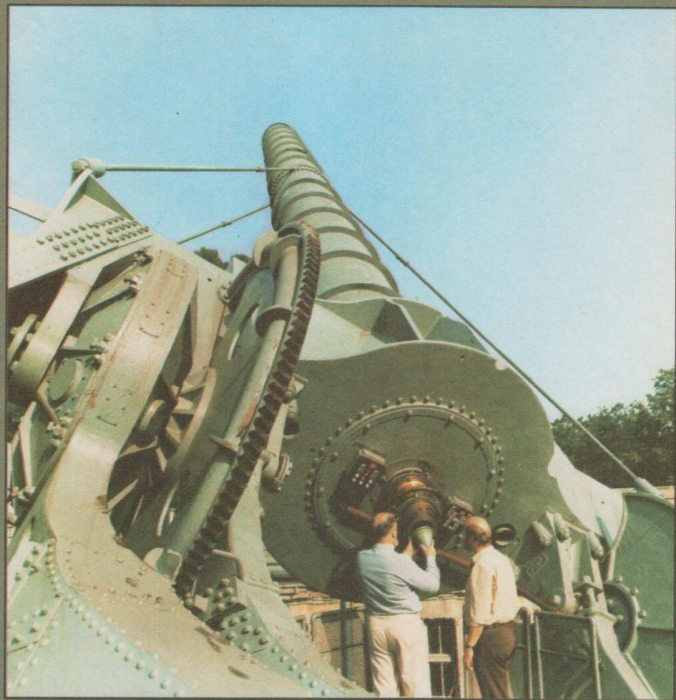


ASTRONOMIE UND RAUMFAHRT

Friedrich / Meyer





Klaus Friedrich
Günter Meyer

unter Mitarbeit von
Klaus Lindner

Astronomie und Raumfahrt

1. Auflage

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1986

Autoren:

Klaus Friedrich unter Mitarbeit von Dr. Klaus Lindner
Astronomie
Dipl.-Päd. Günter Meyer
Raumfahrt

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Lehrmaterial für den fakultativen Kurs „Astronomie und Raumfahrt“ in den Klassen 9 und 10 bestätigt.

ISBN 3-06-081703-0

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1986

1. Auflage

Lizenz-Nr. 203/1000/85 (E 08 1703-1)

LSV 0645

Redaktion: Werner Golm, Günter Meyer

Einband: Karl-Heinz Wieland

Zeichnungen: Horst Boche, Berlin, Waltraud Schmidt, Berlin

Typografie: Atelier vvv, Wolfgang Lorenz

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden

Schrift: 9/10 Maxima TVS

Redaktionsschluß: 21. 10. 1985

Bestell-Nr. 7092088

00490

INHALT

1	Grundlagen der astronomischen Beobachtung 5	Aufgaben und Arten der Beobachtung 5
		Einflüsse der Erdatmosphäre 8
		Astronomische Datenwerke 10
		<i>Fragen und Aufträge</i> 10
2	Beobachtungstechnik 11	Technische Grundlagen für visuelle Beobachtung 11
		Einige Grundlagen für die fotografische Beobachtung 19
		Karten und Fachliteratur 23
		Forschungssternwarten 24
		<i>Fragen und Aufträge</i> 26
3	Visuelle Beobachtungen 27	Orientierung am Sternhimmel 27
		Beobachtungen zur Extinktion und Szintillation 36
		Beobachtung der Sonne 36
		Beobachtung des Mondes 41
		Beobachtung der Planeten und ihrer Monde 46
		Beobachtung von Kleinkörpern des Sonnensystems 50
		Beobachtung künstlicher Erdsatelliten 55
		Beobachtung von Sternen und Doppelsternen 56
		Beobachtung von Sternhaufen und Nebeln 65
		Beobachtung der Milchstraße 66
		Beobachtung von Sternsystemen 67
		<i>Fragen und Aufträge</i> 67
4	Fotografische Himmelsbeobachtung 70	Aufnahmen von Sternstrichspuren 70
		Fotografische Beobachtung der Sonne 73
		Fotografische Beobachtung des Mondes 75
		Aufnahmen von Sternfeldern 78

4

Fotografische Himmelsbeobachtung 70

Fotografie von Kometen 82
Fotografische Beobachtung von
Meteoren 83
Fotografische Beobachtung von
Veränderlichen Sternen 83
Farbaufnahmen von Sternen 85
Aufnahmen von Bahnspuren künstlicher
Erdsatelliten 85
Fragen und Aufträge 86

5

Grundlagen der Raumfahrt 88

Geschichtliche Entwicklung 88
Raumfahrttechnik 105
Forschung mit Hilfe der Raumfahrt 147
Anhang 158
Fragen und Aufträge 162

Register 163

In sternklaren Nächten öffnen sich an den Sternwarten in aller Welt die Kuppeln, unter denen Fernrohre und Zusatzgeräte zur Erforschung des Weltalls bereitstehen. Die gewaltigen schüsselförmigen Konstruktionen der Radioteleskope drehen sich langsam und präzise in die vorausberechnete Richtung, um die unsichtbaren Radiowellen der fernen kosmischen Objekte zu empfangen. Oft drängen sich zur gleichen Zeit an den Volks- und Schulsternwarten interessierte Besucher um das Okular eines Fernrohrs.

Sternwarten sind Einrichtungen, in denen Himmelsbeobachtungen und die theoretische Auswertung solcher Beobachtungen betrieben werden. Das Licht, das von den Himmelskörpern zu uns gelangt, wird mit Fernrohren (Teleskopen) aufgefangen und durch direkte Beobachtung mit dem Auge oder auf fotografischem Wege registriert. Das optische Hauptteil eines Fernrohrs ist entweder eine Sammellinse – dann nennt man das Fernrohr ein Linsenfernrohr bzw. einen Refraktor – oder ein Hohlspiegel – dann nennt man das Fernrohr ein Spiegelteleskop bzw. Reflektor. Astronomische Fernrohre unterschiedlicher Größe, vom Schul- und Amateurfernrohr bis zum großen Forschungsteleskop, werden in unserer Republik vom VEB Carl Zeiss JENA hergestellt.

Mit solchen Instrumenten ist es möglich, ein Vielfaches der nur etwa 5000 mit bloßem Auge am Nachthimmel erkennbaren Sterne sichtbar zu machen. Im Ergebnis der astronomischen Forschungen wissen wir heute sehr viel über die Sterne. Wir kennen ihre Entfernungen, ihre Massen und Dichten, ihre chemische Zusammensetzung. Wir wissen, wie alt sie sind und wie ihre weitere Entwicklung verlaufen wird.

Auch Amateurastronomen können auf bestimmten Spezialgebieten einen Beitrag zur Erforschung des Weltalls leisten. Es gibt in unserem Lande Schulsternwarten, in denen von Schülern wissenschaftliche Arbeit in so hoher Qualität verrichtet wird, daß ihre Ergebnisse in die Arbeit der Forschungssternwarten einfließen. Darüber hinaus bestätigen viele junge Sternfreunde durch Fotos, Vorträge und eigene Veröffentlichungen: Begeisterung, Wißbegierde, etwas praktisches Geschick und der richtige Blick im entscheidenden Moment machen manchen Erkenntnissschritt leichter verständlich. Unser Buch soll dazu helfen und die Grundlagen für eigene Himmelsbeobachtungen vermitteln.

Aufgaben und Arten der Beobachtung

Überlieferte astronomische Beobachtungsergebnisse, die mitunter schon Jahrtausende alt sind, stellen Zeugnisse des zu dieser Zeit von der menschlichen Gesellschaft erreichten kulturellen und ökonomischen Entwicklungsstandes dar. Landwirtschaft, Verkehr, Handel, Staatsführung, aber auch kriegerische Auseinandersetzungen verlangten eine zweckmäßige Zeiteinteilung und Orientierung. Schon im 4. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung wurden Kalender eingeführt. Auf- und Untergang der Sonne legten durch den Wechsel von Tag und Nacht den Tagesrhythmus fest. Der Zusammenhang von Witte-

rungs- und Vegetationsveränderungen mit der veränderlichen Mittagshöhe der Sonne war ebenfalls schon früh erkannt worden. Die periodische Wiederkehr der Mondphasen eignete sich dazu, das Jahr in kleinere Zeitabschnitte zu unterteilen. Durch die Überlieferung von Beobachtungen, die weit in die Vergangenheit zurückreichten, konnten periodisch wiederkehrende Himmelserscheinungen schon lange vor der Erfindung des Fernrohrs mit großer Genauigkeit vorausberechnet werden. Das betraf beispielsweise die Auf- und Untergänge von Sonne und Mond, die Mondphasen und die Bewegungen der Planeten und die Wiederkehr von Sonnen- und Mondfinsternissen. Alle dazu herangezogenen Beobachtungen waren ausschließlich mit dem bloßen Auge angestellt worden. Heute stehen uns optische Instrumente zur Verfügung, die in ihrer Leistungsfähigkeit dem Auge beträchtlich überlegen sind. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Beobachtungsverfahren.

Visuelles Verfahren

Visuelle Beobachtung ist die direkte Beobachtung mit dem Auge.

Die Ergebnisse visueller Beobachtungen sind nur dann auswertbar, wenn sie in Form von Meßwerten, Zeichnungen oder Beschreibungen in einem Beobachtungsprotokoll festgehalten werden.

Das Fernrohr, von Galileo Galilei im Jahre 1609 erstmalig zur Himmelsbeobachtung benutzt, erweiterte die Möglichkeiten des visuellen Verfahrens. So wurde z. B. eine präzisere Bestimmung von scheinbaren Sternabständen möglich, und es konnten auch mehr Einzelheiten der Mondoberfläche erkannt werden. Gleichzeitig vergrößerte sich der Beobachtungsraum.

Fotografisches Verfahren

Fotografische Himmelsbeobachtung ist durch den Einsatz lichtempfindlicher fotografischer Schichten gekennzeichnet.

Filme oder Fotoplatten dienen als Strahlungsempfänger. Sie erfordern den Einsatz optischer Abbildungssysteme; diese Aufgabe erfüllen Linsen- und Spiegelobjektive in speziellen Himmelskameras. Viele moderne Großteleskope werden vorwiegend fotografisch eingesetzt (Bild 7/1). Auch handelsübliche Fotoapparate können für die fotografische Himmelsbeobachtung genutzt werden.

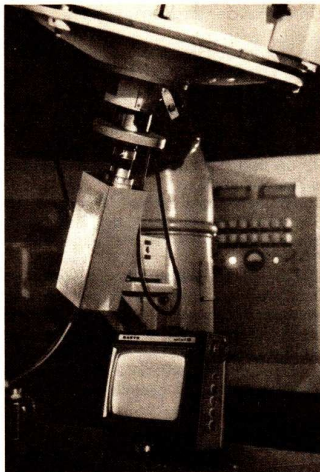
Der Einsatz von Kameras bei astronomischen Beobachtungen hat folgende Vorteile:

- Himmelsaufnahmen sind objektive Dokumente von Situationen und astronomischen Ereignissen.
- Himmelsaufnahmen können in kurzer Zeit einen großen Bereich am Himmel abbilden.
- Himmelsaufnahmen sind wiederholt und nach unterschiedlichen Gesichtspunkten auswertbar.

Mit der Entwicklung der Fotografie von der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts an wuchs die Bedeutung des fotografischen Verfahrens ständig. Erst vor wenigen Jahren entstand ihm durch das lichtelektrische Verfahren der Himmelsbeobachtung eine ernsthafte Konkurrenz.



7/1 Fernrohr zur direkten (visuellen) Beobachtung mit zwei Fernrohren zur Himmelsfotografie



7/2 Auf einen Fernsehbildschirm übertragenes Fernrohrbild

Lichtelektrisches Verfahren

Das lichtelektrische Verfahren erfordert ebenfalls den Einsatz optischer Abbildungssysteme. Erste Versuche zu diesem Verfahren wurden in den 30er Jahren unseres Jahrhunderts angestellt. Heute werden die meisten Beobachtungen in der astronomischen Forschung nach dem fotografischen oder dem lichtelektrischen Verfahren durchgeführt.

Beim lichtelektrischen Verfahren werden optische Bilder in elektrische Signale umgewandelt.

Die Bilder können mit einer Fernsehkamera aufgenommen und auf einen Bildschirm übertragen bzw. zur Auswertung elektronisch gespeichert werden. Man kann auch ausgewählte Bildpunkte (z. B. die Abbilder einzelner Sterne) nach Helligkeit oder Ort¹ am Himmel untersuchen. Bildwandler nehmen unsichtbare Strahlung (z. B. von Infrarotquellen) auf und setzen sie in sichtbare Bilder um. Spezielle elektronische Bearbeitungs- und Auswerteverfahren ermöglichen eine gegenüber der visuellen Beobachtung erheblich vergrößerte Genauigkeit (Bild 7/2).

Zur Gewinnung von Datenmaterial für die Astronomie mit Hilfe lichtelektrischer Verfahren werden heute folgende Wege beschritten:

Ermitteln der Richtung, aus der die Strahlung zur Erde gelangt. Dabei wird der Ort des Gestirns am Himmel bestimmt. Meist drückt man ihn durch Koordinaten aus.

Messen der Menge der zur Erde gelangenden Strahlung. Dabei wird die scheinbare Helligkeit des Gestirns bestimmt.

Analysieren der Zusammensetzung der Strahlung. Sie läßt Schlüsse auf die physikalische Beschaffenheit und auf die chemische Zusammensetzung der Strahlungsquelle zu.

¹ In der Astronomie lautet der Plural von Ort *Orter*.

Einflüsse der Erdatmosphäre

Die Erdatmosphäre ist eine durch die Schwerkraft an die Erde gebundene dünne Gasschicht. Sie war für die Entstehung des organischen Lebens auf der Erde notwendig und ist es auch für dessen Erhaltung. Als „kosmischer Schutzmantel“ bewahrt sie das Leben vor gefährlichen Bestandteilen der Sonnenstrahlung und vor anderen schädlichen Strahlungen aus dem Weltall und schützt vor dem ungebremsten Aufschlag kosmischer Kleinkörper.

Für die verschiedenen Strahlungsarten besitzt die Erdatmosphäre unterschiedliche Filtereigenschaften.

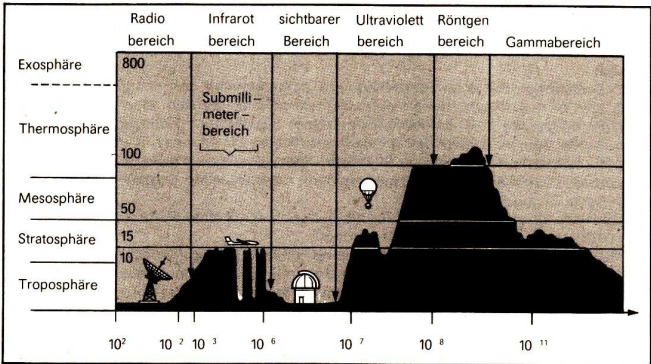
Deshalb ist es aber auch nicht möglich, von der Erde aus alle Bestandteile der von den Himmelskörpern ausgesandten Strahlung zu empfangen. Das bedeutet eine erhebliche Einschränkung der von der Erde aus gewinnbaren astronomischen Informationen (Bild 8/1).

Hinsichtlich der Beobachtbarkeit astronomischer Objekte spricht man vom „Radiofenster“ bzw. vom „optischen Fenster“. In dem an das optische Fenster angrenzenden Bereich des Infrarot ist für hochgelegene Bergobservatorien in wasserdampfarmen Klimazonen der Erde eine eingeschränkte Beobachtung möglich. Andere Strahlungsarten werden in verschiedenen Höhen absorbiert und reflektiert.

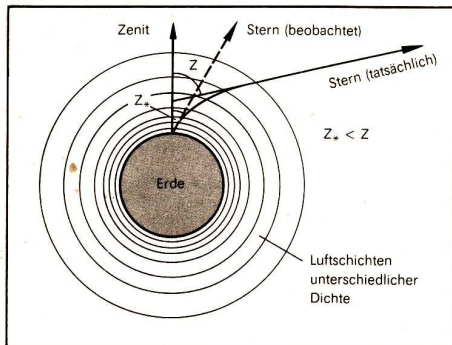
Die Eigenschaften unserer Lufthülle führen zu einer Reihe von Effekten, die astronomische Beobachtungen beeinflussen.

Taghimmelshelligkeit

Durch stärkere Streuung des kürzerwelligen, blauen Lichtanteils der Sonnenstrahlung an den Luftmolekülen erscheint der Taghimmel blau. Im Fernrohr können daher neben Sonne und Mond am Tage nur die hellsten Objekte wahrgenommen werden.



8/1 Schichtung der Erdatmosphäre und Durchlässigkeit für verschiedene Strahlungsarten



9/1 Entstehung der Refraktion

Nachthimmelslicht

Die natürliche nächtliche Himmelsaufhellung, z. T. durch irdische Verursacher verstärkt (z. B. Streulicht in der Dunstglocke einer Großstadt), verringert die Zahl beobachtbarer Sterne. Bei Beobachtungen wird daher stets die Qualität der Durchsicht nach einer Bewertungsskala eingeschätzt, die ähnlich der Zensurenkala aussagt: 1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = genügend, 5 = ungenügend (Beobachtungsaufgabe nicht lösbar). [1/1]

Atmosphärische Refraktion

Die Dichteschichtung der Atmosphäre bewirkt nach dem Brechungsgesetz eine Ablenkung der Lichtstrahlen aus ihrer ursprünglichen Richtung (Bild 9/1). Mit abnehmender Höhe über dem Horizont erscheinen astronomische Objekte daher immer stärker in ihrem Ort verfälscht, und zwar erscheinen sie angehoben. Die Refraktion besitzt im Horizont den größten Wert mit rund 0,5 Grad; d. h., ein Gestirn, das für einen Beobachter geometrisch exakt im Horizont stehen müßte, wird von diesem wegen der Refraktion 0,5° über dem Horizont gesehen. Im Scheitelpunkt des Himmelsgewölbes (dem Zenit) hat die Refraktion den Wert Null.

Atmosphärische Extinktion

Streuung und Absorption des Lichts an Molekülen und Staubteilchen der Erdatmosphäre bewirken eine Lichtschwächung der beobachteten Objekte. Die so hervorgerufene Abschwächung der Intensität des Lichts wird atmosphärische Extinktion genannt.

In der Nähe industrieller Ballungsgebiete und großer Städte ist die Extinktion auch in den Himmelsrichtungen unterschiedlich. Sie wirkt ferner auf bläulich gefärbte Sterne deutlicher bemerkbar als auf rötliche.

Szintillation (Seeing)

Kurzzeitig veränderte Brechungseigenschaften der Atmosphäre führen zur rasch wechselnden scheinbaren Richtungs-, Helligkeits- und auch Farbänderung betrachteter Sterne („Funkeln“ der Sterne). Infolge dieser als Szintillation bezeichneten Erscheinung können sich beispielsweise die auf Himmelsfotografien abgebildeten Sterne mit unterschiedlich großen Durchmessern abbilden. Bei zu starken Vergrößerungen bewirkt die Szintillation ständig wechselnde kurzzeitige Abbildungsunschärfen. Auch die Szintillation wird mit „Zensuren“ von 1 bis 5 bewertet. [1/2]

Mit Gebirgsobservatorien oder durch die Installation spezieller Empfängeranordnungen in Flugzeugen, Ballonen und Höhenraketen kann man die atmosphärische Beeinflussung teilweise, mit Raumflugkörpern dagegen ganz umgehen (extraterrestrische Astronomie).

Astronomische Datenwerke

Astronomische Datenwerke sind Hilfsmittel für den beobachtenden Astronomen. Die Bezeichnung läßt erkennen, wofür sie verwendet werden:

Astronomische Kalender und Jahrbücher geben überwiegend in Tabellenform Übersichten über vorausberechnete astronomische Erscheinungen.

Astronomische Telegramme, Zirkulare und Schnellinformationen machen Entdeckungen rasch einem breiten Interessentenkreis bekannt und fordern zu kurzfristigen Beobachtungen auf.

Kataloge, Verzeichnisse und Durchmusterungen sind Zusammenstellungen der Orte und anderer Eigenschaften bestimmter kosmischer Objekte.

Karten, Atlanten und Globen des Sternhimmels sind bildhafte Darstellungen, die zur Veranschaulichung beitragen. Sie erfüllen beim Aufsuchen und Identifizieren von Objekten eine wichtige Funktion.

Fragen und Aufträge

- 1/1 Üben Sie durch Beobachtung mit dem unbewaffneten Auge an mehreren Abenden das Schätzen der Güte der atmosphärischen Durchsicht nach der Bewertungsskala (1 bis 5)!
 - 1/2 Erarbeiten Sie sich durch Beobachtung mit bloßem Auge und durch Fernrohrbeobachtungen das Beurteilungsvermögen für die Szintillation nach der Bewertungsskala (1 bis 5)!
- Führen Sie dazu Beobachtungen in Horizontnähe sowie in mittlerer Höhe durch!

Mit dem gegenüber dem menschlichen Auge wesentlich größeren Fernrohrobjektiv vergrößert sich gleichsam die Lichteintrittsfläche gegenüber der Pupillenöffnung des menschlichen Auges. Ein Objektiv mit 50 mm Durchmesser kann deshalb im Vergleich zur Beobachtung mit dem bloßen Auge (Pupillendurchmesser etwa 5 mm) jeden Stern theoretisch einhundertmal heller darstellen. Gleichzeitig wird die Sichtbarkeit auf Sterne ausgedehnt, die einen hundertmal geringeren als den Lichtstrom aussenden, für den das bloße Auge noch empfindlich ist. Das ist gleichbedeutend damit, daß die „Reichweite“ eines solchen Fernrohrs zehnmal größer ist als die des menschlichen Auges. **Wichtige Kenndaten eines Fernrohrs sind der Durchmesser und die Brennweite seines Objektivs.**

Beim Schulfernrohr Telementor beträgt der Gewinn an Lichtstärke rund das 130fache, der Entfernungsgewinn rund das 12fache gegenüber dem bloßen Auge. Das lichtstärkste Fernrohr der Welt, ein Spiegelfernrohr mit einem Spiegeldurchmesser von 6 m, befindet sich nahe dem kleinen Ort Selentschukskaja im Kaukasus (UdSSR). Es könnte noch das Licht einer Kerze nachweisen, die sich um mehr als eineinhalb Erddurchmesser entfernt befände.

Technische Grundlagen für die visuelle Beobachtung

Fernrohre

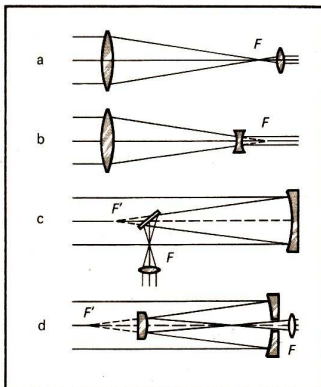
Fernrohre, auch Teleskope genannt, bilden weit entfernte Objekte größer ab, als das durch das bloße Auge geschieht; punktförmige Lichtquellen erscheinen heller.

Nach der Art des verwendeten Objektivs und dem physikalischen Prinzip der Abbildung unterscheidet man das Linsenfernrohr (Refraktor) und das Spiegelfernrohr (Reflektor).

Beim Linsenfernrohr wird das Bild durch Brechung (Refraktion) an dem zumeist mehrteiligen, mit unterschiedlichen Krümmungsradien gefertigten und aus verschiedenen Glasarten bestehenden Linsenobjektiv mit der Gesamtwirkung einer Sammellinse erzeugt. Durch die Kombination mehrerer Linsen gleicht man die bei einer einzelnen Linse auftretenden Abbildungsfehler aus. Dazu tragen die unterschiedlichen Brechungseigenschaften der verwendeten Glassorten bei (Bild 12/1).

Beim Spiegelfernrohr entsteht das Bild durch Spiegelung (Reflexion) des Lichts an der konkav gekrümmten und mit einer Reflexionsschicht (Aluminium oder Silber) bedampften Oberfläche eines Hohlspiegels aus Glas oder Glaskeramik.

