



## Mike Kretlow und Matthias Jung, **Kometenspektroskopie mit Amateurmitteln**

Artikel erschienen im  
Journal für Astronomie Nr. 5,  
Vereinszeitschrift der [Vereinigung der Sternfreunde e.V. \(VdS\)](#).

Bereitgestellt durch die [VdS-Fachgruppe Spektroskopie](#).

Referenz:

M. Kretlow, M. Jung, VdS-Journal Nr. 5 (2000) 65ff

# Kometenspektroskopie mit Amateurmitteln

von Mike Kretlow und Matthias Jung

**Neue und moderne Techniken haben ihren Einzug in die Arbeit des Amateurs genommen: Leistungsfähige CCD-Kameras, Computer und Softwarepakete haben neue Möglichkeiten der Beobachtung und Auswertung geschaffen. Größe und Qualität der Beobachtungsinstrumente wachsen ebenfalls kontinuierlich. So sind an Vereins- und Volkssternwarten Teleskopöffnungen von 40 cm und mehr immer häufiger anzutreffen. Damit verbunden ist eine Erschließung neuer Betätigungsfelder, die u. a. auch die Beschäftigung mit professionellen Fragestellungen erlaubt.**

Als wir 1995 mit CCD-Beobachtungen begannen, stellte sich alsbald die Frage, ob sich die offenkundige Leistungsfähigkeit und die Vorteile von CCD-Detektoren nicht dazu nutzen ließen, Kometenspektroskopie mit Amateurgeräten zu betreiben. In der Vergangenheit gab es einige wenige Ansätze, Kometenspektren auf fotografischer Basis zu gewinnen [1]. Daß es aber unter den Amateuren bei diesen Einzelversuchen blieb, ist wohl darauf zurückzuführen, daß das bislang zur Verfügung stehende Instrumentarium selbst bei relativ hellen Kometen nicht für eine systematische Arbeit ausreichte.

So begannen wir – in der Spektroskopie noch völlig unerfahren – uns mit diesem Thema auseinanderzusetzen. Ein persönliches Zusammentreffen mit Herrn Ernst Pollmann (FG Spektroskopie) im Spätsommer 1995 forcierte die Entwicklung unserer Absichten erheblich. Auf seinen Rat hin nahmen wir Kontakt zu Herrn Karl-Heinz Uhlmann bzgl. eines Spektrographenselbstbaus auf. Gleichzeitig wurde uns von Herrn Pollmann ein spaltloser Prismenspektrograph von Lichtenknecker leihweise zur Verfügung gestellt. Damit konnten wir erste „Gehversuche“ in der CCD-Spektroskopie unternehmen. Wie sich herausstellen sollte, sammelten wir hier bereits wichtige Erfahrungen, die dann in die Konzeption unseres eigenen Spektrographen einfließen.

In diesem Beitrag möchten wir die wichtigsten Punkte dieses Projektes skizzieren, unsere ersten Erfahrungen und Resultate wiedergeben und schließlich Anregung für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet geben. An dieser Stelle sei auch auf die Arbeit einiger ESO-Mitarbeiter in Garching erwähnt, die ebenfalls mit einem nicht allzu großen

Instrumentenaufwand ein Spektrum des Kometen Hyakutake im März 1996 und später von Komet Hale-Bopp aufnehmen konnten [2].

