

Werk

Jahr: 1976

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:42

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN1015067948_0042

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN1015067948_0042

LOG Id: LOG_0072

LOG Titel: Probleme bei der Untersuchung von räumlich und zeitlich veränderlichen Medien, dargestellt am Beispiel der Ionosphäre

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN1015067948

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN1015067948>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=1015067948>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Probleme bei der Untersuchung von räumlich und zeitlich veränderlichen Medien, dargestellt am Beispiel der Ionosphäre

W. Dieminger und G.K.Hartmann

Max-Planck-Institut für Aeronomie,
Postfach 80, D-3411 Katlenburg-Lindau 3, Bundesrepublik Deutschland

Problems in the Investigation of Space and Time Dependent Media Exemplified by the Ionosphere

Zusammenfassung. Die meisten in der Geophysik gewonnenen Daten sind vom Beobachtungsort und von der Beobachtungszeit abhängig. Anders als viele in der Laborphysik gewonnenen Daten, die ebenfalls räumlich und zeitlich veränderlich sein können, sind die meisten dieser geophysikalischen Daten zusätzlich *nicht reproduzierbar*, d.h. die gleichen Bedingungen, die zur Zeit t am Ort x bei der Messung herrschten, sind bei keiner folgenden Messung wiederherstellbar. Das zwingt die Geophysiker oft zur Messung langer Zeitreihen, deren Auswertung zu den unterschiedlichsten und zum Teil sehr komplexen Problemen führt. Einige Beispiele aus der Geschichte der Ionosphärenforschung, chronologisch geordnet und ergänzt durch einige ganz aktuelle Fragestellungen, verdeutlichen dies.

Abstract. Most data obtained in geophysics is dependent upon the time t and the location x where the measurement was carried out. In addition to the majority of data obtained in laboratory physics which may also be dependent upon space and time, most of the geophysical data is *non reproducible*. This means that the conditions at the time t and location x of the first measurement cannot be reproduced at any subsequent measurement. This implies very often that in geophysics long time series have to be measured which leads to different and partly very complex problems. This is illustrated by some examples from the history of ionospheric research supplemented by some very recent open questions in this field.

Key words: Time and space dependent data — Long-time series — Ionosphere.

Anmerkung des Herausgebers. Nicht reproduzierbare geophysikalische Daten werden seit geraumer Zeit hauptsächlich von den World Data Centers (WDC's) gesammelt. Neuerdings beschäftigt sich auch das Committee on Data for Science and Technology (CODATA) damit. Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag zu der aktuellen Diskussion über die Gestaltung der neu gegründeten bzw. geplanten Fachinformationssysteme (FIS) der Bundesrepublik Deutschland

Es gibt in der Geophysik Daten, die lediglich vom Beobachtungsort oder von der Beobachtungszeit abhängig sind. Ein Beispiel für reine Ortsabhängigkeit ist die geographische Position, die — jedenfalls in geschichtlichen Zeiträumen — gänzlich unabhängig von der Beobachtungszeit ist. Daneben gibt es viele Erscheinungen, die sowohl zeit- als auch ortsabhängig sind.

In der Geophysik sind diese Daten — im Gegensatz zu der Laborphysik — meistens zusätzlich auch nicht reproduzierbar.

Bemerkung: Daten sind reproduzierbar, wenn die gleichen Bedingungen, die zur Zeit t_1 am Ort x_1 bei der Messung herrschten, auch bei jeder folgenden Messung wiederherstellbar sind. Gilt dies nicht, sind die Daten nicht reproduzierbar [1]. In der Laborphysik gibt es viele Daten, z.B. die von den verschiedensten Wellenvorgängen, die orts- und/oder zeitabhängig sind, die jedoch reproduzierbar sind, da sie im Labor unter wohl definierten Bedingungen ablaufen. Im Gegensatz zur Geophysik benötigt man hier zur Erklärung der physikalischen Phänomene keine Zeitreihen, bei denen jede Beobachtung sowohl aus einer quantitativen Maßangabe bestehen muß als auch aus einer Angabe über die Zeit, zu welcher diese Maßzahl bestimmt wurde. Bei geophysikalischen Zeitreihen mit ihren spezifischen statistischen Eigenschaften ist außerdem zu beachten, daß sich viele der Standardverfahren der mathematischen Statistik nur mit Vorbehalt oder gar nicht anwenden lassen. Die Entwicklung adäquater statistischer Modelle und Methoden ist also von größter Wichtigkeit, kann aber wiederum nicht ohne Rückgriff auf die konkreten Beobachtungsreihen erfolgen. Die folgende Tabelle 1 zeigt einen Teil der Informationen auf, die man benötigt, wenn man nicht reproduzierbare, räumlich und zeitlich veränderliche Daten optimal miteinander vergleichen und im weitesten Sinn bewerten will.

