Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 98 (1980)

Heft: 45

Artikel: Künstliche Schwingungen des irdischen Magnetfeldes: erste Ergebnisse des Heating-Experiments

Autor: Gerwin, Robert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74245

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Künstliche Schwingungen des irdischen Magnetfeldes

Erste Ergebnisse des Heating-Experiments

Die Ionosphäre der Erde lässt sich mit der Hilfe elektromagnetischer Strahlung künstlich aufheizen und so in eine Sendeantenne für Radiowellen extremer Länge verwandeln. Ausserdem ist es möglich, das Magnetfeld der Erde auf diese Weise zu Schwingungen anzuregen, es zum Pulsieren zu bringen. Dies sind die ersten Ergebnisse eines neuartigen, aktiven geophysikalischen Experiments, das von deutschen Wissenschaftlern und Technikern in den vergangenen Monaten in Norwegen bei Tromsö in Zusammenarbeit mit der dortigen Universität unter der Bezeichnung «Heating» aufgebaut und in Betrieb genommen wurde. Die Ergebnisse sind jetzt bei der Eröffnung dieser neuen Aussenstelle des Max-Planck-Instituts für Äronomie durch die Projektleiter Peter Stubbe und Helmut Kopka bekanntgegeben worden.

Wohl an keiner Stelle der Erde stehen so viele Antennen im Dienst der Forschung wie in Ramfjordmoen, einem weitläufigen einsamen Tal, das *etwa 25 km südlich der Fischerei- und Universitätsstadt Tromsö* im hohen Norden *Norwegens,* auf etwa 70° nördlicher Breite, liegt. Hier trifft das irdische Magnetfeld in einem spitzen Winkel von nur 12 Grad auf die Atmospähre und die Erdoberfläche: eine besonders günstige Voraussetzung, geophysikalische Effekte zu studieren, die mit dem Magnetfeld in Verbindung stehen. Schon seit 50 Jahren hat die geophysikalische Forschung in Tromsö Tradition, wird hier zum Beispiel das *Nordlicht* erforscht. Auch die Hauptantennenanlage des von sechs europäischen Ländern mit einem Aufwand von 50 Mio Mark gestarteten Eiscat-Projekts mit einer andern Technik der Ionosphärenforschung steht im Tal von Ramfjordmoen.

Als der aus Neuseeland stammende *William Ian Axford* vor sieben Jahren an das Max-Planck-Institut für Äronomie in Kaltenburg/Lindau bei Göttingen berufen wurde, brachte er die Anregung für das neue Experiment mit: Eine Batterie starker Radiowellensender soll über entsprechende Antennenfelder die äussere Atmosphäre der Erde, die Ionosphäre, derart aufheizen, dass aktive geophysikalische Experimente möglich werden. Statt wie bisher die geophysikalischen Naturphänomene, beispielsweise das Nordlicht, lediglich passiv zu beobachten, greift man jetzt *aktiv* in die Prozesse ein, die diesen Erscheinungen zugrundeliegen, etwa durch Veränderung der Elektronenströme in der Ionosphäre.

Zwar waren damals auch schon *amerikanische Geophysiker* dabei, ein solches Experiment unter Verwendung der berühmten Radioteleskop-Antenne in *Arecibo* auf *Puerto Rico* aufzubauen. Doch sie mussten wegen der Äquatornähe unter wesentlich ungünstigeren geophysikalischen Bedingungen – und auch in wesentlich kleinerem Massstab – arbeiten.

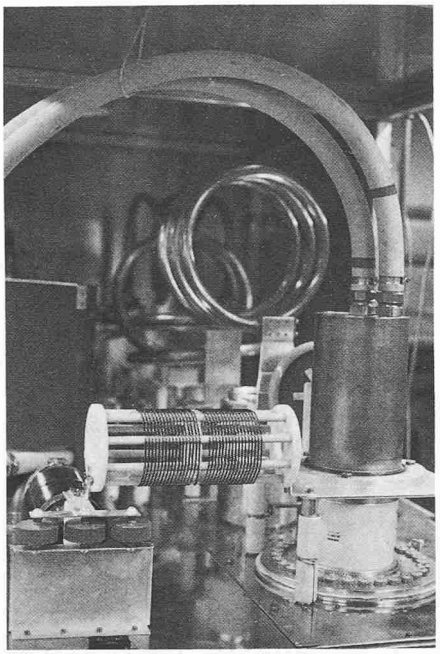
Axford fand am Institut in *Peter Stubbe* und *Helmut Kopka* Mitarbeiter, die sich ganz dem neuen, unter der Bezeichnung Heating (Aufheizen) laufenden Projekt widmeten. Auch der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* gefiel dieses vom Boden aus steuerbare «Laborexperiment» in der Ionosphäre. Sie stellte 2 Mio Mark zur Verfügung. Die Max-Planck-Gesellschaft gab den gleichen Betrag aus zentralen Mitteln, und das Institut stellte schliesslich aus seinem Haushalt weitere 2 Mio Mark zur Verfügung und übernahm umfangreiche Eigenleistungen durch Arbeiten in seiner Werkstatt um so die Aufwendungen für das ganze Projekt auf 6 Mio Mark zu begrenzen.