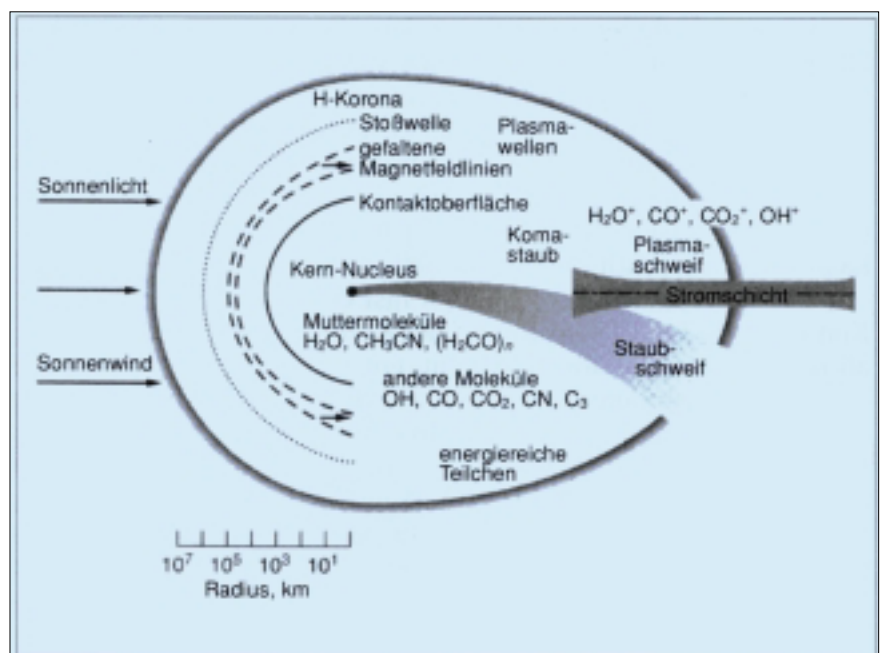
Im ersten Teil des Aufsatzes werden wir einige Grundlagen sowie instrumentelle Fragestellungen diskutieren. Anschließend beschreiben wir unsere ersten Versuche mit dem spaltlosen Lichtenknecker-Spektrographen. Im zweiten Teil sollen erste Erfahrungen und Ergebnisse mit einem Spaltspektrographen vorgestellt werden.

## Grundlegendes zur Physik der Kometen

Beobachten wir einen Kometen am Himmel, so sehen wir nie den eigentlichen Körper, den Kometenkern. Vielmehr ist die für uns sichtbare Kometenerscheinung die Folge einer

komplexen Wechselwirkung des Kernes mit seiner Umgebung. Kometen(-kerne) kann man sich in einem vereinfachten Bild als schmutzige Schneebälle vorstellen. Sie sind ein Konglomerat aus gefrorenem Wasser und gefrorenen Gasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) sowie darin eingelagerten, festen (Staub-)Partikeln. Der mittlere Durchmesser dürfte in der Größenordnung von wenigen km bis einigen 10 km liegen. Eine große Anzahl solcher Kerne befindet sich vermutlich in zwei großen Reservoiren, die jenseits der Neptunbahn („Kuiper-Ring“) und am Rande des Einflußbereiches unserer Sonne („Oortsche Wolke“ in etwa 50 - 150 kAE Entfernung) liegen. Beide Bereiche sind während der Entstehung des Sonnensystems gebildet worden. Deshalb nimmt man an, daß sich in den Kometenkernen ursprüngliches Material in unveränderter Form befindet. Dies macht Kometen für das Verständnis um die Entstehung des Sonnensystems so wichtig.

Wird nun ein solcher Kern durch eine gravitative Störung auf eine Bahn gebracht, die ihn in das innere Sonnensystem führt, so setzt wegen der zunehmenden Erwärmung des Kernes ab



**Abb. 1:** Schematische Darstellung eines Kometen. Man beachte die logarithmische Darstellung. Aus [11].

etwa 3 AE heliozentrischer Distanz an seiner Oberfläche eine Aktivität ein. Gelegentlich setzt diese bereits in größeren Distanzen ein (z. B. Hale-Bopp). Die Aktivität besteht nun darin, daß Eis sublimiert und sich eine dichte Wolke gasförmiger Anteile um den Kern, die Koma, bildet. Die in den Oberflächenschichten eingelagerten Staubpartikel werden bei diesem Prozeß ebenfalls in die Koma freigesetzt. Im Spektrum des Kometen sind jetzt Molekülbanden des Cyan (CN) und des molekularen Kohlenstoffes (C<sub>2</sub>) sichtbar. Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines typischen Kometen.

Die Hauptkomponenten eines Kometen bilden Wasser und Kohlendioxid, daneben noch Cyan und molekularer Kohlenstoff, sowie Ammoniak und Methan (CH<sub>4</sub>). Aber auch höhere organische Moleküle wie Formaldehyd (H<sub>2</sub>CO) wurden nachgewiesen. Das Wasser und vor allem auch die komplexen Moleküle dissoziieren sofort nach ihrer Freisetzung aufgrund der UV-Strahlung der Sonne in einfachere Neutralteilchen und Ionen, die dann spektroskopisch nachgewiesen werden können.

