

**L. F. Burlaga, J. Rahe\***) und **B. D. Donn** (Laboratory for Extraterrestrial Physics, NASA-Goddard Space Flight Center), **M. Neugebauer** (Jet Propulsion Laboratory Pasadena): Wechselwirkungen zwischen Sonnenwind und Komet Bennett.

Es wird ein möglichst vollständiges Bild des Sonnenwindes und des Kometen Bennett in dem Zeitraum vom 23. März bis zum 5. April 1970 gegeben, als sich der Komet verhältnismäßig dicht an der Erde befand ( $\approx 0.7$  AE). Es werden Plasma-daten von 4 Raumsonden und Photographien zahlreicher Observatorien verschiedener geographischer Lage analysiert.

### 1. Einleitung

Bereits seit Beginn dieses Jahrhunderts haben zahlreiche Beobachter Störungen in den Typus I oder Ionenschweif der Kometen registriert (e. g., Barnard 1909, Bierman 1951, Burlaga et al. 1972) und versucht, sie mit solarer oder geomagnetischer Aktivität in Verbindung zu bringen. Dabei wird i. a. davon ausgegangen, daß die Störungen in den Kometenschweif durch Diskontinuitäten im solaren Wind verursacht werden (beispielsweise durch schnelle Ströme oder Schocks) und daß die Sonnenwindstörungen außerdem mit solarer und geomagnetischer Aktivität korreliert sind.

Bisher konnte jedoch noch keine eindeutige Relation zwischen solarer Aktivität und direkten Sonnenwindmessungen durch Satelliten aufgezeigt werden. Es ist in der Tat noch nicht einmal mit Sicherheit bekannt, ob schnelle Sonnenwindströme von aktiven oder ruhigen Regionen der Sonne kommen. Und ganz ähnlich gibt es auch nur eine schwache Korrelation zwischen den Zustandsgrößen im Sonnenwind und geomagnetischer Aktivität, wie sie beispielsweise durch den Kp-Index gemessen wird.

Um zuverlässige Aussagen über kurzzeitige Änderungen in Kometenschweif machen zu können, ist es notwendig, Beobachtungen eines Kometen mit gleichzeitig gemachten Messungen des Sonnenwindes durch Satelliten in Beziehung zu setzen. Es wurde deshalb versucht, Störungen im Ionenschweif des Kometen Bennett 1970 II (1969i) und Diskontinuitäten im solaren Wind-Plasma miteinander zu korrelieren.

Am 27. März registrierten Raumsonden nahe der Erde einen schnellen Strom und einen Schock. Am 1. April passierte sehr wahrscheinlich ein anderer Schock die Erde; und am 4. April konnte eine starke Störung im Ionenschweif des Kometen beobachtet werden. Es sollen die Auswirkungen des Schocks und des Stromes auf den Kometen untersucht und die Ursache der Störung im Schweif diskutiert werden.

### 2. Beobachtungen des Kometen

Am 4. 4. 1970 wurde an zahlreichen Observatorien im Typus I oder Ionenschweif des Kometen Bennett ein deutlicher Knick beobachtet (vgl. Abb. 2 in Burlaga et al., 1972). Die Distanz des Knicks vom Kern belief sich auf etwa  $1.8 \times 10^6$  km. Die heliozentrische Distanz des Kometen zum Zeitpunkt der Beobachtungen betrug  $r = 0.64$  AE, die geozentrische Distanz  $\Delta = 0.76$  AE.

