

Experimente entsprechen einer logischen Kette. Die einzelnen Glieder (Schlüsse) sind hintereinander geschaltet, jedes einzelne kann als voll gesichert angesehen werden. Das aus den einzelnen Experimenten abgeleitete Vorstellungsbild ist auch bei einmaliger Ausführung dann gesichert, wenn jedes Experiment sorgfältig ausgeführt wurde und ein eindeutiges Ergebnis hatte. In der Astro- und Geo-

physik, und dazu gehört der größte Teil der Welt-raum-Forschung, wird dagegen das Vorstellungsbild nicht von einer logischen Kette, sondern von einem logischen Gewebe gehalten. Jeder einzelne Faden allein würde nicht tragen, es müssen viele Experimente und Beobachtungen zusammengekommen und miteinander verwoben werden, um ein tragfähiges Band aufzubauen.

Radio-Meteorbeobachtungen mit einfachsten Mitteln

W. DIEMINGER und H. KOCHAN

Max-Planck-Institut für Aeronomie, Lindau/Harz

(Z. Naturforsch. **21 a**, 1797—1800 [1966]; eingegangen am 21. März 1966)

Professor Dr. W. GENTNER zum 60. Geburtstag gewidmet

Feldstärkeregistrierungen zweier 130 km entfernter Sender auf 10 und 2 m zeigen kurzzeitige Spitzen, die von Reflexionen der Radiowellen an den ionisierten Schweifen von Meteoren herrühren. Aus ihrer Anzahl kann auf die Häufigkeit der Meteoriten geschlossen werden. Besonders stark war der Leonidenschauer am 16. 10. 1965, der optisch offenbar kaum beobachtet wurde.

Die nächtliche visuelle Beobachtung der Lichtspuren, die von Meteoren beim Eindringen in die hohe Atmosphäre hinterlassen werden, ist eine mühsame Aufgabe. In unseren Breiten wird sie besonders dadurch erschwert, daß der Himmel häufig bedeckt ist. Eine brauchbare Statistik der Meteorhäufigkeit ist auf diese Weise nicht zu gewinnen. Daran ändern auch fotografische Beobachtungen nichts. Sie bedeuten allerdings insofern einen Fortschritt, als die Kamera im Gegensatz zum menschlichen Beobachter nicht ermüdet und weit unempfindlicher gegen klimatische Einflüsse ist.

Demgegenüber haben Radio-Meteorbeobachtungen den Vorteil, daß sie völlig unabhängig von der Bedeckung des Himmels und von der Tageszeit durchgeführt werden können. Sie beruhen auf der Tatsache, daß Meteoriten bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre im Höhenbereich von etwa 80–140 km eine ionisierte Spur hinterlassen, die ähnlich wie die Bahn in einer Nebelkammer solange fest im Raum steht, bis sie durch Diffusion, Rekombination und Windverwehung aufgelöst wird. Diese Spur kann mit Methoden der Radartechnik geortet und in ihren wichtigsten Parametern bestimmt wer-

den^{1–4}. Hierzu sind mehr oder weniger aufwendige Geräte erforderlich, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Hier soll vielmehr über Beobachtungen berichtet werden, die sich sozusagen als Nebenprodukt einer anderen Versuchsreihe ergeben und die sich durch einen sehr bescheidenen Geräteaufwand auszeichnen. Im Prinzip sind nur eine Antenne mit geringer Richtwirkung, ein Empfänger und ein Registriergerät mit ausreichendem Vorschub und kurzer Einstellzeit erforderlich.

Geräte

Seit mehreren Jahren betreibt das Max-Planck-Institut für Aeronomie eine Anlage zur automatischen Registrierung von Radiowellen im m-Wellenbereich, die an Inhomogenitäten in der Ionosphäre zurückgestreut werden. Sie besteht aus Sende- und Empfangsanlagen, die mehr als 100 km voneinander entfernt aufgestellt sind. Der Aufstellungsort der Sender ist bei der Sendestelle Teutoburger Wald des WDR auf dem Bielstein, 130 km west-nordwestlich von der Empfangsstation. Die Sender strahlen unmoduliert auf den Frequenzen 29,0 und

* Max-Planck-Institut für Aeronomie, Lindau/Harz.

¹ A. C. B. LOVELL, *Meteor Astronomy*, Clarendon Press, Oxford 1954.

