

## Werk

**Jahr:** 1970

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 Z NAT 2148:36

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0036

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0036](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036)

**LOG Id:** LOG\_0041

**LOG Titel:** Über die Pitchwinkelverteilung von Elektronenflüssen mit Energien  $E > 40$  keV in der Polarlichtzone

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

## 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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

# Über die Pitchwinkelverteilung von Elektronenflüssen mit Energien $E > 40$ keV in der Polarlichtzone<sup>1)</sup>

On the pitchangle distribution of electrons  $E > 40$  keV in the auroral zone

Von L. ROSSBERG, Lindau/Harz<sup>2)</sup>

Eingegangen am 17. September 1969

**Zusammenfassung:** Mit einer Nike-Apache-Rakete wurde in einem ruhigen Polarlichtbogen die Pitchwinkelverteilung von Elektronenflüssen mit  $E > 40$  keV bei  $\lambda = 65,3^\circ$  gemessen.

Während der ganzen Beobachtungszeit wurde ein im Pitchwinkelbereich  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  isotroper Elektronenfluß gemessen. Dies ist ungewöhnlich, weil isotrope Pitchwinkelverteilungen in der Polarlichtzone im allgemeinen erst bei höheren Flüssen beobachtet werden [O'BRIEN, 1964; FRITZ, 1967; SHARP und JOHNSON, 1968].

Bei größeren Pitchwinkeln nahm der Fluß erwartungsgemäß ab. Das Ergebnis wird im Rahmen der bisherigen Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Elektronenfluß, Pitchwinkelverteilung und geomagnetischer Breite diskutiert.

**Summary:** With a Nike-Apache-rocket, fired into a quiet auroral arc at  $\lambda = 65,3^\circ$  we have measured the pitchangle distribution of electron fluxes with  $E > 40$  keV. During the whole measuring time the pitchangle distribution was isotropic for  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  at an electron flux of  $\sim 10^3 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sterad}^{-1}$ . This is unusual, since isotropic distributions are usually observed at higher fluxes [O'BRIEN, 1964; FRITZ, 1967; SHARP und JOHNSON, 1968]. The discussion of the result is based on the current knowledge of the dependence of the electron flux and its pitchangle distribution on the geomagnetic latitude.

## Einleitung

Die erhöhte Ausfällung von Elektronen und Protonen in der Polarlichtzone ist seit der Entdeckung des Van-Allenschen Strahlungsgürtels immer wieder untersucht worden, ohne daß bisher befriedigende Antworten auf die Frage nach der Ursache für die Ausfällung und der Vorgeschichte der ausgefällten Elektronen gefunden worden wären [HULTQVIST, 1967].

Besondere Bedeutung erlangte die Messung des Elektronenflusses als Funktion des Winkels zwischen Fluß und Magnetfeldvektor (im folgenden als Pitchwinkel  $\theta$  bezeichnet), da dies ein Parameter der Teilchenbewegung ist, dessen Änderung als

<sup>1)</sup> Teil II der Arbeit: „Raketexperiment zur Untersuchung von Nordlichtern“. KESSLER, E., et al., *Z. Geophys.* 33, 347, 1967.

<sup>2)</sup> Dr. Lothar ROSSBERG, Max-Planck-Institut für Aeronomie, Institut für Stratosphärenphysik, 3411 Lindau/Harz.

Funktion der Feldstärke  $B$  entlang einer Feldlinie berechnet werden kann. Zum Beispiel kann aus einer Abweichung von der berechneten Änderung gefolgert werden, daß die Teilchenbewegung zusätzlich zur Lorentzkraft durch ein elektrisches Feld beeinflusst wird [MCDIARMID and BURROWS, 1968].

Die Pitchwinkelverteilung ist durch das Gleichgewicht bestimmt, daß sich zwischen der Zufuhr von Elektronen, der Speicherung im Magnetfeld der Erde und dem Verlust durch Ausfällung in die Atmosphäre einstellt.

Der Verlustprozeß ist nur für Elektronen wirksam, deren Pitchwinkel innerhalb des Verlustkonus liegt, also nördlich des Äquators  $< 90^\circ$ , südlich davon  $> 90^\circ$  ist. Nimmt man an, daß die Zufuhr isotrop ist, ist die Pitchwinkelverteilung daher anisotrop und symmetrisch um ein Maximum bei  $\theta = 90^\circ$ . Dies wurde durch Satellitenmessungen für geomagnetische Breiten  $\lambda < 60^\circ$  bestätigt. Im Gebiet des Polarlichtovals, um Mitternacht zwischen  $\lambda = 65^\circ$  und  $70^\circ$  wird dagegen häufig eine Zunahme des Elektronenflusses im Verlustkonus um ein bis zwei Zehnerpotenzen beobachtet, so daß die Pitchwinkelverteilung im oberen Halbraum isotrop wird. Verschiedene Autoren haben den Zusammenhang zwischen Elektronenfluß und Pitchwinkelverteilung untersucht und gefunden, daß sich im allgemeinen die Pitchwinkelverteilung der Isotropie um so mehr nähert, je höher der Elektronenfluß ist [O'BRIEN, 1964; FRITZ, 1967; SHARP und JOHNSON, 1968].

Daraus folgt, daß im Verlustkonus zusätzlich Elektronen durch Injektion oder Beschleunigung vorzugsweise parallel zum Erdfeld auftreten müssen [O'BRIEN, 1964].