\*) Permanente Adresse: Institut für Astrophysik, Technische Universität Berlin

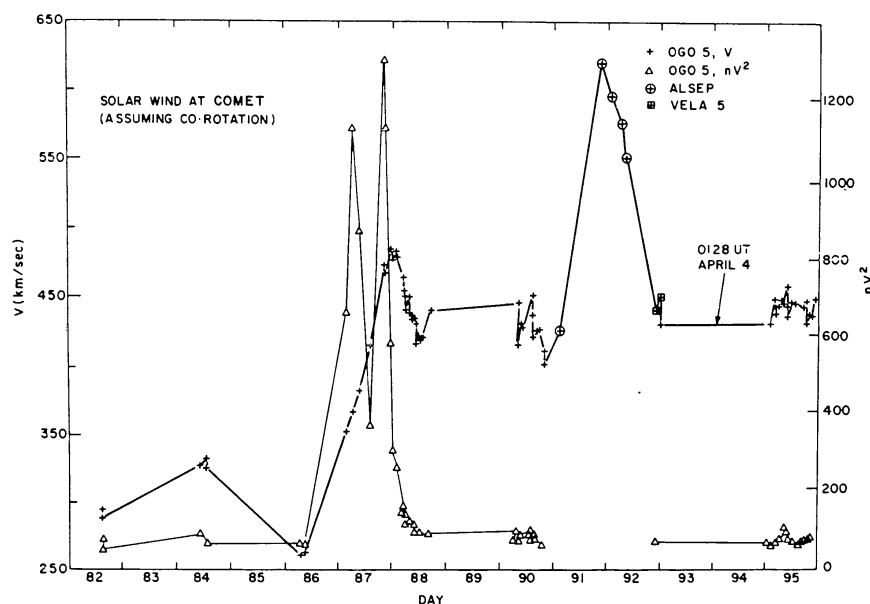


Abb. 1: Sonnenwindgeschwindigkeit  $V$  und  $nV^2$  am Ort des Kometen.

Dieser Knick tritt allerdings nur in einem Teil des Ionenschweifes auf. Der andere Teil ist von seinem Auftreten praktisch überhaupt nicht beeinflusst. Das gestörte Bündel bildet mit dem verlängerten Radiusvektor von der Sonne zum Kometenkern einen Winkel von  $-5^\circ$ , das ungestörte Bündel folgt dem verlängerten Radiusvektor im Sinne der Bahnbewegung unter einem Winkel von etwa  $+20^\circ$ .

Aus zahlreichen Aufnahmen verschiedener Observatorien konnte abgeleitet werden, daß der Knick zwischen dem 3.4  $4^h$  und dem 4.4  $1^h$  entstanden sein muß.

### 3. Beobachtungen des Sonnenwindes

Im März und April befanden sich mehrere mit einem Plasmadetektor ausgerüstete Sonden im Umlauf. Pioneer 6, 7 und 8 liefen in einem Abstand von etwa 1 AE in verschiedenen Längen um die Sonne; OGO-5, VELA-5 und 6, Explorer 41 und HEOS-1 liefen um die Erde; Explorer 35 befand sich im Umlauf um den Mond. Außerdem gab es noch einen Plasma-Analysator in dem ALSEP-Gerät, das von den Apollo 12-Astronauten auf der Mondoberfläche aufgebaut worden war.

OGO-5, VELA-5 und ALSEP-Beobachtungen lassen erkennen, daß zwischen dem 31. 3. und dem 1. 4. ein sehr schneller Strom die Erde passiert hat ( $V_{\max} = 620$  km/sec). Er verursachte eine geomagnetische Störung mit einem Kp-Wert von 6 am 31. 3. Ihm folgte ein Storm Sudden Commencement (SSC) am 1. 4. um 2153 UT. Am 4. 4. änderten sich die Sonnenwindgeschwindigkeit  $V$  und  $nV^2$  ( $n$  die Dichte) nur wenig.

Für den 2. 4. und 3. 4. gibt es nur wenige Daten. Es sind allerdings mehrere Anzeichen dafür vorhanden, daß an diesen Tagen kein schneller Strom auftrat. OGO-5 hatte „photodip“-Schwierigkeiten (Neugebauer et al., 1972), die nur auftreten, wenn die Sonnenwindgeschwindigkeit zwischen 320 und 405 km/sec liegt. Außerdem war der bow-shock am 1.—2. 4. weiter von der Erde entfernt als am 3.—5. 4. Die Sonnenwindgeschwindigkeit  $V$  sowie  $nV^2$  waren demnach am 1.—2. 4. vermutlich höchstens so groß wie am 3.—4. 4., wo  $V \approx 400$  km/sec war. Und schließlich waren die  $K_p$ -Indizes für den 2. und 3. 4. ziemlich niedrig: am 2. 4. war  $K_p \leq 2$ , am 3. 4. war  $K_p \leq 4$ . Die Bestimmung von  $V$  aus dem  $K_p$ -Index ist allerdings nicht ganz unproblematisch (vgl. oben).