Im einfachsten Fall ist die räumliche und zeitliche Abhängigkeit einer Größe durch ein einfaches Gesetz beschreibbar, z.B. der Elevationswinkel der Sonne durch die Geometrie, die durch Tageszeit und geographische Breite bedingt ist. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen solche einfachen Gesetzmäßigkeiten nicht mehr feststellbar sind, in denen sich z.B. der Zeitablauf in schwer überschaubarer Weise mit dem Beobachtungsort ändert. Solche Daten stellen naturgemäß an die Beobachtungstechnik und an die analytische Darstellung besondere Anforderungen.

Zu diesen Erscheinungen gehört zweifellos der Zustand der Ionosphäre, ausgedrückt durch Parameter wie Elektronendichteverteilung und Gesamtelektroneninhalt. Dieser Tatbestand war zu Beginn der Ionosphärenforschung nicht bekannt. Ließ sich doch theoretisch eine einfache Beziehung zwischen der Elektronenproduktion durch das ultraviolette Sonnenlicht und dem Erhebungswinkel der Sonne ableiten. Dieser Konzeption entsprach es, daß man zunächst versuchte, mit 3 Beobachtungsstationen auszukommen: Washington D.C. auf der Nordhalbkugel; Huancayo, Peru, in der äquatorialen Zone und Watheroo/Australien auf der Südhalbkugel. Immerhin trug man mit der Einsetzung von 3 Stationen bereits dem Gesichtspunkt Rechnung, daß neben der Abhängigkeit vom Sonnenstand, der seinerseits ortsabhängig ist, eine weitere direkte Ortsabhängigkeit vorhanden sein könnte. Außerdem zeigte die Theorie, daß der Polari-

Tabelle 1. Benötigte Informationen für optimale Vergleiche von verschiedenen orts- und zeitabhängigen, nicht reproduzierbaren Daten

-
- I. Unmittelbare(r) Fach- und/oder Sachbereich(e) der Meßdaten
 - II. Gemessene Effekte
 - a. Bezeichnung der Effekte
 - b. Punktmessung: Meßdaten stammen von einer punktförmigen „Quelle“
 - c. Linienmessung: Daten werden längs einer Linie, z.B. Satellitenbahn, gemessen
 - d. Flächenmessung: Daten stammen von einer Fläche im Raum
 - e. Volumenmessung: Daten stammen aus einem Volumen
 - f. Integraler Meßwert: Der Meßwert entsteht durch Integration über Linien-, Flächen- oder Volumenelemente
 - g. In situ Messung: Meßgeräte befinden sich jeweils am Ort der Meßgröße
 - h. Remote Sensing: Meßgeräte befinden sich entfernt vom Ort der Meßgröße
 - III. Aus II abgeleitete Parameter
 - a. direkt
 - b. indirekt
 - c. durch Korrelation mit anderen Daten
 - d. Auswertegenauigkeit
 - e. Gesamtfehler: Meßfehler + Auswertefehler
 - IV. Zeiträume, für die auswertbare und/oder ausgewertete Daten zur Verfügung stehen
 - V. Art der Datenaufzeichnung
 - a. Analog mit dafür charakteristischem Auflösungsvermögen
 - b. Digital mit dafür charakteristischem Auflösungsvermögen
 - c. Datenfernübertragung
 - d. Zahl der betriebenen Meßstationen
 - VI. Zugriff zu den Daten
 - a. Beim Institut, das die Messung durchgeführt hat (ja, nein)
 - b. Bei nationalen Datenzentren (ja, nein)
 - c. Bei internationalen Datenzentren (WDCs usw.) (ja, nein)
 - d. Falls b. nein: Frage: „Ist es für die Zukunft geplant?“
 - e. Falls c. nein: Frage: „Ist es für die Zukunft geplant?“
 - f. Art der Zugriffsmöglichkeit
 - VII. Meßgerätecharakteristiken
 - a. Meßbereiche
 - b. Auflösungsvermögen des Meßgerätes, Empfindlichkeiten
 - c. Meßfehler
 - d. Raumauflösung
 - VIII. Ökonomische Fragen
 - a. Industriell in größerer Stückzahl gefertigte Geräte (Serienfertigung)
 - b. Industriell gefertigtes Gerät (Einzelfertigung)
 - c. Forschungsmuster in der Erprobung
 - d. Labormuster
 - e. Kombination aus a – d
 - f. Entwicklungskosten, Entwicklungszeit
 - g. Betriebskosten einer Einzelstation
 - h. Betriebskosten eines Meßnetzes
 - IX. Welche schriftlichen Unterlagen existieren über die Meßgeräte sowie die Datenverarbeitung (Aufbereitung und Auswertung)?
 - X. Welche wissenschaftlichen Publikationen existieren?
-

sationszustand reflektierter Wellen von der Orientierung des erdmagnetischen Feldes abhängt.

