

Ein Windsack im Weltall

Kometen haben kräftigen Gegenwind, wenn sie sich der Sonne nähern: Geladene Teilchen strömen ihnen von dort entgegen, wie Ludwig Biermann Anfang der 1950er-Jahre am Max-Planck-Institut für Physik entdeckte. Er lieferte damit auch die Erklärung, warum den Kometen zwei Schwänze wachsen. Um mehr über den Sonnenwind herauszufinden, versuchten Biermann und seine Nachfolger in den folgenden Jahren, künstliche Schweifsterne im All auszusetzen – die Experimente gelangen jedoch erst 1984.

Lange Zeit flößten Kometen den Menschen Angst ein. Viel spekulierten unsere Vorfahren in der Antike und im Mittelalter über die plötzlich auftauchenden Sterne mit einem „Haarschopf“: Handelte es sich bei diesen Himmelszeichen möglicherweise um Götterbotschaften, die Unheil verkündeten? Und woraus bestanden sie? War ihr Schweif vielleicht nur eine optische Täuschung, verursacht durch eine vom Kometenkopf ausgehende Lichtbrechung? Als besonders „erschrecklich“ empfand man im Mittelalter die weischwänzigen Kometen.

Im 20. Jahrhundert wuchs das Wissen über Kometen sehr rasch. Der amerikanische Astronom Fred Whipple stellte 1950 die These auf, dass die mehrere Kilometer großen Klumpen aus Wassereis und gefrorenen Gasen bestehen, durchmischt mit Staub und Geröll. Heute sprechen die Forscher eher von „vereisten Staubballen“ (siehe MAXPLANCK-FORSCHUNG 4/2005, Seite 10). Die Brocken dringen aus der Kälte des Weltraums in das innere Planetensystem ein und heizen sich in Sonnennähe auf.

Das Eis verdampft, strömt in den Raum und reißt dabei den Staub und kleinere Partikel mit sich. Es entsteht ein auffälliger, gekrümmter Schweif aus feinen Staubteilchen. Daneben bildet sich ein gerader Schweif aus Gas, der ziemlich genau in die der Sonne entgegengesetzte Richtung weist; wenn sich der Komet von der Sonne weg bewegt, scheint er deshalb den Schweif vor sich her zu schieben.

Die Wissenschaftler waren sich einig, dass nur der durch Absorption und Re-Emission des Sonnenlichts ausgelöste Lichtdruck die Beschleunigung der Staubteilchen im gekrümmten Schweif verursachen kann. Sie stimmten aber auch darin überein, dass dieser Strahlungsdruck für die Beschleunigung der Gasteilchen im geraden Schweif nicht ausreicht – schließlich wurden bei diesen winzigen Teilchen Geschwindigkeiten von einigen hundert Kilometern pro Sekunde gemessen. Hier mussten Beschleunigungen am Werk sein, die etwa um einen Faktor 100 größer waren als die des Staubes. Woher sie stammen sollten, blieb ein Rätsel. Das Problem lös-



Künstlicher Komet im Fokus: Die Kamera eines Beobachtungsflugzeugs nahm die Bariumwolke vor dem Stern Spika auf.

te Anfang der 1950er-Jahre Ludwig Biermann, damals Leiter der Abteilung Astrophysik am Max-Planck-Institut für Physik in Göttingen. Er schloss aus dem stets ähnlichen Aussehen aller Gasschweife, dass die Sonne ständig einen stark verdünnten und daher unsichtbaren Teilchenstrom aussendet: den Sonnenwind. Bis dahin hatten die Forscher angenommen, dass dieser Wind nur von Zeit zu Zeit weht.

Biermann vermutete, der Sonnenwind bestehe aus elektrisch geladenen Teilchen – hauptsächlich Protonen und Elektronen, die die ebenfalls elektrisch geladenen Bestandteile der Kometengase mit sich reißen und in radialer Richtung vom Kometen gleichsam wegblasen. Deshalb sei der meist sehr gerade und oft viele Millionen Kilometer lange Gasschweif immer von der Sonne weg gerichtet; er stelle gewissermaßen einen solaren Windsack dar.