Das Erscheinungsbild der Koma kann stark von Komet zu Komet und auch während einer Erscheinung variieren. Insbesondere kann die Koma stark kondensiert sein, d.h. ein fast sternförmiges Erscheinungsbild annehmen. In einer spaltlosen Spektrographenanordnung sollten dann die wichtigsten spektralen Charakteristika nachweisbar sein.

Von der Sonne wird fortwährend ein Strom von geladenen Partikeln (Plasma) freigesetzt, die sich mit einer Geschwindigkeit von einigen hundert km/s durch den interplanetaren Raum bewegen. Treffen diese Partikel auf die geladenen Teilchen der Koma, werden diese mitgerissen. Es bildet sich der Plasmaschweif. Im Spektrum dieses Schweifes findet man Emissionen von Molekülionen, z. B. des Kohlenmonoxidions (CO<sup>+</sup>), das auch für die bläuliche Farbe des Schweifes auf photographischen Aufnahmen verantwortlich ist. Der Strahlungsdruck des Sonnenlichtes bewirkt, daß auch die Staubteilchen weggetrieben werden und den Staubschweif des Kometen bilden. Er reflektiert das Sonnenlicht und erscheint uns meist gelblich. Sein Spektrum ist vom Sonnenspektrum geprägt.

Eine Übersicht der bis 1982 in Kometenspektren identifizierten Stoffe und der

Wellenlängen der zugehörigen Banden oder Linien findet man in [3]. Sie mag der praktischen Auswertung von Kometenspektren dienlich sein. Weitere analysierte Kometenspektren im optischen Bereich sind in [4,5] enthalten. Wer sich tiefgreifender mit der Kometenphysik beschäftigen möchte, sei auf Referenz 6 verwiesen.

#### Vorüberlegungen zur CCD-Kometenspektroskopie

Im Jahr sind gewöhnlich einige Kometen mit Helligkeiten im Bereich 6-10 mag beobachtbar. Wunschziel war es, diese Kometen mit einer spektralen Auflösung von etwa 1 nm aufnehmen zu können. Da Kometen im wesentlichen flächenhaft erscheinende Objekte sind, schien nur ein Spaltspektrograph in Betracht zu kommen. Ein spaltloser Spektrograph sollte nur bei kondensierter Koma verwendbar sein. Zwar findet man in der Literatur einige Arbeiten zu Spaltspektrographen [7,8,9], dort werden aber keine Kometenbeobachtungen beschrieben. Abschätzungsformeln [10] ließen sich nur mit einigen Annahmen durchrechnen, da unser Spaltspektrograph noch nicht konzipiert war. Wir entschieden uns, insbesondere auch angespornt durch unsere ersten CCD-Sternspektren mit dem Lichtenknecker-Spektrographen gemeinsam mit Herrn Uhlmann einen geeigneten Spaltspektrographen zu entwerfen. Zusammenfassend waren folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- **Konzeption:** Konstruktion unter der Bedingung der Anpassung an die Erfordernisse der Kometenspektroskopie (Spalt, Wellenlängenkalibrierung) und der verfügbaren finanziellen sowie technischen Möglichkeiten.
- **Auswertung:** Für die einfachsten Bildverarbeitungsschritte kann die Aufnahmesoftware vor Ort verwendet werden. Eine weitergehende Verarbeitung unserer CCD-Beobachtungen findet mit der Software MiPS statt, die aber keine speziellen Funktionen für Spektrenbearbeitung bereitstellt. Für eine Auswertung der Spektren steht das Paket MIDAS (ESO) zur Verfügung, das auf einem Linux-PC installiert ist.
- **Analyse der Spektren:** In einigen Arbeiten aus der Literatur konnten wir Tabellen mit identifizierten Linien und Banden finden, die nützlich für die

Analyse waren. Die Linienidentifikation wurde durch eine Wellenlängenkalibrierung der Spektren an Hg-Dampflampen unterstützt. Später standen uns weitere Kalibrierungsquellen zur Verfügung.