Das in der *Brennebene* (Fokalebene) jedes Fernrohrs entstehende Bild ist verkleinert, reell und umgekehrt und kann auf fotografischen Schichten abgebildet werden. Der Schnittpunkt der optischen Achse mit der Brennebene wird *Brennpunkt* genannt. Der Abstand des Brennpunktes vom Hohlspiegel oder von der Hauptebene eines Linsenobjektivs ist die *Brennweite*.



12/1 Strahlengang

- im astronomischen (Keplerschen) Fernrohr,
- im Galileischen Fernrohr,
- im Spiegelteleskop nach Newton,
- im Spiegelteleskop nach Cassegrain

Durch Einbringen einer kurzbrennweitigen Lupe (Okular) in den Strahlengang wird das Bild vergrößert. Diese Lupe wirkt als Projektionsobjektiv (Projektiv), wenn das Bild dahinter auf einem weißen Schirm aufgefangen oder fotografiert wird (z. B. bei Sonnenbeobachtungen). Die Bildschärfe ist durch eine *Fokussiereinrichtung* (Feintrieb) einstellbar, mit der der Abstand zwischen Objektiv und Okular (Lupe) verändert wird. Der Durchmesser des Objektivs wird als *Öffnung* bezeichnet.

Allgemeine Angaben zu astronomischen Fernrohren sind

- Art (Refraktor oder Reflektor),
- Typ (evtl. spezielles Spiegelteleskop),
- Fabrikat (Herstellerfirma und Baujahr),
- Typ des Objektivs (z. B. Fraunhofer-Achromat o. ä.),
- Objektivdurchmesser D (Öffnung) in mm,
- Objektivbrennweite F in mm,
- Austrittspupille d des Okulars (Durchmesser des aus dem Okular austretenden Lichtbündels) in mm,
- Okularbrennweite f in mm,
- Art der Montierung.

Die optischen Kenndaten eines Fernrohrs vermitteln einen raschen Überblick über seine Einsatzgebiete. Zu den Kenndaten gehören:

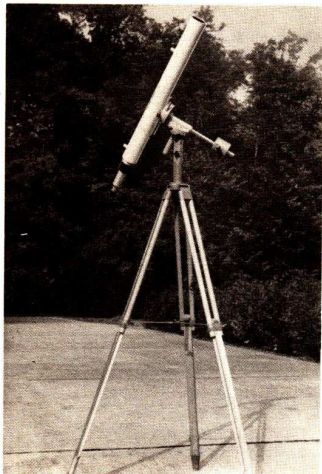
- das Öffnungsverhältnis D/F . Das Öffnungsverhältnis ist ein Maß für die Lichtstärke des Instruments.
- die Vergrößerung $V = \frac{F}{f} = \frac{D}{d}$: gibt an, wievielfach größer der Sehwinkel eines Gegenstandes mit Fernrohr gegenüber dem Sehwinkel ohne Fernrohr ist.
- der Abbildungsmaßstab: Verhältnis der Bildgröße zur Gegenstandsgröße bei der optischen Abbildung; Funktion der Brennweite, für fotografische Zwecke s. Faustregel S. 73 und Tab. 4/2.

- das Gesichtsfeld: Durchmesser des visuell beobachteten Himmelsausschnitts, weitgehend vom Typ des Okulars und dessen Brennweite abhängig.
- das Auflösungsvermögen: angegeben in Bogensekunden, der kleinste Abstand zweier Bildpunkte, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden können. Das Auflösungsvermögen nimmt mit wachsendem Objektivdurchmesser zu.
- die Grenzgröße: die geringste noch nachweisbare scheinbare Helligkeit eines Gestirns, angegeben in Größenklassen.

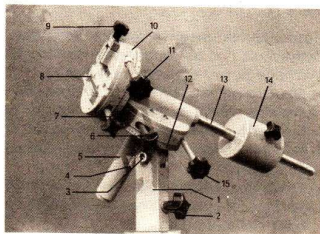
Das Schulfernrohr Telementor

Das zur Grundausstattung jeder Oberschule in der DDR gehörende Schulfernrohr Telementor (Bild 13/1) ist optisch und mechanisch für alle Beobachtungsaufgaben im obligatorischen und fakultativen Astronomieunterricht geeignet.

Aufbau. Das Holzdreibeinstativ ist in der Höhe verstellbar. Durch Korrektur der Stativbeine kann der Stativzapfen mit Hilfe einer Dosenlibelle in senkrechte Stellung gebracht werden. Als ortsfeste Stativsäule empfiehlt sich aber besser ein einbetoniertes Stahlrohr von etwa 80 bis 100 mm Durchmesser mit aufgesetztem, 70 mm langem Stativzapfen aus nichtrostendem Material von 20 mm Durchmesser. Der Zapfen ist gut zu fetten und mit einer Kappe zu schützen. Das Holzstativ steht dann für Expeditionen oder zur weiteren Verwendung als Fotostativ oder zur Aufnahme von Winkelmeßinstrumenten zur Verfügung.



13/1 Schulfernrohr Telementor



13/2 T-Montierung

- 1 Polkopf
- 2 Klemmschraube für Polkopf
- 3 Klemmschraube für Polhöhe (Imbußschlüssel)
- 4 Skale für Polhöhe
- 5 Stundenachse
- 6 Klemmung in Stunde
- 7 Klemmung in Deklination
- 8 Prismenführung
- 9 Klemmschraube für Prismenführung
- 10 Deklinations- (Höhen-) Kreis
- 11 Feinbewegung in Deklination
- 12 Stunden- (Azimutal-) Kreis
- 13 Deklinationsachse
- 14 Ausgleichgewicht mit Klemmung
- 15 Feinbewegung in Stunde

Die Montierung (Bild 13/2) wird mit dem Polkopf bei gelockerter Klemmschraube auf den Stativzapfen aufgesetzt und arretiert. Anschließend kann mit dem Imbusschlüssel die Polhöhe entsprechend der geographischen Breite für den Einsatz im Äquatorsystem bzw. die Polhöhe 90° für eine Verwendung im Horizontsystem eingestellt werden. Die Prismenführung mit Klemmung am Montierungskörper dient zur Aufnahme des Fernrohres. Mit dem verstellbaren Schiebekörper wird die einseitige Gewichtszunahme durch das Fernrohr ausgeglichen.

Klemmungen und Feinbewegungen befinden sich für die Stunden- und Deklinationsachse jeweils nebeneinanderliegend.

Die Feinbewegung „in Stunde“ (auch „Stundentrieb“) erlaubt, das Instrument etwa 30 Minuten lang der scheinbaren Drehung des Himmels nachzuführen.

Die Teilungswerte beider Kreise betragen 1° und sind sowohl für Ablesungen und Einstellungen im Horizontsystem als auch durch Doppelbeschriftung des Stundenkreises im Äquatorsystem geeignet. Das Fernrohr wird mit der Schwalbenschwanzleiste in der Prismenführung der Montierung so eingesetzt und geklemmt, daß Feinbewegungen und Klemmungen vom Okular aus zu erreichen sind. Durch Verschiebungen in der Prismenleiste erfolgt das Ausbalancieren des Fernrohres in Deklination.

Das Fernrohrobjektiv kann mit einem Chromfilter für Sonnenbeobachtungen versehen oder durch eine Kappe verschlossen werden. Eine zweiteilige Visiereinrichtung am Fernrohrtubus erleichtert das Einstellen der Beobachtungsobjekte.

Optische Daten. Hauptoptik ist ein Astroobjektiv von 63 mm freier Öffnung und 840 mm Brennweite (kurz: 63/840). Mit dem Objektiv wird die visuelle Grenzgröße von $11^m,5$ erreicht. Das Auflösungsvermögen liegt bei $1'',8$. Die zur Standardausrüstung gehörenden Okulare H-25 und O-16 können durch die Okulare O-12,5, O-10, O-6 und O-4 ergänzt werden.

Zusatzeinrichtungen erweitern den Einsatzbereich eines Fernrohres, dienen dem Arbeitsschutz und der bequemen Haltung beim Beobachten (Bild 14/1).

Wichtige Zusatzeinrichtungen sind

- Okulare mit verschiedenen Brennweiten für den Wechsel von Vergrößerungen,
- Projektionsschirm und Chromfilter für die Sonnenbeobachtung,
- Kugelgelenk und Klemmhalterung für die Sternfeldfotografie,
- Adapter, Mikroansatzstück und Kamera-Zwischenringe für die Fotografie mit dem Fernrohr,
- Strichkreuzeinsatz als Fein-Visier und Farbgläser zur Kontrastverstärkung oder Lichtdämpfung,
- Zenitprisma und Okularrevolver für bequemes Beobachten in großen Höhen. Der Revolver gestattet raschen Okularwechsel.

Teilweise selbst zu fertigende Ergänzungs- teile werden in den entsprechenden Abschnitten vorgestellt.



14/1 Zusatzeinrichtungen für Schul- und Amateurfernrohre

Wartung und Pflege. Vor jeder Beobachtung ist das Instrument eine hinreichend lange Zeit der Umgebungstemperatur anzupassen. Nach nächtlichen Beobachtungen sollte das Fernrohr bis zum Verdunsten möglicher Feuchtigkeitsreste mit geöffneten Rohrenden für einige Stunden in trockener Umgebung belassen werden. Starke Taufeuchte an Lack- und Metallteilen ist zuvor mit einem weichen Tuch zu beseitigen. Montierungsteile und Rohrtubus werden drei- bis viermal jährlich mit schwach ölhaltiger Watte gepflegt. Zugängliche Gewinde und Lager sind mit säurefreiem Fett zu versehen. Das Holzdreibeinstativ kann in denselben Abständen mit Möbelpolitur eingerieben werden. Pinsel und Pflgetuch sind wie die optischen Teile selbst vor Staub geschützt aufzubewahren. Dafür genügt ein kleiner Plastebeutel. Staub und Fasern auf Linsen werden nur mit einem feinen Pinsel, hartnäckige Flecken mit einem in reinem Alkohol getränkten Wattebausch vorsichtig abgewischt.

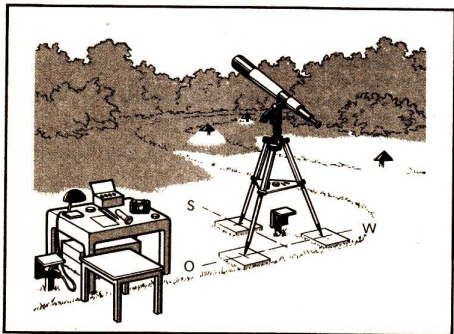
Während beobachtungsfreier Zeiten sollte das Instrument in einem staubfreien und trockenen Raum mit verschlossenen Rohrenden geschützt aufbewahrt bleiben.

Beschädigungen können vermieden werden, wenn der Transport sachgemäß, möglichst in dem dafür vorgesehenen Behälter erfolgt und wenn der Aufbau des Gerätes rechtzeitig und ohne Hast vorgenommen wird. [2/1]

Beobachtungsplatz und Unfallschutz

Als Aufstellungsort wird ein von Fremdeinflüssen möglichst freier Ort gewählt. Er sollte allseitig, muß aber wenigstens für Abschnitte von Ost über Süd bis West gute bis mittlere Horizontsicht gewähren. Im Bereich des Nordhorizonts muß mindestens der Polarstern sichtbar sein (Bild 15/1).

Das Stativ soll sicher und erschütterungsfrei aufgestellt werden. Deshalb ist stets ein fester Untergrund zu wählen. Wenn durch Sandboden oder Grasbewuchs diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, werden Gehwegplatten oder Ziegelsteine, deren Mittelpunkte ein gleichseitiges Dreieck bilden, in den Boden eingelassen. Die Seitenlänge des Dreiecks hängt dann vom mittleren Abstand der Stativfüße ab. Zwei dieser Hilfsfundamente sollten in Ost-West-Position ausgerichtet sein. An dem dazu in Süd- oder Nordrichtung gestellten dritten Stativfuß kann später leicht die Feinkorrektur der Polhöhe erfolgen.



15/1 Der ideale Beobachtungsplatz

Unbedachte Bewegungen können u. U. zu einem Umwerfen des Gerätes führen. Vorbeugend wird dafür der Stativort durch eine helle Farbgebung der Kleinfundamente signalisiert. Zusätzlich können die Stativbeine mit Mikrolux-Reflexfolie beklebt werden. Ein einbetoniertes Säulenstativ erübrigt diese Maßnahmen.

Zu einem idealen Beobachtungsplatz gehören des weiteren: zwei bis drei gedämpfte Leuchten zur Platzorientierung bei Gruppenbeobachtungen, Sitz- und Schreibmöglichkeit mit gedämpftem Leselicht, sachgemäße Ablage für Literatur und Zubehör.

Nächtliche Beobachtungen werden mit Umsicht vorbereitet; dazu gehören: Aufenthalt am zugewiesenen Ort, Beachtung der Stolpergefahr durch evtl. existierende Senken, Stufen oder freiliegende Kabel. Verletzungsgefahr für den Augenbereich besteht durch allzu hastiges Herantreten an das Okular des Fernrohres. Korrekturingriffe sind am Fernrohr nicht statthaft. Bei allen Zeiss-Astro-Montierungen für Schul- und Amateurfernrohre ist die Klemmschraube der Prismenführung leicht lösbar, wodurch das Fernrohr zu Boden stürzen kann. Besondere Umsicht ist ferner bei Sonnenbeobachtungen geboten (→ S. 36).

Fernrohrjustierung

Die Ablese- und Einstellgenauigkeit und die Qualität von Himmelsfotoserien hängen wesentlich von der Genauigkeit der Fernrohraufstellung ab. Die nachstehend gegebenen Hinweise beziehen sich auf das Schulfernrohr Telementor, sind aber auf andere Fernrohr- und Montierungstypen übertragbar.

Horizontsystem. Für Messungen bzw. Einstellungen von Azimut und Höhe ergibt sich die nachstehende Schrittfolge:

- Vertikale Ausrichtung des Stativzapfens nach Dosenlibelle,
- Montierung aufsetzen und Polhöhe auf 90° einstellen,
- Fernrohr montieren, ausbalancieren und Bildschärfe einstellen,
- Einstellen der erwarteten Kulminationshöhe des Gestirns am Deklinationskreis (δ),
- Lockerung der Klemmschraube für die Polhöhe (φ),
- Abwarten des berechneten Zeitpunktes für die obere Kulmination des Gestirns,
- Meridiandurchgang im Fernrohr anvisieren, Polkopf und Polhöhe klemmen.

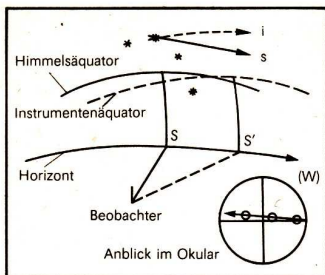
Das Fernrohr ist damit für die Beobachtung justiert. Wurde das Gerät, wie anschließend erläutert, bereits im Äquatorsystem justiert, dann gelangt man durch Einstellen der Polhöhe 90° direkt zum Horizontsystem. [2/2]

Äquatorsystem (genähert). Für viele visuelle Beobachtungen genügt eine genäherte parallaktische Aufstellung, indem am Polende die Polhöhe eingestellt und über die Stundenachse hinweg der Polarstern anvisiert wird.

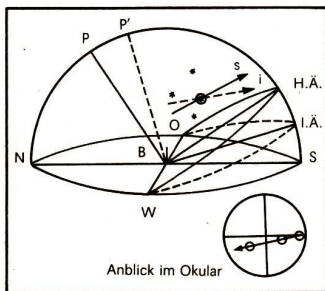
Eine annähernd verlässliche Einstellung kann auch mit dem Übergang vom Horizont- zum Äquatorsystem durch Kippen der Stundenachse (Polhöhereinstellung mit Imbus-schlüssel) auf den Wert der geographischen Breite erfolgen.

Bei Ersteinstellung mit genaueren Ansprüchen ist die Einhaltung folgender Handlungsschritte notwendig:

- Montierung aufsetzen und Polhöhe entsprechend geographischer Breite einstellen,
- Fernrohr montieren, ausbalancieren und Bildschärfe einstellen,
- Stundenwinkel τ für ein markantes Gestirn für einige Minuten im voraus berechnen,
- Rektaszension und Deklination des betreffenden Objekts an den Teilkreisen des Fernrohrs einstellen und beide Achsen festklemmen,
- Klemmung am Polkopf lösen und Berechnungszeitpunkt abwarten,
- Objekt durch Drehung von Fernrohr und Montierung um den Stativzapfen anvisieren und zum Berechnungszeitpunkt Polkopf klemmen. [2/3]



- a) Justierung der Himmelsrichtung
 s Bahn des Sterns,
 parallel zum Himmelsäquator
 i Instrumentenbewegung,
 parallel zum Instrumentenäquator
 S wahre Südrichtung
 S' falsche Südrichtung des Instruments



- b) Justierung der Polhöhe
 P wahrer Himmelsnordpol
 P' falscher Instrumentennordpol
 H.A. wahrer Himmelsäquator
 I.A. Instrumentenäquator
 SWNO Himmelsrichtungen
 s Bahn des Sterns,
 parallel zum Himmelsäquator
 i Instrumentenbewegung,
 parallel zum Instrumentenäquator

Äquatorsystem (genau). Längerbelichtete fotografische Aufnahmen verlangen eine präzise parallaktische Aufstellung. Für die sog. Scheinersche Methode ist ein Okular mit Strichkreuzeinsatz nötig, bei dem ein Strich parallel zur Stundenbewegung ausgerichtet wird. Diese Einstellung ist durch eine „Pendelbewegung“ des Fernrohres um die Stundenachse bei gleichzeitiger Okularrotation erreichbar, bis ein Stern oder ein punktförmiges irdisches Ziel auf dem Strich „läuft“.

– Für die Justierung im Azimut (Bild 17/1a) wird ein äquatornaher Stern einige Minuten vor seiner Kulmination auf den Mittelpunkt des Strichkreuzokulars eingestellt. Zur besseren Sichtbarkeit von Stern und Kreuz leuchtet ein zweiter Beobachter mit einer Taschenlampe seitlich in die Taukappe, sofern nicht eine Hellfeldbeleuchtung (auf S. 80 beschrieben) zur Verfügung steht. Auch vor einem etwas unscharf eingestellten Stern ist das Strichkreuz gut sichtbar. Weicht der Stern bei nachbewegtem und bildumkehrendem Fernrohr vom Kreuzmittelpunkt nach unten ab, dann muß die Stundenachse durch azimutale Drehung der Montierung von Ost nach Süd korrigiert werden. Im umgekehrten Fall beobachtet man eine Abweichung des Sterns nach oben und korrigiert von West nach Süd. Durch Wiederholung an weiteren äquatornahen, vor dem Meridiandurchgang befindlichen Sternen nähert man sich in immer kleineren Schritten der richtigen Einstellung.

– Die Justierung der Polhöhe (Bild 17/1b) erfolgt auf ähnliche Weise. Dafür wird ein in

östlicher Richtung in etwa 25° bis 30° Höhe befindlicher Stern auf die Fadenkreuzmitte eingestellt. Entspricht die eingestellte Polhöhe noch nicht dem tatsächlich erforderlichen Wert, dann weicht der Stern im umkehrenden Fernrohr nach oben ab, und der Anstellwinkel der Stundenachse muß vergrößert werden. Im entgegengesetzten Fall ist er zu verringern.

Da die zu erwartenden Korrekturen gering sein dürften, sollten sie nicht direkt am Polkopf, sondern an der Stativaufstellung erfolgen. Wurde das Stativ zuvor mit zwei Füßen in Ost-West-Richtung aufgestellt (→ S. 15), dann kann durch Unterlegen fester Materialien unter den Süd- oder den Nordfuß bzw. unter Ost- und Westfuß korrigiert werden. Der genauen Einstellung nähert man sich auch hier durch mehrere Beobachtungen an weiteren Sternen mit den o. a. Horizontpositionen.

Zum Horizontsystem kann jederzeit durch Einstellung der Polhöhe 90° übergegangen werden. [2/4]

Wiederverwendbare Justierungen. Steht dem Beobachter ein wiederholt benutzbarer Aufstellungsort zur Verfügung, dann sollten nach einer gelungenen Justierung die Aufsetzpunkte des Dreibeinstativs unverwischbar markiert werden. Vor Abnahme der Montierung können an deren Kopf und am Stativ hierzu Klebmarken angebracht werden.

Noch genaueren Ansprüchen genügt die folgende Methode: Vor dem Abbau von Montierung und Fernrohr wird bei stärkerer Vergrößerung ein entfernter fester Geländepunkt (Schornstein, Fensterkreuz o. ä.) anvisiert. Von dieser Einstellung notiere man sich τ und δ . Für jede nachfolgende Aufstellung sind dann diese Koordinaten wieder einzustellen und zu klemmen. Durch Fernrohrschwenk um den noch ungeklebten Stativzapfen bis zum Erscheinen des Visierpunktes im Gesichtsfeld wird die zuvor erreichte Justierung wiedergewonnen. Insbesondere an einbetonierten Stativsäulen ist hierdurch die Justiergenauigkeit wie an stationären Instrumenten gewährleistet. [2/5]

Beobachtungsausrüstung

Zu den Unterlagen gehören: Kalender für Sternfreunde (→ S. 24, im folgenden KfS genannt) bzw. ein handschriftlicher Auszug daraus, drehbare Sternkarte, Protokollblatt und Bleistift sowie Uhr und gedämpft leuchtende Taschenleuchte. Instrumentenzubehör und Kameraausrüstung sollten voneinander getrennt auf der Stativablage und einem Stuhl, möglicherweise schon in der Reihenfolge ihrer Benutzung, abgelegt werden. Mit einer einfachen selbstgefertigten Schreibunterlage genügt man bereits höheren Ansprüchen.

Besondere Aufmerksamkeit gilt der Zeitmessung. Häufige Sternzeitberechnungen kann man sich beispielsweise dadurch ersparen, indem eine Taschenuhr für den Beobachtungsabend nach Sternzeit (→ S. 30) gestellt wird. Die Uhr kann auf dem Schreibtisch einen gesicherten Platz finden. Zusammen mit der genau gestellten Armbanduhr verfügt man so über die notwendigen Zeitinformationen.

Beobachtungsprotokoll

Visuelle Beobachtungen sind im Vergleich zu fotografischen Beobachtungen nur bedingt wiederholbar.

Das liegt daran, daß subjektive Faktoren (bis hin zu Irrtümern), die in das Beobachtungsergebnis eingeflossen sind, nach Abschluß der Beobachtung nur schwer oder gar nicht mehr ermittelt werden können. Deshalb ist eine präzise Dokumentation notwendig.

Zu der Dokumentation der Beobachtung in Form von Zeichnungen, Skizzen, Meßwerten

oder beschreibenden Worten sollen folgende Informationen aus den Kopfangaben des Protokolls hervorgehen:

1. Beobachtungsobjekt bzw. Erscheinung mit Thema oder Aufgabe,
2. Beobachtungsdaten mit Namen des Beobachters,
3. Beobachtungssituation, besonders Sicht (s. S. 9) beeinflussende Witterungsfaktoren (Wind, Nebel), störende Umweltflüsse (künstliche Lichtquellen, Schornsteinrauch),
4. Beobachtungstechnik: benutztes Instrument, Vergrößerung, verwendete Zusatzeinrichtungen oder Meßgeräte.

Auswertung und Fehlerbetrachtungen stehen als Nachbereitung allgemein am Schluß des Protokolls.

Es empfiehlt sich, ein Beobachtungsbuch anzulegen, in das alle Protokolle eingetragen werden.

Einige Grundlagen für die fotografische Beobachtung

Abgesehen von den Großkörpern des Sonnensystems handelt es sich in der Astrofotografie bei den abzubildenden Objekten zumeist um Strahler mit geringer Lichtintensität. Dies bedingt zum Teil extrem lange Belichtungszeiten, die ihrerseits eine exakte Nachführung der Kamera auf das mit der scheinbaren täglichen Himmelsdrehung bewegte Objekt verlangen.

Fernrohr und Kamera müssen auf einer gemeinsamen, genau justierten parallaktischen Montierung fest miteinander verbunden sein.