Tatsächlich zeigte der Vergleich der Beobachtungen, daß für die E-Schicht der Ionosphäre (100–140 km) die einfache Theorie in guter Näherung anwendbar ist. Dagegen wurden für die F-Schicht (200–400 km) große Abweichungen beobachtet. Es fehlte in den 20er und 30er Jahren nicht an Versuchen, aus den Beobachtungsdaten der drei genannten Stationen die Gesetzmäßigkeiten dieser Ortsabhängigkeit wenigstens empirisch zu ermitteln. Das gelang einigermaßen für den sog. mittleren Tages- und Jahresgang – später kam noch die Abhängigkeit von der Sonnenaktivität hinzu. Versuchte man aber diese zeitlichen Gänge auf andere geographische Positionen zu übertragen, so ergaben sich gravierende Differenzen zwischen erwarteten und beobachteten Werten. Es blieb schließlich nichts anderes übrig, als auf Grund eines relativ dichten Netzes von etwa 200 Beobachtungsstellen eine weltweite Darstellung der mittleren Beobachtungswerte zu zeichnen und „weiße Flecken“ durch Interpolation auszufüllen. Auch dabei ergaben sich noch beträchtliche Abweichungen von der Realität. Bot schon die Darstellung der mittleren Werte beträchtliche Schwierigkeiten, so verstärkten diese sich bei den Tag zu Tag-Schwankungen, die man – soweit sie mit bestimmten solarerterrestrischen Ereignissen verknüpft sind – als Störungen der Ionosphäre bezeichnet. Einigermaßen übersehbar sind nur die Veränderungen, die durch chromosphärische Eruptionen von UV- und Röntgenstrahlung bedingt sind. Hier ist der Effekt proportional dem Elevationswinkel der Sonne und der Stärke der Eruption auf der Sonne. Beim Eindringen von Korpuskeln in die Polarlichtzonen sind die Veränderungen nicht nur von der Intensität des Ereignisses und von der magnetischen Breite, sondern auch von der Ortszeit oder mit anderen Worten der magnetischen Länge abhängig. Wohl erkennt man gewisse Grundzüge im Ablauf solcher Störungen, aber es gibt wohl kaum zwei, die im einzelnen völlig identisch ablaufen würden.

Daß korpuskulare Störungen erheblich vom Ort abhängen, ist verständlich, da hier die erzeugende Ursache bereits starke lokale Variationen aufweist. Da die gestörten Zeiten in die Mittelwertbildung eingehen, sind auch bei diesen schon aus diesem Grunde ortsabhängige Variationen, die nicht durch den Sonnenstand bedingt sind, zu erwarten. Aber auch die Mittelwerte der „ungestörten“ Zeiten gehorchten nicht dem Sonnenstandgesetz. So gelang es z.B. nicht, die Tagesgänge der Nordhalbkugel mit einer Zeitverschiebung von 6 Monaten auf die Südhalbkugel zu übertragen. Ebenso wenig steigt die maximale Elektronenkonzentration der F-Schicht mit abnehmender Breite bis zum Äquator an. Tatsächlich fand man zwei Maxima in etwa 20° nördlicher und südlicher Breite und einen Trog längs des Äquators. Dabei ist die Symmetrielinie nicht der geographische, sondern der magnetische Äquator. Das war ein deutlicher Hinweis, daß das Erdmagnetfeld nicht nur hinsichtlich der Polarisierung, sondern auch in der Bilanz der Elektronenproduktion eine wichtige Rolle spielt.