#### Das Instrumentarium

##### Das Teleskop

Als Beobachtungsinstrument verwenden wir das 30cm-Newton/Cassegrain-Teleskop der Sternwarte Siegen, das bei f/4.8 im Newton-Fokus betrieben wird (Leitrohr: 100/1500mm-Refraktor). Die Sternwarte befindet sich auf einem Berg innerhalb des Stadtgebietes. Daneben verwenden wir noch einen transportablen 130/1000mm-EDT-Refraktor. Im November 1995 erhielten wir den Lichtenknecker-Spektrographen. Aufgrund der negativen Brennweite des Kollimators mußten einigen Anpassungen an unser Instrumentarium erfolgen.

Mit dieser Anordnung wurden die ersten Beobachtungen durchgeführt. Um beim Wechsel von der Spektroskopie zu allgemeinen CCD-Beobachtungen einen aufwendigen Umbau zu vermeiden, wurde am Newton/Cassegrain ein Okularschlitten angebaut. Da der aufzubauenende Spaltspektrograph aus statischen Gründen direkt auf den Tubus montiert wird, hat diese Anordnung den Vorteil, daß der Spektrograph sehr stabil auf der gesamten Schlittenplatte befestigt werden kann. Beim Fokussieren wird also diese ganze Einheit bewegt.

##### Der Spaltspektrograph

Ende 1995 entschlossen wir uns aus verschiedensten Gründen, den Spektrographen durch Herrn Uhlmann bauen zu lassen. Die Anpassungen an unser Instrument vor Ort konnten wir dann vornehmen. Beim Entwurf des Spektrographen gingen folgende Gesichtspunkte ein:

- Da es sich in den allermeisten Fällen um relativ lichtschwache, nebulöse Objekte handelt, sollte der Spektrograph die Lichtstärke des Teleskopes möglichst gut ausnutzen. Als dispergierendes Element wurde ein Geradsichtprisma nach Amici mit einer partiellen Winkeldispersion von 4° (zwischen den Fraunhoferlinien F' und C') gewählt. Als abbildende Optik dient ein handelsübliches Teleobjektiv mit 135 mm Brennweite. Damit hat das Spektrum eine Länge von 10.8 mm

zwischen der F'- und C'-Linie, die Gesamtlänge des Spektrums beträgt etwa 26 mm. Die Kamera ist verschiebbar angebracht, so daß das Spektrum mit mehreren Aufnahmen komplett abgebildet werden kann.

- Der Spalt sollte verstellbar und drehbar sein, um den Spalt in eine bestimmte Richtung (z.B. parallel zum Kometenschweif) ausrichten zu können.
- Die Dispersionsrichtung sollte möglichst parallel zur Zeilen- oder Spaltenrichtung der CCD-Kamera liegen, damit saubere Intensitätsprofile erstellt werden können. Da die Dispersion immer senkrecht zur Orientierung des Spaltes liegen sollte, bilden Prisma, Objektiv und Kamera eine Einheit, die axial gedreht werden kann.
- Ein eigener Klappspiegel mit Lupensucher sollte der bequemen und sicheren Einstellung der Beobachtungsobjekte dienen.

Abb. 2 zeigt den Konstruktionsentwurf des Spektrographen. Dieser wurde später von uns modifiziert, um verschiedene Detailverbesserungen durchführen zu können.

#### Die CCD-Kamera

Es befinden sich bei uns zwei CCD-

Kameras der OES GmbH im Einsatz: eine LcCCD11n und eine LcCCD14, letztere abbildend nur am transportablen 130/1000mm-EDT, da ihre Leistung nicht mit jener der „großen“ Kamera (LcCCD11n) vergleichbar ist. Die CCD11n verwendet den Kodak KAF-0400 mit 768x512 Pixeln und einen 12bit-ADC. Die Pixelgröße beträgt  $9 \times 9 \mu\text{m}^2$ .

#### Beobachtungen mit dem spaltlosen Lichtenknecker-Spektrographen

Anfang 1996 konnten wir die ersten CCD-Sternspektren mit dem spaltlosen Spektrographen aufnehmen. Abb. 3 zeigt beispielhaft ein unverarbeitetes Versuchsspektrum. Der Spektrograph verwendet einen Kollimator mit einer negativen Brennweite ( $f = -10 \text{ cm}$ ). Daher läßt sich eine Spaltblende nachträglich nicht einbringen. Sein Öffnungsverhältnis beträgt 1:10, die Lichtstärke unseres Teleskopes wird also nicht voll ausgenutzt.