Fotomaterialien besitzen die Eigenschaft, Lichteinwirkungen über eine bestimmte Zeit hinweg zu sammeln. Daher ist die fotografische Beobachtung bei Verwendung ein und desselben optischen Systems weitreichender als die visuelle Methode. Dies drückt sich in der mit beiden Verfahren erreichten unterschiedlichen *Grenzgröße* aus (auch Grenz-helligkeit genannt [→ Tabelle 2/1]).

Tabelle 2/1 Visuelle und fotografische Grenzgrößen

Objektiv-durchmesser	Grenzgröße (visuell)	Grenzgröße (fotografisch)*
5 cm	10 ^m 3	11 ^m 0
25 cm	13 ^m 2	14 ^m 3
50 cm	14 ^m 5	16 ^m 0
* nach 10-minütiger Belichtung		

Fotografische Emulsionen

Eine auf einem Trägermaterial (Glas oder Azetylzellulose) aufgetragene lichtempfindliche Gelatineschicht wird fotografische Emulsion genannt. Schwarzweiß-Emulsionen (s/w) bestehen aus einer, *Coloremulsionen* (Farbfilme) dagegen aus drei übereinander aufgetragenen Schichten. Von diesen ist je eine für die Grundfarben blau, grün und rot empfindlich. Nach der Entwicklung und der Fixierung entsteht der Farbeindruck durch Mischung der Grundfarben. In der astronomischen Forschung wird meist mit Schwarzweiß-Emulsionen gearbeitet.

Die *Schwärzung* der Emulsion hängt weitgehend von der Intensität des Lichtes und der Belichtungszeit ab. Verdoppelte Schwärzung tritt jedoch nicht mit verdoppelter, sondern erst nach längerer Belichtungszeit ein. Die *Filmempfindlichkeit* ist ein Maß dafür, welche Schwärzung sich bei einer bestimmten Belichtungszeit und einer bestimmten Lichtintensität einstellt.

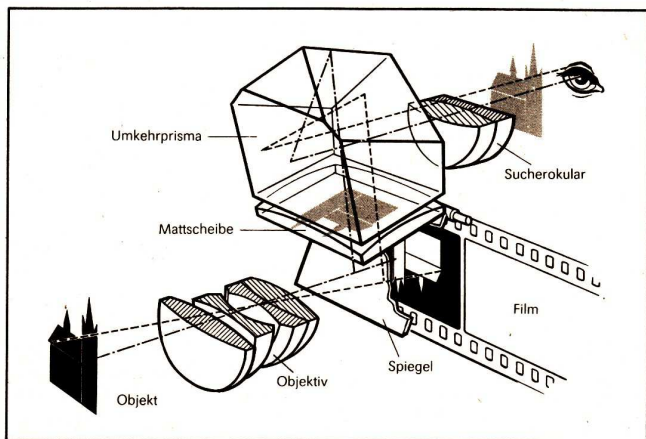
In der DDR werden Filmempfindlichkeiten in DIN angegeben. So entsprechen z. B. 15 DIN dem s/w-Material NP 15 oder 23 DIN dem Color-Positiv-Material UT 23. Mit wachsenden Zahlen wächst auch die Filmempfindlichkeit, mit der jedoch allgemein auch die Körnigkeit der Emulsion zunimmt.

Die Kamera

Sie ist ein Instrument zur Erzeugung eines reellen Bildes auf einer fotografischen Emulsion durch Lichtbrechung in einem optischen Linsensystem. Das Bild kann bei Spiegelreflexkameras zuvor durch einen Lichtschacht oder durch ein Umkehrprisma (Prismensucher) beurteilt werden (Bild 20/1). Die Belichtung erfolgt durch Öffnen des Kameraverschlusses. Meist lassen sich die Objektive auswechseln (Weitwinkel-, Normal-, Tele- oder Fernrohrobjektiv).

Für die Amateur-Astrofotografie werden meist handelsübliche Kleinbild-Spiegelreflex-Kameras benutzt, aber auch 6×6 cm-Rollfilm- oder 6×9 cm-Plattenkameras.

Astronomische Spezialkameras sind auf die Forderungen, die durch das spezielle Forschungsproblem entstehen, bereits eingestellt. So genügt es beispielsweise, wenn die



20/1 Strahlengang in einer einäugigen Spiegelreflexkamera mit Umkehrprisma

Verschlusszeiten bei *Sonnenkameras* innerhalb eines durch Erfahrungen bestimmten Toleranzbereiches liegen. Bei *Astrographen* hingegen, die bei festem Schärfe­punkt große Himmelsbereiche durch Langzeitbelichtungen erfassen, wird lediglich durch das Abnehmen der Verschlusskappe des Objektivs belichtet.

Der Astrograph. Jeder fest mit einem parallaktisch montierten Fernrohr verbundene Fotoapparat wird als Astrograph bezeichnet. Der Fotoapparat wird so nahe wie möglich am Schwerpunkt der Fernrohrmontierung auf der Deklinationsachse befestigt.

Über den Mindestabstand zum Schwerpunkt der Montierung entscheidet neben der Toleranz des Ausgleichsgewichts auch das Gesichtsfeld der Kamera. In dieses darf das zum Leitrohr gewordene Fernrohr nicht hineinragen. Die Bildmitte von beiden optischen Systemen sollte übereinstimmen. Die Stellhebel für Klemmungen und Feinbewegungen müssen bei der bevorzugten Nutzungsrichtung bequem vom Okular aus zu erreichen sein.

Kennwerte von Astrographen sind:

Objektivdurchmesser D (in mm), auch „freie Öffnung“ oder nur „Öf­f­nung“ genannt. Durch D ist die (theoretisch) erreichbare Grenzgröße bei der Abbildung punktförmiger Objekte bestimmt.

Objektivbrennweite F (in mm), wichtig für den Abbildungsmaßstab. So bildet z. B. ein 500-mm-Teleobjektiv auf dem Format 24×36 mm einen Himmelsausschnitt von rund $2,8 \times 4,2$ Grad ab.

Öffnungsverhältnis. Als Öffnungsverhältnis bezeichnet man den Quotienten von Objektivdurchmesser und Objektivbrennweite D/F . Ein Fernrohr mit $D = 80$ mm und $F = 1200$ mm besitzt demzufolge ein Öffnungsverhältnis von 80:1200 bzw. 1:15 (vgl. S. 12).

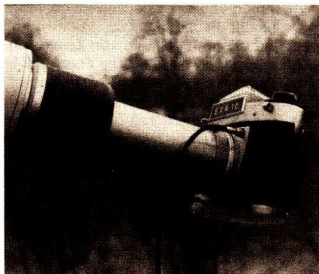
[2/6]

Das Öffnungsverhältnis entscheidet über die Schwärzung der fotografischen Emulsion. Bei gleichen Öffnungsverhältnissen tritt bei gleichen Aufnahmebedingungen und -materialien auch gleiche Schwärzung ein, unabhängig von der eingesetzten Brennweite. Bei kleineren Öffnungsverhältnissen treten Abbildungsfehler stärker zurück.

Das Fernrohr als Vorsatzoptik der Kamera

Für Momentaufnahmen hinreichend heller Objekte (Sonne, Mond, Planeten) kann jedes Fernrohr die Funktion eines langbrennweitigen Kameraobjektivs übernehmen. Unter Beachtung der auftretenden Gewichtsveränderungen in beiden Achsensystemen bestehen wahlweise folgende Kombinationsmöglichkeiten:

Fokalfotografie. Hierbei wird die fotografische Emulsion im Brennpunkt (lateinisch: focus) des Fernrohr­objektivs angeordnet. Das Kameragehäuse wird mit Hilfe eines Adapters (auch Anschlußring oder Reduzierstück 44×1 auf 42×1 Gewinde für Practica- oder neuere Exa-Typen bzw. von 44×1 Gewinde auf Bajonettverschluß für



21/1 Schulfernrohr Telementor
mit angesetzter Kamera Exa Ib

Exacta- oder ältere Exa-Typen) am Okulärauszug des Fernrohrs fest verbunden. Die Scharfeinstellung erfolgt am Fernrohr (Bild 21/2).

Fernrohrfotografie. Die auf Unendlich eingestellte Kamera wird mit dem Normalobjektiv an den Augenring des Fernrohrokulars gehalten. Das Bildmotiv ist zuvor am Fernrohr scharf einzustellen. So können bis zu einer Belichtungszeit von $\frac{1}{10}$ Sekunde „Schnappschüsse“ gewonnen werden.

Projektionsfotografie. Diese Methode führt im Vergleich zur Fokalfotografie durch Zwischenschaltung eines Okulars (Projektiv) zur Vergrößerung des Abbildungsmaßstabes. Je nach Brennweite des Okulars und seinem Abstand zur Filmebene können formatfüllende Fotos von Sonne und Mond bis hin zu Ausschnittsvergrößerungen gewonnen werden. Die wachsenden Abbildungsmaßstäbe erfordern infolge der geringer werdenden Flächenhelligkeit eine Verlängerung der Belichtungszeit.

Folgende apparative Anordnungen sind möglich:

a) Die Aufnahme des Projektiivs erfolgt durch ein Mikroansatzstück für den betreffenden Kameratyp. Das Teil kann am Fernrohr befestigt, das Okular (zumeist nach Abnahme des Augenringes) darin geklemmt und anschließend die Kamera angeschraubt werden. Zwischenringe (zum Mikroansatz gehörend) erlauben, den Kameraabstand zum Projektiv (und damit die Bildgröße) zu variieren. Die Anordnung gilt für die Okularbrennweite $f = 25 \text{ mm}$.

Für Sonnenfotos dürfen wegen der Wärmeentwicklung keine gekitteten Okulare verwendet werden.

Das betrifft alle O-Okulare, bei denen die Einzellinsen mit durchsichtigem optischem Kitt aneinandergesetzt sind!

b) Das auf einen weißen Schirm projizierte Sonnenbild wird abfotografiert. Hierfür sind alle Huygens-Okulare (H-Okulare) verwendbar. Die Belichtungszeit kann mit einem Belichtungsmesser ermittelt werden. Die Seitenvertauschung des Fotos ist im Fotolabor durch Wendung des Negativs zu beheben. Wichtiger Nachteil: Das Bild ist durch Schrägaufnahme verzerrt.

c) Abfotografieren des (Sonnen-)Bildes von der Rückseite eines transparenten Projektionsschirmes. Die Bildgüte hängt von der Qualität des Transparentpapiers bzw. von der des Milch- oder Mattglases ab (geringere Bildauflösung und „Hof“-Bildung).

Vorbereitung und Dokumentation

Die fotografische Beobachtung verlangt umsichtige Vorbereitung, da die Qualität der Aufnahmen von einer ganzen Reihe von Einflußfaktoren bestimmt wird:

- sinnvoller Beobachtungszeitraum außerhalb der astronomischen Dämmerung (aus Kalendarien, Beachtung von Zeitverschiebungen während der Sommerzeit).
- Mindesthöhen der Gestirne über dem Horizont von 30° wegen der Extinktion (Bestimmung nach drehbarer Sternkarte).
- Himmelselligkeit durch den Mond (störend oder vertretbar?).

Spezielle Umweltfaktoren bestimmen die Realisierbarkeit durch:

- Horizontsilhouette (wichtig bei städtischen Standorten),
- künstliche Lichtquellen und ihr möglicher Einfluß,
- Grundfestigkeit des Standortes.

Meteorologische Situationen beeinflussen besonders:

- die Sicht (Durchsicht und Luftunruhe, s. S. 8 und 9),
- das spezielle Beobachtungsklima (Temperatur, Wind, Durchzug von Wolkenfeldern, mögliche Nebelbildung usw.).

Tabelle 2/2 Muster für die Kopfleiste eines fotografischen Beobachtungsprotokolls

Objekt Durchsicht	Datum Luftunruhe	Uhrzeit Belichtung wesentliche Behinderungen weitere Bemerkungen		Laufende Nr.
Astrooptik	Nachführung/ Leitstern	Beobachter		
Verfahren	Hilfsmittel	Kamera		
Emulsion	Entwicklersorte	Entwicklertempe- ratur	Entwicklungs- zeit	Signatur

Karten und Fachliteratur

Karten werden für den jeweiligen Verwendungszweck mit der erforderlichen Genauigkeit hergestellt. Da bei Sternkarten die scheinbare Himmelskugel bzw. ein daraus entnommener Ausschnitt stets in der Ebene abgebildet wird, treten besonders zu den Rändern von Karten hin mehr oder minder starke Verzerrungen auf.

Drehbare Sternkarte

Sie dient einer überblicksweisen Orientierung. Sternhelligkeiten und -positionen sind daher nur mit geringer Genauigkeit zu entnehmen. Aus der entsprechenden Einstellung der lichtdurchlässigen Deckscheibe über der Grundscheibe geht der Anblick des Himmels für jeden gewünschten Zeitpunkt hervor. Dieser ist aus dem Oval der Deckscheibe relativ genau für Berlin und mit ausreichender Näherung für alle weiteren Orte in der DDR zu ersehen. Positionen im festen und bewegten Äquator- sowie im Horizontsystem können an Hand von Fixpunkten und Großkreisen auf etwa ± 1 Grad abgeschätzt werden. Durch den Zusammenhang von Koordinaten, Datum mit Uhrzeit (MEZ) und Himmelsrichtungen vermag die drehbare Sternkarte Antworten auf unterschiedliche Fragen zu geben wie: Aufgangs-, Kulminations- und Untergangszeit, Azimutwinkel, Gestirnhöhen, Sichtbarkeitsdauer, Stand der Sternzeituhr, Deklination, Rektaszension, Zenitdistanzen, Himmelsrichtungen, Zirkumpolarkreis u. a. m. (ausführliche Erläuterungen siehe auf der Karte selbst).

Himmelskarten (Sternkarten)

Das sind graphische Darstellungen von Teilabschnitten des Sternhimmels, zumeist in Atlanten zusammengefaßt. Grenzhelligkeiten von Sternen sind darin weitreichender und die Positionen der Objekte genauer als auf der drehbaren Sternkarte angegeben. Das Gradnetz von Karten bezieht sich auf ein bestimmtes Jahr. Wegen der sich nur geringfügig ändernden Koordinaten besitzt eine Karte über Jahrzehnte hinweg im Rahmen der hier besprochenen Beobachtungen eine ausreichende Genauigkeit.

Zum Eintragen des Bahnverlaufs von Kometen, Planeten, Planetoiden und künstlichen Erdsatelliten nach Koordinaten eignen sich:

- Handkarte Die Sterne, Haack Gotha 1982 (Grenzhelligkeit 6^m5, Koordinaten gültig für das Jahr 2000)
- S. Marx/W. Pfau: Sternatlas (1975.0), Verlag Johann Ambrosius Barth Leipzig 1983 (Grenzhelligkeit 6^m0, für 3 Detailkarten 14^m5)

Zur genäherten Positionsbestimmung beobachteter Planeten, Planetoiden, Kometen, No-vae, Meteore oder Erdsatelliten eignet sich:

- A. Bečvář Atlas Coeli 1950.0, Prag 1956 (Grenzhelligkeit 6^m0)

Nach diesem Atlas können Umgebungs- und Aufsuchungskarten für Planetoiden und veränderliche Sterne gezeichnet werden. Weiteres Material ist zumeist an einer Volks- oder Schulsternwarte vorhanden.

Mondkarten mit guter Detailwiedergabe sind:

- Haack-Wandbildkarte „Erdmond“ (Vorder- und Rückseite)
- Haack-Handkarte „Erdmond“ (Vorder- und Rückseite), Haack Gotha/Leipzig 1973.

Kataloge (Sternverzeichnisse) und astronomische Kalender

Die Angaben beziehen sich wie bei Sternkarten auf ein bestimmtes Jahr. Je nach Gesichtspunkt des Kataloges werden Sternverzeichnisse, Positions-, Helligkeits-, Spektral-, Eigenbewegungskataloge u. ä. m. unterschieden. Doppelstern-, Veränderlichen- oder Nebelkataloge sind Zusammenstellungen von Vertretern einzelner Objektgruppen.

Für die Durchführung der in diesem Buch besprochenen Beobachtungen genügen allgemein die auszugsweisen Katalogangaben aus dem von P. Ahnert jährlich herausgegebenen „Kalender für Sternfreunde“ (KfS). Weiterreichende Informationen enthält die vom gleichen Autor erschienene „Kleine praktische Astronomie“ (2. Aufl. Leipzig 1983).

In der DDR erscheinende astronomische Kalender sind:

- P. Ahnert: Kalender für Sternfreunde, Verlag Johann Ambrosius Barth Leipzig
- E. Rothenberg: Blick in die Sternenwelt, Astronomischer Kalender der Archenthal-Sternwarte Berlin-Treptow

Forschungssternwarten

Forschungssternwarten, auch als astronomische Observatorien bezeichnet, sind die wichtigsten Einrichtungen zur Vermehrung und Vertiefung des astronomischen Wissens. Sternwarten der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) erfüllen ausschließlich Forschungsaufgaben, Universitätssternwarten sind Zentren der Forschung und der Ausbildung.

Besonders seit der Entstehung der Astrophysik um die Mitte des 19. Jahrhunderts hat die Spezialisierung in der Astronomie ständig zugenommen. Sie hat dazu geführt, daß jede Sternwarte nur ganz bestimmte Aufgabengebiete bearbeitet.

Gegenwärtig ist die astronomische Forschung in der gesamten Welt in über 200 Spezialdisziplinen aufgefächert. An dem astronomischen Kenntniszuwachs aus allen Disziplinen sind insgesamt etwa 6000 wissenschaftlich Arbeitende beteiligt.

Instrumente. Jede Sternwarte besitzt ein Hauptinstrument. Meist sind das Spiegelteleskope, deren Objektive aus technologischen Gründen in größeren Abmessungen herstellbar sind als Linsenobjektive. Die Errichtung neuer, leistungsfähigerer Fernrohre geschieht stets nach gründlicher Prüfung des vorgesehenen Ortes hinsichtlich eines festen Baugrundes, guter atmosphärischer Durchsicht und geringer Luftunruhe, minimalen Streulichtes irdischer Verursacher und eines meteorologisch günstigen Jahresdurchschnitts an klaren Nächten.

Tabelle 2/3 Einige Forschungssternwarten und ihre Arbeitsgebiete

in der DDR	in anderen Ländern
Astrophysikalisches Observatorium Potsdam/AdW (Sternphysik, Magnetfelder, Gravitationstheorie) Sternwarte Babelsberg/AdW (Kosmologie, Weltall, Kalender) Sternwarte Sonneberg/AdW (veränderliche Sterne, Fotometrie, junge Sterne, Himmelsüberwachung) Karl-Schwarzschild-Observatorium Tautenburg/AdW (Fotometrie, Spektren, Weltall) Sonnenobservatorium Einsteinurm Potsdam/AdW (Sonnenphysik) Lohrmann-Observatorium/TU Dresden (Sternbedeckungen durch den Mond, Astrometrie, Ausbildung) Universitäts-Sternwarte Jena (interstellare Materie, Ausbildung)	Konkoly-Observatorium Budapest/Ungarn (veränderliche Sterne, Milchstraßensystem, Erdsatelliten) Max-Planck-Institut Bonn/BRD (Magnetfelder, interstellare Moleküle, Sternsysteme) Mount-Stromlo- und Siding-Spring-Observatorium Canberra/Australien (Spektroskopie, Durchmusterungen) Königliches Greenwich-Observatorium Herstmonceux/Großbritannien (Fotometrie, Spektren, Weltall) Astrophysikalisches Spezialobservatorium Selentschukskaja/UdSSR (Radioastronomie, Weltall) Astronomisches Observatorium Tokio/Japan (Spektroskopie, Fotometrie, Satelliten, Ausbildung) Nationales Astronomisches Observatorium Kitt Peak, Tucson/USA (Sonnenphysik, Weltall)

In der DDR erfolgte z. B. die Erweiterung der im Zentrum der Industriestadt Jena gelegenen Universitäts-Sternwarte 1963 mit einer Außenstelle bei Großschwabhausen. Bereits 1960 war als neues Institut das Karl-Schwarzschild-Observatorium mit einem 2-m-*Universalteleskop* in Tautenburg bei Jena nach ähnlichen Auswahlkriterien entstanden. Die modernen Großteleskope, deren Spiegeldurchmesser bis zu sechs Meter betragen, können nach Umrüstung in verschiedenen optischen Varianten benutzt und damit an unterschiedliche Beobachtungsaufgaben angepaßt werden. Mit der Umrüstung ist die Veränderung wichtiger optischer Parameter wie Brennweite, Öffnungsverhältnis und Gesichtsfeld verbunden.

An größeren Sternwarten stehen meist noch weitere Fernrohre unter Beobachtungskuppeln oder Schutzhütten für Routineaufgaben, z. B. für die Überwachung veränderlicher Sterne und Novae, die Fotometrie, für die Sonnenbeobachtung oder zur Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond zur Verfügung. Einige ältere Refraktoren, die in zurückliegenden Jahrzehnten zur visuellen Doppelsternbeobachtung oder zur Fotografie von Sternfeldern und Sternspektren herangezogen wurden, sind heute außer Betrieb. Teilweise können qualitativ hochwertige Beobachtungen infolge städtebaulicher Erweiterungen nicht mehr durchgeführt werden.

Freundschaftliche Zusammenarbeit, insbesondere mit Hochgebirgssternwarten in der UdSSR, ermöglicht die Gewinnung umfangreicher und hochwertiger Beobachtungsergebnisse auch für Astronomen der DDR.

Überall dort, wo es um die scheinbare Ausdehnung, Distanzen oder Positionen von Objekten geht, sind Winkelmessungen erforderlich. Winkelmeßinstrumente auf teilweise schweren Präzisionsmontierungen, die mit Fernrohren, Kreisteilungen und Mikrometern versehen sind, dienen der Zeitbestimmung bei Meridiandurchgängen von Sternen oder der Höhenmessung. Einige Sternwarten besitzen daher *Durchgangs-* oder *Passagein-*

strumente und *Meridiankreise* zur Bestimmung der Koordinaten von Sternen. Durch unbewegliche, auf den Zenitpunkt ausgerichtete *Zenitteleskope* kann aus zenitnahen Sternpassagen die Polhöhenchwankung kontrolliert werden. Mit Computern verbundene Koordinatenmeßgeräte liefern Datenmaterial über scheinbare Helligkeiten und Koordinaten von Sternen. In teils unterirdisch gelegenen klimatisierten Spektrographenkeltern kann das Spektrum von Sternen oder das der Sonne analysiert werden.

Neuartige Vermessungsanlagen für geophysikalische und geodätische Aufgaben entstanden z. B. mit Laser-Radar-Geräten. Im Nano-Sekundenbereich erhält man aus der Laufzeit des von Erdsatelliten reflektierten Lasersignals die Entfernung der Raumflugkörper in der Größenordnung von etwa 1 m genau. Die Stahlkonstruktionen der *Radioteleskope* prägen das äußere Bild radioastronomischer Observatorien.

Fragen und Aufträge

- 2/1 Prägen Sie sich die Bezeichnungen der Bauteile des Schulfernrohrs ein und üben Sie unter Anleitung, das Schulfernrohr beobachtungsgerecht zusammenzusetzen und aufzustellen!
- 2/2 Üben Sie bei vorangeschrittener Abenddämmerung, helle Sterne im Fernrohr einzustellen, und lesen Sie die Höhen und die Azimute dieser Sterne ab!
- 2/3 Üben Sie bei vorangeschrittener Abenddämmerung, helle Sterne im Fernrohr einzustellen, und identifizieren Sie diese Sterne mit Hilfe der drehbaren Sternkarte!
- 2/4 Justieren Sie das Schulfernrohr!
- 2/5 Demonstrieren Sie am Fernrohr, wie eine wiederverwendbare Justierung durchgeführt wird!
- 2/6 Berechnen Sie das Öffnungsverhältnis des Schulfernrohrs Telemotor!
- 2/7 Erläutern Sie an einigen Beispielen den Inhalt der in Tabelle 2/3 genannten Arbeitsgebiete!