² T. R. KAISER, *Meteors*, Pergamon Press, London 1955.

³ L. A. MANNING and V. R. ESHLEMAN, *Meteors in the Ionosphere*. Proc. Inst. Radio Engrs. **47**, 186 [1959].

⁴ W. DIEMINGER, *Radioastronomie III. Die Radioortung von Meteoren*. Arch. Elektr. Übertr. **7**, 555 [1953].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

144,0 MHz (10 und 2 m) über schwach bündelnde Richtantennen nach Norden. Die Leistungen der Sender betragen je etwa 100 Watt. Die Wellenlängen sind so gewählt, daß sie in den Amateurfunkbändern liegen. Die Funkamateure beteiligen sich eifrig durch Hörbeobachtungen an den Untersuchungen.

Zum Zwecke der eindeutigen Identifizierung wird in die Sendungen einmal pro Minute das von der Bundespost zugeteilte Rufzeichen DL Ø AR eingetastet. Diese Tastung ist auf den Registrierungen (Abb. 1–4) deutlich zu erkennen. Während der Tastpausen geht der Ausschlag kurzzeitig auf den Störpegel zurück. Damit hat man gleichzeitig eine Kontrolle über Störungen, die von aufgeladenen Niederschlägen, Zündfunken oder Fremdsendern hervorgerufen werden und die auf der Registrierung einen „Effekt“ vortäuschen können.

Die Empfangsanlage ist in der Außenstelle für Satellitenbeobachtungen des Max-Planck-Instituts für Aeronomie 5 km südlich von Lindau aufgestellt. Sie besteht aus zwei Empfängern hoher Empfindlichkeit, deren Diodengleichrichterstrom mit einem 2-Kanal-Kompensationstintenschreiber registriert wird. Der Papiervorschub beträgt rd. 20 cm/h. Jede Frequenz wird abwechselnd über zwei Antennen empfangen. Die eine Antenne ist nach Norden gerichtet, um die an nördlich gelegenen Inhomogenitäten in der Ionosphäre, z. B. an Nordlichtstrukturen, rückgestreute Strahlung aufzunehmen. Die andere Antenne steht in Richtung auf den Sender, um zu Kontrollzwecken die direkte Strahlung zu empfangen. Nach jeweils 25 Minuten werden die Anlagen für die Dauer von 5 Minuten auf die Westantennen umgeschaltet. Diese Umschaltung ist auf den Registrierungen (Abb. 1–4) an dem Feldstärkeanstieg gut zu erkennen; sie dient zugleich als Zeitzeichen. Bei Empfang über die Westantenne ist die Eingangsspannung um einen Faktor 3–5 größer als über die Nordantenne. Für 29 MHz werden zwei gleichartige 3-Element-Yagi-Antennen verwendet. Für 144 MHz besteht die Nordantenne aus 4 übereinander angeordneten 6-Element-Yagi's, die Westantenne aus 2 gestockten 6-Element-Yagi's. Die Antennendiagramme wurden mit einem Ballon ausgeflogen. Die Eingangsspannung, die durch eine aus der Richtung des Senders über die Nordantenne direkt eingestrahlte Welle erzeugt wird, liegt nur knapp über der Rauschgrenze des Empfängers. Zurückgestreute Strahlung aus Norden bewirkt einen deutlichen Anstieg der Ausgangsspannung.

Während Rückstreuungen der Wellen an Polarlichtern – vor allem im augenblicklichen Minimum der Sonnenaktivität – nur sehr selten auftreten, sieht man auf der 29 MHz-Registrierung zahlreiche Spitzen, die durch Reflexion der Wellen an den ionisierten Meteorspuren hervorgerufen werden. Auf 144 MHz sind diese Spitzen viel seltener. Der Grund hierfür liegt – wie sich theoretisch zeigen läßt – darin, daß die rückgestreute Leistung bei identischen technischen Daten proportional $1/f^2$ ist; das bedeutet, daß auf 144 MHz etwa 25mal weniger zurückgestrahlt wird als auf 29 MHz. Mit der höheren Frequenz sind daher nur Meteorspuren zu beobachten, die besonders stark ionisiert sind, d. h. von großen und daher seltenen Meteoriten herühren.