Im Jahr 1959 wies eine russische Raumsonde den solaren Wind nach und drei Jahre später übermittelte das amerikanische Raumfahrzeug *Mariner 2* Daten über die wichtigsten Eigenschaften des permanenten Solarwinds.

Ludwig Biermann erkannte, dass sich Kometenschweife als natürliche Sonden zur Untersuchung des Sonnenwinds eignen. So entwickelte er die Idee, aus einer Gaswolke im interplanetaren Raum einen künstlichen Kometen zu erzeugen und zu beobachten, wie der Sonnenwind ihn verändert. Der Mann für dieses Experiment war der theoretische Physiker Reimar Lüst am neu entstehenden Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching. Lüst sollte den Versuch Anfang der 1960er-Jahre vorbereiten. Es war das erste Mal nach dem Krieg, dass ein deutsches Institut wissenschaftliche Aktivitäten im Weltraum entfaltetete.

Vor dem Start mussten die Forscher aber eine Substanz finden, die leicht genug ist, um als Nutzlast von einer Raumsonde transportiert zu werden. Außerdem sollte sie sich im

All verdampfen lassen. Die Teilchen in der Wolke mussten sich vom Sonnenlicht ionisieren lassen. Gleichzeitig sollten sie vom Sonnenlicht so zum Leuchten angeregt werden, dass die Wellenlängen der abgegebenen Strahlung im optischen Fenster der Atmosphäre liegen und so von der Erde aus zu sehen sind. Um zu testen, ob diese Bedingungen erfüllt werden, reichten Laborversuche nicht, die Forscher mussten extraterrestrische Tests mit Raketen anstellen. Da diese in der Bundesrepublik damals verboten waren, knüpften die Wissenschaftler Kontakte zu französischen Kollegen.

Die chemischen Elemente, die den genannten Bedingungen am besten genügen, waren die Erdalkalimetalle, vor allem das Barium. Mit zehn bis hundert Gramm des Metalls ließen sich sichtbare Wolken erzeugen.

Da die Franzosen nicht über spezielle Höhenforschungsraketen verfügten, beschlossen die Garchinger Max-Planck-Wissenschaftler, ihre Experimente in der oberen Atmosphäre auszuführen, also zwischen 200 und 250 Kilometer Höhe. Die ersten, im November 1962 von einem französischen Marinestützpunkt gestarteten Experimente schlugen jedoch fehl. Mehr Glück hatte man mit den beiden im Mai 1963 vom algerischen Hammaguir ins All geschossenen Raketen. Als die Forscher die freigesetzten Bariumwolken von der Erde aus spektroskopisch untersuchten, fanden sie jedoch weder Bariumatome noch -ionen, sondern nur Bariumoxid, das sich bei der Freisetzung gebildet hatte. Daraufhin veränderten die Wissenschaftler das Prinzip der Bariumfreisetzung – mit Erfolg. Bei den nächsten beiden Starts konnten sie die Bariumwolken aber in lediglich 125 und 160 Kilometer Höhe erzeugen. Im November 1964 gelang es ihnen dann zum ersten Mal, über der damaligen französischen Sahara eine Bariumwolke in 190 Kilometer Höhe freizusetzen. Sie wurde vom Erdboden aus fotografiert und fotoelektrisch sowie spektroskopisch beobachtet.

Neue Zürcher Zeitung vom 27. 2. 85

Der unsichtbare Weihnachtsstern

(mpg) Mit zwei Tagen Verspätung (...) gelang das von der Presse als „künstlicher Weihnachtsstern“ gefeierte Bariumplasma-Experiment schliesslich am 27. Dezember. Es blieb, so eine Zeitungsschlagzeile „ein Komet nur für Wissenschaftler“: Über den USA und dem Pazifik versperrten nahezu überall Wolken die Sicht, so über den meisten Bodenbeobachtungsstationen. (...) Statt vier stiess der Plasmawolkensatellit des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik nur zwei bariumgefüllte Kanister ab. Sie zündeten, wie vorgesehen, nach zehn Minuten automatisch und setzten insgesamt 1,25 Kilogramm Bariumdampf in ungefähr 110 000 Kilometern Abstand von der Erde über dem Pazifischen Ozean vor der Küste Perus frei.