Bei dem hier zur Diskussion stehenden Experiment wurde jedoch eine isotrope Pitchwinkelverteilung bei abnehmendem und relativ niedrigem Elektronenfluß beobachtet. Wir erklären dies dadurch, daß sich die nördliche Begrenzung der Ausfällung von Elektronen mit  $E > 40$  keV während der Messung in der Nähe und südlich der Rakete befunden hat.

### Detektoranordnung

Die Messung erfolgte im Rahmen des Testprogrammes für den Satelliten AZUR, mit dem unter anderem der Elektronenfluß im Verlustkonus (Spiegelpunkte unter 100 km Höhe), der Fluß, der am Ort des Satelliten spiegelnden Elektronen mit  $\theta = 90^\circ \pm 12,5^\circ$  sowie der zwischen Satellit und Atmosphäre reflektierten Elektronen gemessen werden soll. Die dafür vorgesehene Anordnung von drei rechtwinklig zueinander orientierten Geiger-Müller- (GM)-Zählrohren und einem allseitig abgeschirmten Zählrohr mußte für den Raketenversuch geändert werden, da eine Orientierung parallel zur Figurenachse der Rakete nicht möglich war.

Je zwei Zählrohre wurden daher antiparallel unter einem Winkel von  $40^\circ$  zur Figurenachse angeordnet [KEPPLER, E., E. KIRSCH, P. MÖRL, G. MUSMANN, A. ROSSBACH und L. ROSSBERG, 1967].

Orientierung, Energieschwelle, Geometriefaktor  $G$  und Öffnungswinkel der vier Zählrohre des Experimentes sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1: Detektordaten.

Zählrohr- Nummer	Winkel gegen Figuren- achse	Absorber mg/cm <sup>2</sup>	Elektron.- Energie für 40% Durch- lässigkeit	Geometriefaktor	Bemerkungen
1	140°	6 · 10 <sup>3</sup>		1 cm <sup>2</sup>	Omnidirektional allseitig abgeschirmt
2	140°	1,4	40 keV	4 · 10 <sup>-2</sup> cm <sup>2</sup> ster	direktional, Öffnungswinkel 50°
3	40°	1,4	40 keV	4 · 10 <sup>-2</sup> cm <sup>2</sup> ster	direktional, Öffnungswinkel 50°
4	40°	6,5	90 keV	4 · 10 <sup>-2</sup> cm <sup>2</sup> ster	direktional, Öffnungswinkel 50°

### Eichung der Zählrohre

Für den Zusammenhang zwischen der Zählrate  $N$  der Zählrohre 2, 3 und 4 und dem direktionalen Fluß  $\Phi$  gilt

$$N = \Phi \cdot G \cdot D(E) \cdot \varepsilon(\Phi)$$

$$G = \text{Geometriefaktor (cm}^2 \text{ ster)}$$

$D(E)$  = Durchlässigkeit der Absorber für Elektronen der Energie  $E$  (Abb. 2).

$\varepsilon(\Phi)$  = enthält die Nachweiswahrscheinlichkeit für Elektronen, die den Absorber durchdringen konnten und Totzeitverluste. Da beide vom Elektronenfluß  $\Phi$  abhängen, haben wir  $\varepsilon(\Phi)$  durch die Messung der Zählrate  $N$  als Funktion des Flusses  $\Phi$  ermittelt.

$\Phi$  ist der mit einem Faradaykäfig in einem parallelen Elektronenstrahl ( $E = 60 \text{ keV}$ ) gemessene Fluß/cm<sup>2</sup>sec, so daß als Geometriefaktor nur die Fläche der Eintrittsöffnung  $F$  des Zählrohres eingeht:

$$N(\Phi) = \Phi \cdot F \cdot D(60 \text{ keV}) \cdot \varepsilon(\Phi) \quad (\text{Abb. 1})$$

$\varepsilon(\Phi)$  nimmt von einem Höchstwert  $\varepsilon_0$  für  $N(\Phi) \rightarrow 0$  mit zunehmendem  $\Phi$  gegen Null ab. Für  $N < 1000 \text{ Imp/sec}$  wird  $N \sim \Phi \cdot \varepsilon_0$  kann daher aus der Anfangssteigung der Kurve  $N(\Phi)$  ermittelt werden. Mit  $F = 7 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$  und  $D(60 \text{ KeV}) = 0,8$  ergeben sich für die Zählrohre 2, 3 und 4  $\varepsilon_0$ -Werte von 0,16, 0,2 und 0,5.

In Abb. 1 ist für die Detektoren 2 und 3 außer  $N(\Phi)$  auch der Analogwert  $I_{\text{An}}(\Phi)$  eingezeichnet, der sich aus dem geglätteten Zählrohrstrom und dem Eingangsstrom

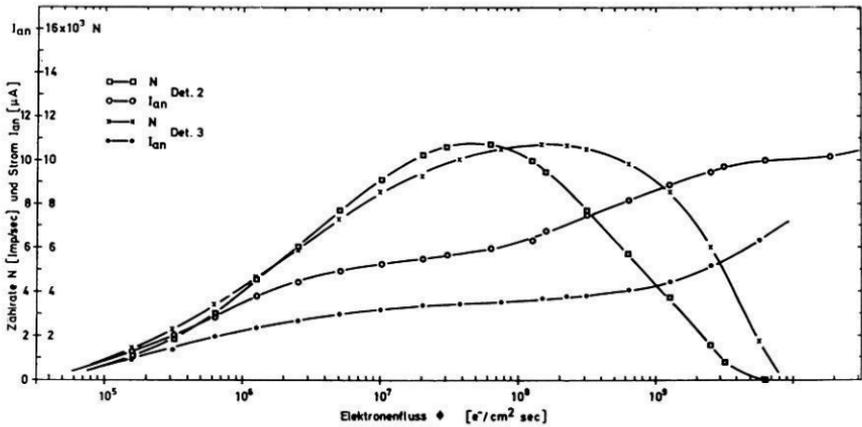


Abb. 1: Abhängigkeit der Zählrate  $N$  und des Analogwertes  $I_{AN}$  vom Elektronenfluß für die Zählrohre 2 und 3, Elektronenenergie: 60 keV.