Das Himmelsgewölbe wird von einem Beobachter auf der Erde nicht wie eine Halbkugel, sondern in der Art einer abgeflachten Kuppel empfunden. Sternbilder, aber auch Sonne und Mond, erscheinen uns beim Aufgang oder Untergang größer als zu ihrer Kulmination. Bei einem vom Mondschein aufgehellten Himmel oder am Tage wird dieser Eindruck noch verstärkt. Messungen im Vergleich mit Schätzungen von zahlreichen Versuchspersonen haben ergeben, daß Winkel bis zu einer Gestirns Höhe von etwa 30° nahezu für doppelt so groß gehalten werden. Die Ursache hierfür ist physiologischer Natur und hängt mit der Beschaffenheit unseres Auges zusammen. Diese „optischen Täuschungen“ sind keine tragfähige Grundlage für wissenschaftlich exakte Erkenntnisse. Deshalb brauchen wir genau arbeitende Beobachtungsinstrumente und müssen in der Lage sein, uns an der scheinbaren Himmelskugel richtig zu orientieren. Mit astronomischen Instrumenten können sehr kleine Winkel gemessen werden. Schon mit dem Schulfernrohr sind z. B. zwei nur um $0,001^\circ$ auseinanderstehende Sterne deutlich getrennt wahrzunehmen.

Orientierung am Sternhimmel

Die scheinbare Himmelskugel ist eine gedachte Kugelfläche, auf der sich scheinbar alle Gestirne befinden.

In Wahrheit sind die Gestirne sehr unterschiedlich weit von der Erde entfernt. Jede beobachtete Ortsveränderung eines Gestirns ist eine scheinbare Bewegung; sie entsteht durch die Überlagerung der Bewegung des betreffenden Gestirns mit der der Erde. Auf- und Untergänge, Bedeckungen und Finsternisse sind solche scheinbaren Effekte.

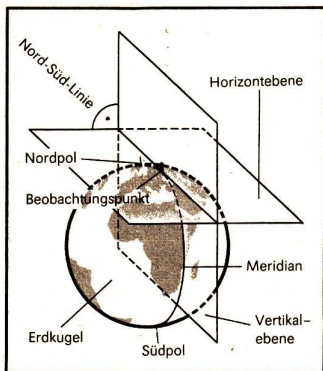
Der Zeitpunkt, in dem ein Gestirn bei seiner täglichen Bewegung am Himmel seine größte Höhe über dem Horizont des Beobachtungsortes erreicht, heißt *obere Kulmination* (lateinisch: culmen, der Gipfel). Zwölf Stunden später erreicht das Gestirn den tiefsten Punkt seiner scheinbaren täglichen Bahn; dies ist die *untere Kulmination*. Meist ist, wenn man von Kulmination spricht, die obere Kulmination gemeint. Zur Zeit der Kulmination (sowohl der oberen als auch der unteren) befindet sich das Gestirn im Meridian des Beobachtungsortes.

Die Örter der Gestirne werden durch Koordinaten an der Himmelskugel beschrieben.

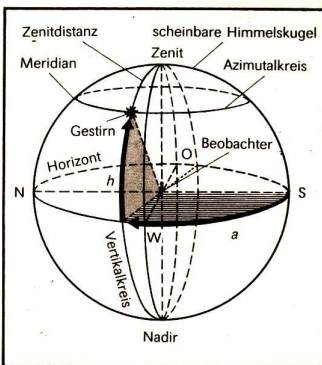
Das Horizontsystem (Azimutalsystem)

Das Horizontsystem (Bild 28/1) beruht auf der Horizontebene.

Die Horizontebene ist eine gedachte Ebene, die die Erde im Beobachtungsort berührt (Tangentialebene).



28/1 Erdkugel mit Horizont- und Vertikalebene



28/2 Koordinaten des Horizontsystems

Die Horizontebene schneidet die scheinbare Himmelskugel im größten Kreis, dem *mathematischen Horizont*. Als *natürlicher Horizont* wird dagegen die den mathematischen Horizont überragende allseitige Begrenzungslinie bezeichnet, die vom Profil der Landschaft um den Beobachtungspunkt geprägt ist. Im Beobachtungsort verläuft die Nord-Süd-Linie mit dem *Meridian* in einer Vertikalebene. Der Punkt des Meridians senkrecht über dem Beobachtungsort ist der *Zenit*.

Die Lage eines Gestirns wird durch zwei Koordinaten des Horizontsystems bestimmt (Bild 28/2):

- **Höhe h** Winkel in Grad, bezogen auf den Horizont, gemessen in der Vertikalebene,
- **Azimut a** Winkel in Grad, bezogen auf den Meridian, gemessen in der Horizontebene, gezählt positiv von Süd über West usw. ...

Die Koordinaten h und a eines Gestirns ändern sich zeitlich und von Ort zu Ort. Daher gehören zur vollständigen Angabe der Lage eines Gestirns ferner:

- geographische Breite φ des Beobachtungsortes,
- geographische Länge λ des Beobachtungsortes,
- Beobachtungszeit t .

Einfache Meßgeräte für die Bestimmung der Höhe sind *Pendelquadrant* und *Gnomon* (Bild 35/1). Zur Abschätzung des Azimuts kann ein Kompaß benutzt werden. Genauere Messungen und Einstellungen beider Koordinaten sind mit dem Schulfernrohr *Telemontor* möglich (→ S. 13).

In der astronomischen Praxis werden alle Positionsbestimmungen von Sternen im Horizontsystem vorgenommen. Mit parallaktisch montierten Fernrohren, deren Stundenachse auf den Himmelsnordpol ausgerichtet ist (→ S. 15 bis 18), lassen sich bei hinreichend genau gefertigten Teilkreisen auch Koordinaten des Äquatorsystems einstellen oder ablesen bzw. Koordinatendifferenzen ermitteln.

Das rotierende Äquatorsystem (bewegtes Äquator- oder Rektaszensionssystem)

Es dient als Grundlage zur Angabe von Gestirnsörtern in Karten des Sternhimmels, Katalogen und Verzeichnissen.

Die Koordinaten des rotierenden Äquatorsystems sind unabhängig von der Lage des Beobachtungsortes auf der Erde und der Rotation der Erde.

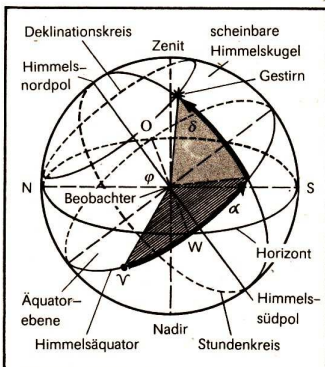
Dem Äquatorsystem liegt die Projektion des geographischen Koordinatensystems an die scheinbare Himmelskugel zugrunde. Die verlängert gedachte Erdachse trifft aus der Richtung des Erdnordpols den *Himmelsnordpol*, in entgegengesetzter Richtung den *Himmelsnordpol*.

Der Himmelsäquator ist die Schnittlinie der Ebene des Erdäquators mit der scheinbaren Himmelskugel.

Er ist ein Großkreis; so nennt man die Kreise, die eine Kugel vollständig umspannen und deren Ebene durch den Kugelmittelpunkt verläuft. Alle Großkreise, die beide Himmelspole durchqueren, werden *Stundenkreise* genannt. Parallel zum Himmelsäquator verlaufende Kreise heißen *Deklinationkreise*. (Sie sind keine Großkreise, sondern ihre Durchmesser nehmen mit wachsender Annäherung an die Pole immer mehr ab.) Die *Ekliptik* ist die Schnittlinie der Erdbahnebene mit der scheinbaren Himmelskugel; sie ist ein Großkreis. Einer der beiden Schnittpunkte der Ekliptik mit dem Himmelsäquator heißt *Frühlingspunkt* (Zeichen: γ); in ihm befindet sich die Sonne im Moment des Frühlingsanfangs.

Die Lage eines Gestirns an der scheinbaren Himmelskugel wird im rotierenden Äquatorsystem durch die Koordinaten *Deklination* und *Rektaszension* beschrieben:

- **Deklination δ :** Winkelabstand des Gestirns vom Himmelsäquator, gemessen auf dem Stundenkreis des Gestirns, von 0° bis $\pm 90^\circ$, nach Norden positiv.
- **Rektaszension α :** Winkel zwischen dem Stundenkreis des Frühlingspunktes und dem Stundenkreis des Gestirns, gezählt entgegengesetzt zur Richtung der scheinbaren täglichen Drehung des Himmels; beim Frühlingspunkt beginnend. Die Angabe erfolgt meist in Stunden von 0^h bis 24^h . Jedem Schritt von 1 h entspricht ein Winkel von 15° (Bild 29/1).



29/1 Koordinaten des rotierenden (bewegten) Äquatorsystems

Das Stundenwinkelsystem (ruhesendes Aquatorsystem)

Der Stundenwinkel τ ist der Winkelabstand des Stundenkreises eines Gestirns vom Meridian in Richtung der täglichen scheinbaren Bewegung der Gestirne. Er wird im Zeitmaß von 0^h bis 24^h gezählt. Zur Berechnung des Stundenwinkels benötigt man die Sternzeit ϑ , die an einer nach Sternzeit gehenden Uhr abgelesen oder mit Hilfe von Angaben aus einem astronomischen Kalender berechnet werden kann. Die Sternzeit ist so definiert, daß sie gerade 0^h0^{min}0^s beträgt, wenn der Frühlingspunkt kulminiert, d. h., wenn er durch den Meridian geht. Der Frühlingspunkt hat die Rektaszension 0^h0^{min}0^s. Hat ein Stern die Rektaszension 1^h0^{min}0^s, so wird er eine Stunde (Sternzeit) nach dem Frühlingspunkt kulminieren, und zu diesem Zeitpunkt wird die Sternzeituhr 1^h0^{min}0^s anzeigen. Der Stundenwinkel des Frühlingspunktes beträgt in diesem Moment ebenfalls 1^h0^{min}0^s.

Sternzeit ist kulminierende Rektaszension.

Eine Sternzeituhr gibt also stets den Stundenwinkel des Frühlingspunktes an. Für alle Punkte an der scheinbaren Himmelskugel gilt:

$$\text{Stundenwinkel} = \text{Sternzeit} - \text{Rektaszension} \quad \tau = \vartheta - \alpha$$

Mit dieser Gleichung läßt sich der Stundenwinkel für jeden Zeitpunkt und für jedes Gestirn berechnen.

Wird beispielsweise für den 15. 2. 1987, 22^h MEZ, der Stundenwinkel des offenen Sternhaufens Praesepe im Sternbild Krebs gesucht, so benötigt man

- die Sternzeit zu dem genannten Zeitpunkt (sie wird an der Sternzeituhr abgelesen: $\vartheta = 7^{\text{h}}35^{\text{min}}$);
- die Rektaszension des Sternhaufens (sie ist einem Katalog zu entnehmen: $\alpha = 8^{\text{h}}38^{\text{min}}$). Die unbequeme Subtraktion $7^{\text{h}}35^{\text{min}} - 8^{\text{h}}38^{\text{min}}$ wird erleichtert, wenn man zu den $7^{\text{h}}35^{\text{min}}$ einen vollen Tag, also 24 h, addiert: $7^{\text{h}}35^{\text{min}} + 24 \text{ h} = 31^{\text{h}}35^{\text{min}}$. Jetzt wird subtrahiert: $\tau = \vartheta - \alpha = 31^{\text{h}}35^{\text{min}} - 8^{\text{h}}38^{\text{min}} = 22^{\text{h}}57^{\text{min}}$. Der Stundenwinkel der Praesepe, der dann am Teilkreis des Fernrohrs eingestellt werden kann, beträgt zu dem gewünschten Zeitpunkt 22^h57^{min}.

Mir parallaktisch montierten Fernrohren werden durch direkte Einstellung des Stundenwinkels und der Deklination Tagesbeobachtungen der Venus und Sternbeobachtungen während der hellen Dämmerung möglich. [3/1]

Zeitmaße

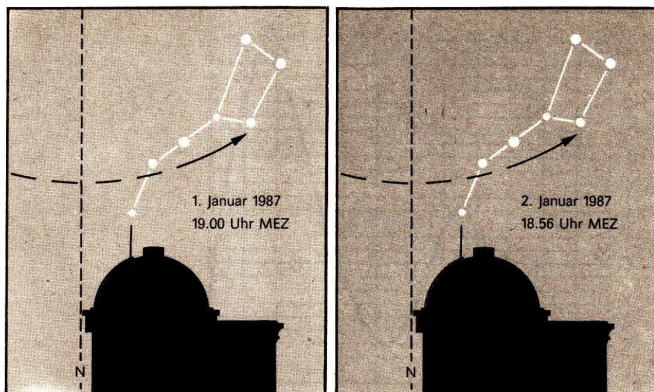
Zu jeder astronomischen Beobachtung gehört eine genaue Zeitangabe.

Die Bereitstellung einer genauen und reproduzierbaren Zeitskala gehört wiederum zu den Arbeitsgebieten der Astronomie. Alle dafür erforderlichen Beobachtungen werden von den an der Rotation der Erde teilnehmenden Beobachtern durchgeführt.

Sterntag. Er ist der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Kulminationen des Frühlingspunktes. Der Sterntag wird in 24 gleich lange Stunden, diese in je 60 Minuten usw., unterteilt. Gegenüber dem mittleren Sonnentag (s. u.) ist ein Sterntag um 3 min 56,56 s kürzer, d. h., die Sternzeituhr läuft täglich um rund 4 min schneller. Im Verlaufe eines Jahres vergehen zeitgleich zu 365 mittleren Sonnentagen 366 mittlere Sterntage (Bild 31/1). [3/2]

In astronomischen Kalendern ist die Sternzeit ϑ für bestimmte Orte und für jeden Tag tabelliert. Durch Rechnung kann sie für jeden anderen Beobachtungsort und für jeden anderen Zeitpunkt ermittelt werden.

Sonnentag. Es ist der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden unteren Kulminationen der Sonne. Da sich die Sonne von West nach Ost unter den Sternen scheinbar wei-

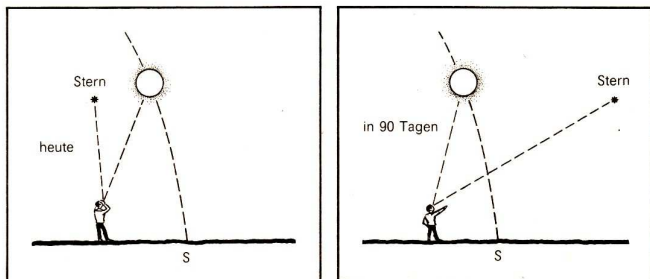


31/1 Ein Sterntag ist vergangen

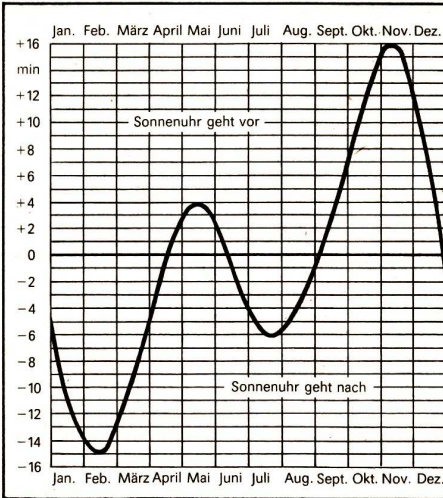
terbewegt, sind Sonnen- und Sterntag ungleich lang (Bild 31/2). Der Sonnentag wird in 24 gleich lange Stunden, diese wiederum zu jeweils 60 Minuten usw. unterteilt.

Die scheinbare Bewegung der Sonne erfolgt nicht gleichförmig (weil sich die Erde nicht gleichförmig auf ihrer jahresbahn bewegt), deshalb eignet sie sich nicht als Grundlage einer exakten Zeitskale. Man denkt sich deshalb eine „mittlere Sonne“ mit absolut gleichförmiger scheinbarer Bewegung. Sie eilt der „wahren Sonne“ im Laufe des Jahres zeitweise bis zu 16 Minuten vor oder bleibt hinter ihr zurück. Die Differenz zwischen dem Stand der „mittleren Sonne“ und der „wahren Sonne“ heißt *Zeitgleichung* (Bild 32/1); die von der scheinbaren Bewegung der „mittleren Sonne“ abgeleitete Zeit wird *mittlere Sonnenzeit* genannt. Alle bei uns gebräuchlichen Zeitskalen sind mittlere Sonnenzeiten.

Die mittlere Sonnenzeit eines Ortes auf 0° geographischer Länge ist die Weltzeit oder



31/2 Zum Unterschied von Sonnen- und Sterntag



westeuropäische Zeit (WZ) oder auch Universal Time (UT) bzw. Greenwicher Zeit (engl. Abk.: GMT).

Für den praktischen Gebrauch ist die koordinierte Weltzeit (UTC) eingeführt worden. Sie wird ebenfalls durch Atomuhren gemessen. Wenn die beobachtete Differenz zwischen UT und UTC über 0,7 Sekunden anwächst, werden nach internationaler Übereinkunft zu bestimmten Zeitpunkten ganze Sekunden in die UTC-Skala eingefügt (positive oder negative „Schaltsekunden“).

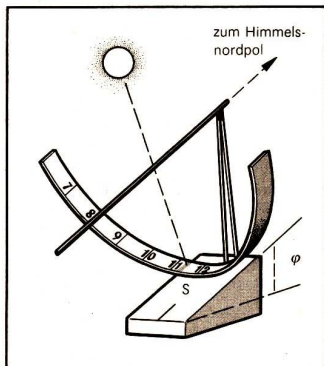
Geographische Längenunterschiede von 15 Grad drücken sich durch Ortszeitdifferenzen von je 1 Stunde aus. Die Kulmination der Sonne findet beispielsweise in Greenwich (0° geographischer Länge) um 12^h UTC, in Görlitz (15° ö. L.) eine Stunde früher, um 12^h MEZ, statt. Da die Ortszeit für 15° ö. L. zugleich MEZ (Mitteleuropäische Zeit) und damit Zonenzeit ist, verspätet sich in Berlin (≈ 13,5° ö. L. bzw. 1,5° westlich von Görlitz) die Kulmination der Sonne gegenüber Görlitz um rund 6 Minuten.

Sonnenuhren. Sie bestehen aus dem Zifferblatt und einem auf den Himmelsnordpol ausgerichteten Schattenwerfer.

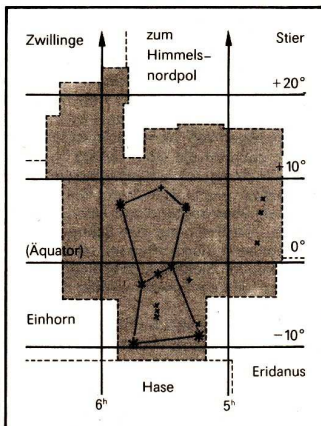
Sonnenuhren zeigen stets die wahre Ortszeit an.

Diese von der scheinbaren Bewegung der „wahren Sonne“ abgeleitete Zeit verläuft jedoch nicht gleichförmig. Durch Berücksichtigung des mit der Zeitgleichung (Bild 32/1) ausgedrückten „Gangunterschiedes“ von mittlerer und wahrer (Sonnen)Ortszeit kann eine Sonnenuhr jedoch hinreichend genau justiert werden. Dies geschieht besonders leicht an solchen Tagen, für die die Zeitgleichung Null ist. Bei Kenntnis der Zeitgleichung kann dann jede weitere Ablesung mit gleicher Genauigkeit erfolgen.

Je nach Art und Ausrichtung des Zifferblattes werden hauptsächlich *Horizontal-*, *Vertikal-* und *Äquatorialsonnenuhren* unterschieden. *Horizontalsonnenuhren* verfügen über vergleichsweise große Zifferflächen in der Horizontebene mit dem Vorzug, von Sonnenauf- bis -untergang anzuzeigen. *Vertikale Sonnenuhren* an Gebäudewänden sind gut einsehbar, in der Anzeigedauer aber häufig auf weniger als 12 Stunden eingeschränkt. *Äquatorialsonnenuhren* besitzen ein Zifferblatt, das parallel zum Himmelsäquator steht (Bild 33/1). [3/3]



33/1 Äquatoriale Sonnenuhr mit Kugelring-Zifferblatt



33/2 Figur und Grenzen des Wintersternbildes Orion

Sternbilder

Im volkstümlichen Sinne bildhaft interpretierte markante Gruppen von Sternen an der scheinbaren Himmelskugel nennt man Sternbilder.

Sie sind nahezu so alt wie die Kulturgeschichte der Menschen. Der Ursprung von Stern- und Sternbildnamen ist nur selten eindeutig, wie auch Figur und Entwicklungsgeschichte keiner Systematik unterworfen sind. Die Einführung neuer Sternbilder im 17. und 18. Jahrhundert und Fortschritte in der Meßgenauigkeit führten schließlich zur Forderung nach Entwurf der Sternbilder und nach verbindlicher Definition der bis dahin häufig nur ungenau angedeuteten Begrenzungen.

Nachdem zunächst noch vorhandene Sternbildlücken am Südhimmel geschlossen waren, führte 1928 eine internationale Vereinbarung zur heute verbindlichen Festlegung der insgesamt 88 Sternbilder, von denen 37 auf die nördliche und 51 auf die südliche Hemisphäre entfallen. So entstanden Sternbildgrenzen mit einer eindeutigen Linienführung (Stunden- und Deklinationskreisabschnitte, → Bild 33/2), weitgehend in Anlehnung an die frühere figürliche Auffassung der Sternbilder.

Je nach Zugehörigkeit zur Nord- oder Südhimmelskugel des Himmels werden nördliche und südliche Sternbilder sowie Sternbilder der Äquatorzone unterschieden. In unseren Brei-

ten können die nördlichen Sternbilder, die der Äquatorzone sowie solche südlichen Sternbilder beobachtet werden, die sich innerhalb eines äquatornahen Teils der Südhalbkugel befinden.

Infolge des jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne bewegt sich die Sonne scheinbar längs der Ekliptik durch immer andere Sternbilder. Diese entlang der Ekliptik gelegenen Sternbilder werden als die *Tierkreissternbilder* bezeichnet. Sie sind nur dann sichtbar, wenn sich die Sonne gerade nicht in ihnen aufhält. Entsprechend verändert sich mit dem scheinbaren Sonnenlauf von täglich rund einem Grad periodisch mit der Jahreszeit auch allmählich die Sichtbarkeit von Sternbildern. Die dann „saisonbedingt“ sichtbaren Sternbilder werden als Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Wintersternbilder bezeichnet.

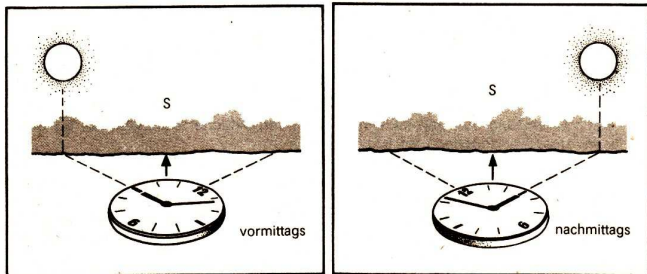
Sterne, die sich innerhalb eines Kreises um den Himmelsnordpol mit dem von der Polhöhe bestimmten Radius befinden, gehen weder auf noch unter. Sie befinden sich somit auch am Tage oberhalb des Horizonts. Solchen Sternbildern angehörende Sterne werden *Zirkumpolarsterne* genannt (z. B. alle Sterne des Kleinen Bären).

Das Einprägen von Sternbildern ist für die nächtliche Orientierung sowohl am Sternhimmel als auch für die Orientierung im Gelände eine wichtige Voraussetzung. Außer für die Bestimmung von Haupthimmelsrichtungen mit Hilfe des Polarsterns (→ S. 35) ist die Kenntnis der wichtigsten Sternbilder für die überblicksweise Lokalisierung von Planeten sowie von überraschend auftretenden Himmelserscheinungen nützlich. Ferner wird eine bessere Verständigung von Beobachtern untereinander, das Übertragen von Punkten und Bahnen in Sternkarten mit oft schon ausreichender Genauigkeit über dem Horizont und damit von Sichtbarkeitsbedingungen möglich. Nicht zuletzt erschließt sich dem Beobachter bei Kenntnis der wichtigsten Sternbilder die Schönheit des Himmels in besonderer Weise.