Die Güte der gewonnenen Spektren war von einer exakten Einstellung und Fokussierung der gesamten Anordnung abhängig. Schlechtes Seeing macht sich wegen des fehlenden Spaltes auch deutlich bemerkbar. Die Verwendung der CCD-Technik bietet hier einen großen Vorteil gegenüber der Fotografie. Die Spektren können sofort auf dem Monitor

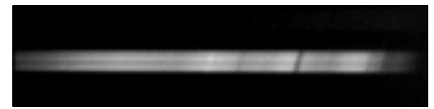


Abb. 3: Spektrum des Sternes Alcyone (Plejaden) vom 23.1.96. Belichtungszeit 30s.

begutachtet und schlechte Aufnahmen verworfen werden. Bereits nach wenigen Minuten Belichtungszeit kann man Sterne von etwa 10. Größenklasse abbilden. Eine gezielte Beobachtung schwacher Objekte war jedoch nicht möglich, da die optischen Achsen des Teleskopes und des Leitrohres nicht exakt genug übereinstimmen und sich aufgrund mechanischer Verbiegungen ständig verändern. Eine genaue Einstellung des gewünschten Objektes war somit nicht möglich.

Das abgebildete Gesichtsfeld des Lichtenknecker-Gerätes ist relativ groß. Der Versuch, einen schwachen Kometen abzubilden, scheiterte sicherlich auch daran, daß aus der Fülle der abgebildeten Spektren ein schwaches, linienarmes Kometenspektrum nicht ausfindig gemacht werden konnte, da eine Identifizierung des „Sternfeldes“ mit einer Sternkarte wegen der nicht genau bekannten Teleskopposition sehr schwer war. Im März 96 versuchten wir, ein Spektrum des Kometen C/1996B2 (Hyakutake) zu gewinnen, dessen Helligkeit für ein einfaches Auffinden und für kurzbelichtete Aufnahmen ausreichte. Aufgrund seines großen scheinbaren Durchmessers während seiner Erddpassage und der hellen, stark diffusen Koma konnten jedoch keine brauchbaren Resultate erzielt werden. Weitere Versuche, mit dem spaltlosen Spektrographen Kometen zu beobachten, haben wir daher nicht unternommen.

#### Einsatz des Spaltspektrographen

Im Spätsommer 1996 erfolgten die ersten Testbeobachtungen mit dem neuen Spaltspektrographen. Einfache Beobachtungen an Sternen, Planeten und planetarischen Nebeln erlaubten uns, die richtige Einstellungen, die geeignete Handhabung und die Auswerteprozedur ermitteln zu können. Es zeigte sich schnell, daß die 135mm-Abbildungsoptik zu langbrennweitig war. Die relativ langen Spektren waren zu