Variation of countrate  $N$  and analogcurrent  $I_{AN}$  of GM-tubes 2 and 3 with electron-flux, energy: 60 keV.

des Impulsverstärkers zusammensetzt. Da  $I_{AN}$  im Gegensatz zur Zählrate mit zunehmendem Elektronenfluß kontinuierlich ansteigt, ist in jedem Fall eine eindeutige Zuordnung zwischen Zählrate und Elektronenfluß möglich.

Die Kurven für das 90-keV-Zählrohr 4 sind der Übersichtlichkeit halber nicht mit eingezeichnet.

Die Durchlässigkeit der Glimmerfenster der Zählrohre 2 und 3 und die des Zählrohres 4 mit zusätzlicher Aluminiumfolie als Funktion der Energie zeigt Abb. 2. Bei der Messung wurde der Fluß variiert und die Zählrate konstant gehalten. Für die Zählrohre 2 und 3 ist

$$D(E) = \frac{\Phi(100 \text{ keV})}{\Phi(E)}, \quad N = \text{konstant.}$$

Bei Zählrohr 4 wurde die Durchlässigkeit bis 150 keV gemessen und bis 200 keV extrapoliert. Die Energie für  $D = 0,4$ ,  $E = 90$  keV, dürfte demnach um  $\pm 10\%$  unbestimmt sein.

Für die Bestimmung des Geometriefaktors  $G = F \cdot \Omega$  wurde der effektive Raumwinkel der direktionalen Zähler durch graphische Integration der Abhängigkeit der relativen Zählrate vom Einfallswinkel  $\beta$  (Abb. 3) über den Raumwinkel  $\Omega$  von 0 bis  $2\pi$  ermittelt.

Der Geometriefaktor des omnidirektionalen Untergrundzählrohres wurde aus den geometrischen Abmessungen des empfindlichen Zählvolumens berechnet.

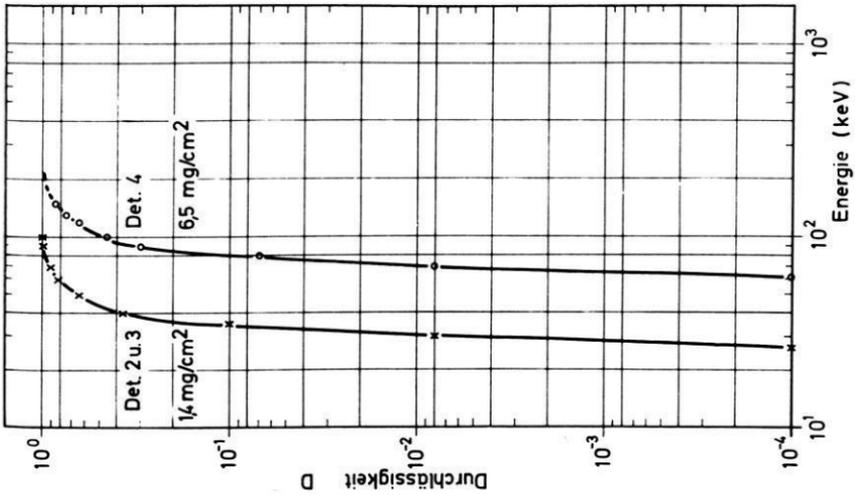


Abb. 2: Abhängigkeit der Durchlässigkeit  $D$  für Elektronen der Energie  $E$  für die Zählrohre 2 und 3 ( $1,4 \text{ mg/cm}^2$ ) und 4 ( $6,5 \text{ mg/cm}^2$ ).

Variation of the transmission coefficient  $D$  for monoenergetic electrons of energy  $E$  of GM-tubes 2 and 3 ( $1,4 \text{ mg/cm}^2$ ) and 4 ( $6,5 \text{ mg/cm}^2$ ).

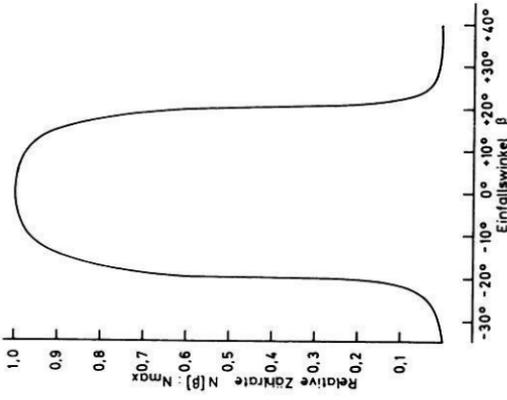


Abb. 3: Abhängigkeit der relativen Zählrate  $N$  vom Einfallswinkel  $\beta$  der Elektronen.

Variation of relative count rate  $N$  with the angle of incidence  $\beta$  of the electrons.