Wichtigstes Hilfsmittel für das Erlernen von Sternbildern, beim Umgang in der Beobachtungspraxis und zum Verständnis elementarer himmelsmechanischer Zusammenhänge ist die drehbare Sternkarte. [3/4] [3/5]

Auffinden von Himmelsrichtungen

Orientierung nach der Zeigeruhr. Eine Taschen- oder Armbanduhr mit Zifferblatt wird so in der Hand gehalten, daß der Stundenzeiger zur Sonne weist. Die Winkelhalbierende zwischen der Ziffer 12 und dem Stundenzeiger (Bild 34/1) weist nach Süden. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei etwa ± 5 Grad. [3/6] [3/7]



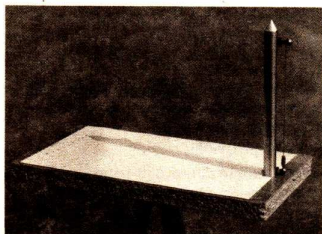
34/1 Bestimmung der Südrichtung mit der Zeigeruhr nach der Sonne

Orientierung mit dem Gnomon. Der Gnomon (Schattenstab, Bild 35/1) ist als Meßgerät bereits seit der Antike bekannt. Mit seiner Hilfe können Höhenwinkel der Sonne beispielsweise zur Bestimmung der Nord-Süd-Richtung, der Zeitgleichung oder der geographischen Breite (= Polhöhe) gemessen werden.

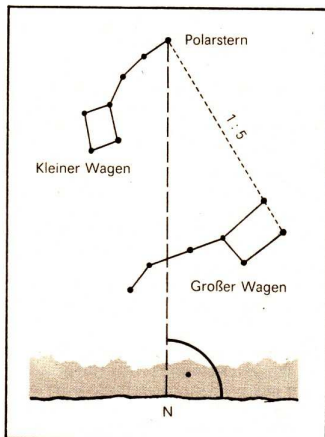
Eine 20 cm bis 30 cm langer, am oberen Ende angespitzter Stab wird senkrecht in der Nähe der Kante einer waagrecht aufgestellten Grundplatte montiert. Auf der sonnenabgewandten Seite zeichnet sich im Sonnenlicht ein Schatten ab, dessen spitzes Ende auf einem befestigten Zeichenblatt im zeitlichen Abstand von jeweils 5 oder 10 Minuten mit einem Bleistift genau markiert wird. Die Beobachtung sollte einer möglichst langen Schattenkurve wegen 1 bis 2 Stunden vor dem Meridiandurchgang der Sonne beginnen und ebenso lange danach enden.

Nach Verbindung der Punkte entsteht eine Kurve. Nun werden vom Gnomon aus mit dem Zirkel solche Kreisbögen geschlagen, daß sie die Kurve jeweils zweimal schneiden. Die konstruierten Mittelsenkrechten auf den entstandenen Sehnen ergeben die Verbindung mit dem Gnomon. Gelingt es, von dieser gezeichneten Nord-Süd-Linie aus über die Spitze des Schattenstabes hinweg einen Fluchtpunkt in der Umgebung genau anzuvisieren, dann liegt die erreichte Genauigkeit der verlängerten Nord-Süd-Linie bei etwa $\pm 0,2$ Grad. [3/8]

Orientierung nach dem Sternhimmel. Die genäherte Bestimmung der Himmelsrichtung Nord mit Hilfe der Figur des Großen Wagens und dem Polarstern (Bild 35/2) ist insbesondere deshalb so populär, weil alle Sterne des Großen und des Kleinen Wagens Zirkumpolarsterne und damit zu jeder Jahreszeit sichtbar sind. An Hand des vom Polarstern auf den Horizont gefällten Lotes ergibt sich mit etwa ± 2 Grad Genauigkeit der Nordpunkt. Einziges Hilfsmittel für eine Peilung braucht dabei ein Mast oder eine Hauskante zu sein. [3/9]



35/1 Selbstgefügter Gnomon
(Schattenstab)



35/2 Bestimmung der Nordrichtung
mit Hilfe des Großen Wagens
und des Polarsterns

Beobachtungen zur Extinktion und Szintillation

Beide Einflüsse begleiten die gesamte astronomische Beobachtungspraxis. Qualitative Ergebnisse sind durch vergleichende Beobachtungen zu erzielen und darüber hinaus geeignet, das Einschätzungsvermögen für die Bewertungsskala (→ S. 9) zu schulen. Die Beobachtung setzt die Kenntnis der wichtigsten Sternbilder voraus.

Für die Beobachtung ist ein Sternbild geeignet, das bei großer Ausdehnung sowohl in Horizontnähe als auch in größerer Höhe über hellere Sterne verfügt. Auf der drehbaren Sternkarte ist eine solche Einstellung für den Großen Wagen zu finden, bei der der letzte „Deichselstern“ eine Höhe von etwa 18° einnimmt, während der letzte „Wagenstern“ etwa 45° hoch ist (z. B. Ende September 5 Uhr MEZ).

Auf einer Figurenskizze werden nun alle helleren Sterne numeriert. In einer Wertetabelle mit der Zuordnung Sternnummer–Sternhelligkeit–Szintillation finden dann mit bloßem Auge vorgenommene Helligkeitsschätzungen ihren Niederschlag. Dies kann z. B. in der Weise geschehen, daß für jeden der beobachteten Sterne innerhalb einer Zenitdistanz von $z = 30^\circ$ bis 40° ein möglichst gleich heller Stern gefunden wird. Dieser kann, sofern er nicht namentlich oder nach einer anderen Bezeichnungsweise bekannt ist, durch eine kleine Skizze gekennzeichnet werden (Man vermeide unbedingt die Einbeziehung von Algol = β Persei, da dieser Stern eine zeitlich veränderliche Helligkeit aufweist). Die Helligkeiten der beobachteten Sterne und der Vergleichssterne sind später dem Sternverzeichnis im KfS oder in der „Kleinen praktischen Astronomie“ zu entnehmen. (Genauer wird die Helligkeitsschätzung nach der auf den Seiten 62 bis 63 beschriebenen Methode.) Die Differenz zwischen den beobachteten scheinbaren Helligkeiten und den Tabellenwerten ergibt die Extinktion. Im Anschluß an diese Beobachtung kann durch Bildbeurteilung im Fernrohr an jedem der Sterne die Szintillation nach der Skala von 1 bis 5 eingeschätzt werden. [3/10]

Beobachtung der Sonne

Visuelle Beobachtungen der Sonne mit dem Fernrohr sind nur unter Verwendung eines Sonnenfilters oder eines Projektionsschirmes gestattet. Bei direktem Einblick in das Fernrohr besteht die Gefahr schwerster Schädigungen des Auges!

Zur Beobachtung der Sonne sind zwei Möglichkeiten gegeben:

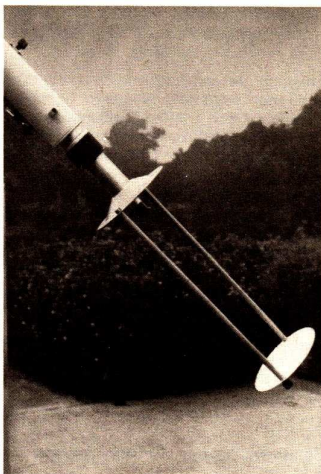
Die Beobachtung mit Sonnenfilter. Sie erlaubt die unmittelbare Betrachtung des Sonnenbildes durch ein Fernrohrokular. Dazu wird anstelle der Objektivkappe ein Chromfilter vor das Fernrohrobjektiv gesetzt, das Sonnenbild erscheint orange verfärbt. Bei dieser Art ist die Verwendung jedes Okulartyps und jedes Okulareinsatzes ohne Gefahr für Auge und Material möglich. Das betrachtete Sonnenbild erscheint, wie bei Okularbeobachtungen üblich, umgekehrt.

Hinweis: Das Abnehmen der Objektivkappe Filter *sofort* aufsetzen! Die Filterschicht wird bei mechanischer Berührung zerstört! Reinigung nur vorsichtig mit feinem Haarpinsel vornehmen!

Die Beobachtung in Projektion. Sie ist gefahrlos und einfach, reduziert indessen die verwendbaren Okulare auf den Huygens-Typ (H-16, H-25, H-40). Ein zur Standardausrüstung gehörender oder selbstgefertigter Projektionsschirm wird mit dem Fernrohr fest verbunden. Er sollte über Schattenspenden, Befestigungsmöglichkeiten für Zeichenpapier und Feststellmöglichkeiten für unterschiedliche Okularentfernungen verfügen. Wo letzteres, wie beim Schulfernrohr Telementor, nicht möglich ist, ergibt sich die Größe des Sonnenbildes durch Wahl eines zweckmäßigen Okulars (→ Tabelle 3/1, Bild 37/1).

Das vom Schattenspender aus in Schirmrichtung betrachtete Bild ist seitenverkehrt, aber aufrecht stehend.

Hinweis: Ein Bilddurchmesser von etwa 10 cm ist empfehlenswert. Er sollte innerhalb von Beobachtungsreihen unverändert bleiben. Bei zu groß gewählten Projektionsbildern sinkt die Bildhelligkeit und damit auch der Kontrast wahrnehmbarer Erscheinungen.



37/1 Schulfernrohr Telementor
mit Sonnenprojektionsschirm

Tabelle 3/1 Durchmesser des Sonnenbildes in Projektion
beim Schulfernrohr Telementor

Okular	Entfernung Okular-Bildschirm				
	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm
H – 40 mm	3,0 cm	3,9 cm	4,8 cm	5,7 cm	6,6 cm
H – 25 mm	4,8 cm	6,2 cm	7,7 cm	9,1 cm	10,6 cm
H – 16 mm	7,4 cm	9,7 cm	12,0 cm	14,3 cm	16,6 cm

Bestimmung des scheinbaren Sonnendurchmessers

Infolge der unterschiedlichen Entfernung Sonne–Erde im Jahresverlauf (1. Keplersches Gesetz) ändert sich auch der jeweilige scheinbare Sonnendurchmesser. Zum Zeitpunkt der mittleren Entfernung von $149,6 \cdot 10^6$ km beträgt er $0,5331^\circ$, im Aphel (Sonnenferne, $152,1 \cdot 10^6$ km) $0,5253^\circ$ und im Perihel (Sonnennähe, $147,1 \cdot 10^6$ km) $0,5433^\circ$. Mit einfachen Mitteln können diese Schwankungen qualitativ bestätigt werden.

Für die direkte Beobachtung unter Verwendung eines Chromfilters ist ein parallaktisch montiertes Fernrohr erforderlich. Der notwendigerweise stärkeren Vergrößerung wegen ist die Projektionsmethode weniger gut geeignet, sie kann aber dennoch dafür herangezogen werden. Steht für das verwendete Okular kein Strichkreuzeinsatz zur Verfügung, so eignet sich auch der scharfe Bildrand als Markierungshilfe für die Messung. Benötigt werden ferner Schreibunterlage und Stoppuhr.

Eine Meßreihe sollte die Zeit von Anfang Januar bis Anfang Juli überdecken; alle 10 Tage soll eine Messung bei jeweils gleicher Sonnenhöhe erfolgen. Die Aufgabe ist für Einzelbeobachter geeignet.

Messung: Das mit Filter und Okular bestückte Fernrohr wird auf die Sonne ausgerichtet und scharf eingestellt. Nun wird, gegebenenfalls unter Drehung des Okulars, die Markierung auf den größten Durchmesser der Sonne gelegt. Strichkreuzokulare sind durch Drehung parallel zu den Himmelskoordinatenrichtungen auszurichten. Anschließend wird das Fernrohr der scheinbaren täglichen Bewegung der Sonne ein wenig „vorausgestellt“ und bei stillstehendem Fernrohr mit der Stoppuhr die Zeit Δt gemessen, die die Sonne benötigt, um an der Markierung „vorbeizuziehen“. Diese Messung sollte mehrmals durchgeführt werden; anschließend ist der Mittelwert der Durchgangszeit zu bilden.

Kennt man die Deklination δ der Sonne zum Beobachtungszeitpunkt (z. B. aus dem Kfs), so kann man den scheinbaren Sonnendurchmesser d_s aus der Gleichung

$$d_s = \Delta t \cdot \cos \delta$$

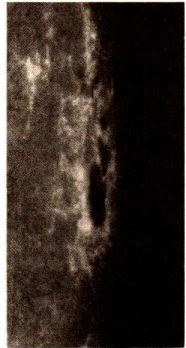
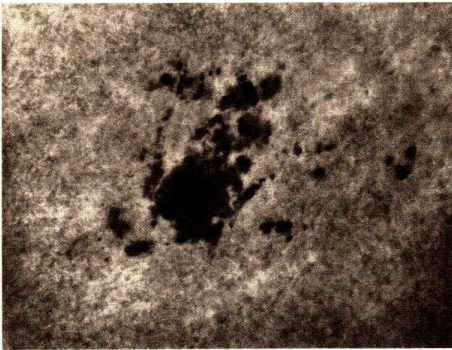
in *Zeitmaß* errechnen. Die Umrechnung auf *Gradmaß* ist dann durch die Beziehung $360^\circ \hat{=} 24 \text{ h}$ bzw. $1^\circ \hat{=} 4 \text{ min}$ möglich.

Hinweis: Bei azimutal aufgestellten Fernrohren muß eventuell die Okularmarkierung zwischen den einzelnen Messungen jeweils neu ausgerichtet werden. In unmittelbarer Horizontnähe werden die Ergebnisse durch die atmosphärische Refraktion erheblich verfälscht. [3/11]

Bestimmung der Sonnenrotation

Die Sonne rotiert zu den Polen hin langsamer als am Sonnenäquator (differentielle Rotation).

Als synodische (auf die Stellung von Erde und Sonne zueinander bezogene) Rotationszeit bezeichnet man die Zeitdauer bis zum Wiedererscheinen ein und desselben Sonnenflecks an der gleichen Stelle der Sonnenscheibe.



38/1 Scheinbarer Gestaltwandel einer Sonnenfleckengruppe

Am Äquator der Sonne beträgt die synodische Rotationsdauer 26,9 Tage, in 16 Grad Abstand vom Sonnenäquator 27,275 Tage. Die siderische Rotationszeit (auf die Sterne bezogen) besitzt dagegen Werte von 25,03 Tagen bzw. 25,38 Tagen.

Beobachtungen der Sonnenrotation ermöglichen Festlegungen für ein Koordinatensystem auf der Sonne.

Eine, jedoch noch sehr ungenaue, Bestimmung der Dauer einer Sonnenrotation kann durch Verdoppelung der beobachteten Aufenthaltsdauer von Sonnenflecken auf dem uns zugewandten Teil des Sonnenkörpers erfolgen. Die Aufenthaltsdauer ergibt sich aus der verflossenen Zeit zwischen dem Auftauchen des perspektivisch verzerrten Flecks am östlichen Sonnenrand und seinem Verschwinden am westlichen Sonnenrand.

Während sich aus den Beobachtungen bereits nach einem Tag der *Rotationssinn* der Sonne ergibt, besteht für die Eingrenzung der Zeitpunkte für das Auftauchen bzw. Verschwinden einer Erscheinung eine erhebliche Fehlerquelle. Gelingt bei stabilen Fleckengruppen die erneute Beobachtung des Wiederauftauchens am östlichen Sonnenrand, dann wird das Ergebnis etwas genauer. Da das Auftauchen bzw. Verschwinden bisweilen nachts oder bei Schlechtwetterperioden erfolgt, sind möglichst mehrere Fleckenercheinungen zu verfolgen. Die Lösung der Aufgabe kann dadurch mehrere Wochen bis Monate in Anspruch nehmen (Bild 38/1).

Beobachtung von Sonnenflecken

Sonnenfleck sind Störgebiete der Oberflächenschicht der Sonne (der Photosphäre), die durch geringere Temperaturen gekennzeichnet sind und dadurch dunkler erscheinen als ihre Umgebung.

Bei hinreichender Größe eines Flecks läßt sich das dunkle Kerngebiet, die *Umbra*, und die hellere Umrandung, die *Penumbra*, erkennen. Zusammen mit weiteren, im allgemeinen aber weniger auffälligen Erscheinungen sind sie wichtigster Ausdruck für den 11,2-jährigen Zyklus der Sonnenaktivität. Ihre ständige Untersuchung nach Gestalt, Größe und Häufigkeit gehört daher zu den wichtigen Beobachtungen.

A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				

39/1 Klassifikationsschema für Sonnenfleck und Fleckengruppen

Fleckengestalt. Formstudien von Sonnenflecken sind als erste Kontaktaufnahme mit dem neuen Beobachtungsgebiet, aber auch zur Übung für das spätere Einordnen von Flecken in das nachstehende Klassifikationsschema geeignet (Tabelle 3/2, Bild 39/1).

Tabelle 3/2 Klassifikation von Sonnenflecken und Fleckengruppen

Klasse	Beschreibung
A	Kleiner Einzelfleck oder Gruppe von Flecken ohne Hofbildung
B	Fleckengruppe mit mehr oder weniger ausgeprägter Hauptfleckbildung (ohne Höfe)
C	Gruppe mit zwei Schwerpunktgebieten (bipolare Gruppe), bei der einer der Hauptflecke Hofspuren aufweist
D	Bipolare Gruppe mit größeren Hauptflecken, die Höfe besitzen
E	Bipolare Gruppe (meist größer als 10°). Hauptflecke mit Hof, zwischenliegende Einzelflecke teilweise mit Höfen
F	Sehr große bipolare, durch Hoffelder umrandete Gruppe mit Ausdehnung ab 15°
G	Große bipolare Gruppe mit verschwundenen Zwischenflecken, Ausdehnung noch über 10°
H	Ein mit Hof umgebener Hauptfleck und kleine Einzelflecke, Ausdehnung größer als $2,5^\circ$
I	Einpoliger kleiner Fleck mit Hof, kleiner als $2,5^\circ$

Bei starker Vergrößerung kann sowohl direkt als auch in Projektion beobachtet werden. Wichtigstes Resultat der Beobachtung ist eine detaillierte Zeichnung der Fleckengruppe und der Versuch einer Zuordnung in das Klassifikationsschema. Für Wiederholungs- und spätere Routinebeobachtungen ist die Notierung von Zeit, Ort, Sicht, Beobachter und instrumenteller Anordnung notwendig, auch wenn die Studien zunächst Übungscharakter besitzen. Eine besonders reizvolle Aufgabe ist es, den Gestaltwandel einer Sonnenfleckengruppe während einer Schönwetterperiode über mehrere Tage hinweg zeichnerisch festzuhalten. [3/12]

Fleckengröße. Die Einstufung der Größe von Sonnenflecken verlangt etwas Übung. Eine erste Vermittlung von Vorstellungen für das spätere Abschätzen ist nach der Methode der Fadenpassage möglich. Dem Mittelpunkt der Sonnenscheibe nahe befindliche Flecken unterliegen nur unwesentlich einer perspektivischen Verzerrung. Für die Bestimmung benutzt man die Stoppuhr: Bei feststehendem Fernrohr wird die zeitliche Dauer der Passage des Flecks am senkrechten Faden gestoppt. Einer Durchgangszeit von 1,0 Sekunden entspricht dann eine O-W-Ausdehnung des Flecks von rund 1 Grad Länge auf der Sonne. Ein anderer Weg führt zur Fleckengröße in Einheiten des Erddurchmessers. Dazu ist der Durchmesser des Projektionsbildes der Sonne auf 109 mm einzustellen. Wird nunmehr Millimeterpapier auf den Schirm gespannt, stellt jeder Millimeter für den mittelpunktnahen Bereich gerade einen Erddurchmesser dar.

Ermittlung der Sonnenfleckenzahl. Die Sonnenfleckenzahl R ist ein Ausdruck für die Häufigkeit der Sonnenflecken. Sie wird mit der Gleichung

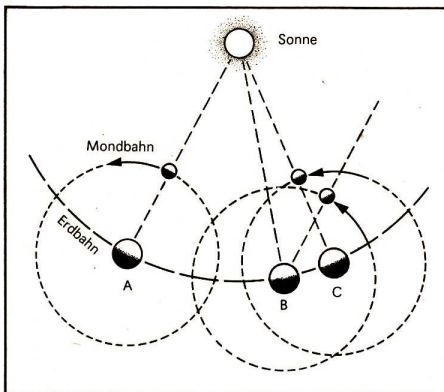
$R = 10 \cdot g + f$	g : Anzahl der Fleckengruppen f : Anzahl aller Flecken in den Gruppen
----------------------	--

ermittelt. (Mit dieser Gleichung wird der Tatsache Rechnung getragen, daß das Auftreten einer Fleckengruppe auf der Sonne bedeutsamer ist als die Anzahl der Flecken, die zu einer solchen Gruppe gehören.) Einzelflecken werden ebenfalls als Gruppe bewertet. Ist beispielsweise auf der Sonnen„scheibe“ nur ein Einzelfleck zu beobachten, so ergibt sich $g = 1$ und $f = 1$; die Relativzahl beträgt also zu dem betreffenden Zeitpunkt $R = 11$. Werden dagegen 3 Gruppen mit insgesamt 36 Flecken gezählt, so ist $g = 3$ und $f = 36$. Daraus folgt $R = 3 \cdot 10 + 36 = 66$.

Die Relativzahlbestimmung kann durch Beobachtung mit dem Sonnenfilter oder mit Hilfe des Projektionsverfahrens erfolgen. Jede Beobachtung sollte durch eine Zeichnung dokumentiert werden, zu der neben Datum, Uhrzeit und Sicht auch die Angabe von g , f und R gehört. Zusätzlich können in die Zeichnung die Klassifizierungen der Fleckengruppen eingetragen werden. [3/13]

Beobachtung des Mondes

An klaren Abenden wird die Beobachtung des Sternhimmels durch die Anwesenheit des Mondes häufig gestört. Zu einem besonderen Problem kann die Himmelsaufhellung bei fotografischen Aufnahmen werden. Es ist daher sinnvoll, die Auf- und Untergangszeiten des Mondes (MA, MU) aus dem KfS in den persönlichen Terminkalender zu übertragen. Dies sollte schon für Monate im voraus geschehen. So ist auf einen Blick zu übersehen,



41/1 Synodischer und siderischer Monat

wann Sternaufnahmen noch sinnvoll sind oder einer Mondbeobachtung der Vorzug zu geben ist.

Im Mittel vergehen bis zum Erreichen der gleichen Lichtgestalt (Phase) des Mondes 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten. Diese Zeitspanne wird synodischer Monat genannt.

Da sich die Erde jedoch in ihrer Bahn in diesem Zeitraum weiterbewegt, vergeht ein siderischer Monat (das ist die Zeitspanne, die der Mond bis zum erneuten Vorbeigang an einem bestimmten Stern benötigt) in nur 27 Tagen 7 Stunden und 43 Minuten (Bild 41/1). Die beiden hier angegebenen Zeitspannen sind Mittelwerte, von denen sich die in der Realität gemessenen Zeiten wegen der sehr ungleichförmigen Bewegung des Mondes um die Erde zum Teil erheblich unterscheiden können. [3/14] [3/15]

Beobachtung des Mondes ohne Fernrohr

Bereits mit dem bloßen Auge sind grundsätzliche Studien zur Bewegung und zu den Phasen des Mondes möglich. Voraussetzung dafür ist eine drehbare Sternkarte, die Kenntnis der Tierkreissternbilder sowie ihr Wiederauffinden am Himmel und die „Disziplin“ für einen allabendlichen bzw. nächtlichen bzw. auch morgendlichen Blick zum Himmel bei Anwesenheit des Mondes. Beobachtungslücken infolge ungünstiger Witterung verfallschen die Ergebnisse nicht.

Entlang des Bereiches der Ekliptik wird von der Tierkreiszone eine Kopie oder Umzeichnung der Sternkarte hergestellt. Es sollen mit Hilfe des festzustellenden Mondortes (mit Datum, Uhrzeit, Phasenskizze) bestimmt werden:

- Betrag und Richtung der durchschnittlichen Mondbewegung,
- Länge des siderischen Monats.