Nicht weniger als zwölf starke Radio-Sender mit einer maximalen Dauerleistung von insgesamt 1500 KW wurden in der Lindauer Werkstatt des Instituts gebaut und in Ramfjordmoen aufgestellt. Hier werden sie jetzt, je nach Wellenlänge und Frequenz, auf drei verschiedene Antennenfelder geschaltet. Jedes Feld besteht aus 36 gekreuzten Dipolen, je sechs Dipole in einer Reihe und sechs Reihen hintereinander. Diese Anordnung gewährleistet eine Bündelung des Sendestrahls zu einem Kegel von etwa 15 Grad, so dass die abgestrahlte Welle in der Hauptrichtung 240 mal intensiver ist als bei normaler Rundum-Abstrahlung. Ohne diese Bündelung müsste zur Erzielung der gleichen Wirkung eine Sendeleistung von 360000 KW bzw. 360 MW aufgebracht werden, also rund ein Drittel der Leistung eines grossen Kernkraftwerks.

Die Zuordnung der Dipole zu den zwölf Sendern ermöglicht jede gewünschte Polarisation der abgestrahlten Welle. Ausserdem lässt sich der Sendestrahl durch Phasensteuerung in nordsüdlicher Richtung schwenken, obgleich die drei Antennenfelder bei einer Ausdehnung von etwa 50 ha nicht beweglich sind. Die Wellenlänge kann man zwischen 37,5 und 120 m einstellen, entsprechend einer Frequenz von 2,5 bis 8 MHz. Dabei ist das kleinere der drei Antennenfelder dem Bereich von 5,5 bis 8 MHz, vorbehalten. Das mittlere arbeitet bei 3,8 bis 5,7 MHz, und das grosse schliesslich bei 2,5 bis 4 MHz.

Die Energieversorgung der Antennen erfolgt über Aluminiumrohre – selbstgebaute Koaxial-Leiter –, die eine Länge von insgesamt 50 km haben, und deren Abdichtung unter den extremen Bedingungen der langandauernden Schneeschmelze besonders schwierig war. Abstimmung und Aussteuerung

In einem weitläufigen Birkenhain des Ramfjordmoen-Tals steht ein «Wald» von Antennen: Die gekreuzten Dipole der Heating-Sendeanlage. Jedes Antennenfeld umfasst 36 gekreuzte Dipole, und drei Antennenfelder stehen zur Verfügung. Durch Phasensteuerung lässt sich die Richtung des Sendestrahls schwenken



Zwölf dieser im Max-Planck-Institut für Äronomie in Katlenburg/Lindau bei Göttingen gebauten Sender erzeugen die elektromagnetische Strahlung, mit der die Ionosphäre aufgeheizt wird. Rechts im Bild ist die Senderöhre mit den Anschlüssen für die Wasserkühlung zu erkennen. Da hier mit niedrigen Frequenzen und entsprechend langen Wellen gearbeitet wird, haben auch die Filter und Spulen (Bildmitte) ungewöhnlich grosse Abmessungen

der zwölf Sender geschehen durch einen zentralen Computer, der einen sehr flexiblen und vielseitigen Sendebetrieb ermöglicht: Man kann mit Impulsen arbeiten, die innerhalb von wenigen Mikrosekunden ihre volle Stärke erreichen oder in Sekundenbruchteilen die Frequenz variieren. Ausserdem lassen sich dem Megahertz-Signal Amplituden-Schwankungen aufprägen, um in der Ionosphäre elektromagnetische Wellen im ULF-Bereich (Ultra Low Frequency, länger als 3000 km) im ELF-Bereich (Extremely Low Frequency, 100 bis 3000 km) sowie im VLF-Bereich (Very Low Frequency, 10 bis 100 km) anzuregen.