Ein faszinierendes Schauspiel bot sich damals den Beobachtern auf der Erde: Das verdampfte Barium, das anfangs eine kugelförmig auseinander laufende Wolke bildete, war zunächst elektrisch neutral und leuchtete vor allem grün. Nach wenigen Sekunden ionisierte die energiereiche Sonnenstrahlung die Bariumatome, die nun überwiegend purpurfarben strahlten. Weil das Barium immer auch Spuren von Strontium enthält, trat zusätzlich ein blaues Leuchten auf. Gleichzeitig

änderte sich die Form der Bariumwolke: Erdmagnetische Felder zwangen die elektrisch geladenen Bariumionen auf Bahnen, die spiralförmig um die Kraftlinien des Magnetfelds liefen, so dass sich die Wolke auseinander zog. Dadurch wurden die Magnetfeldlinien sichtbar – ganz ähnlich, wie das auf der Erde mit Hilfe von Eisenfeilspänen geschieht.

Die Wechselwirkung eines künstlichen Kometen mit dem Sonnenwind konnten die Astrophysiker jedoch erst einmal nicht untersuchen. Denn von den mehr als 60 Versuchen, an denen in den nächsten zwei Jahrzehnten Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik beteiligt waren (nach 1972 unter Leitung von Gerhard Haerendel, der Lüst als Direktor des Garchinger Instituts nachfolgte), stieß keiner bis in die Regionen vor, in denen der Sonnenwind bläst.

Erst am 27. Dezember 1984 und zum zweiten Mal am 18. Juli 1985 erfüllte sich der Traum, einen künstlichen Kometen herzustellen: Haerendel und seinen Mitarbeitern gelang es im Rahmen des internationalen Projekts *Active Magnetospheric Particle Tracer Explorers* (AMPTE), 110 000 Kilometer über der Erde zwei Bariumwolken im solaren Wind zu erzeugen. Bei beiden Experimenten konnten die Forscher die Wechselwirkung der künstlichen Wolken mit dem Sonnenwind und dem von ihm mitgeführten Magnetfeld sehr gut beobachten. Dabei entdeckten die Wissenschaftler unter anderem, dass die Bariumwolke dieses Magnetfeld vorübergehend ver-

drängt: Es entsteht ein magnetischer Hohlraum, in den das Magnetfeld später wieder eindringt – und zwar nicht, wie erwartet, turbulent, sondern ganz gleichmäßig und damit von der Erde aus zu verfolgen.

Dank der Analyse dieses Phänomens lernten die Forscher ähnliche Situationen an kosmischen Objekten besser zu verstehen. Jetzt endlich konnten sie die Beobachtungen an

künstlichen Ionenwolken mit denjenigen Messungen vergleichen, die sie in unmittelbarer Nähe eines Kometen gewonnen hatten. Damit erfüllte sich Biermanns Vision schließlich doch noch, wenn auch erst kurz vor seinem Tod. Ludwig Biermann starb am 12. Januar 1986 im Alter von 79 Jahren in München.

MICHAEL GLOBIG



Ein Doppelschweif damals und heute: Schon 1675 hielt ein Künstler einen Kometen mit zwei Schwänzen fest. Auf den Fotos oben ist der gerade Gasschweif gut vom Staubschweif zu unterscheiden.

FOTOS: FRANZ BOHM, KOMETEN-PHANTASTIEN UND FAKTEN, MERLIN VERLAG, HAMBURG 1973

FOTO: MPI FÜR EXTRATERRESTRISCHE PHYSIK