Geometrie der Reflexionsbedingungen

Nicht alle Meteorbahnen im Sichtbarkeitsbereich führen zu Meteorechos. Es läßt sich zeigen, daß nur dann kräftige Echos von den Meteorspuren beobachtet werden, wenn gewisse einschränkende geometrische Bedingungen hinsichtlich des Wellenverlaufs erfüllt sind. Die Reflexionsbedingung für den Radar-Fall – Sender und Empfänger am selben Ort – besteht darin, daß die Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle senkrecht zur Meteorspur verlaufen muß. In unserem Fall, in dem Sender und Empfänger getrennt sind, lautet die Bedingung für eine Reflexion: Der einfallende und der reflektierte Strahl müssen mit der Achse der Meteorspur gleiche Winkel bilden. Geometrisch ist diese Forderung gleichbedeutend damit, daß der Strahl tangential zu einem Ellipsoid verlaufen muß, in dessen Brennpunkten sich der Sender und der Empfänger befinden. Diese Reflexionsbedingungen müssen um so strenger erfüllt sein, je geringer die Ionisation der Meteorspur und je höher die Beobachtungsfrequenz ist.

Eingeschränkt wird die Zahl der beobachteten Meteore ferner durch die Tatsache, daß ionisierte Spuren nur in einem relativ schmalen Höhenbereich um 100 km Höhe auftreten. Schließlich ist noch die Wirkung der Antennencharakteristiken und der Abfall der empfangenen Leistung mit $1/R^4$ zu berücksichtigen. Qualitativ ergibt sich ein elliptisches Beobachtungsgebiet, das sich etwa in nördlicher Richtung einige 100 km weit erstreckt. Quantitative Angaben sollen an anderer Stelle gemacht werden.

19. November 1965

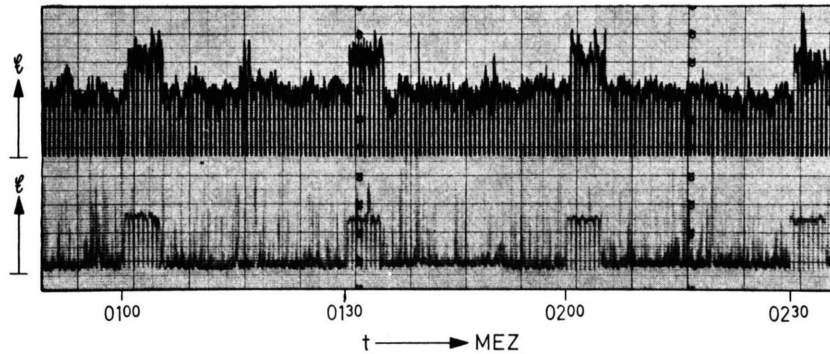


Abb. 1. Registrierung von Meteorechos auf 144 (oben) und 29 MHz (unten) am 19. 11. 65 von 01.00—02.30 h. Der regelmäßige Anstieg der Empfangsspannung im halbstündigen Rhythmus ist durch die Umschaltung der Antennen bedingt. Auf 29 MHz treten etwa 100 Meteorechos/h auf. (NB! Beide Registrierspuren sind aus technischen Gründen etwa 2 mm gegeneinander verschoben.)

16. November 1965

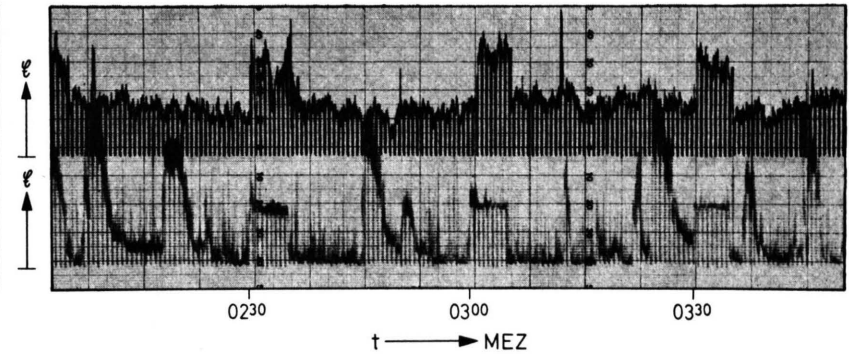


Abb. 3. Registrierung von Meteorechos auf 144 und 29 MHz am 16. 11. 65 von 02.00—04.00 h während des Leonidenschauers. Es treten zahlreiche Echos auf, davon einige mit ungewöhnlich langer Dauer. Der schnelle Anstieg und der langsame Abfall der Echo-Intensität ist gut zu erkennen.