Am 1. 4. registrierten 32 Beobachtungsstationen um 2153 UT einen geomagnetischen Impuls, der von fast allen Stationen als SSC klassifiziert wurde. Er signalisierte vermutlich das Eintreffen eines interplanetaren Schocks. VELA und OGO-Messungen eine Stunde nach dem SSC zeigen, daß die Windgeschwindigkeit hinter dem Schock nicht anstieg, der Schock wurde also offenbar nicht von einem schnellen Strom „getrieben“.

Am 27. 3. passierte ein anderer Strom die Erde. Die maximale Geschwindigkeit war nicht sehr hoch (484 km/sec), der Geschwindigkeitsgradient war jedoch beträchtlich:  $V$  änderte sich in 7 Stunden um 222 km/sec. Gleichzeitig stieg auch  $nV^2$  stark an. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Komet verhältnismäßig dicht an der Ekliptik ( $\approx 0^\circ$  bis  $\approx 25^\circ$ ), er war jedoch noch 0.7 AE von der Erde entfernt. Dem Strom ging ein SSC um 0657 UT voraus, der das Eintreffen eines Schocks signalisierte, der um 0659 UT von OGO-5 und 43 Erdradien stromabwärts um 0711 UT von ALSEP registriert wurde. Bei radialer Ausbreitung betrug die Schockgeschwindigkeit  $V = 380$  km/sec.

#### 4. Beziehung zwischen Sonnenwind- und Kometenbeobachtungen

Unter der Annahme, daß Sonnenwind und Sonne ko-rotieren, daß die Sonnenwindgeschwindigkeit  $V$  von der solaren Breite  $\lambda$  unabhängig ist ( $V(\lambda) = \text{const}$ ) und daß die Rotationsperiode in erster Näherung konstant ist, können die in der Nähe der Erde bestimmten Werte für  $V$  und  $nV^2$  leicht auf den Ort des Kometen umgerechnet werden. Das Ergebnis ist in Abb. 1 dargestellt. Die Abszisse gibt die Anzahl der Tage nach dem 1. 1. 1970.

Die Störung im Ionenschweif des Kometen Bennett wurde am 4. 4. zwischen 1<sup>h</sup> und 4<sup>h</sup> UT an zahlreichen Sternwarten beobachtet, also praktisch mitten in der Datenlücke. In der Nähe der Erde gab es jedoch keinen Hinweis auf einen schnellen Strom oder Schock, der diesen Knick am 4. 4. verursacht haben könnte. Entweder unterschied sich also die Struktur des Sonnenwindes am Ort des Kometen, der sich zu diesem Zeitpunkt  $40^\circ$  über der Ekliptik befand, völlig von derjenigen am Ort der Erde, oder der Knick wurde nicht durch eine Diskontinuität im Sonnenwind hervorgerufen.

Direkte Photographien zeigen mehrere ungestörte Strahlen unmittelbar neben den gestörten Strahlen des Knickes und unterstützen damit die zweite Alternative. Dieses Nebeneinander von gestörten und ungestörten Strahlen auf engem Raum ist nur schwer mit einem Modell in Einklang zu bringen, nach dem eine großräumige Diskontinuität im Sonnenwind den Knick verursacht hat. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, daß die gestörten Strahlen durch kleine (etwa  $10^4$  km große) dichte Ballen aus Sonnenwindmaterial entstehen, wie sie von Burlaga und Ogilvie (1969) im interplanetaren Plasma beobachtet worden sind.