## Ergebnisse

Die Rakete wurde in Kiruna ( $\lambda = 65,3^\circ$ ) am 5. Dezember 1967 um 20 h 34 min 50 sec UT, entsprechend 21 h 34 min 50 sec LT, in einen ruhigen Polarlichtbogen geschossen. Die geomagnetische Aktivität war in der Zeit vor dem Schuß sehr gering, nahm jedoch innerhalb der letzten drei Stunden des 5. Dezembers auf  $K_p = 5$  zu. Die solare Aktivität war ebenfalls sehr gering, jedoch wurde als Nachwirkung eines Protonenflares vom 3. 12. über der Polkappe PCA registriert [LANGE-HESSE, persönliche Mitteilung]. Nach Messung von Explorer 34 betrug der Fluß bei  $E_p > 10$  MeV am 5. 12. noch das doppelte des normalen Wertes (Solar Geophysical Data, Juni 1968).

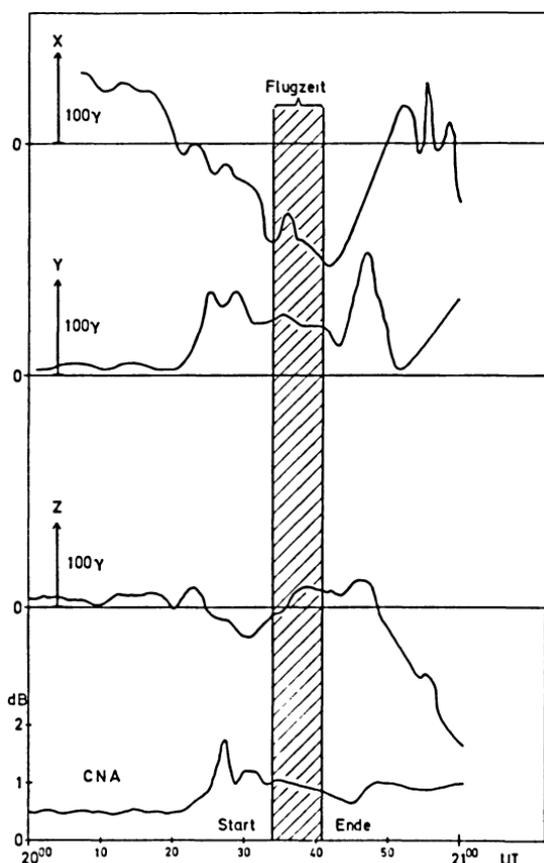


Abb. 4: Erdmagnetische Variation und CNA in Kiruna am 5. 12. 1967 von 20 bis 21 Uhr U.T.

Variation of the earth's magnetic field and CNA at Kiruna on 5. 12. 1967 from 2000 to 2100 U.T.

Der Schuß erfolgte zu Beginn eines magnetischen Teilsturmes, dessen Stromsystem sich über dem Abschußort entwickelte und anschließend bei gleichzeitiger Verstärkung nordwärts wanderte. Die negative Bay in  $X$  erreichte etwa eine Stunde später maximal  $-440 \gamma$ . Die  $Z$ -Komponente wurde zu Beginn der Flugzeit bei  $t = 95 \text{ sec}$  positiv. Der polare Elektrojet hat sich demnach während unserer Messung über den Abschußort hinweg nach Süden bewegt. Die Absorption des kosmischen Rauschens (CNA) stieg neun Minuten vor dem Start auf maximal 2 dB an und nahm anschließend innerhalb der Flugzeit wieder auf 1 dB ab. Die Registrierungen der Variationen der  $X$ -,  $Y$ - und  $Z$ -Komponenten des erdmagnetischen Feldes sowie die des kosmischen Rauschens (CNA) in Kiruna (ESRANGE), sind in Abb. 4 dargestellt.

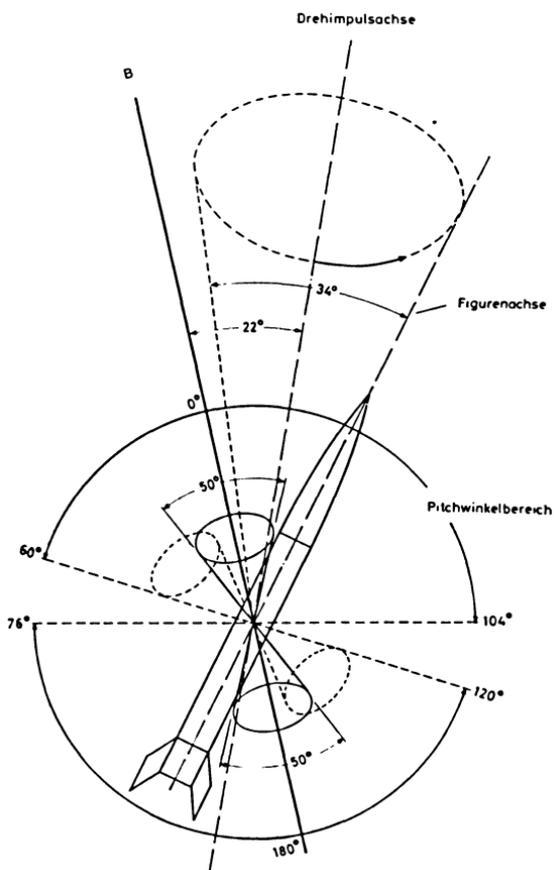


Abb. 5: Orientierung der nutierenden Rakete relativ zum Magnetfeldvektor.

Orientation of the nutating rocket relative to the magnetic field vector.