Der Schlüssel zum Verständnis der Zusammenhänge lag in der Idee, daß neben der Produktion durch unsichtbare Sonnenstrahlung und dem Verlust durch Wiedervereinigung und Ablagerung der Elektronen Transportvorgänge eine wichtige Rolle im F-Gebiet der Ionosphäre spielen. Mathematisch drückt sich das durch die Einführung eines Divergenz-Terms in die Kontinuitätsglei-

chung aus. Horizontale Strömungen des Plasmagases in der hohen Atmosphäre unter der Wirkung von Gezeitenkräften sind vorstellbar, ihre Wirkung reicht aber keinesfalls aus, um die beobachteten kräftigen Effekte zu erklären. Man mußte vielmehr eine vertikale Drift der Elektronen annehmen, die dafür sorgt, daß diese in ein Höhengebiet mit höheren oder niedrigeren Verlusten gebracht werden. Hierbei genügten relativ geringe Verschiebungen, um die beobachteten Effekte zu erklären. Nun zeigt die Theorie, daß in einem dünnen Plasma, wie es im F-Gebiet der Ionosphäre vorhanden ist, das Magnetfeld eine Vorzugsrichtung für die geladenen Teilchen bestimmt: die Elektronen können sich nur längs des Magnetfeldes verschieben. Quer zum Magnetfeld werden sie zum Kreisen um die Feldlinien gezwungen. Hat die horizontale Bewegung des Ionosphären-gases eine Nordsüdkomponente, so führt dies wegen der Neigung der Magnetfeldlinien (Inklination) zu einer vertikalen Drift der Elektronen. Diese Hypothese erwies sich als außerordentlich fruchtbar, vor allem als man entdeckte, daß neben den Gezeitenwinden weitere Bewegungsvorgänge in der Ionosphäre vorhanden sind, die durch die ungleichmäßige Erwärmung der hohen Atmosphäre im Tagesablauf entstehen. Unter ihrer Wirkung strömt Ionosphären-gas, wobei es gleichzeitig von der Coriolis-Kraft abgelenkt wird, von einem warmen Hochdruckgebiet auf der belichteten Halbkugel zu einem kalten Tief auf der Nachtseite. Darnach könnte man erwarten, daß zwei Orte mit gleicher geographischer Breite und gleicher Inklination den gleichen ungestörten Tagesverlauf aufweisen. Daß dies nicht der Fall ist, konnte durch eine Verfeinerung der Theorie erklärt werden: Neben der Inklination hat auch die Deklination, also die Abweichung der Magnetfeldlinien von der Meridianrichtung, einen Einfluß. Da es kaum zwei Orte gibt, bei denen geographische Breite, Inklination und Deklination identisch oder komplementär sind, hat praktisch jeder Punkt auf der Erde seine individuelle Ionosphäre.

Unter diesen Umständen verzichtet man darauf, eine theoretisch gestützte Darstellung des weltweiten mittleren Zustandes der Ionosphäre anzustreben. Man begnügt sich vielmehr damit, praktisch wichtige Parameter der Ionosphäre, wie die Elektronendichte als Funktion der Höhe, auf Grund von Beobachtungen zu kartieren. Dabei sind Extrapolationen nur auf relativ kurze Entfernungen (≤ 1000 km) praktikabel. Diese Mittelwerte zeigen nun langfristig ($T \geq 100$ Tage) einen recht deutlichen Zusammenhang mit der Sonnenaktivität, wobei der „Hub“ allerdings auch wieder von Ort zu Ort erheblich verschieden ist und empirisch bestimmt werden muß. Hierauf beruht im wesentlichen die heute praktizierte Vorhersage von Ionosphärenparametern und daraus abgeleiteten Ausbreitungsbedingungen der Kurzwellen. Im „Störungsfall“ ist natürlich mit erheblicher Abweichung zu rechnen. Nun besteht zwar bei den Störungen, die durch solare Korpuskeln verursacht werden, ein Zusammenhang mit der Stärke der solaren Strahlung und eine Abhängigkeit von der geomagnetischen Breite. Ersteres ist wegen einer gewissen Voreilung der erdmagnetischen Störung bedingt ausnutzbar. Letzteres hat Bedeutung für die Planung, wenn die Möglichkeit besteht, stark gestörte Gebiete, nämlich die Polarlichtzonen, zu umgehen. Beobachtungen, die erst die Raumfahrt ermöglichte, haben aber gezeigt, daß neben den Veränderungen, die korpuskularen Effekte zugeordnet werden können, auch solche bestehen, deren Ursache in vermutlich meteorologisch bedingten Variatio-

nen der Zusammensetzung des Gases in der hohen Atmosphäre gesucht wird. So zeigt die Elektronendichte in der unteren Ionosphäre (60–90 km) Tag zu Tag-Schwankungen, die offenbar durch die mesosphärische Zirkulation gesteuert werden. Auch der totale Elektroneninhalt und seine örtlich-zeitliche Variation zeigt unerwartete Tag zu Tag-Schwankungen, deren Ursprung noch unklar ist.

