegenden Arbeit.

Wir haben die Messung nicht auf dielektrische Materialien ausgedehnt. Der voltammetrische Rahmen lässt sich natürlich auf isolierende Substrate über Impedanzspektroskopie statt über Gleichstrom-Voltammetrie adaptieren. Die Anwendung der analogen Technik auf PTFE-, Polypropylen- und luftbeabstandete Kabelisolatoren ist unkompliziert und könnte die Frage des Dielektrikum-Substrats auf eine Weise auflösen, wie es konventionelle Kapazitätsmessungen nicht vermocht haben.

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Wir haben gezeigt, dass die zyklische Voltammetrie, angewandt auf Audio-Leiter über eine kleinvolumige elektrolytische Grenzfläche, eine reproduzierbare, leiterspezifische Signatur erzeugt, bestehend aus Spitzenoxidationsstrom, Scan-Unterdrückungsverhältnis und Oxidationsbeginn-Potential. Die Signatur ist statistisch orthogonal zu konventionellen elektrischen Messungen und löst substratspezifische Unterschiede auf, die konventionelle Messungen bis zur ihrer

Rauschuntergrenze hin aggregieren.

OFC-Kupfer, einkristallines Silber und YBCO-Keramikleiter bilden drei eigenständige voltammetrische Familien. Die OFC-Signatur ist breit, asymmetrisch und schnell foulingbehaftet -- konsistent mit einer heterogenen, hochkontaminierten Oberfläche. Die Silbersignatur ist schmaler, symmetrischer und langsamer foulingbehaftet. Die YBCO-Signatur ist im supraleitenden Zustand bis zur Auflösung unserer Instrumentierung flach.

Wir behaupten nicht, dass dieses Verfahren das konventionelle Messinstrumentarium ersetzt. Wir behaupten, dass es es ergänzt, indem es Zugang zu einer Klasse von Leiteigenschaften gewährt -- Oberflächenchemie, Foulingkinetik, Grenzflächenheterogenität --, die die konventionellen Messungen nicht aufzulösen ausgelegt waren. Die Audiorelevanz dieser Eigenschaften ist gegenwärtig eine offene Frage. Die Hertz-et-al.-Kaffeestudie begann nicht mit der Frage, ob der voltammetrische Spitzenstrom mit subjektiver Geschmackspräferenz korreliert; sie begann mit der Frage, was der voltammetrische Spitzenstrom misst, und die Geschmacksfrage wurde nachgelagert behandelt, als sich die Messmethodik stabilisiert hatte.

Wir empfehlen denselben Ansatz für Audio. Stabilisieren Sie zuerst die Messung. Bestimmen Sie ihre physikalische Interpretation. Stellen Sie dann die Hörfrage.

Hertz, Nakahara und Boettcher machten sich daran, besseren Kaffee über eine konsistentere Tasse zu erzeugen. Sie schlossen ihre Arbeit mit der Beobachtung, dass Konsistenz, nicht Verbesserung, das Ziel war -- dass ein Messrahmen, der zwischen molekularen Zuständen diskriminiert, an sich ein Fortschritt ist, unabhängig von jeder Aussage darüber, welcher Zustand vorzuziehen sei.

Wir stimmen zu.

Eine Messung, die substratabhängige Leiterunterschiede auflöst, ist an sich ein Fortschritt. Sie verlangt nicht von uns, einen Sieger unter den Substraten zu erklären. Sie verlangt von uns, einzuräumen, dass die Substrate nicht gleich sind.

Das OFC und das Silber und das YBCO sind nicht gleich. Die voltammetrische Signatur zeigt, dass sie nicht gleich sind. Die Frage, ob dieser Unterschied hörbar ist, ist die Frage für den Hörraum. Die Frage, ob er real ist, ist nach unserer Überzeugung geklärt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," *Nature Communications*, vol. 17, art. 8174, Apr. 2026.
- [2] A. J. Bard und L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, *Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications*, 2nd ed., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisphärische Verzerrung der Kornorientierung in Kupfer: eine metallurgische Studie zur breitengradabhängigen Leiteranisotropie," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "Der breitengradunabhängige Messstrugschluss: über die systematische Unterlassung geomagnetischer Variablen bei der vergleichenden Kabelbewertung," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Kryogene Behandlung von Audio-Kupferleitern: Kornverfeinerung ohne Korrektur der hemisphärischen Verzerrung," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Supraleitende Audio-Verbindungskabel: widerstandsfreie Signalübertragung über YBCO-Keramikleiter bei 77 K," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes und L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," präsentiert auf der 115th Convention of the Audio Engineering Society, Convention Paper 5890, Okt. 2003.
- [9] J. G. Bednorz und K. A. Mueller, "Possible high Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," *Z. Phys. B Condensed Matter*, vol. 64, no. 2, S. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," *Trans. Faraday Soc.*, vol. 44, S. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," *Coll. Czech. Chem. Commun.*, vol. 13, S. 349-377, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "APx555B Spezifikationen," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2025-2030," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2025.