Da die Rakete um eine Achse, die  $22^\circ$  mit dem Magnetfeld einschloß, mit einem halben Öffnungswinkel von  $17^\circ$  nutierte, wurde mit den aufwärts gerichteten Zählrohren 3 und 4 der Pitchwinkelbereich von  $0^\circ$  bis  $104^\circ$  und mit dem nach unten gerichteten Zählrohr 2 der Pitchwinkelbereich von  $76^\circ$  bis  $180^\circ$  erfaßt. In Abb. 5 sind die geometrischen Verhältnisse dargestellt. Die Messungen sind in Abb. 6 als Funktion der Flugzeit und der Höhe dargestellt.

Im oberen Teil der Abbildung ist der Elektronenfluß bei  $E > 40$  keV und  $E > 90$  keV, der in verschiedenen Pitchwinkelbereichen gemessen wurde, darunter die Registrierungen zweier Photometer bei den Wellenlängen  $3914 \text{ \AA}$  und  $2972 \text{ \AA}$  aufgetragen [ROSSBACH, private Mitteilung]. Die Photometer waren mit einem Winkel von  $10^\circ$  relativ zur Figurenachse der Rakete nach unten gerichtet. Am unteren Rand der Abbildung ist schließlich der mit einem Magnetometer gemessene Winkel  $\alpha$  zwischen dem Magnetfeldvektor und der Figurenachse der Rakete aufgetragen [MUSMANN, private Mitteilung].

Der mit dem aufwärts gerichteten Zählrohr gemessene Elektronenfluß zeigt, daß die Pitchwinkelverteilung zwischen  $0^\circ$  und  $104^\circ$  während der ganzen Flugzeit isotrop war, da sich hier keine Abhängigkeit des Elektronenflusses vom Winkel  $\alpha$  feststellen läßt. Der von dem nach unten gerichteten Zählrohr gemessene Elektronenfluß setzt sich in den Maxima aus Elektronen mit Pitchwinkeln zwischen  $76^\circ$  bis  $180^\circ$  zusammen, also aus dem Ort der Rakete spiegelnden und von der Atmosphäre zurückgestreuten Elektronen, während zu den Minima nur zurückgestreute Elektronen mit Pitchwinkeln zwischen  $120^\circ$  bis  $180^\circ$  beitragen.

Das Verhältnis der Flüsse in den Maxima und Minima variiert von 4 bei 100 km Höhe bis 2 bei 200 km Höhe, was auf eine Zunahme des zurückgestreuten Elektronenflusses zurückzuführen ist (s. Anhang).

Die Zählrate des  $E > 90$ -keV-Zählrohres war nur wenig höher als die des allseitige mit 2 mm Blei abgeschirmten Zählrohres. Um aus dem Verhältnis des Flusses bei  $E > 40$  keV zu dem bei  $E > 90$  keV eine statistisch gesicherte Aussage über das Energiespektrum machen zu können, wurde die Zählrate bei  $E > 90$  keV über die Flugzeit von  $T = 100$  sec bis  $T = 360$  sec gemittelt und der mittlere Elektronenfluß bei  $E > 90$  keV aus der Differenz zum gestrichelt eingezeichnetem Mittel des Untergrundzählrohres gewonnen. Unter der Annahme, daß das differentielle Energiespektrum gemäß  $\exp(-E/E_0)$  verläuft, erhält man so einen mittleren Wert von  $E_0 = 16$  keV.

Die Photometerregistrierungen zeigen eine Hell-Dunkel-Modulation, die in Phase mit der Modulation der Zählrate des nach unten sehenden Detektors und mit der Variation des Winkels  $\alpha$  ist. Besonders interessant ist die Variation des Hell-Dunkel-Verhältnisses der  $\lambda = 2972\text{-\AA}$ -Linie mit der Flugzeit und der Höhe. (Die Variation des Verhältnisses bei  $\lambda = 3914 \text{ \AA}$  ist offensichtlich durch Übersteuerung bei 30 kR verfälscht.)

Das Hell-Dunkel-Verhältnis nimmt vom Wert 1 bei 100 bis 120 km Höhe bis 5 im Apogäum zu. Während der folgenden Nutationsperioden schwankt das Ver-

hältnis zwischen 2 und 5 und erreicht kurz vor Ende des Fluges den Wert 1,5 in 135 km Höhe.

Da die Rakete nach Norden geschossen wurde, waren die Photometer während einer Nutationsperiode einmal fast senkrecht nach unten und einmal  $28^\circ$  gegen die Senkrechte nach Süden gerichtet. Aus der durch die Nutation hervorgerufenen Hell-Dunkel-Modulation kann man daher schließen, daß sich das Emissionsmaximum während des größten Teils des Fluges südlich der Rakete befand.

## Diskussion

Zunächst wollen wir kurz darauf eingehen, was bisher über die Ausfällung von Elektronen mit  $E > 40$  keV als Funktion der geomagnetischen Breite  $\lambda$  im Mitternachtssektor an magnetisch mäßig gestörten Tagen ( $10 < \Sigma \text{ kp} < 20$ ) bekannt ist.