Insgesamt kann die Ionosphäre als Paradebeispiel für ein örtlich-zeitlich veränderliches Medium gelten. Dabei ist die Anzahl der Wirkungsmechanismen so groß, daß eine rein theoretische Beschreibung zumindest z.Z. noch nicht möglich ist. Genau wie in der Meteorologie kann man auf eine laufende Beobachtung im Hinblick auf die praktische Anwendung und die weitere Erforschung nicht verzichten.

Dabei sehen wir uns folgender Problematik gegenüber. Wir finden zwar mit wachsender Länge der Zeitreihen, ergänzt durch neuartige Messungen, Antworten auf einige Teilfragen, können jedoch dabei nicht unbedingt damit rechnen, daß wir damit schon ein großes Stück vorangekommen sind in unserem Bemühen, ein widerspruchsfreies Gesamtbild des so komplexen Mediums Ionosphäre zu zeichnen. Im Gegenteil, wir scheinen mit der Beantwortung jeder dieser Teilfragen gleich mehrere neue Fragen aufzuwerfen. Aus ökonomischen Gründen und wegen der beschränkten Datenverarbeitungskapazitäten führt dies zu einigen großen Problemen, deren Natur wir gerade erst zu erkennen beginnen.

Welche Konsequenzen ergeben sich für die weitere Beobachtung und Erforschung der Ionosphäre? Zunächst die Anwendung auf die Vorhersage der Kurzwellenausbreitung. Die langfristige und mittelfristige Prognose, die nur auf Mittelwerte ausgerichtet ist, besteht in einer Extrapolation ausreichend langer Zeitreihen auf die Zukunft. Hier sind die Zusammenhänge mit der Sonnenaktivität genügend gesichert. Das Problem ist hier eine sichere Voraussage der Sonnenaktivität. Die Fortsetzung der ionosphärischen Beobachtungen hat hier in erster Linie die Funktion einer laufenden Kontrolle.

Bei den Störungen greift man auf die ebenfalls gesicherten Zusammenhänge zwischen erdmagnetischen und ionosphärischen Störungen zurück, die beide auf die gleiche Ursache, nämlich Eindringen solarer Korpuskeln in die hohe Atmosphäre, zurückgehen. Hier sind noch Verbesserungen durch die Erforschung der Prozesse zu erwarten, die sich auf der Sonne, im interplanetaren Raum und in der hohen Atmosphäre abspielen. Hier sind kontinuierliche koordinierte Beobachtungen unabdingbar, da sonst die Gefahr besteht, daß gerade die interessantesten Ereignisse verfehlt werden. Der behauptete Zusammenhang mit Planeten-Konstellationen wäre ebenfalls durch weitere Beobachtungen zu prüfen. Noch am Anfang steht die Forschung hinsichtlich der aeronomisch-meteorologischen Zusammenhänge, wobei hier nicht nur die Meteorologie der Tropo- und Stratosphäre, sondern der Zustand der Neutralgashülle bis in die untere Magnetosphäre einzuschließen ist. Die Rolle der Ionosphäre im GHz-Bereich bedarf vordringlich einer gründlichen Klärung wegen der Auswirkung speziell in der Funknavigation mit Hilfe von Satelliten. Hier ist wohl der Einfluß erkannt, das Ausmaß der zu erwarteten Fehler als Funktion von Tageszeit und geographischer Position noch festzulegen.

In der Grundlagenforschung ist ein Hauptanliegen die Erfassung der Vorgänge in der gesamten Atmosphäre von der Troposphäre bis zur Magnetopause.

Hier verspricht eine Koordinierung der verschiedenen Methoden, bodengebundene und trägergebundene Ergebnisse, die merklich über den bisherigen Stand der Erkenntnisse hinausgehen. Methoden zur künstlichen Beeinflussung der Ionosphäre können durch dosierbare Veränderung *eines* Parameters das komplexe Geschehen, das die Natur in den verschiedensten Variationen durchspielt, durchsichtiger machen. Es ist auch zu erwarten, daß die Erforschung der Planeten-Ionosphären gerade wegen der abweichenden Bedingungen neue Anregungen für die Deutung der Vorgänge in der irdischen Ionosphäre gibt.

Literatur

1. Hartmann, G.K.: Why do we need data, what are data, what principal data evaluation problems have to be considered? Wird veröffentlicht als ZAED-Report (Zentralstelle für Atomkernenergie Dokumentation, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen), 1977

Eingegangen am 1. November 1976