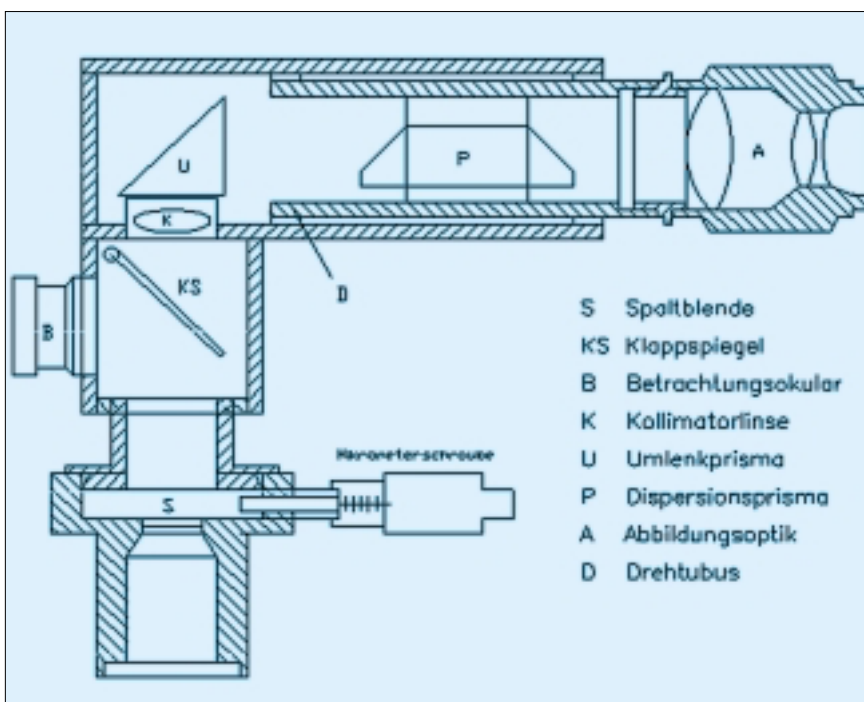
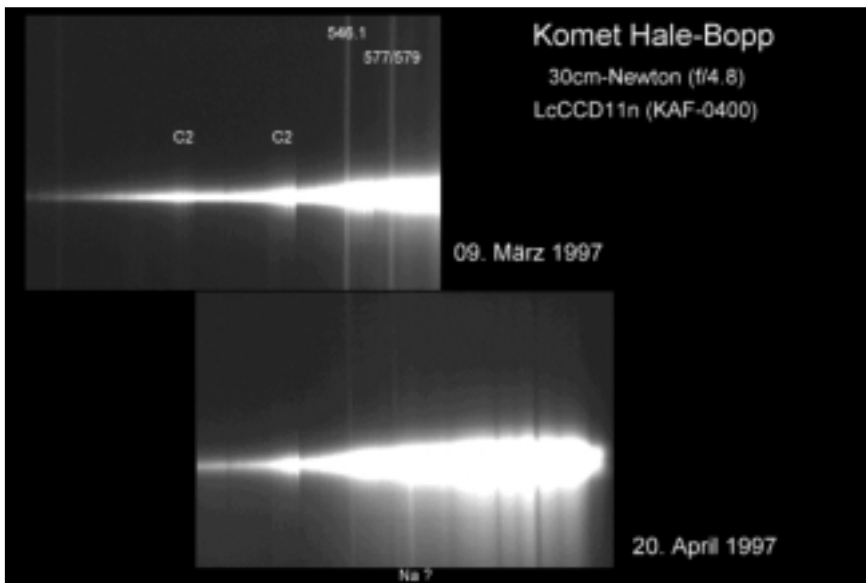


Abb. 2: Konstruktionsskizze des Spaltspektrographen. Unterhalb des Klappspiegels (links) befindet sich der Okularstutzen.







**Abb. 7:**  
Zwei Rohspektren des Kometen Hale-Bopp. Im oberen Bild vom 9. März 1997 erkennt man die Hintergrundlinien der Quecksilberdampflampen bei 546 nm und bei 577/579 nm. Die C<sub>2</sub>-Emissionsbanden sind ebenfalls gekennzeichnet. Die untere Aufnahme entstand am 20. April 1997. Der nach unten weggehende Peak stammt vermutlich vom Na-Schweif, der einige Tage zuvor entdeckt wurde (IAUC 6631 vom 18. April 1997).

von Straßenlaternen kalibrierten, die wir zusammen mit den Kometenspektren aufnahmen. Inzwischen haben wir von Herrn Günter Gebhard (FG Spektroskopie) dankenswerterweise kleine Spekrallämpchen erhalten, mit denen unsere Kalibrierung wesentlich einfacher und genauer durchgeführt werden kann.

Der Einsatz unseres zweiten Spektrographen zum Zeitpunkt der besten Sichtbarkeit erwies sich als ungünstig, weil wir einige Nächte durch Justagearbeit verloren. Da wir einige weitere Nächte damit verbrachten, den Kometen außerhalb der Stadt „ganz normal“ zu beobachten und zu fotografieren, sind insgesamt nicht so viele Spektren des Kometen entstanden. Insbesondere kam die geplante kontinuierliche (spektroskopische) Beobachtung nicht zustande. Dennoch sind wir mit den von uns erzielten Resultaten durchaus zufrieden (Abb. 7).