Zwischen  $\lambda = 65^\circ$  und  $\lambda = 71^\circ$  wird häufig eine erhöhte Ausfällung von Elektronen beobachtet. Der Zusammenhang zwischen Elektronenfluß und Pitchwinkelverteilung als Funktion von  $\lambda$  läßt sich in diesem Breitenbereich nach Messungen mit polaren Satelliten wie folgt charakterisieren [O'BRIEN, 1964, FRITZ, 1967]:

Der Fluß bei  $\theta = 90^\circ$  ändert sich als Funktion von  $\lambda$  zwischen  $\lambda = 65^\circ$  und  $\lambda = 67^\circ$  nur wenig und hat Werte zwischen  $10^5$  und  $10^6$  Elektronen/cm<sup>2</sup> sec sterad. Weiter nördlich nimmt er um drei bis vier Zehnerpotenzen auf die niedrigen Werte von 10 bis 100 Elektronen/cm<sup>2</sup> sec sterad über der Polkappe ab. Im Gegensatz dazu ist der Fluß im Verlustkonus in dem ganzen Breitenbereich stark veränderlich. Er kann von  $10^4$  bis auf  $10^6$  Elektronen/cm<sup>2</sup> sec sterad zunehmen, so daß er gleich dem Fluß bei  $\theta = 90^\circ$  und die Pitchwinkelverteilung im oberen Halbraum bei Flüssen zwischen  $10^5$  und  $10^6$  Elektronen/cm<sup>2</sup>sec sterad isotrop wird [O'BRIEN, 1964]. Mit zunehmender Breite nimmt er wie der Fluß bei  $\theta = 90^\circ$  ab, so daß die Pitchwinkelverteilung bei Flüssen zwischen  $10^2$  bis  $10^6$  Elektronen/cm<sup>2</sup> sec sterad isotrop wird. Der Fluß kann innerhalb von einem Breitengrad um 4 Zehnerpotenzen abnehmen, so daß die nördliche Grenze des äußeren Strahlungsgürtels für 40 keV-Elektronen gut definierbar ist [FRITZ, 1967; MCDIARMID and BURROWS, 1968]. Sie ändert ihre Lage auch an magnetisch mäßig gestörten Tagen ständig zwischen  $\lambda = 67^\circ$  und  $\lambda = 72^\circ$  [FRITZ, 1968], wird aber gelegentlich auch bei  $\lambda = 65^\circ$  angetroffen [FRITZ and GURNETT, 1965].

Wir interpretieren daher unsere Messung einer isotropen Pitchwinkelverteilung von 40 keV-Elektronen bei einem Fluß von knapp  $10^3$  Elektronen/cm<sup>2</sup> sec sterad so, daß die Rakete in die nördliche Begrenzung der Zone erhöhter Ausfällung von 40 keV-Elektronen geschossen wurde. Da der Abschubort bei  $\lambda = 65^\circ$  liegt, ist dies ein weiteres Beispiel dafür, daß sich die Grenzzone auch an magnetisch wenig gestörten Tagen sehr weit südlich bis  $\lambda = 65^\circ$  verlagern kann.

Für diese Interpretation sprechen außerdem die folgenden Beobachtungen:

1. Aus der Hell-Dunkel-Modulation der Photometerregistrierung des Polarlichtes konnte geschlossen werden, daß das Emissionsmaximum südlich der Rakete war.

2. Aus der Variation der Z-Komponente des Magnetfeldes folgte, daß sich der polare Elektrojet über dem Startplatz der Rakete befand und sich während der Messung von Nord nach Süd bewegte.
3. Auf eine Nord-Süd-Bewegung des Ausfällungsmaximums der Elektronen und des Emissionsmaximums des sichtbaren Polarlichtes während der Messung deuten auch die Änderung des Flusses im Verlustkonus und die Änderung der Amplitude der Hell-Dunkel-Modulation des Photometerstromes hin. Danach hatte sowohl das Ausfällungs- als auch das Emissionsmaximum den größten Abstand zur Rakete zwischen  $t = 200$  und  $300$  sec, als der Elektronenfluß am kleinsten und die Hell-Dunkel-Modulation am größten waren.

Die vorausgegangenen Betrachtungen machen deutlich, wie problematisch die Interpretation der Messung der Elektronenausfällung mit Raketen ist, wenn man keine Information über deren Ausdehnung und ihre nördliche Grenze hat. Die Beobachtung des Polarlichtes vom Boden aus, die meist auch als Indiz für den Start der Rakete dient, gibt keinen Aufschluß über die Position der Zone erhöhter Ausfällung von Elektronen mit  $E > 40$  keV und deren nördliche Begrenzung, da die Polarlichter sowohl südlich als auch nördlich davon, im Bereich hohen Flusses niederenergetischer Elektronen, beobachtet werden [MCLWAIN, 1960].

Abgesehen davon ist diese Beobachtung nur bei wolkenlosem Himmel möglich. Dagegen ermöglicht die Registrierung der drei Komponenten des Erdmagnetfeldes Aussagen über die Stärke, die Richtung, den Ort und die Bewegung des mit der Ausfällung energiereicher Elektronen korrelierten polaren Elektrojets besonders dann, wenn die Registrierung an mehreren Punkten entlang konstanter magnetischer Ortszeit erfolgt. Die Einrichtung einer solchen Kette von Beobachtungsstationen mit zentraler Datenausgabe an den Startplätzen für Raketen wäre daher wünschenswert.

