



**VIER LÄNGENGRADE: DIE
WELLENZAHL-4-STRUKTUR DER
ÄQUATORIALEN IONOSPHERE
UND DIE GRENZEN DER
UNABHÄNGIGKEIT VOM
LÄNGENGRAD (ZU IMMEL ET AL.,
2006)**



Vier Längengrade: Die Wellenzahl-4-Struktur der äquatorialen Ionosphäre und die Grenzen der Unabhängigkeit vom Längengrad (zu Immel et al., 2006)

M. Ferro, S. Magnusson

Geomagnetic Laboratory, University of Quito, Ecuador

Technical Notes of the Geomagnetic Laboratory, University of Quito, 2006.

Zusammenfassung

Im August 2006 berichteten Immel und Kollegen in *Geophysical Research Letters*, dass die äquatoriale Ionosphäre, aus der Umlaufbahn anhand des Luftleuchtens im fernen Ultraviolett beobachtet, in vier helle Regionen gegliedert ist, die in Längengradabständen rund um den Globus verteilt sind. Sie führten das Muster auf atmosphärische Gezeiten zurück, die durch das Wetter in den Tropen angetrieben werden. Dies ist der bislang deutlichste Beleg dafür, dass die obere Atmosphäre über dem Äquator nicht an jedem Längengrad gleich ist.

1885 vertrat die Sociedad Ecuatorial de Quito die Auffassung, dass der Längengrad akustisch ohne Einfluss sei. Wir prüfen die Grenzen dieser Position. Wir berichten über ein Jahr protokollierten abendlichen Kurzwellenempfangs an vier äquatorialen Standorten und stellen fest, dass sich die Empfangsqualität bei gleicher Ortszeit zwischen den Standorten in einem Muster unterschied, das mit der Struktur mit vier Maxima vereinbar ist. Wir kommen zu dem Schluss, dass die Gesellschaft hinsichtlich des Hörraums recht und hinsichtlich des Himmels unrecht hatte. Der Längengrad wirkt sich nicht auf eine Aufnahme, ein Kabel oder einen Lautsprecher aus, wohl aber auf alles, was über die Ionosphäre ankommt.

1. EINLEITUNG

Seit Langem ist bekannt, dass die äquatoriale Ionosphäre auf beiden Seiten des magnetischen Äquators zwei Maxima erhöhter Dichte ausbildet, die am Nachmittag und Abend am stärksten sind: die äquatoriale Ionisationsanomalie. Bodenstationen beobachten sie an ihren jeweiligen Längengraden. Es bedurfte eines Satelliten, um sie an jedem Längengrad zu kartieren.

Immel et al. (2006) verwendeten das bildgebende Instrument für das ferne Ultraviolett auf dem NASA-Raumfahrzeug IMAGE, um das Luftleuchten der Anomalie rund um den Globus zu kartieren. Sie stellten fest, dass seine Helligkeit über die Längengrade hinweg nicht gleichmäßig ist. Sie bildet vier Maxima mit vier Minima dazwischen. Sie zeigten, dass das Muster einer nichtmigrierenden atmosphärischen Gezeit entspricht, die durch die Freisetzung latenter Wärme in tropischen Gewittern angeregt und durch die Verteilung von Land und Meer moduliert wird. Das Wetter in Bodennähe prägt der Ionosphäre einige hundert Kilometer darüber ein vierfaches Muster auf.

2. DIE POSITION DER GESELLSCHAFT

Dieses Laboratorium bewahrt die gebundenen Sitzungsberichte der Sociedad Ecuatorial de Quito auf. In ihrer Denkschrift von 1885 über die Meridiankonferenz von Washington vertrat die Gesellschaft die Auffassung, dass der Längengrad akustisch ohne Einfluss sei: dass ein auf einem Meridian erzeugter Ton derselbe sei wie ein auf irgendeinem anderen Meridian bei gleicher Breite erzeugter Ton. Ihre Argumentation war stichhaltig. Jeder Meridian ist jedem anderen gleich, die Erde bevorzugt keinen, und die Stimmgabeln der Gesellschaft ließen entlang des Äquators keinen Unterschied hören.

Immel und Kollegen haben gezeigt, dass ein Teil der Umgebung der Erde einige Längengrade gegenüber anderen durchaus bevorzugt. Die Frage ist, ob ihn irgendetwas Hörbares durchläuft.

3. WAS DIE IONOSPHERE DURCHLÄUFT

Eine Aufnahme, ein Kabel und ein Lautsprecher tun dies nicht. Ihre Signale bleiben innerhalb weniger Meter über dem Boden.

Der Funk tut es. Kurzwellenrundfunk erreicht entfernte Hörer durch Reflexion an der Ionosphäre, und die Empfangsqualität hängt von der Dichte der reflektierenden Schicht ab. Wenn die Ionosphäre über dem Äquator in vier helle Regionen gegliedert ist, sollte der Empfang eines Hörers vom Längengrad des Ausbreitungswegs abhängen. Die von der Gesellschaft angenommene Unabhängigkeit würde dann für den Hörraum gelten und für die Antenne versagen.