Der Schock am 1. 4. wurde nicht direkt beobachtet. Nimmt man an, daß sich eine praktisch sphärische Schockfront radial mit einer Geschwindigkeit zwischen 300 und 700 km/sec ausbreitete (90 % aller interplanetaren Schocks haben Geschwindigkeiten dieser Größenordnung), dann sollte der Schock den Kometen am 31. 3. zwischen 0020 UT und 2240 UT erreicht haben. An den Tokyo und Alma-Ata Observatorien um 1916 UT und 2252 UT gemachte photographische Aufnahmen des Kometen zeigen jedoch keine auffällige Störung des Ionenschweif, obwohl sich  $nV^2$  längs des Schocks vermutlich um wenigstens einen Faktor 2 änderte.

Der Schock vom 27. 3. sollte den Kometen am 25. 3. um 4<sup>h</sup> UT getroffen haben ( $V = 380$  km/sec). Falls sich der dem Schock folgende Strom radial ausgebreitet hat, dann sollte er den Kometen kurz nach dem Schock erreicht haben. Würde der Strom ko-rotieren, dann sollte er ihn am 28. 3. erreichen. Auf jeden Fall sollte zwischen dem 25. und 28. 3. eine deutliche Änderung um einen Faktor 2 in  $V$  und  $nV^2$  am Kometen aufgetreten sein. Am Perth Observatorium in Australien und am Goddard Space Flight Center in USA zwischen dem 25. und 28. 3. gemachte Photographien zeigen jedoch wieder kein Anzeichen eines Knickes oder irgendeiner anderen ähnlichen Störung im Ionenschweif des Kometen.

Von F. D. Miller mit dem Curtis-Schmidtteleskop zwischen dem 7. und 12. 3. 1970 gewonnene Aufnahmen des Kometen Bennett lassen keine Unterschiede in der normalen Entwicklung dieses Kometen erkennen, obwohl in dieser Zeit ein starker Sonnenwind-Schock registriert worden war. Satellitenmessungen der Sonnenwindgeschwindigkeit und des Magnetfeldes zeigten den Vorbeigang eines ungewöhnlichen starken interplanetaren Schocks mit einer Geschwindigkeit von etwa 1150 km/sec. Er sollte die heliozentrische Distanz des Kometen etwa März 8.0 erreicht haben (Vanýsek 1973).

In diesem Zusammenhang muß auch die Überwachung des sehr aktiven Kometen Schwassmann-Wachmann I durch E. Roemer erwähnt werden, welche zeigte, daß sich dieser Komet im Zeitraum von Mitte August bis September 1972 trotz ungewöhnlich starker solarer Flare-Aktivität Anfang August verhältnismäßig ruhig verhielt.

Diese Resultate lassen es demnach für durchaus möglich erscheinen, daß eine plötzliche Änderung in der Geschwindigkeit des Sonnenwindes  $V$  oder in  $nV^2$  weder eine notwendige noch eine hinreichende Bedingung für das Auftreten einer ausgeprägten Störung im Schweif eines Kometen ist.

Die Autoren danken den zahlreichen Personen und Institutionen, die umfangreiches Datenmaterial freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben. Einer der Autoren (J. R.) wurde durch NASA-Grant NGL 21-002-033 gefördert.

#### Literatur

- BARNARD, E. E., 1909, *Astrophys. J.*, **29**, 65  
 BIERMANN, L., 1951, *Z. Astrophys.* **29**, 274  
 BURLAGA, L. F., RAHE, J., DONN, B. D., and NEUGEBAUER, M., 1972, NASA-Goddard Space Flight Center, Special Publication X-692-72-415  
 BURLAGA, L. F., and OGILVIE, K. W., 1969, *J. Geophys. Res.*, **74**, 2815  
 NEUGEBAUER, M., SNYDER, C. W., CLAY, D. R., and GOLDSTEIN, B. E., 1972, *Planet. Space Sci.* (in press)  
 VANÝSEK, V., 1973, Report of Astronomy, Commission 15, Reidel Publishing House, page 21 (in press)