## Anhang

Wir haben mit dem nach unten gerichteten Detektor infolge der Nutationsbewegung der Rakete Elektronen aus dem Pitchwinkelbereich von  $76^\circ$  bis  $180^\circ$  gemessen. Der Fluß der reflektierten Elektronen mit  $\theta > 90^\circ$  nimmt mit zunehmendem Pitchwinkel wegen des Energieverlustes, den die Teilchen bei der Wechselwirkung mit der Atmosphäre erlitten haben, ab. Infolgedessen zeigt die Zählrate eine starke Modulation, mit Minima im Pitchwinkelbereich  $120^\circ$  bis  $170^\circ$  und Maxima im Pitchwinkelbereich  $76^\circ$  bis  $180^\circ$ . Die Überstreichung dieses großen Pitchwinkelbereiches kommt durch die kombinierte Wirkung von Nutation und Spin der Rakete zustande (Abb. 5). Die Zählratenmodulation nimmt mit der Höhe ab. Wir wollen nun prüfen, ob das Verhältnis von maximaler zu minimaler Zählrate und seine Variation mit der Höhe durch eine im oberen Halbraum isotrope Pitchwinkelverteilung des Elektronenflusses, wie sie von MCDIARMID und BUDZINSKI [1968] in 160 km Höhe gemessen worden ist (Abb. 7), erklärt werden kann. In die Abbildung wurden die von unseren Detektoren überstrichenen Pitchwinkelbereiche bei den beiden Extremwerten des Winkels  $\alpha$  zwischen den Figurenachse der Rakete und Magnetfeld eingezeichnet. Für Pitchwinkel  $\theta > \theta_k$  nimmt der Elektronenfluß mit  $\exp(-\theta/\theta_0)$  ab, mit  $\theta_0 = 20^\circ$  und  $\theta_k$  gleich dem Winkel, bei dem der isotrope Fluß beginnt, exponentiell abzunehmen. Der zu erwartende Wert des Verhältnisses  $N_{\max} : N_{\min}$  wurde durch graphische Integration über die eingezeichneten Pitchwinkelbereiche ermittelt. Mit  $\theta_k = 90^\circ$  und  $\theta_0 = 15^\circ$  erhalten wir  $N_{\max} : N_{\min} = 4$  entsprechend dem in 100 km Höhe beobachteten Wert. Die Abnahme des Verhältnisses mit der Höhe durch eine Zunahme von  $\theta_k$ , die bei ungestörter Teilchenbewegung in Dipolfeld nur durch eine Abnahme des magnetischen Feldes gemäß

$$\frac{(\sin^2 \theta_k)_1}{(\sin^2 \theta_k)_2} = \frac{B_1}{B_2}$$

$\theta_{k1}, B_1$	Wert in 100 km Höhe
$\theta_{k2}, B_2$	Wert in 200 km Höhe
$B_1 > B_2, \theta_{k1,2}$	$\geq 90^\circ$

bestimmt ist, kommt hier nicht in Betracht, weil die Pitchwinkelverteilung von 40 keV-Elektronen für  $\theta > 90^\circ$  in Höhen unter 170 km bereits überwiegend durch Energieverluste und Streuung in der Atmosphäre bestimmt wird. Dagegen ist eine Zunahme des rückgestreuten Elektronenflusses und damit eine Zunahme von  $\theta_0$  mit zunehmender Höhe zu erwarten. Die Rechnung zeigte, daß sich die beobachtete Variation von  $N_{\max} : N_{\min} = 4$  bei 100 km zu  $N_{\max} : N_{\min} = 2$  bei 200 km durch eine Zunahme von  $\theta_0 = 15^\circ$  bis  $\theta_0 = 20^\circ$  erklären läßt.

Das Raketenexperiment wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung (WRK 64) gefördert.

Den Herren Prof. Dr. A. EHMERT und Prof. Dr. G. PFOTZER danke ich für ihr förderndes Interesse an dieser Arbeit.

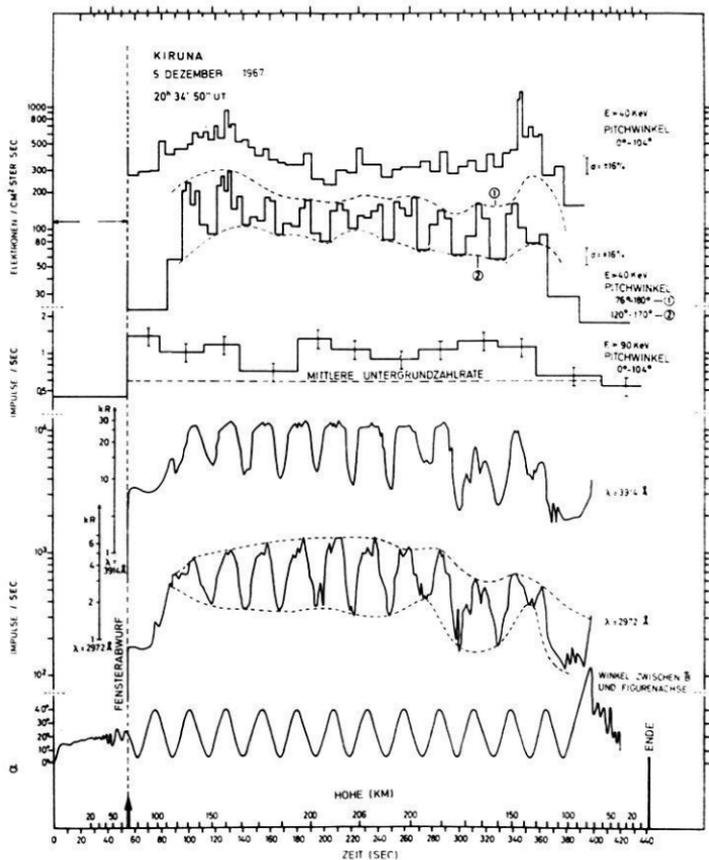


Abb. 6:

Ergebnisse des Raketenschusses, von oben:

Elektronenfluß im Pitchwinkelbereich  
 $0^\circ < \theta < 104^\circ$  ( $E > 40$  keV)

Elektronenfluß in den Pitchwinkelbereichen  
 $76^\circ < \theta < 180^\circ$  (Maxima) und  
 $120^\circ < \theta < 170^\circ$  (Minima), ( $E > 40$  keV)

Zählrate im Pitchwinkelbereich  
 $0^\circ < \theta < 104^\circ$  ( $E > 90$  keV)

Polarlichtintensität bei  $\lambda = 3914 \text{ \AA}$

Polarlichtintensität bei  $\lambda = 2972 \text{ \AA}$

Winkel  $\alpha$  zwischen Figurenachse der Rakete  
 und Magnetfeldvektor  $B$ .