20. November 1965

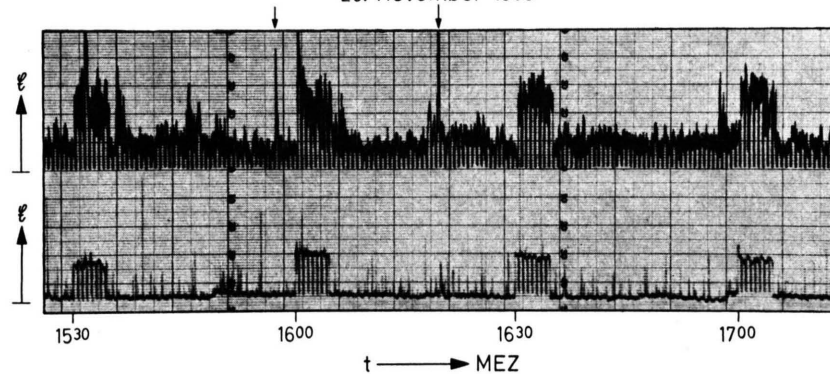


Abb. 2. Registrierung von Meteorechos auf 144 und 29 MHz am 20. 11. 65 von 15.30—17.00 h. Die Anzahl der Meteorechos ist auf etwa 50/h gefallen; außerdem ist die Amplitude der Echos geringer. Die Pfeile bezeichnen Flugzeugreflexionen auf 144 MHz.

16. November 1965

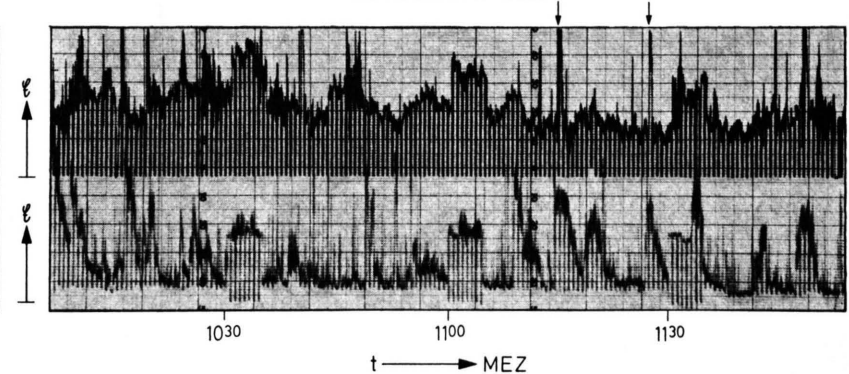


Abb. 4. Registrierung von Meteorechos auf 144 und 29 MHz am 16. 11. 65 von 10.00—12.00 h während des Leonidenschauers. Auch auf 144 MHz sind einige Meteorechos zu erkennen (Pfeile von oben). Ihre Dauer ist merklich kürzer als auf 29 MHz.

Beobachtungsergebnisse

Die Zahl der Spitzen auf dem Schrieb ist ein leicht auszuwertendes Maß für die Anzahl der Meteoriten, die im Einzugsgebiet der Anlage zu reflektierenden Meteorspuren führen. Mit gewissen Einschränkungen, die hier nicht diskutiert werden sollen, liefern diese Spitzen auch ein ungefähres Maß für die Häufigkeit der Meteoriten überhaupt⁵. Die Dauer der Echos gibt einen Anhalt für die Ionisierungsdichte der reflektierenden Spur und damit für die Größe des erzeugenden Meteoriten. Daß es sich tatsächlich um Reflexionen handelt und nicht um impulsartige Fremdstörungen, geht daraus hervor, daß die Spitzen in den Taspasen fehlen. Allerdings ist unter Umständen eine Verwechslung zwischen Meteorreflexionen und Flugzeugreflexionen möglich. Beide unterscheiden sich jedoch deutlich durch den Amplitudenverlauf. Während bei Meteorreflexionen die Echoamplitude schlagartig ansteigt und langsam abfällt, zeigen Flugzeugreflexionen einen anderen charakteristischen Verlauf der Amplitude und der Schwundfrequenz. Außerdem sind Flugzeugreflexionen auf der höheren Frequenz viel deutlicher als auf der niedrigeren im Gegensatz zum Verhalten der Meteorreflexionen. So handelt es sich in Abb. 2 bei den mit einem Pfeil gekennzeichneten Reflexionen mit großer Wahrscheinlichkeit um Flugzeugreflexionen. In der Statistik spielen sie wegen ihrer relativen Seltenheit keine Rolle.