An Beobachtungstagen wird nun jeweils zu einer vollen Stunde die Mondposition ermittelt. Unter Abschätzung der Mondndistanz zu drei selbst zu wählenden Sternen ist der Mondort dann in die Karte zu übertragen, mit Datum, Uhrzeit und Phasenskizze.

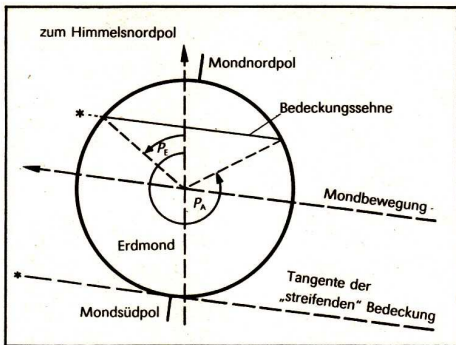
Bereits nach wenigen Tagen ist Richtung und Betrag der durchschnittlichen Mondbewegung (in Grad je Stunde) anzugeben. Nach kurzer Zeit geht aus der Beobachtung die genäherte Länge des siderischen Monats hervor. Die Länge des synodischen Monats erhält man, nachdem man diese Beobachtung über 3 bis 4 Monate hinweg durchgeführt hat, in recht guter Näherung. Das Ergebnis macht deutlich, daß man bereits durch sehr einfache Beobachtungen ohne Fernrohr zu fundamentalen Aussagen gelangen kann.

Beobachtung der Mondbewegung

Die Bewegung des Mondes unter den Sternen tritt für das bloße Auge allgemein erst nach vielen Minuten deutlich zutage. Dem Fernrohrbeobachter wird sie in sehr kurzer Zeit „vorgeführt“. Zuweilen kann das Verlöschen oder Wiederauftauchen hinreichend heller Sterne am Mondrand im Fernrohr als plötzliches Ereignis beobachtet werden. Angesichts der genau bekannten Sternörter ist aus der Beobachtung von Sternbedeckungen eine präzisere Bestimmung der Mondbewegung möglich. Solche Beobachtungen werden jedoch erst dann auswertbar, wenn das Ereignis mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ Sekunde gemessen wurde und die geographischen Koordinaten der Beobachtungsstation auf ± 3 m genau bekannt sind.

Es soll die Mondbewegung mit Hilfe einer Sternbedeckung bestimmt werden.

Für das jeweilige Kalenderjahr zu erwartende Bedeckungen (sog. Eintritte und Austritte) von Sternen bis zur scheinbaren Helligkeit von $7^m,5$ werden im KfS veröffentlicht. Dabei ist außer der Ein- bzw. Austrittszeit auch der Positionswinkel des Sterns am Mondrand wichtig (Bild 43/1).



43/1 Positionswinkel
bei Sternbedeckungen
($P_{E/A}$ = Positionswinkel
des Eintritts/Austritts)

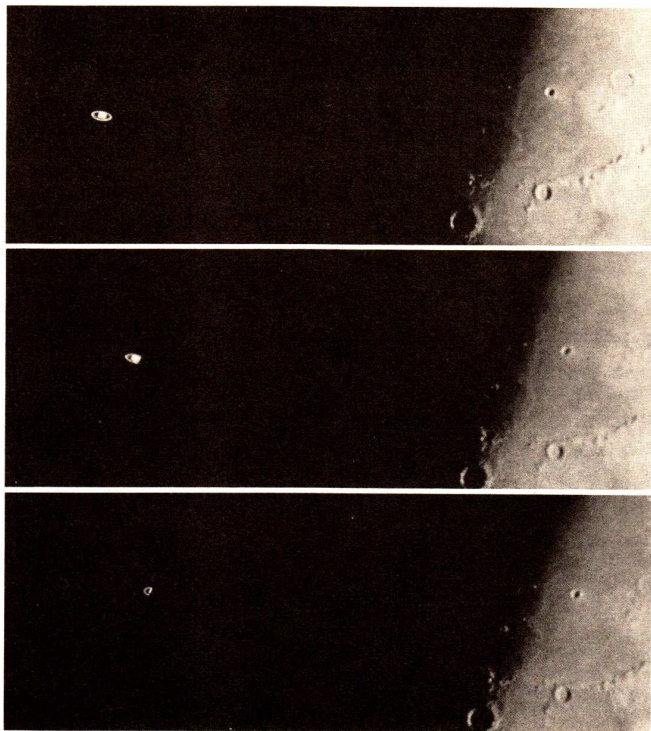
Mit Hilfe der im KfS tabellierten Werte a und b kann jede für Potsdam berechnete Kontaktzeit t_0 für andere Beobachtungsorte umgerechnet werden:

$$t = t_0 + a (\lambda - \lambda_0) + b (\varphi - \varphi_0).$$

Dabei ist $\lambda_0 = -13,1$ die östliche Länge und $\varphi_0 = 52,4$ die nördliche Breite von Potsdam in Grad, t_0 die auf Zehntelminuten zu rundende Ereigniszeit in MEZ für Potsdam. Durch Einsetzen von λ und φ für den eigenen Beobachtungsort ergibt sich die Zeit des Ereignisses nunmehr auch für den eigenen Beobachtungsort. Bei der Rechnung sind die Vorzeichen zu beachten! [3/16]

Schwierig sind Austritte lichtschwächerer Sterne am hellen Mondrand zu beobachten. Mit Hilfe des Positionswinkels P wird der entsprechende Abschnitt des Mondrandes leicht gefunden.

Durch die Bewegung des Mondes auf einer gegen die Ekliptik geneigten Bahn werden zusammen mit der Drehung der Knotenlinie innerhalb eines 5 Grad breiten Streifens beiderseits der Ekliptik nicht nur Sterne, sondern gelegentlich auch Planeten vom Mond verdeckt (Bild 44/1). Je nach scheinbarem Planetendurchmesser und der Lage der Bedeckungssehne schwankt die Ein- bzw. Austrittsdauer zwischen einigen Sekunden und mehreren Minuten. Im Falle einer „streifenden Bedeckung“ kann sie sich bei der Venus sogar bis auf etwa 35 Minuten ausdehnen.



44/1* Bedeckung des Planeten Saturn durch den Mond

Beobachtung des Monddurchmessers

Den Keplerschen Gesetzen zufolge durchmißt der Mond seinen erdnächsten Punkt (Perigäum) mit größerer, den erdfernsten Bahnpunkt (Apogäum) mit geringerer Bahngeschwindigkeit. Bestimmungen des scheinbaren Monddurchmessers durch Messung der zeitlichen Dauer einer Fadenpassage am stillstehenden Fernrohr (wie bei der Sonne, ↗ S. 38) führen daher zu fehlerhaften Ergebnissen.

Es ist der Monddurchmesser zu bestimmen!

Die Bestimmung erfolgt mit dem Strichkreuzokular, von dem ein Strich parallel zur Stundenbewegung auszurichten ist (vgl. S. 17). An der Feinbewegung in Deklination wird ein Vollkreis-Winkelmesser befestigt und der waagerechte Strich vom oberen zum unteren Mondrand bewegt. Der an einer provisorischen Markierung abgelesene Teil der vorgenommenen Umdrehungen erlaubt, den scheinbaren Monddurchmesser in der beobachteten Stellung zu bestimmen. Wenn diese Beobachtungen an anderen Tagen wiederholt werden, dann ist es möglich, die scheinbaren Monddurchmesser qualitativ miteinander zu vergleichen.

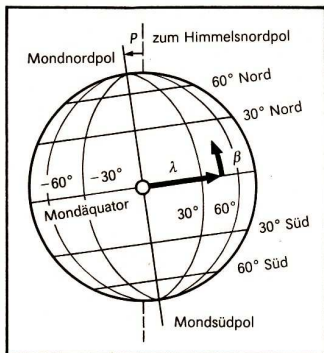
Beobachtung der Mondoberfläche

Bei starker Vergrößerung sind unter günstigen Bedingungen mit dem Schulfernrohr Telementor auf der Mondoberfläche noch Einzelheiten mit einer Ausdehnung von 1 km erkennbar. [3/17] [3/18] [3/19]

Der Mond wendet der Erde immer die gleiche Seite zu (gebundene Rotation). Deshalb kann die Festlegung eines Koordinatensystems auf dem Mond stets auf den mittleren Mondmeridian bezogen werden (Bild 45/1). Längengrade werden in westlicher Richtung positiv und in östlicher Richtung negativ gezählt.

Der größte der den Mondmeridian schneidenden Breitenkreise ist der Mondäquator. In Richtung auf den Mondnordpol werden die Breitengrade positiv, zum Südpol hin negativ gezählt.

Bei der Anwendung des Koordinatensystems für Zeichnungen und Messungen ist die jeweilige Neigung der Mondachse um den Positionswinkel P gegen das Äquatorsystem sowie die Korrektur des Mondbild-Mittelpunktes in Länge (L) und Breite (B) zu berücksichtigen. Die Lichtgrenze ($Lgr.$) gibt den Mondlängengrad an, für den die Sonne bei zunehmendem Mond auf- bzw. abnehmenden Mond untergeht. Damit geht aus der Lichtgrenze hervor, wann eine zeichnerisch oder fotografisch interessierende Mondlandschaft wieder unter gleichen oder entgegengesetzten Beleuchtungsverhältnissen aus der Mondnacht „aufsteigt“ oder in ihr „versinkt“. P , L , B und $Lgr.$ sind für jeden Tag aus dem KfS zu ersehen.



45/1 Koordinatensystem auf dem Mond

Beobachtung von Mondfinsternissen

Die Vorbereitungen zur Beobachtung einer Mondfinsternis sollten rechtzeitig getroffen werden. Dazu entnimmt man aus dem KfS alle wichtigen Daten. [3/20]

Beobachtungsaufgaben sind:

- a) Bestimmung aller Kontakte des Mondes mit dem Rand des Kernschattens der Erde in Minutenengenauigkeit (Eintritt, Austritt, Beginn und Ende der Totalität).
Die Finsternismitte ergibt sich durch Rechnung. Wegen des unscharfen Kernschattenrandes sollte mit schwacher Vergrößerung gearbeitet werden.
- b) Erkennen vom Kernschatten getroffener Mondformationen mit geringer Vergrößerung.
Die Schattenein- und -austrittszeiten sind von folgenden Mondformationen festzuhalten: Aristarch, Billy, Campanus, Censor, Goclenius, Grimaldi, Kap Heraklid, Kap Laplace, Langrenus, Manilius, Plato, Proclus, Pytheas, Tycho, Vitruv.
- c) Beobachtung des Kernschattenbereichs mit schwacher Vergrößerung.
In 10minütigen Abständen erfolgen kurze wörtliche Einschätzungen zur Sichtbarkeit nachfolgender Formationen: Aristarch, Sinus Iridum, Grimaldi, Plato, Copernicus, Tycho, Mare Crisium, Mare Nubium, Mare Serenitatis.
- d) Einschätzung von Färbung und Helligkeit des Kernschattens mit Hilfe von Feldstecherbeobachtungen. Nach folgenden Stufen wird der total verfinsterte Mond in 10minütigem Abstand beurteilt:
 - 0 = dunkle Finsternis, Mond schwer zu erkennen
 - 1 = dunkelgraue Finsternis, Einzelheiten auf dem Mond kaum erkennbar
 - 2 = Finsternis dunkelrot bis rötlich, Kernschattenzentrum dunkel
 - 3 = Finsternis ziegelrot, Kernschattengrenze grau bis gelb gesäumt, Einzelheiten auf dem Mond gut zu sehen
 - 4 = bronzerote bis orangerote helle Finsternis, Kernschattenrand bläulich-hell, Einzelheiten auf dem Mond sehr gut erkennbar.

Beobachtung der Planeten und ihrer Monde

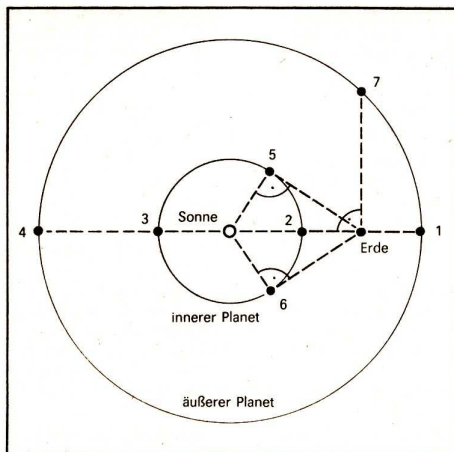
Dem bloßen Auge erscheinen die Planeten sternartig. Im Gegensatz zu Sternen leuchten sie aber stets in relativ ruhigem Licht. Die in Abhängigkeit von Entfernung und Größe unterschiedlichen scheinbaren Winkeldurchmesser der Planetenscheibchen treten bereits im Schülfernrohr bei mittlerer Vergrößerung deutlich zutage.

Sichtbarkeitsbedingungen

Sie hängen wesentlich von der Stellung der Planeten relativ zu Sonne und Erde, der jeweiligen *Konstellation*, ab. Ausgewählte Konstellationen (Bild 47/1) sind aus Kalendern, z. B. aus dem KfS, zu entnehmen.

Von besonderem Interesse ist stets, wie lange ein bestimmter Planet nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang zu sehen ist. In Opposition stehende Planeten gehen beispielsweise mit Sonnenuntergang auf und bei Sonnenaufgang unter. Merkur und Venus besitzen in westlicher oder östlicher Elongation die jeweils größte scheinbare Distanz zur Sonne. Fällt der Planetenort zum Zeitpunkt der unteren Konjunktion in die Verbindungslinie Erde–Sonne, dann kann ein sogenannter *Merkur- oder Venusdurchgang* vor der Sonnenscheibe beobachtet werden (Merkur durchschnittlich viermal in 50 Jahren, Venus durchschnittlich viermal in 243 Jahren). [3/21]

- 47/1 Konstellation der Planeten
- 1 Opposition
 - 2 untere Konjunktion
 - 3 obere Konjunktion
 - 4 Konjunktion α
 - 5 westl. Elongation
 - 6 östl. Elongation
 - 7 Quadratur $\square$



Positions-, Durchmesser- und Gestaltsveränderungen

Sie sind äußere Merkmale der sich um die Sonne bewegend und von der sich selbst bewegend Erde aus beobachteten Planeten.

Der Planetenort wird bei mittlerer bis schwacher Vergrößerung durch Fernrohrbeobachtung an Hand des Himmelshintergrundes gefunden. Nach Identifikation hellerer Umgebungssterne aus einem Sternatlas ($\rightarrow$ S. 24) kann der Planetenort unter Abschätzung der Distanzverhältnisse mit dem Bleistift im Sternatlas vermerkt werden. Für die Beobachtung genügen azimuthal montierte Fernrohre und auch Feldstecher. [3/22]

Tabelle 3/3 Scheinbare Planetendurchmesser

Planet	scheinbarer Durchmesser
Merkur	5" bis 14"
Venus	10" bis 64"
Mars	4" bis 25"
Jupiter	30" bis 50"
Saturn	15" bis 20"
Uranus	3" bis 4"

Der scheinbare Planetendurchmesser schwankt infolge der sich ständig ändernden Entfernung zur Erde ($\rightarrow$ Tabelle 3/3). Daraus ergibt sich, ob atmosphärische oder Oberflächenstrukturen schon deutlich erfaßt oder nur undeutlich gesehen werden können.

Planetendurchmesser können durch Zeit-Beobachtungen von Fadendurchgängen am stillstehenden Fernrohr bestimmt werden. An dem zur Richtung der scheinbaren Planetenbewegung senkrecht stehenden Faden des Strichkreuzes wird die Durchgangszeit t festgehalten.

Man erhält den

scheinbaren Planetendurchmesser

$d_p = t \cdot \cos \delta$	t : Durchgangszeit δ : Deklination des Planeten (aus KfS)
-----------------------------	--

Man erhält d_p zunächst in Zeitmaß und rechnet mit Hilfe der Beziehung $1^\circ \triangleq 4 \text{ min}$ in Winkelmaß um.

Planetenphasen entstehen wie beim Mond durch jeweils unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse, in denen sich der Planet für den Beobachter befindet. Der *Phasenwinkel* φ_0 (KfS) ist ein Maß für den perspektivisch gesehenen unbeleuchteten Teil der Planetenscheibe. Er kann für Merkur und Venus die Werte 0° (volle Planetenscheibe) bis 180° (unsichtbar wie bei Neumond) einnehmen. Für Mars beträgt er maximal 46° , für Jupiter 12° und für Saturn 6° . Insbesondere Mars besitzt dann bei Zeichnungen eine „dicke Backe“.

Planetenzeichnungen mit atmosphärischen oder Oberflächenmerkmalen sind die Ergebnisse anspruchsvoller Beobachtungsaufgaben. Solche Untersuchungen führten beispielsweise schon frühzeitig zur Festlegung der Rotationsperioden von Mars, Jupiter und Saturn. Von Fernrohrbeobachtern wahrgenommene Grobstrukturen der Marsoberfläche (Bild 48/1) oder Strömungsbilder der Jupiteratmosphäre konnten durch Raumsonden bestätigt werden.

Beobachtungen können bei günstigen Sichtbedingungen mit Vergrößerungen bis zum etwa doppelten Betrag der Fernrohröffnung durchgeführt werden. Farbgläser fördern das kontrastreiche Sehen (Neutralglas bis blau für Merkur und Venus, orange bei Mars, gelb für Jupiter und Saturn).

Der Beobachter sollte in entspannter, möglichst sitzender Haltung zeichnen. Wird das Instrument nicht von einem Motor nachgeführt, so muß man das Objekt bei feststehendem Fernrohr mehrfach „durch das Gesichtsfeld laufen lassen“. Für Planetenzeichnungen sollten Schablonen, wenigstens aber vorgezeichnete Kreise mit Durchmessern um 5 cm verwendet werden. Bei Jupiter und Saturn ist auf den Schablonen bereits das Abplattungsverhältnis zu berücksichtigen. Phasen sind beim Beobachten nach Abschätzung oder an Hand des Phasenwinkels φ_0 anzutragen. Die Zeichnung wird in der Art einer Radierung (Bild 48/1) in maximal 10 Minuten angefertigt. Als Beobachtungszeitpunkt ist dann der Mittelwert zwischen Beginn und Ende der Arbeit anzugeben. [3/23]

48/1 Jupiterzeichnung



Beobachtung der Jupitermonde

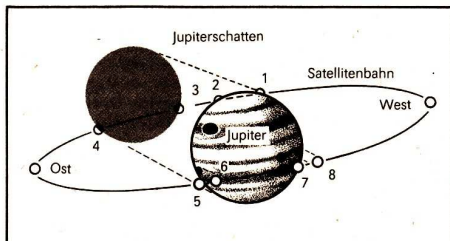
Die vier hellsten Jupitermonde und ihre Umlaufbewegungen um den Jupiter sind bereits mit einem Feldstecher zu beobachten.

Da sich auch der äußerste Mond maximal nur 14 Bogenminuten vom Jupiter entfernt, findet man die Monde (in ständig wechselnder Anordnung und sich ständig verändernden Distanzen) zumeist noch gleichzeitig im Gesichtsfeld. Mit Maximalvergrößerungen an mittleren Amateurfernrohren sind die Trabanten schon oft mit merklicher Ausdehnung zu sehen ($\nearrow$ Durchmesser in Tabelle 3/4). An Hand der in dieser Tabelle mitgeteilten Umlaufzeiten können eigene Beobachtungen überprüft werden. Die Umlaufzeiten gehen auch aus den im Abschnitt 2 genannten Kalendern hervor. In Grafiken und Tabellen werden *Jupitermonderscheinungen* (Bild 49/1) für jedes Kalenderjahr mitgeteilt.

Tabelle 3/4 Ausgewählte Daten der vier hellsten Jupitermonde

Jupitermond	Umlaufzeit	scheinbare Oppositions- helligkeit	scheinbarer Durchmesser in mittlerer Jupiterentfer- nung in "	wahrer Durchmesser
	in Tagen	in m_{vis}		in km
I Io	1,77	5,43	1,05	3550
II Europa	3,55	5,57	0,87	3100
III Ganymed	7,15	5,07	1,52	5600
IV Callisto	16,69	6,12	1,43	5050

Bei der Beobachtung der Jupitermonde und ihrer stets wechselnden Stellung relativ zum Planeten sollte man sich vergegenwärtigen, daß man damit ein Ereignis nachvollzieht, das in der Geschichte der Astronomie einmal eine überaus große Bedeutung hatte. Als vor fast 400 Jahren Galileo Galilei entdeckte, daß sich im System des Jupiter mit seinen Monden kleinere Himmelskörper um einen größeren bewegen, war das für ihn ein wichtiges Argument dafür, daß auch im System der Planeten die kleineren Körper – also die Planeten – Bahnen um den größeren Körper – die Sonne – beschreiben. Das bestärkte Galilei in der Überzeugung, daß Nicolaus Copernicus in seinem Buch über die Bewegungen der Himmelskörper den Bau des Sonnensystems richtig beschrieben hatte.



49/1 Jupitermonderscheinungen

Ermittlung der Zeitpunkte einiger Jupitermonderscheinungen. Einige der am Jupiter oder in dessen Schatten auftretenden Erscheinungen sind bereits im Schulfernrohr Telemontor, weitere an leistungsstärkeren Instrumenten zu verfolgen. Die in den Kalendern verwendeten Abkürzungen bedeuten in Bild 49/1:

1:BA (AB) Anfang der Bedeckung	5:DA (AT) Anfang des Vorübergangs
2:BE (EB) Ende der Bedeckung	7:DE (ET) Ende des Vorübergangs
3:VA (AV) Anfang der Verfinsterung	6:SA (AS) Anfang des Schattens
4:EV (EV) Ende der Verfinsterung	8:SE (ES) Ende des Schattens

Alle mitgeteilten wie auch die bei Beobachtungen zu ermittelnden Zeitpunkte beziehen sich jeweils auf die Mitte der Erscheinungen.

Beobachtung des Saturn

Bei Beobachtungen des Saturn gilt dem Ringsystem besondere Aufmerksamkeit. Es ist auf eine richtige zeichnerische Wiedergabe des Neigungswinkels, des perspektivischen Anblicks der Ringe und der wahrgenommenen Helligkeitsabstufungen zu achten. Vergleiche mit Beobachtungen aus dem zurückliegenden Jahr verdeutlichen die „Kreiselbewegung“ des Systems innerhalb eines Saturnjahres. Ein auf die Stundenbewegung parallel ausgerichteter Strich des Okulareinsatzes kann bei der Beobachtung als Bezugsline dienen. Die Positionen heller Saturnmonde sind ebenfalls in Kalendern verzeichnet. In jede Beobachtung sollte stets die Abschätzung des Saturnortes an Hand hellerer Umgebungsterne mit einbezogen werden.

Beobachtungen des Uranus und des Neptun

Uranus und Neptun können nur nach Koordinaten aufgesucht werden. Diese sind wegen der geringen täglichen Positionsänderung der Planeten für größere Zeitabstände in Kalendern mitgeteilt. Wird die Position in eine detaillierte Sternkarte übertragen, dann stellen sich die Planeten im gefundenen Himmelsabschnitt gegenüber den Umgebungsterne bereits im Schulfernrohr mit merklicher Winkelausdehnung, also als Scheibchen, dar.

Beobachtung von Kleinkörpern des Sonnensystems

Beobachtung von Planetoiden

Planetoiden, auch Kleinplaneten oder Asteroiden genannt, sind relativ kleine Himmelskörper, die die Sonne auf Planetenbahnen umlaufen. Diese Bahnen liegen zum größten Teil zwischen der Mars- und der Jupiterbahn.