Results, from top of the figure downward:

Electronflux in the pitchangle range  
 $0^\circ < \theta < 104^\circ$  ( $E > 40$  keV)

Electronflux in the pitchangle ranges  
 $76^\circ < \theta < 180^\circ$  (maxima) and  
 $120^\circ < \theta < 170^\circ$  (minima), ( $E > 40$  keV)

Countingrate in the pitchangle range  
 $0^\circ < \theta < 104^\circ$  ( $E > 90$  keV)

Auroral light intensity at  $\lambda = 3914 \text{ \AA}$

Auroral light intensity at  $\lambda = 2972 \text{ \AA}$

Angle  $\alpha$  between the rockets figureaxis and  
 the magnetic field vector  $B$ .

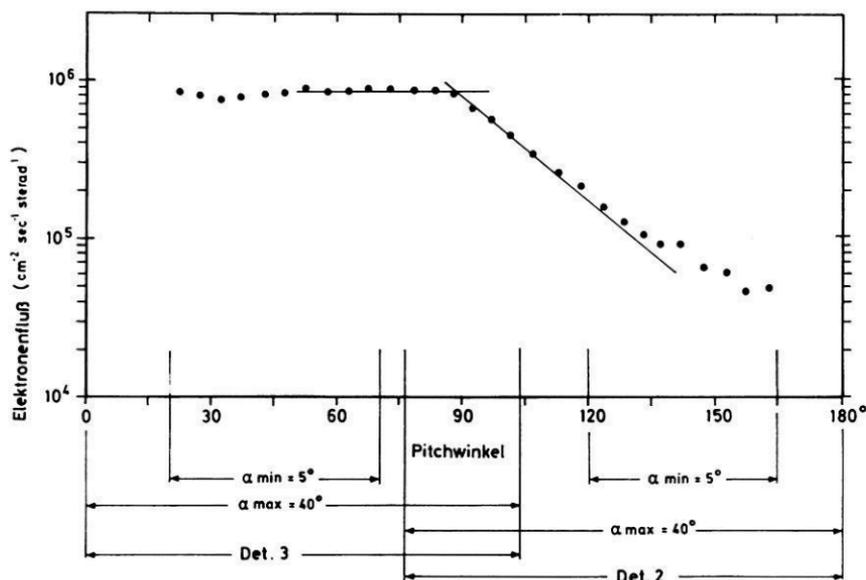


Abb. 7: Pitchwinkelverteilung von  $E > 40$  keV-Elektronen in 160 km Höhe über Fort Churchill nach McDIARMID, [1968]. Die Pitchwinkelbereiche, die von unseren Zählrohren bei den Extremwerten des Winkels  $\alpha$  zwischen Figurenachse der Rakete und Magnetfeldvektor  $B$  erfaßt wurden, sind am unteren Rand der Abbildung angegeben.

Pitchangle distribution of  $E > 40$  keV electrons at 160 km altitude as measured by McDIARMID [1968] over Fort Churchill. The pitchangle ranges covered by our detectors during one spinperiod at the extremvalues of the angle  $\alpha$  between the rockets figuraxis and  $B$  are given below.

### Literatur

- FRITZ, T. A.: Spectral, spatial and temporal variations observed for outer zone electrons from 10 to 100 keV with satellit Injun 3. Univ. of Iowa, Research Report 67-42, 1967
- : High latitude Outer-Zone Boundary Region for  $> 40$  keV Electrons during Geomagnetically Quiet Periods. J. Geophys. Res. 73, 7245, 1968
- FRITZ, T. A. and D. A. Gurnett: Diurnal and latitudinal effects observed for 10 keV electrons at low satellite altitudes. J. Geophys. Res. 70, 2485, 1965
- HULTQVIST, B.: Auroral particles, a review. Kiruna Geophysical Observatory Report 675, 1967, presented at the Birkeland Symposium September 1967
- KEPPLER, E., E. KIRSCH, P. MÖRL, G. MUSMANN, A. ROSSBACH und L. ROSSBERG: Raketenexperimente zur Untersuchung von Nordlichtern. Z. f. Geophys. 33, 347, 1967

MCDIARMID, I. B. and E. E. BUDZINSKI: Search for low-altitude acceleration mechanism during an auroral substorm. *Can. Phys.* 46, 911, 1968

MCDIARMID, I. B. and J. B. BURROWS: Local time assymetries in the high-latitude boundary of the outer radiation zone for different electron energies. *Can. Phys.* 46, 49, 1968

MCILWAIN, C. E.: Direct measurement of particles producing visible aurorae. *J. Geophys. Res.* 65, 2727—2747, 1960

O'BRIEN, B. J.: High latitude geophysical studies with satellite Injun 3. — 3. Precipitation of electrons into the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 69, 13, 1964

SHARP, R. D. and R. G. JOHNSON: Satellite measurements of auroral particle precipitation in Earth's Particles and Fields (Herausgegeben: B. M. McCORMAC). Reinhold Book Corporation, New York, 113, 1968

Solar geophysical data U.S. Department of Commerce. June 1968, S. 153—159