Das Grundprinzip des Heating-Experiments ist das gleiche wie beim *Mikrowellen-Ofen*, nur dass die Wellen hier viel länger sind: In der Ionosphäre, die sich auf dem Bereich zwischen 60 und 1000 km Höhe erstreckt, sind die Moleküle und Atome der bereits sehr dünnen Atmosphäre weitgehend in freie Ladungsträger aufgespalten, in Sauerstoff- und Stickstoff-Ionen verschiedener molekularer Zusammensetzung und in freie Elektronen in etwa gleich grosser Anzahl. In 300 km Höhe lassen sich etwa 1 Mio Elektronen je Kubikzentimeter nachweisen. Der Energiefluss des Radiowellenstrahls beträgt je nach Höhe einige Milliwatt je Quadratmeter, und man erwartet eine Erhöhung der Elektronengas-Temperatur bis auf das 15fache ihres normalen Werts. Da erst seit Ende September alle Sender der Heating-Station arbeiten, lagen die tatsächlich gemessenen Werte bisher noch darunter. Trotz der noch nicht voll erreichten «Heizleistung» gelang es jedoch, die Elektronentemperatur in der Ionosphäre so zu modulieren, dass ELF- und VLF-Wellen entstanden.

In der Ionosphäre formieren sich die Elektronen zu einem Gleichstrom, der eine Stärke bis zu einigen Millionen Ampere erreichen kann. Dieser *polare Eletrojet* verändert sich entsprechend den künstlichen Schwankungen der Elektronentemperatur. So wird in einem Bereich von etwa 30 km Ausdehnung die Ionosphäre zu einer Antenne, die ihrerseits elektromagnetische Wellen von 5000 Hz bis herunter zu 100 Hz abstrahlt. Diese Wellen heben sich deutlich von dem üblichen Hintergrundrauschen ab und sind ohne selektive Verstärkung hörbar. In der Steuerwarte des Heating-Experiments – ein Barackenbau inmitten der Antennenfelder in Ramfjordmoen – lauschten die Gäste der Einweihungsfeier spürbar beeindruckt diesen künstlichen Weltraumtönen. Hierbei treten in Abhängigkeit von der Frequenz charakteristische Maxima und Minima auf: ein Phänomen, von dem sich noch nicht sagen lässt, was sich dahinter verbirgt.

Bei höherer Heating-Leistung erwartet man, dass diese niederfrequenten Wellen, wenn sie sich entlang dem Magnetfeld in die über der Ionosphäre liegenden Magnetosphäre fortpflanzen, dort mit energiereichen Elektronen in Resonanz treten, diese zur Ausfällung bringen und damit Erscheinungen anregen, wie sie im Zusammenhang mit natürlichen Polarlichtern auftreten: sozusagen *Polarlichter «hausgemacht»*. Schon jetzt lassen sich mit der Hilfe der modulierten Heating-Bestrahlung Pulsationen des irdischen Magnetfeldes auslösen. Ausserdem ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, dass diese Methode zur Erzeugung extrem langwelliger, elektromagnetischer Wellen auch für die Nachrichtentechnik einmal Bedeutung erlangen könnte.

Ein zweites Ziel des Heating-Experiments ist die «Benutzung» der Ionosphäre als *natürliches Plasma-Laboratorium* ohne den störenden Einfluss von Gefässwänden. Da ein Plasma eigentlich nur verdichtete Ionosphäre ist, stellt diese ein Plasma-Laboratorium von grosser Gleichförmigkeit und Homogenität dar und bietet ideale Voraussetzungen dafür, den Ablauf künstlich angeregter Instabilitäten zu studiern. Bei Experimenten in irdischen Laboratorien gelingt der Einschluss eines Plasmas meist nur für kurze Zeit, und es ist meist sehr schwierig, die zur Zerstörung des Einschlusses führenden Instabilitäten zu analysieren.

Noch ein Effekt lässt sich mit Hilfe des Heating-Experiments untersuchen: der Einfluss des Mikrowellenstrahls auf die Atmosphäre bei einem Energieversorgungssystem mit einem Erdsatelliten, der Sonnenenergie sammelt und in der Form gebündelter elektromagnetischer Wellen auf die Erde strahlt. Dort lässt sich diese Strahlung dann durch Antennen-Felder auffangen und als elektrische Energie in das Netz speisen. Der Vorteil gegenüber Solarkraftwerken auf der Erde wäre bei diesem System ein durchgehender Betrieb Tag und Nacht ohne jahreszeitliche Schwankungen. *William Gordon* von der *Rice-Universität* in *Houston/Texas* diskutierte diese Möglichkeit bei der kleinen Einweihungsfeier in Ramfjordmoen. Er hat in den USA und in Arecibo die ersten Heating-Experimente gemacht und gilt als «Vater» dieser neuen geophysikalischen Arbeitsrichtung: «Nun bin ich zum viertenmal Grossvater geworden, mit drei leibhaftigen Enkelkindern und diesem in bemerkenswert kurzer Zeit aufgebauten Experiment», sagte er humorvoll. Neben der passiven Beobachtung und Untersuchung durch Raketen und Satelliten habe die Weltraumforschung jetzt eine weitere Dimension erhalten.

Robert Gerwin, München