Die durchschnittliche Umlaufzeit beträgt rund 4,5 Jahre. Einzelne Vertreter weichen aber von diesen Durchschnittswerten erheblich ab. So finden beispielsweise einige Periheldurchgänge innerhalb der Marsbahn statt. Infolge geringer absoluter Durchmesser von einigen km bis zu durchschnittlich einigen 10 km und bisweilen maximal wenigen 100 km erreichen die im reflektierten Sonnenlicht sichtbaren Kleinplaneten meist nur die scheinbare Helligkeit 10^m. Eine Beobachtungsaufgabe, deren Ergebnis für die Forschung von Bedeutung ist, stellt die Bahnbestimmung, die Ermittlung physischer Daten sowie die eventuelle Zugehörigkeit zu einer der Planetoidengruppen dar. Diese Gruppen zeichnen sich durch ganzzahlige Verhältnisse der Umlaufzeit des Planetoiden zu der des Jupiters

aus. Jeder der bis heute über 2000 entdeckten Kleinplaneten erhält nach der Bahnbestimmung außer der fortlaufenden Katalognummer einen Namen.

Alljährlich werden im KfS die Ephemeriden der vier zuerst entdeckten sowie die solcher Planetoiden mitgeteilt, deren Oppositionshelligkeit im Kalenderjahr heller als 10^m ist. Die Angaben sind jeweils umfassenderen astronomischen Jahrbüchern entnommen und stellen in ihrer Auswahl ein Angebot an Objekten für die Beobachtung im Schul- und Amateurfernrohr dar.

Vorbereitung der Beobachtung. Aus den Daten im KfS wählt man sich für ein entsprechendes Quartal einen nach Koordinaten und Sichtbarkeitsbedingungen (Tagbogen für die Sichtbarkeit und scheinbare Helligkeit) geeigneten Planetoiden aus. Zur Vorauswahl benutzt man die drehbare Sternkarte. Mit den für den Oppositionszeitraum von etwa ± 10 Tagen angegebenen Koordinaten sucht man sich aus einem Himmelsatlas ($\rightarrow$ S. 24) die betreffende Himmelsgegend heraus und fertigt sich zeichnerisch oder fotografisch eine Umgebungskarte an. Aus dieser sollten die Sternhelligkeiten durch unterschiedlich starke Punkte hervorgehen. Die entsprechende tägliche Positionsänderung des Planetoiden trägt man als Bahnstück in die Karte ein. Einer Kontrolle auf Richtigkeit der Eintragung dienen Angaben über Konjunktionen heller Planetoiden mit Sternen aus dem KfS. Daraus geht der jeweils kürzeste Abstand eines Planetoiden zu einem helleren Katalogstern hervor.

Beobachtung und Auswertung. Bei möglichst schwacher Vergrößerung ist unter Verwendung des 40-mm- oder 25-mm-Okulars ein relativ großer Himmelsausschnitt überschaubar. Die aus der Umgebungskarte entnommene Himmelsgegend, in der der Planetoid zu vermuten ist, wird in die Mitte des Gesichtsfeldes gestellt. Fernrohre ohne Nachführungsmotor sind nach jeweils einer Minute von Hand auf das weiterbewegte Himmelsfeld nachzustellen. Durch abwechselnde Blicke vom Fernrohrökular auf die matt beleuchtete Karte wird, von der Gesichtsfeldmitte ausgehend, nach dem „Fremdobjekt“ gesucht. Die anschließende Positionsbestimmung kann erfolgen

- a) durch Abschätzen der Distanzverhältnisse zu mehreren benachbarten Sternen oder
- b) an Hand der mit einer Stoppuhr gemessenen Passagedauer eines rechts- oder linksliegenden Sterns im Gesichtsfeld (Bestimmung in Rektaszensionsrichtung). Dazu ist ein Strichkreuzokular erforderlich, dessen Linien zuvor parallel zu den Himmelskoordinaten ausgerichtet wurden und auf dessen Sichtbarkeit vor dem Himmels hintergrund das Auge gut angepaßt sein muß. Die Festlegung der Deklination erfolgt leicht abgewandelt nach Messung des Positionswinkels zu einem benachbarten Stern wie bei Doppelsternen ($\rightarrow$ Bild 59/1).

Zu einer vollständigen Angabe gehört indessen auch die scheinbare Helligkeit. Hierfür verfährt man unter Heranziehung mehrerer Vergleichssterne nach der Methode der Stufenschätzung ($\rightarrow$ S. 62 bis 63).

Beobachtung von Kometen

Kometen bestehen aus festen Teilchen und Gasen, von denen die leicht flüchtigen Substanzen bei Annäherung an die Sonne teilweise verdampfen und zur Ausbildung von Koma (Gashülle) und Schweif führen.

Die eigentlichen Kerndurchmesser betragen zwischen einigen Kilometern bis zu einigen 100 Kilometern, die der Koma dagegen um 10^4 bis 10^5 km, während Schweife zuweilen mehrere 10 Millionen km Länge erreichen können. Die Auffälligkeit der nur selten mit dem bloßen Auge wahrnehmbaren Objekte ist dabei von der Größe, der chemischen Zusammensetzung und dem Alterungsprozeß des Kometenkerns sowie von der Entfernung

des Kometen von der Sonne abhängig. Trotz gelegentlich prächtiger Entwicklung sind Kometen vielfach nur schwer zu beobachten, da sie zum Zeitpunkt der größten Sonnennähe zugleich in der Helligkeit der unmittelbaren Sonnennachbarschaft „versinken“. Für ihre Beobachtung verwendet man bei möglichst geringer Vergrößerung lichtstarke Fernrohre bis Feldstecher. Als Faustregel gilt allgemein:

Damit der aus dem Okular austretende Lichtstrom vom Auge des Beobachters noch voll erfaßt wird, soll D/V nicht größer als 6 sein. Dabei ist D der Objektivdurchmesser in mm und V die Vergrößerung.

Entsprechend lichtstarke Teleskope werden als „Kometensucher“ bezeichnet, so z. B. die vom VEB Carl Zeiss JENA gefertigten Fernrohre mit den Objektiven 80/500 und 110/750 als „kleiner“ bzw. „großer Kometensucher“. Wissenschaftliches Interesse besteht bei der Erforschung von Kometen in Fragen nach der Bahn, der Natur dieser Himmelskörper, ihrer Entstehung und Auflösung, ihrer Statistik und davon insbesondere nach ihrer Zugehörigkeit zu bestimmten Gruppen von Kometen.

Für einige der Problemstellungen können bereits relativ einfache Beobachtungen an kleinen bis mittleren Fernrohren nützlich sein.

Durchführung der Beobachtung. Für die visuelle Beobachtung empfiehlt sich zum Schulfernrohr Telementor die Nachbestückung mit einem Okular H-40.

Bei Neuentdeckungen von Kometen werden erste Bahnbestimmungen aus einigen, zeitlich noch wenig auseinanderliegenden Beobachtungen vorgenommen. Dabei interessieren besonders:

- **Kometenposition.** Die Bestimmung erfolgt wie bei Planetoiden nach a) oder b) (→ S. 51).
- **Helligkeit.** Bei schwächster Vergrößerung, die ein nahezu punktförmiges Bild des Kometenkopfes erbringt, wird die Kopfhelligkeit, gegebenenfalls unter Heranziehung mehrerer Vergleichssterne, geschätzt (vgl. dazu Methode der Stufenschätzung von S. 62 bis 63). Zur Helligkeitsüberwachung gehört ferner die Aufmerksamkeit gegenüber gelegentlichen Lichtausbrüchen.
- **Schweifentwicklung.** Zu den auch zeichnerisch wiederzugebenden Merkmalen gehören: Länge, Breite, allgemeine Form und Haupttrichtung des Schweifes. Zur Beschreibung aller Größen sind Sternabstände heranzuziehen, deren Beträge (in Winkelmaß) einer Karte entnommen werden können. Gelingen Beobachtungen an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen, so sollte die Entwicklung grafisch vergleichend dargestellt werden.

Zu den weiteren Angaben im Protokoll gehören Beobachtungsort, Sichtbedingungen, Beobachter und instrumentelle Daten.

Beobachtung von Meteoren und Meteorströmen

Meteore (Sternschnuppen) sind überraschend auftretende, strichartige Lichterscheinungen, die beim Eintritt von Meteoroiden (kosmischen Kleinstkörpern) in die Erdatmosphäre zu beobachten sind.

Durch Stoßionisation von Luftmolekülen entlang eines Teils der Bahn wird das Leuchten hervorgerufen. Bei einer Masse von zumeist nur wenigen Milligramm bis Gramm verglühen die Körper infolge ihrer großen Eindringgeschwindigkeit durch Zusammenstoß mit den Luftmolekülen bereits in Höhen zwischen 80 und 100 km.

Als **Meteorite** bezeichnet man dagegen die auf die Erde auftreffenden Restkörper von Meteoroiden mit bedeutend größeren Eintrittsmassen.

Mehr oder minder deutlich zu beobachtende Häufungen von Meteorscheinungen in bestimmten Zeiträumen des Jahres, sogenannte *Meteorströme*, rühren von den Zerfallsprodukten eines Kometen her.

Schneidet die Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne einen Teilchenschwarm, so treten Meteore gehäuft auf.

Den Zeitpunkt der größten Häufigkeit in einem Meteorstrom bezeichnet man als *Maximum* des Stroms. Dabei nimmt die Meteorhäufigkeit in der zweiten Nachthälfte allgemein zu, da sich dann mit dem auf den Strom zulaufenden Rotationssinn der Erde auch die Auffangrate erhöht. Auf Grund der räumlichen perspektivischen Wirkung scheinen alle Bahnen von einem gemeinsamen Punkt am Himmel auszugehen. Dieser Punkt wird als *Radiant* bezeichnet.

Durch systematische visuelle Beobachtung von Meteorströmen kann das Maximum, die Veränderung der Intensität und der Dichte des Stroms sowie der Ort seines Radianten bestimmt werden.

Meteorströme werden nach dem Namen der Sternbilder bezeichnet, in denen die Radianten liegen. Die nachfolgende Tabelle weist besonders aktive und günstig zu beobachtende Ströme aus.

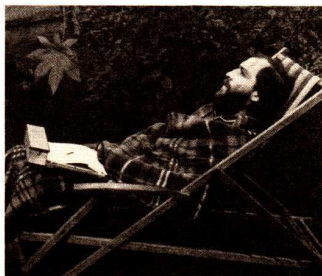
Tabelle 3/5 Intensive Meteorströme

Meteorstrom	Radiant im Sternbild	Rektaszension	Zeitraum	Tag des Maximums	Anzahl je Stunde im Maximum
Quadrantiden	Bootes	15 ^h 20 ^m	Jan. 01–05	03	bis 80
Lyriden	Leier	18 ^h 15 ^m	Apr. 19–25	22	20
Perseiden	Perseus	03 ^h 00 ^m	Aug. 01–19	12	60 bis 80
Orioniden	Orion	06 ^h 20 ^m	Okt. 17–26	21	20
Geminiden	Zwillinge	07 ^h 28 ^m	Dez. 07–16	12	bis 80

Durchführung der Beobachtung. Sie sollte in Gruppen mit drei bis fünf Teilnehmern in fremdlichtarmen und möglichst allseitig freie Horizonteinsicht gewährenden Gegenden erfolgen. Die Beobachter liegen oder sitzen auf Campingliegen oder Liegestühlen und blicken in Richtung der jeweils zu überwachenden Himmelsausschnitte. Neben warmer Bekleidung, Decken, Liegestühlen oder Campingliegen gehören zu den Beobachtungsunterlagen:

Taschenleuchte mit gedämpftem Licht, Schreibpapier und je nach Aufgabe Arbeitssternkarten (auch selbstgefertigt) auf fester Schreibunterlage, Uhr (z. B. Wecker mit Minutenablesung), Bleistifte.

Je nach Anzahl und Eignung der Beobachter hinsichtlich Konzentrationsvermögen und Geduld sollte gegenseitiges Ablösen möglichst lange Beobachtungszeiträume überdecken helfen (Bild 53/1).



53/1 Meteorbeobachter

Beobachtungen mit anwachsendem Niveau sind:

a) Zählen von Meteoriten

Anlegen einer Strichliste mit Zeitaufschlüsselung von Intervallen zu je 15 Minuten bei großer, für je 30 Minuten bei mittlerer und für je 60 Minuten bei schwacher Häufigkeit.

b) Einprägen des Radianten beim Beobachten nach Aufgabe a)

Unter Zuhilfenahme einer Sternkarte erfolgt eine sofortige Zuordnung der Erscheinung nach folgendem Muster: Führt die gedachte Rückverlängerung der Spur durch den Radianten, so ist das Meteor „zum Strom gehörend“, anderenfalls „sporadisch“ (Anlegen zweier Strichlisten).

c) Notierung der Meteorhelligkeit

Unter Einprägung der aus den Angaben einer Sternkarte zu entwickelnden Skale auf ganze Größenklassen gerundeter Sternhelligkeiten zusätzlich zu Aufgabe b). Dabei ist das Maximum der Leuchtspur von Interesse (Anlegen zweier Strichlisten wie in b). An die Stelle der Striche treten hier die Helligkeitsangaben.

Protokollangaben. Zur Kopfleiste jedes Protokolls gehören Angaben über Datum, Beobachter, Stromart, Beginn, Ende und Unterbrechungen (z. B. durch vorübergehende Bewölkung), Himmelsrichtung (bis zum Zenit), Beobachtungsort.

Auswertung. Unter dem Aspekt eines Kurzvortrages können an Hand verschiedenartiger Diagramme Aussagen getroffen werden über:

- Veränderung der Meteorhäufigkeit während des Verlaufs der Nacht,
- Herleitung des Maximums aus dem Verhältnis von Strommeteoriten zu Gesamtmeteoriten,
- Helligkeitsvergleiche von Strom- und Nichtstrommeteoriten,
- Helligkeitsvergleiche verschiedener Ströme untereinander,
- Markantes oder diffuses Aussehen des Radianten,
- Lageänderungen des Radianten von Nacht zu Nacht als Widerspiegelung des Bahn-umlaufs der Erde um die Sonne.

[3/24]

Besondere Meteorerscheinungen

Das sind sogenannte *Feuerkugeln* oder *Bolide* mit Helligkeiten $\geq -4^m$; sie erwecken als Einzelercheinungen besonderes Interesse. Befinden sich die Beobachter einige 10 km bis zu einigen 100 km voneinander entfernt, so verläuft die Leuchtspur infolge der Perspektive für jeden von beiden durch andere Bereiche der Sternbilder. Bei verlässlicher Positionsangabe des Anfangs- und Endpunktes der Spur durch die Beobachter läßt sich dann von Fachkundigen die wahre Bahn sowie das Aufschlagsgebiet für einen möglichen Restkörper bestimmen.

Protokollangaben. Datum, Uhrzeit (auf *Sekundengenauigkeit*), Name, Anschrift und genaueste Position des Beobachters (einschließlich Straße und Gebäudeteil oder andere Geländemarkierungen bzw. geographische Koordinaten), Helligkeit, Dauer, Farbe, Schweif mit evtl. Funkenregen oder Teilungen, mögliche Donnergeräusche (mit Angabe der Verzögerungszeit zum optischen Ereignis), genaue Himmelskoordinaten vom Beginn und Ende der Leuchtspur (auch nach Horizontkoordinaten oder Sternbildern oder Merkmalen des umgebenden Geländes). Zur Weiterleitung an zuständige Stellen sollte man sich an die nächstgelegene Sternwarte wenden.

Beobachtung künstlicher Erdsatelliten

Die systematische Beobachtung von Raumflugkörpern im erdnahen Weltraum wurde schon unmittelbar nach den Starts der ersten Sputniks durch die UdSSR im Jahr 1957 zu einem bedeutungsvollen Aufgabengebiet. Festgestellte Schwankungen der Umlaufzeiten erlaubten Rückschlüsse auf den physikalischen Zustand der Hochatmosphäre der Erde oder stellten Zusammenhänge zu den vielschichtigen Beziehungen zwischen Sonne und Erde in Form statistischen Beobachtungsmaterials heraus.

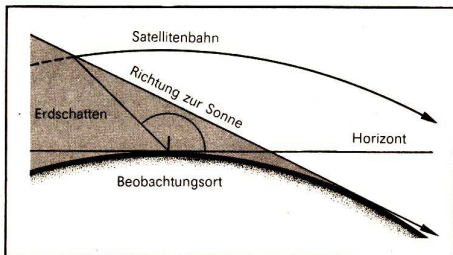
Sichtbarkeitsbedingungen. Sowohl die funktentechnische als auch die optische Beobachtung verlangt die „geometrische Anwesenheit“ des Raumflugkörpers über dem Horizont. Die scheinbare Helligkeit, mit der ein künstlicher Erdsatellit wahrzunehmen ist, hängt von seinem Durchmesser, seiner Gestalt und seinem Rückstrahlungsvermögen ab und wird von der Bahn mitbestimmt wie z. B. von der Flughöhe, der Entfernung zum Beobachter und dem Phasenwinkel zur Sonne im jeweiligen Bahnpunkt. Weitere Einflüsse wie Refraktion, Extinktion oder Szintillation beeinflussen die Beobachtung wie bei anderen astronomischen Beobachtungen auch (Bild 55/1).

Künstliche Erdsatelliten sind nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang zu sehen, wenn sie sich selbst noch im Sonnenlicht befinden und sich über dem Horizont des Beobachters bewegen.

Die Entfernung, in der ein Satellit vom Scheitelpunkt seiner Bahn aus im Erdschatten „verlischt“ oder aus diesem auftaucht, ist von der Flughöhe, der geographischen Lage des Beobachtungsortes und der Tiefe der Sonne unter dem Horizont und damit auch jahreszeitlich abhängig. [3/25]

Vorbereitung und Durchführung der Beobachtungen. Sie haben die möglichst genaue Positionsbestimmung mit genauer Zeitangabe zum Ziel. Zur wissenschaftlichen Auswertung sind auch die genauen geographischen Koordinaten des Beobachtungsortes erforderlich.

Damit ein möglichst großer Himmelsausschnitt im Fernrohr überschaut werden kann, ist die Bestückung des Schulfernrohrs Telemontor mit einem Okular H-40 unbedingt anzuraten. Wenigstens drei bis vier Beobachter sollten ihre Instrumente auf den zu erwartenden Bahnabschnitt richten. Steht eine größere Anzahl von Feldstechern, Stativen, Stoppuhren und Beobachtern zur Verfügung, dann ist u. U. durch das Überlappen der Gesichtsfelder eine geschlossene Kontrolle des Bahnstücks als „optische Kette“ möglich. Spezialfernrohre für die Satellitenbeobachtung sind mit speziellen Visiermarken ausgerüstet.



55/1 Zur Sichtbarkeit von Erdsatelliten

Jeder Beobachter verfügt über eine vor Beobachtungsbeginn gleichzeitig mit einem Zeitzeichen gestartete Stoppuhr. Der Satellitendurchgang wird beim Vorbeigang an einem markanten Teil des Gesichtsfeldes „gestoppt“ und der Punkt anschließend in der Zeichnung vermerkt. Die Zeitnahme kann auch anders erfolgen: Beim Durchgang wird die Stoppuhr in Betrieb gesetzt und erst danach an das Zeitzeichen angeschlossen. Da die Objekte das Gesichtsfeld von Fernrohren rasch durchlaufen, sollte der erste Beobachter seine Passage durch kurzen Ruf bekanntgeben, um die Überraschung für andere Beobachter zu verringern.

Beobachtung von Sternen und Doppelsternen

Meridiandurchgänge von Sternen

Wegen des Zusammenhangs von rotierendem Äquatorsystem und Horizontsystem sind Durchgänge von Sternen durch den Meridian dazu geeignet, aus der Beobachtung von Kulminationshöhe und der Durchgangszeit

- die Deklination δ und die Rektaszension α (bei bekannter geographischer Breite φ und geographischer Länge λ), oder
- die geographische Breite φ und die geographische Länge λ (bei bekannten Gestirnskoordinaten) zu bestimmen.

Für die Durchführung der Beobachtungen ist die Fernrohrmontierung mittels Libelle azimutal (Polhöhe = 90°) einzurichten und die Fernrohbeweglichkeit im Meridian (Nord-Süd-Richtung) zu gewährleisten. Die Ablesung der Teilkreise sollte so genau wie möglich erfolgen (Bruchteile abschätzen), wofür eine Lupe geeignet ist. Einflüsse durch die Refraktion im Rahmen der hier erreichbaren Meßgenauigkeit sind erst bei Höhen unter 20° nennenswert.

Beobachtungszubehör. Azimutal montiertes Fernrohr, Strichkreuzokular, drehbare Sternkarte, Uhr mit Sekundengenauigkeit, Lupe, Stoppuhr, Taschenleuchte, Schreibunterlagen.

Bestimmung der geographischen Breite aus der Polhöhe. Von einem Stern aus dem Zirkumpolarkreis wird die Höhe h_1 zum Zeitpunkt der unteren und die Höhe h_2 zum Zeitpunkt der oberen Kulmination (Bild 57/1) gemessen. Man errechnet die

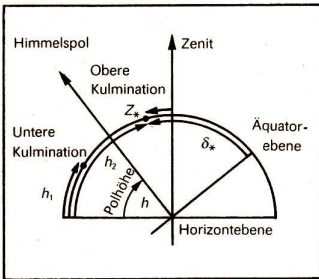
geographische Breite

$\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}$	h_1 : Sternhöhe bei unterer Kulmination h_2 : Sternhöhe bei oberer Kulmination
---------------------------------	---

Hinweis: Die Erwartungszeitpunkte für die Kulminationen sind zuvor der drehbaren Sternkarte zu entnehmen. Da beide Messungen mit rund 12stündigem Abstand erfolgen, ist das Verfahren nur in den Abend- und Morgenstunden des Winterhalbjahres durchführbar! Zur Beobachtung empfiehlt sich die Verwendung eines Zenit- oder Okularprismas.

Bestimmung der geographischen Breite aus der Deklination des Zenits. Aus der beobachteten Zenitdistanz Z_* (Bild 57/1) eines helleren Sterns bei der Passage des Meridians ergibt sich

- $\varphi = z_* + \delta_*$ bei oberer Kulmination bzw.
 $\varphi = 180^\circ - (z_* + \delta_*)$ bei unterer Kulmination.



Hinweis: Die Messung erfolgt hier vom Zenit aus, kann aber auch durch eine Messung der Höhe h_* des Sterns realisiert werden. Dann ist umzurechnen: $z_* = 90^\circ - h_*$. Für die Auswertung muß die Deklination δ_* des gewählten Sterns einem Sternverzeichnis oder einem genauen Sternatlas (→ S. 24f.) entnommen werden. Es empfiehlt sich die Verwendung eines Zenit- oder Okularprismas.

Bestimmung der Deklination eines Gestirns. Bei bekannter geographischer Breite φ ergibt sich aus der gemessenen Höhe h zum Zeitpunkt der oberen Kulmination die

Deklination des Gestirns

$\delta_* = (\varphi + h_*) - 90^\circ$	φ : geographische Breite h_* : Sternhöhe bei oberer Kulmination
---	--

Geographische Länge aus Meridiandurchgängen von Sonne und Mond. Alle im KfS angegebenen Meridiandurchgänge D beziehen sich auf den Sonnen- und Mondmittelpunkt und auf die östliche geographische Länge von 15° in MEZ. Für jeden von diesem Längengrad westlich befindlichen Beobachtungsort finden die Kulminationen später, für östlich gelegene Orte früher statt. In dem Betrag der Verspätung bzw. Verfrühung drückt sich also die Ortszeitdifferenz aus ($4 \text{ Zeitminuten} \cong 1^\circ \text{ Längenunterschied}$).

Zur Beobachtung wird das Fernrohr im Meridian auf die zu erwartende Kulminationshöhe des Gestirns ausgerichtet. Mittels einer an das Rundfunkzeitzeichen angeschlossenen Uhr mit Sekundenanzeige wird die Durchgangszeit t_D festgehalten. Der vorzeichenbehaftete Wert t_D („-“ für Verspätung, „+“ für Verfrühung) zur Zeitangabe D aus dem KfS ist anschließend auf die Längendifferenz zu 15° o. L. umzurechnen.

Hinweis: Bei direkter Beobachtung der Sonne nur Chromfilter verwenden! Für Beobachtungen am Projektionsschirm nur H-Okulare einsetzen! Bei bereits bekannter Ortszeitdifferenz vermittelt der Durchgang die genaue Lage des Meridians. Achtung bei Gültigkeit der Sommerzeit!