Bereits eine flüchtige Durchsicht der Registrierungen zeigt einen tageszeitlichen Gang der Meteorhäufigkeit mit einem Maximum in den Morgenstunden (Abb. 1) und einem Minimum in den Nachmittagsstunden (Abb. 2). Das ist ein wohlbekannter Effekt, der daher rührt, daß die Bewegungsrichtung des Erdmittelpunktes von der Abendseite zur Morgenseite der Erde weist.

Diesem tageszeitlichen Gang überlagern sich eine jahreszeitliche Periode mit einem Maximum im Juli und einem im Oktober, sowie unregelmäßige Schwankungen, die durch die bekannten Meteorschauer be-

dingt sind. Ausschnitte aus einer Registrierung während eines Schauers zeigen Abb. 3 u. 4. Sie sind insofern bemerkenswert, als viele Echos ungewöhnlich lang andauern und teilweise auch auf 144 MHz beobachtet werden können. Die Meteore gehören offenbar zu dem Schauer der Leoniden⁶, deren normale Sichtbarkeitsdauer zwischen dem 11. und 20. 11. mit einem Maximum am 15. 11. liegt und die im Jahre 1965 offenbar besonders intensiv waren. Jedenfalls wurden bei Raketenanstiegen während dieses Schauers große Mengen von Metallionen im E-Gebiet der Ionosphäre gefunden^{7, *}. Die maximale Häufigkeit wurde am 16. 11. 1965 in der Zeit von 00.00 – 13.30 h beobachtet. Meteorschauerechos wurden auch am 11. 12. 1964 (Geminiden) und am 12. 8. 1965 (Perseiden) mit der beschriebenen Anlage beobachtet.

Der wissenschaftliche Wert derartiger Beobachtungen mag heute nicht mehr sehr groß sein, da die einschlägigen physikalischen Probleme im wesentlichen in den letzten zwanzig Jahren geklärt wurden. Es kann jedoch Sonderfälle geben, in denen eine einfache Methode der Meteorzählung erwünscht ist. Der erforderliche Aufwand läßt sich noch vermindern, indem man einen ohnehin vorhandenen Sender, der kontinuierlich auf einer Wellenlänge zwischen 5 und 10 m strahlt, in passender Entfernung mit einer geeigneten Antenne empfängt und registriert. Bei Wellenlängen unter 5 m nimmt die Echohäufigkeit stark ab, bei Wellenlängen über 10 m können Reflexionen an der sporadischen E-Schicht die Meteorreflexionen u. U. völlig verdecken. Leider eignen sich die frequenzmodulierten UKW-Rundfunksender nicht besonders gut für diese Aufgabe, da wegen des beträchtlichen Frequenzhubes ein breitbandiger Empfänger mit relativ ungünstigem Signal/Rauschverhältnis verwendet werden muß, der nur starke Echos registriert.

Im vorliegenden Fall treten überhaupt keine Kosten auf, da die Ergebnisse als Nebenprodukt abfallen. Über die eigentliche Aufgabe der Anlage und ihre Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet.

⁵ W. BLUME, Rückwärts- und Vorwärtsstreuung einer Trägerwelle von 40,68 MHz an Meteoriten über Entfernungen bis zu 500 km. Arch. Elektr. Übertr. **18**, 651 [1964].

⁶ Dieser Schauer wurde visuell seit 1866 nicht mehr beobachtet.

* Zusatz b. d. Korr.: Auf die mögliche Fehlinterpretation dieser Beobachtung (Nichtberücksichtigung des Meteorschauers) wurde auf der COSPAR-Tagung Wien 1966 von einem der Verff. (W. D.) ausdrücklich hingewiesen.

⁷ Mündliche Mitteilung von J. W. KING, Radio and Space Research Station, Slough.