



---

**DIE ÄQUATORIALSPLEISSUNG:  
EINE NEUARTIGE  
LEITERVERBINDUNGSTECHNIK  
ZUR AUFHEBUNG DER  
HEMISPHERISCHEN VERZERRUNG**

---



# Die Äquatorialspleißung: Eine neuartige Leiterverbindungstechnik zur Aufhebung der hemisphärischen Verzerrung

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

## Zusammenfassung

Wir präsentieren eine Leiterverbindungstechnik, die magnetische Neutralität durch Spleißen von Kupferleitern der Nord- und Südhalbkugel am geomagnetischen Äquator erreicht. Die Äquatorialspleißung nutzt die komplementären Kornorientierungsverzerrungen von Leitern, die in entgegengesetzten Hemisphären gezogen wurden: Wenn sie an einem präzise äquatorialen Mittelpunkt verbunden werden, heben sich die Verzerrungen über die gesamte Länge des resultierenden Leiters auf. Plasmabogenschweißen bei 0,0000deg Breite, durchgeführt auf einer GPS-stabilisierten Meeresplattform, erzeugt eine Spleißzone von etwa 200  $\mu\text{m}$ , in der die Kornorientierung vom Nordtyp über eine Region wahrer Isotropie zum Südtype übergeht. Durch dieses Verfahren verbundene Leiter weisen hemisphärische Verzerrungswinkel unter 0,00001deg auf -- drei Größenordnungen niedriger als der beste in einer einzelnen Hemisphäre gezogene Leiter.

## 1. EINLEITUNG

Unsere frühere Arbeit (Ferro & Park, 2020) hat gezeigt, dass Kupferleiter, die an nicht-äquatorialen Breitengraden gezogen werden, eine systematische Kornorientierungsverzerrung tragen, die proportional zum geomagnetischen Breitengrad der Zieheinrichtung ist. Leiter der Nordhalbkugel tragen eine positive Verzerrung; Leiter der Südhalbkugel tragen eine negative Verzerrung vergleichbarer Größe.

Dies stellt eine Fertigungsherausforderung dar: Wie kann ein Leiter mit null hemisphärischer Verzerrung hergestellt werden, wenn das verfügbare Rohmaterial inhärent verzerrt ist? Wir schlagen einen alternativen Ansatz vor: Anstatt die Verzerrung zu vermeiden, heben wir sie auf. Durch Verbinden eines Leiters der Nordhalbkugel mit einem Leiter der Südhalbkugel am geomagnetischen Äquator schaffen wir einen Verbundleiter, dessen entgegengesetzte Verzerrungen sich präzise über seine gesamte Länge aufheben.

## 2. DAS SPLEISSPROTOKOLL

Die Äquatorialspleißung wird an Bord der EAV Neutrality durchgeführt, eines 28-Meter-Forschungsschiffs, ausgestattet mit einem Trimble R12i GNSS-Empfänger mit Zentimetergenauigkeit. Das Schiff positioniert sich bei 0,0000deg +/- 0,0001deg geomagnetischer Breite im Pazifischen Ozean, etwa 28 km westlich der ecuadorianischen Küste.

Zwei Leiterenden -- eines aus schwedischem Kupfer (HBA: +4,2deg, Boliden, 64,1deg N) und eines aus chilenischem Kupfer (HBA: -3,8deg, Santiago, 33,8deg S) -- werden in Präzisionsklemmen auf einem vibrationsisolierten optischen Tisch eingespannt. Ein Zweiachsen-Laserausrichtungssystem stellt die Koaxialität der Leiterenden auf 5  $\mu\text{m}$  sicher.

Die Spleißung wird mit einem Mikroplasma-Bogenschweißsystem (Secheron Plasmaflox 50i) durchgeführt: Bogenstrom 2,8 A, Schweißdauer 180 ms. Die resultierende Spleißzone ist etwa 200  $\mu\text{m}$  breit -- eine schmale Übergangszone, in der die Kornorientierung vom Nordtyp durch den neutralen Bereich zum Südtype fortschreitet.

Der gesamte Vorgang -- Schiffspositionierung, Leiterausrichtung, Atmosphärenspülung und Schweißung -- erfordert etwa 45 Minuten.