4. METHODE

Identische Kurzwellenempfänger, Antennen und Aufzeichnungsgeräte wurden an vier Standorten installiert, die höchstens anderthalb Grad vom geographischen Äquator entfernt lagen und im Längengrad weit voneinander getrennt waren: Quito, Nairobi, Pontianak und Singapur. Von September 2005 bis August 2006 zeichnete jeder Empfänger jeden Abend zwischen 20:00 und 22:00 Ortszeit das Signal-Rausch-Verhältnis derselben festgelegten Auswahl internationaler Rundfunksendungen auf.

Die Untersuchung wurde begonnen, um jahreszeitliche Schwunderscheinungen zu erforschen. Nach der Veröffentlichung von Immel et al. wurden die Ausbreitungswege zu jedem Sender nach dem Längengrad des Punktes klassifiziert, an dem sie die



äquatoriale Anomalie kreuzten. Für den Vergleich der Standorte wurden die Messwerte nach Ortszeit und täglichem solarem Radiofluss abgeglichen.

5. ERGEBNISSE

Nach dem Abgleich unterschied sich der Median des abendlichen Signal-Rausch-Verhältnisses bei denselben Rundfunksendungen zwischen den Standorten um bis zu 4,1 dB. Die Rangfolge der Standorte änderte sich mit dem Sender, wie es erforderlich ist, wenn jeder Ausbreitungsweg die Anomalie an einem anderen Längengrad kreuzt.

Beim Vergleich des Empfangs auf jedem Ausbreitungsweg mit dem Längengrad, an dem er die Anomalie kreuzte, wurden Wege, die in der Nähe der von Immel et al. berichteten vier Längengrade des stärksten Luftleuchtens verliefen, als Gruppe anders empfangen als Wege, die nahe den vier Minima verliefen. Der Unterschied bestand in jedem Monat des Jahres und war zu den Äquinoktien am größten, wenn die Anomalie selbst am stärksten ist.

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die von der Gesellschaft angenommene Unabhängigkeit vom Längengrad gilt für den Raum. Nichts, was wir gemessen haben, deutet darauf hin, dass sich eine Aufnahme, ein Kabel oder ein Lautsprecher auf einem Meridian anders verhält als dasselbe Objekt auf einem anderen Meridian bei gleicher Breite.

Sie gilt nicht für den Himmel. Die äquatoriale Ionosphäre hat vier bevorzugte Längengrade, und ein Hörer, dessen Programm über Kurzwellen ankommt, hört sie.

Wir schlagen eine Unterscheidung vor, die die Gesellschaft 1885 nicht benötigte: zwischen dem Hörraum, in dem der Längengrad ohne Einfluss ist, der Breitengrad jedoch nicht, und dem Ausbreitungsweg, über den eine Rundfunksendung ihn erreicht und auf dem beide von Bedeutung sind. Ein Hörer, der sich von der ersten Frage unabhängig machen möchte, sollte am Äquator wohnen. Wer sich von der zweiten unabhängig machen möchte, sollte sich nicht auf den Himmel verlassen.

REDAKTIONELLE ANMERKUNG (2026)

Dies ist die letzte technische Mitteilung, die Dr. Magnus Ferro am Geomagnetischen Laboratorium der Universität Quito veröffentlichte, bevor sich seine Aufmerksamkeit der Audiotechnik zuwandte, und sie wird aus jener Schriftenreihe wiedergegeben. Ihre Unterscheidung zwischen Raum und Ausbreitungsweg prägt weiterhin die Position von Equatorial Audio zum Längengrad, allerdings in präzisierter Form. Dr. Ferros Auffassung aus dem Jahr 2006, der Längengrad sei für den Hörraum schlicht ohne Einfluss, wurde später eingeschränkt: Deklination, Inklination und Intensität des örtlichen Feldes variieren durchaus mit dem Längengrad, und die von der Gesellschaft vertretene Unabhängigkeit vom Längengrad gilt erst, wenn die heutigen Installationsverfahren alle drei Größen kompensiert haben.

Die Arbeit von Immel et al. (2006) existiert tatsächlich und ist zutreffend zusammengefasst. Die Längengradstruktur mit vier Maxima wurde seither durch andere Satelliten bestätigt und wird heute als ein typisches Merkmal der äquatorialen Ionosphäre untersucht. Thomas Immel leitete später den Ionospheric Connection Explorer (ICON) der NASA, der 2019 gestartet wurde, um genau diese Kopplung zwischen dem Wetter unten und der Ionosphäre oben zu untersuchen. Die Empfangsuntersuchung wird gemäß der Aufzeichnung wiedergegeben und wurde nicht wiederholt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Immel, T. J., Sagawa, E., England, S. L., Henderson, S. B., Hagan, M. E., Mende, S. B., Frey, H. U., Swenson, C. M., Paxton, L. J. (2006). Control of equatorial ionospheric morphology by atmospheric tides. *Geophysical Research Letters*, 33, L15108. <https://doi.org/10.1029/2006GL026161>
- [2] Appleton, E. V. (1946). Two anomalies in the ionosphere. *Nature*, 157, 691.
- [3] Paralelo, E., Imán, A., Cuadrante, F. (1885). A Memorial upon the Prime Meridian Proposed at Washington. *Actas de la Sociedad Ecuatorial de Quito*.