#### Fazit

Die Autoren hoffen, dem Leser mit diesem Beitrag einige Anregungen für eigene Arbeiten gegeben zu haben. Unserer Einschätzung nach ermöglicht die heute dem Amateur zur Verfügung stehende Technik, auch an Kometen spektroskopi-

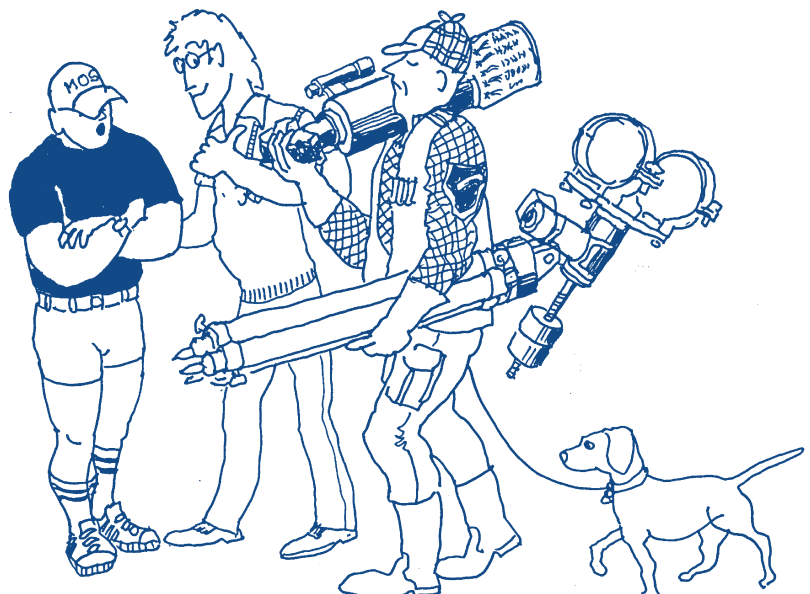
sche Beobachtungen erfolgreich durchzuführen. Daher ist zu erwarten, daß mit immer besser werdender Technik die in den nächsten Jahren von Amateuren erreichbaren Ergebnisse weit über dem liegen, was bei unseren ersten Schritten erzielt wurde. Die Autoren würde sich freuen, davon zu erfahren.

An dieser Stelle möchten sich die Verfasser bei den Herren Ernst Pollmann

und dem leider inzwischen verstorbenen Karl-Heinz Uhlmann (FG Spektroskopie) für ihre Unterstützung ganz herzlich bedanken. Herrn Prof. W. Winnenburg (GH Siegen, FB Physik) danken wir für die materielle Unterstützung bei der Realisierung.

#### Literaturhinweise

- [1] E. Pollmann, K.-P. Timm-Arnold, D. Altwieier: *Das Spektrum des Kometen Halley*. *SuW* 1/1987, 40-41
- [2] G. Avila et. al., <http://www.eso.org/~gavila>
- [3] L. L. Wilkening (Ed.): *Comets. Space Science Series*, Univ. of Arizona Press 1983
- [4] G.A. Gary, W.F. Fountain: *Spectrographic observations of Comet West (1975n)*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 89 (1977) 97-103
- [5] Brown, M.E., Bouchez, A.H., Spinrad, H., Johnskruhl, C.M.: *A high-resolution catalog of cometary emission-lines*. *Astr. Journ.* 112 (1996) 1197-1202
- [6] K.S. Krishna Swamy: *Physics of comets*. Singapore 1986
- [7] W. Gebhardt, B. Helms: *Ein Selbstbau-Prismenspektrograph zum Gebrauch am Celestron-8*. *SuW* 2/1976, 58
- [8] D.J. Schroeder: *A Grating Spectrograph for a College Observatory*. *Sky & Telescope* 2/1974, 96
- [9] B. Sorensen: *A Simple Slit Spectrograph*. *Sky & Telescope* 1/1987, 98
- [10] C.R. Kitchen: *Astrophysical Techniques*. Adam Hilger 1991
- [11] J.C. Brandt, R.D. Chapman: *Rendezvous im Weltraum*. Birkhäuser 1994



Das ist ein Kometenjäger!!!