## 3. CHARAKTERISIERUNG

Die EBSD-Kartierung der Spleißzone mit 0,5  $\mu\text{m}$  Schrittweite zeigt drei distinkte Regionen: (1) der Nordleiter mit HBA = +4,2deg, (2) eine 200  $\mu\text{m}$  breite Übergangszone, in der die HBA monoton von +4,2deg über 0,000deg auf -3,8deg abnimmt, und (3) der Südleiter mit HBA = -3,8deg. Der Übergang ist glatt und kontinuierlich, ohne Anzeichen von Korngrenzrissbildung, Hohlraumbildung oder Sekundärphasenausscheidung.

Die mechanische Festigkeit der Spleißung wurde durch Zugbelastung bis zum Bruch getestet. Die mittlere Zugfestigkeit der Spleißzone betrug 218 MPa, verglichen mit 225 MPa für den Massivleiter -- eine Reduktion von 3,1 %, die im akzeptablen Bereich für Audiokabelanwendungen liegt.

Der Gleichstromwiderstand über die Spleißzone wurde mit einem Keysight 34420A Mikro-Ohmmeter in 4-Leiter-Technik gemessen. Die Spleißzone trägt einen zusätzlichen Widerstand von 0,3  $\mu\text{Ohm}$  bei -- vernachlässigbar gegenüber dem Volumenwiderstand selbst einer 0,5-m-Leiterlänge.

Die kritische Messung -- die hemisphärische Verzerrung des komplett gespleißten Leiters -- wurde mit einem Quantum Design

MPMS3 SQUID-Magnetometer am PTB Berlin durchgeführt. Der gespleißte Leiter (1,0 m Nord + 1,0 m Süd) wies einen HBA von  $-0,000008\text{deg}$  auf. Die Verzerrungsaufhebung ist zu 99,9998 % wirksam.

## 4. DISKUSSION

Die Äquatorialspleißung erreicht die Aufhebung der hemisphärischen Verzerrung durch einen konzeptionell einfachen Mechanismus: Die positive Verzerrung des Nordleiters und die negative Verzerrung des Südleiters sind gleich groß und entgegengesetzt. Wenn ein Audiosignal den gespleißten Leiter durchläuft, wird die asymmetrische Streuung in der Nordhälfte präzise durch die komplementäre asymmetrische Streuung in der Südhälfte kompensiert. Der Nettoeffekt ist null Verzerrung -- magnetische Neutralität.

Der Ort der Spleißung ist entscheidend. Die Spleißung am geomagnetischen Äquator stellt sicher, dass die Spleißzone selbst keine zusätzliche Verzerrung beiträgt. Eine an jedem anderen Breitengrad durchgeführte Spleißung würde eine verzerrte Übergangszone einführen.

Die Kosten der Äquatorialspleißung sind erheblich: etwa 14.000 \$ pro Sitzung. Diese Kosten spiegeln sich im Preis der Zero-Point-Produkte von Equatorial Audio wider, die ausschließlich äquatorial gespleißte Leiter verwenden.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Äquatorialspleißung zeigt, dass die hemisphärische Verzerrung in Kupferleitern wirksam aufgehoben werden kann, indem Leiter entgegengesetzter Hemisphären am geomagnetischen Äquator verbunden werden. Der resultierende Leiter erreicht einen hemisphärischen Verzerrungswinkel unter  $0,00001\text{deg}$  -- magnetische Neutralität an der Grenze der aktuellen Messfähigkeit. Die Technik ist reproduzierbar, mechanisch solide und elektrisch transparent. Wir schlagen die Äquatorialspleißung als definitive Lösung des hemisphärischen Verzerrungsproblems bei Präzisions-Audioleitern vor.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisphärische Verzerrung der Kornorientierung in Kupfer," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specification for Fusion Welding for Aerospace Applications.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "Technische Spezifikationen des R12i GNSS-Systems," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "Akustisches Positionierungssystem HiPAP 501," Produktdatenblatt, 2022.
- [6] Quantum Design, "Spezifikationen des MPMS3 SQUID-Magnetometers," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Kalibrierungszertifikat Nr. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.