Bestimmung der Rektaszension (RA) von Gestirnen

Indirekte Methode: Wird die RA eines in der Position veränderlichen Objekts gesucht, dann entnimmt man einer Sternkarte die RA für zwei markante Sterne mit annähernd gleicher Deklination, von denen sich der eine östlich, der andere westlich des Objekts befindet. Durch Bestimmung der beiden Zeitdifferenzen bei der Passage aller drei Objekte am Faden der Strichkreuzokulare errechnet sich die gesuchte RA durch Verhältnissbildung.

Hinweis: Eine Beobachtung im Meridian ist nicht zwingend notwendig, wenn das Instrument parallaktisch aufgestellt ist.

Direkte Methode: Steht eine nach Sternzeit gehende Uhr zur Verfügung, so ergibt sich die RA eines Gestirns direkt aus der gemessenen Sternzeit beim Meridiandurchgang. Erfolgt die Messung in MEZ, kann die Umrechnung in Sternzeit (und damit in RA) auch später erfolgen. Nach dem Meridiandurchgang von Gestirnen mit bekannter RA kann andererseits auch die Sternzeituhr „gestellt“ werden.

Hinweis: Für die Beobachtung eignet sich eine nach dem Rundfunkzeitzeichen in Betrieb gesetzte Stoppuhr. Von dieser ist die Ganggenauigkeit zu ermitteln. Ferner muß die stündliche Änderung der Sternzeit gegenüber MEZ von rund 10 s je Stunde berücksichtigt werden.

Beobachtung von Doppelsternen

Als physische Doppelsterne bezeichnet man zwei nahe beieinander befindliche Sterne, die sich infolge gegenseitiger Massenanziehung um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen.

Der hellere Stern wird als Hauptkomponente A, der Begleiter als Komponente B bezeichnet. In Mehrfachsystemen werden noch die Komponenten C, D usw. unterschieden. Demgegenüber sind *optische Doppelsterne* nur scheinbar benachbarte, tatsächlich aber oft weit voneinander entfernte Einzelsterne.

Nach der Art, wie physische Doppelsterne der Beobachtung zugänglich sind, unterscheidet man:

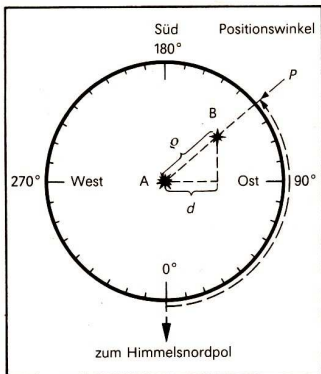
Visuelle Doppelsterne, deren physische Einheit sich z. T. erst nach jahrelanger Beobachtung erweist. Sie sind im Fernrohr als „getrennte“ Objekte zu betrachten.

Fotometrische Doppelsterne verraten sich durch veränderliche Helligkeit. Die Bahnebene der im Fernrohr nicht zu trennenden Komponenten liegt dann in der Sichtlinie zum Beobachter (→ „Bedeckungsveränderliche“ S. 60).

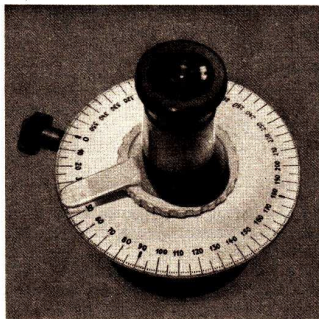
Spektroskopische Doppelsterne sind optisch ebenfalls untrennbar. Auf enge physische Nachbarschaft kann lediglich durch periodische Verschiebungen von Linien im Spektrum des Objekts geschlossen werden.

Astrometrische Doppelsterne zeigen einen unsichtbaren Begleiter durch periodische Positionsschwankungen an.

Doppelsterne sind bedeutungsvoll, da sie für die Wissenschaft den einzigen direkten Weg zur Bestimmung der Masse von Sternen darstellen. Relativ zuverlässige Durchmesserwerte können aus *Bedeckungsveränderlichen* hergeleitet werden. Aus solchen physikalischen Größen sind wiederum Volumen und mittlere Dichte abzuleiten. Doppelsterne bilden heute darüber hinaus Modelle für das Studium bestimmter Abschnitte der Sternentwicklung.



59/1 Meßprinzip zur Bestimmung von Positionswinkel P und Distanz q an visuellen Doppelsternen (im umkehrenden Fernrohr)



59/2 Selbstgefertigter Positionskreis

Benennung und Kataloge. Die Benennung von Doppelsternen erfolgt durch fortlaufende Numerierung in den von den Entdeckern selbst geführten Listen. Auf die Autoren deuten die den Zahlen vorangestellten Buchstaben wie H für F. W. Herschel, h für J. Herschel, Σ für F. G. W. Struve oder ADS für R. G. Aitken usw. hin.

Durchführung der Beobachtung. Visuelle Doppelsterne eignen sich besonders in der Schul- und Amateurastronomie zur Bestimmung des Auflösungsvermögens eines Fernrohrs unter gegebenen astroklimatischen Bedingungen. Eine Beobachtung unter diesem Aspekt wird erst in Höhen von mehr als 30° sinnvoll.

Bestimmungstücke für die Beobachtung sind:

- Positionswinkel P (in Grad, gemessen von der Verbindung A-Komponente – Himmelsnordpol in Richtung über Ost, Süd usw. bis zur Strecke $\overline{AB}$ (Bild 59/1),
- Distanz q (scheinbarer Abstand A–B, gemessen in Bogensekunden).

P und q beschreiben damit die *relative Lage* von B zu A.

Beide Angaben werden stets mit dem Zeitpunkt der Bestimmung, der sogenannten *Epoch* versehen. Zusammen mit weiteren Angaben, wie den scheinbaren Helligkeiten und den Spektralklassen der Komponenten, vermitteln Katalogdaten (aus dem KfS) bereits eine Erwartungsvorstellung über beobachtbare oder nicht mehr trennbare Sternpaare. In die Beobachtungsvorbereitungen sollten daher auch Betrachtungen zur notwendigen Vergrößerung und über die Gesichtsfelder der Okulare mit einbezogen werden. Mit Hilfe eines Positionskreises wird der Positionswinkel bestimmt. Ein solches Hilfsmittel wird von der optischen Industrie hergestellt, ist aber auch leicht selbst zu bauen (Bild 59/2).

P wird mit Hilfe eines Strichkreuzokulars gemessen, dessen Fäden zunächst nach den Himmelskoordinaten ausgerichtet wurden. Diese Einstellung ist auch für die Ermittlung von q erforderlich (Fernrohrbewegung in α oder δ , bis die A-Komponente präzise auf dem Strich „läuft“).

Nun wird die zeitliche Differenz t_d des Durchgangs beider Komponenten durch senkrechten Faden des Strichkreuzes gemessen. Dies geschieht mit einer Stoppuhr bei feststehendem Fernrohr.

Entsprechend der scheinbaren täglichen Himmelsdrehung von 15° in 1 Stunde (bzw. $1\text{ s} \hat{=} 15''$) ergibt sich die

Distanz

$p = \frac{t_d \cdot 15'' \cdot \cos \delta}{\sin P}$	t_d : zeitliche Differenz (in Sekunden) δ : Deklination P : Positionswinkel (in Grad)
---	---

Der Geringfügigkeit wegen kann der Unterschied von Sternzeit zu mittlerer Sonnenzeit hier vernachlässigt werden. Derartige Bestimmungen sind für Distanzen ab etwa $10''$ sinnvoll. [3/26]

Bei $P = 0^\circ$ bzw. $P = 360^\circ$ und bei $P = 180^\circ$ ist eine solche Messung unmöglich. Je näher man diesen Werten kommt, um so größer werden die Meßfehler.

Beobachtung Veränderlicher Sterne

Veränderliche Sterne (oft kurz als Veränderliche bezeichnet) sind Sterne, deren Helligkeit zeitlichen Veränderungen unterliegt.

Die Beobachtung Veränderlicher Sterne ist eines der Hauptgebiete der astronomischen Forschung, da man aus den Helligkeitsänderungen wichtige Aussagen über die Entwicklung der Sterne erhalten kann.

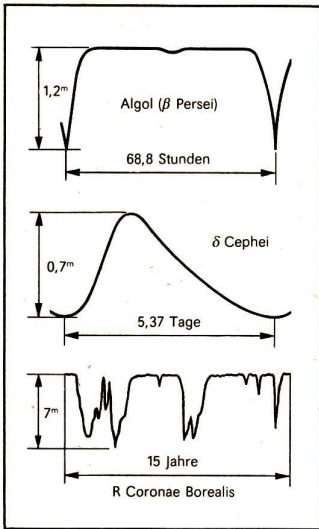
Physisch veränderlich sind solche Sterne, deren Helligkeitswechsel mit Änderungen physikalischer Zustandsgrößen wie Radius, Temperatur und Spektrum einhergeht. Als *optische Veränderliche* bezeichnet man dagegen im Fernrohr nicht getrennt wahrzunehmende Doppelsterne, deren Bahnebene in der Sichtlinie zum Beobachter liegt und deren Komponenten sich abwechselnd gegenseitig bedecken. Auf diese Weise wird ein Lichtwechsel vorgetäuscht (*Bedeckungsveränderliche*). Zu den optischen Veränderlichen werden auch eng benachbarte, durch ihre gegenseitige Anziehung verformte, sogenannte „ellipsoidische“ Veränderliche gezählt. Ihre Helligkeit ändert sich mit der unterschiedlichen Größe der dem Beobachter jeweils zugewandten Querschnitte.

Von den gegenwärtig etwa 30000 bekannten Veränderlichen sind rund 80% physischer Natur. Bei der „Überwachung“ von Einzelobjekten, die von der Forschung ihrer großen Anzahl wegen nicht vollständig kontrolliert werden können, wird durch Sternfreunde in aller Welt wichtige Zuarbeit durch Hunderttausende von Einzelbeobachtungen geleistet.

Die zeitliche Helligkeitsveränderung eines Veränderlichen wird durch die *Lichtkurve* in Diagrammform ausgedrückt (Bild 61/1). Sie ist das wichtigste Hilfsmittel für die Klassifizierung Veränderlicher Sterne, z. B. bei Neuentdeckungen.

Aus der Lichtkurve geht für den Fall, daß der Helligkeitswechsel regelmäßig verläuft, die *Periode* als Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima hervor sowie die *Amplitude* als Differenz zwischen Helligkeitsmaximum und -minimum.

Die Benennung Veränderlicher, ausgenommen einzelne populäre Einzelbezeichnungen (z. B. Delta Cephei oder Algol = Beta Persei) ergibt sich stets durch Anhang des lateinischen Namens des Sternbildes, in dem sich der Veränderliche befindet, an Buchstaben



oder Buchstabenpaare (z. B. T Tauri, RR Lyrae). Sind in einem Sternbild die damit gegebenen 334 Möglichkeiten, einen Veränderlichen zu benennen, erschöpft, so heißen die weiteren in diesem Sternbild entdeckten Veränderlichen V 335, V 336 usw.

Julianisches Datum. Bei der Vorbereitung und Auswertung von Beobachtungen Veränderlicher Sterne ist es oft notwendig, Differenzen zwischen weit auseinanderliegenden Zeitpunkten zu bilden. Das wird durch die *Julianische Tageszählung* erleichtert. Bei dieser Art der Datumsangabe verzichtet man auf Jahre und Monate; jeder Tag erhält eine fortlaufende Nummer. Als Beginn dieser Zählung wurde willkürlich der 1. 1. 4713 v. u. Z., 12^h WZ (= 13^h MEZ) gewählt. Deshalb beginnen in der Julianischen Tageszählung die Tage um 13^h MEZ. Stunden und Minuten werden als Dezimalteile des Tages angegeben. [3/27]

Tabelle 3/6 Julianisches Datum am 0. eines jeden Monats um 12 Uhr WZ (= 13 Uhr MEZ) von 1985 bis 2000

Jahr	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
1985	2446	066	097	125	156	186	217	247	278	309	339	370
1986		431	462	490	521	551	582	612	643	674	704	735
1987		796	827	855	886	916	947	977	*008	*039	*069	*130
1988	2447	161	192	221	252	282	313	343	374	405	435	466
1989		527	558	586	617	647	678	708	739	770	800	831
1990		892	923	951	982	*012	*043	*073	*104	*135	*165	*196
1991	2448	257	288	316	347	377	408	438	469	500	530	561
1992		622	653	682	713	743	774	804	835	866	896	927
1993		988	*019	*047	*078	*108	*139	*169	*200	*231	*261	*292
1994	2449	353	384	412	443	473	504	534	565	596	626	657
1995		718	749	777	808	838	869	899	930	961	991	*022
1996	2450	083	114	143	174	204	235	265	296	327	357	388
1997		449	480	508	539	569	600	630	661	692	722	753
1998		814	845	873	904	934	965	995	*026	*057	*087	*118
1999	2451	179	210	238	269	299	330	360	391	422	452	483
2000		544	575	604	635	665	696	726	757	788	818	849

* Zahlensprung beachten

Mit der vorstehenden Tabelle 3/6 kann das Julianische Datum (J. D.) für jeden Tag bis zum Jahre 2000 berechnet werden. Angegeben ist jeweils die *vor Beginn* des jeweiligen Monats seit Beginn der Zählung verflossene Anzahl von Tagen. Durch Addieren des Monatsdatums kann das J. D. des entsprechenden Tages gefunden werden.

Der 1. 1. 1985, 12^h WZ (= 13^h MEZ) hat demnach das J. D. 2446067,0. Das J. D. für den 15. 2. 1987, 12^h WZ, beträgt 2446842,0 und das J. D. für den 16. 2. 1987, 0^h WZ (= 1^h MEZ), 2446842,5.

Beobachtungstermine. Für die Beobachtung sind weitgehend mondlose Nächte erforderlich, in denen sich das zu beobachtende Objekt in einer Höhe von mindestens 20° befindet. Zu erwartende Minimum- bzw. auch Maximumzeitpunkte werden in astronomischen Kalendern mitgeteilt. Durch Addition der Periodenlängen können weitere Beobachtungstermine im Kalenderjahr gefunden werden. [3/28]

Die Umgebungskarte. Ist das Beobachtungsinstrument parallaktisch justiert, dann kann über zuvor aus der Sternkarte bestimmte Koordinatendifferenzen zu benachbarten hellen Sternen das Umfeld des Veränderlichen leicht eingestellt werden. Wird nach dieser Methode oder nach anderen Merkhilfen die richtige Himmelsgegend „getroffen“, dann verhilft die Umgebungskarte zum raschen Auffinden der Veränderlichen. Die Orientierung der meisten Umgebungskarten entspricht bereits dem Anblick im umkehrenden Fernrohr.

Beobachtungshinweise. Als Beobachtungsort sollte ein von Fremdlichteinflüssen freier Ort gewählt werden. Etwa bis zur 4. Größenklasse beobachtet man mit dem bloßen Auge. Bis zur 6. Größenklasse genügt ein Feldstecher, und von da an bedient man sich des Fernrohrs. Für die Aufzeichnungen sind erforderlich: Schreibgerät mit fester Unterlage, Uhr mit Minuten Genauigkeit sowie eine gedämpft leuchtende Taschenleuchte. Das Aufsuchen im Fernrohr sollte zunächst mit schwächster Vergrößerung beginnen. Bei mittleren Vergrößerungen ist zumeist noch ein genügend großes Gesichtsfeld vorhanden, um Sterne mit Vergleichshelligkeiten überblicken zu können. Das Gesichtsfeld kann bei bewährter Vergrößerung für Wiederholungsbeobachtungen in der Umgebungskarte gestrichelt umrissen werden.

Helligkeitsschätzungen. Angaben über die scheinbare Helligkeit eines Veränderlichen in Form einer Beobachtungsreihe ermöglichen es, die Lichtkurve der Veränderlichen zu zeichnen. Nach dem hier nur knapp beschriebenen Verfahren der Stufenschätzung sind auch fotografische Dokumente auswertbar.

Der Beobachter sucht sich in möglichst unmittelbarer Nachbarschaft des Veränderlichen „V“ einen wenig helleren Vergleichssterne „a“ sowie einen wenig schwächeren Stern „b“. Diese sollten sich in der Färbung von V wenig oder gar nicht unterscheiden. Bei der Beobachtung wird V mit a oder b visuell nach folgender Regel verglichen:

- Erscheint V nach mehrfachem Hin- und Hersehen ebenso hell wie a, schreibt man a0V (Der Helligkeitsunterschied beträgt 0 Stufen)
- Sieht man a nach mehrfachem Hin- und Hersehen als den mutmaßlich helleren gegenüber V an, so schreibt man a1V (1 Stufe)
- Ordnet man a nach mehrfachem Hin- und Hersehen gegenüber V als den sicher helleren ein, schreibt man a2V (2 Stufen)
- Wird a schon beim ersten Anblick als der sicher hellere gegenüber V erkannt, schreibt man a3V (3 Stufen)
- Ist a geradezu auffällig heller als V, schreibt man a4V (4 Stufen).

In gleicher Weise wird anschließend mit V gegenüber b verfahren. Sinkt V unter die Helligkeit von b ab, so ist nunmehr an Hand eines dritten oder vierten Vergleichssterne „c“ oder „d“ weiterzuschätzen. Für jeden Veränderlichen wird dazu ein Protokollblatt einge-

richtet, auf dessen Kopf sich die wiederkehrenden Angaben befinden: Objekt, Instrument, Vergrößerung, Ort, Beobachter, evtl. Umgebungskarte und Angaben zu Vergleichssterne. Als Beobachtungsergebnis erhält man beispielsweise:

7. 1. 1985 21.10 Uhr MEZ a0V V1b

Erst bei einer hinreichend langen Beobachtungsreihe (über Wochen oder Monate) entsteht eine Liste mit etwa folgendem Aussehen: jeweils 22.00 Uhr MEZ

8. 1. a1V V2b	13. 1. a2V V1,5b	16. 1. b2V V3c	26. 1. b3V V0c
9. 1. a2V V1b	15. 1. a5V V0b	18. 1. b1,5V V3c	30. 1. b3V V1c

Zur Auswertung bildet man die Mittelwerte der Stufenunterschiede zwischen den Vergleichssterne:

a - b:	3 Stufen	b - c:	5 Stufen
	3 "		4,5 "
	3,5 "		3 "
	5 "		4 "

Mittelwert: 3,63 Stufen

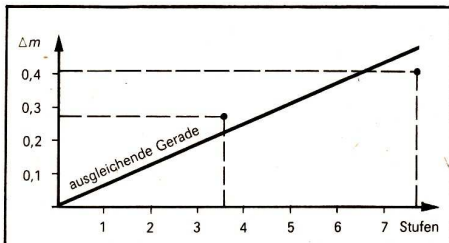
Mittelwert: 4,13 Stufen

Den Vergleichssternehelligkeiten, die gegebenenfalls einem Katalog entnommen werden müssen, werden nun die Stufen gegenübergestellt:

Nr.	Vergleichssternehelligkeit in Größenklassen	Stufen
a	7 ^m ,05	0.0
b	7 ^m ,32	3.6
c	7 ^m ,46	7.7

Damit überdecken 7,7 Stufen einen Helligkeitsbereich von 7^m,46 - 7^m,05 = 0,41 Größenklassen. Dieser Zusammenhang wird anschließend grafisch dargestellt (Bild 63/1). An der ausgleichenden Geraden ist nun der Betrag der Helligkeitsdifferenz je Stufe ablesbar, um den die Helligkeit von a, b oder c vermehrt werden muß, damit man die Helligkeit von V für den Zeitpunkt der Beobachtung erhält. Mit den so ermittelten Werten wird die Lichtkurve gezeichnet.

[3/29]



63/1 Helligkeitsdifferenz nach Schätzstufen

Beobachtung von Sternspektren

In einem Spektrum sind die Bestandteile der Strahlung einer Strahlungsquelle nebeneinander angeordnet.

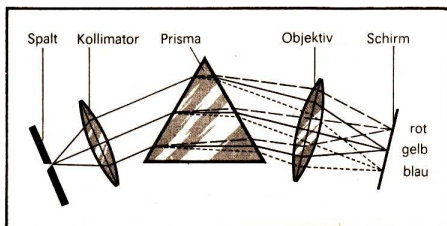
So entsteht z. B. nach dem Durchgang eines weißen Lichtbündels durch ein optisches Prisma infolge Brechung ein abgelenktes und verbreitertes farbiges Lichtbündel, das man als das Spektrum der Lichtquelle bezeichnet (Bild 64/1). Kürzerwelliges Licht (z. B. Blau) wird stärker, längerwelliges Licht (z. B. Orange) wird dabei weniger stark gebrochen. Bereits Isaac Newton zog den Schluß, daß weißes Licht durch Überlagerung verschiedenfarbigen Lichts entsteht.

Von den kosmischen Strahlern erhält man verschiedene Spektren. So zeigt beispielsweise das Spektrum leuchtender Gasnebel helle farbige Linien auf dunklem Grund. Das Spektrum der Sonne (wie auch das der meisten Sterne) zeichnet sich dagegen durch ein lückenloses (kontinuierliches) Farbenband mit zahlreichen dunklen Linien aus. Bei rötlich gefärbten Sternen ist darin der Rotanteil, bei bläulichen Sternen der Blauanteil stärker ausgeprägt. *Die Farbe ist Ausdruck der Oberflächentemperatur des Sterns (z. B. Gelblichweiß bei der Sonne für rund 6000 K) (vgl. dazu auch LBA).*

Im Vergleich mit in Laboratorien erzeugten Spektren bekannter Strahler erlauben die Linien Rückschlüsse auf die physikalische Natur und die chemische Beschaffenheit der Strahlungsquelle.

Vom menschlichen Auge werden nur solche Teile der Spektren registriert, für deren Wellenlänge die Netzhaut im optischen Bereich empfindlich genug ist. Für die visuelle Beobachtung hinreichend helle Sternspektren sind nur von solchen Strahlern zu erhalten, deren scheinbare Helligkeit groß genug ist. Die „spektrale Reichweite“ von Fernrohren hängt damit von der Fernrohröffnung, dem Auflösungsvermögen des Spektralapparates (sog. Dispersion), der Empfindlichkeit des Strahlungsempfängers und von den alle astronomischen Beobachtungen beeinträchtigenden Umweltfaktoren ab.

Die visuelle Beobachtung von Spektren an Schul- und Amateurfernrohren ist nur an hellen Sternen möglich und erfolgt mit dem *Okularspektroskop*. Dieses wird anstelle des Augenringes auf das Okular aufgeschraubt und kann in Verbindung mit den Okularen der Brennweiten 6, 10, 12,5, 16 und 25 mm verwendet werden. Das Gerät enthält gegenüber Bild 64/1 keinen Spalt und keinen Kollimator, da Sterne punktförmige Objekte sind. Im Spektroskop erscheinen die Spektren als dünne Linien, die im roten und blauen Bereich sehr schmal sind. Eine Verbreiterung der Linien kann durch das Aufsetzen von Zylinderlinsen (–12 Dioptrien für helle, –6 Dioptrien für schwächere Sterne) erzielt werden. Absorptionslinien sind nur in den Spektren sehr heller Sterne zu erkennen. Bei Beobachtungen sollte daher besser ein Vergleich von Sternen früher Spektralklassen (intensiver Violettanteil für B- und A-Sterne, ↗ Tabelle 4/5) mit solchen später Spektral-



64/1 Anordnung zur Erzeugung eines Spektrums

klassen (starker Rotanteil für K- und M-Sterne, ↗ Tabelle 4/5) angestellt werden. Besonders eindrucksvoll gestalten sich Beobachtungen enger Doppelsterne mit Komponenten unterschiedlicher Spektralklassen, z. B. Albireo = Beta Cygni: helle Komponente mit Spektralklasse K0 und großem Gelb-Rot-Anteil, schwächere Komponente mit Spektralklasse A0 und hohem Blau-Anteil.

Beobachtung von Sternhaufen und Nebeln

Sternhaufen und Nebel sind auch in kleinen und mittelgroßen Fernrohren eindrucksvolle Erscheinungen.

Sternhaufen sind Ansammlungen von Sternen, deren räumliche Dichte die der übrigen Sterne übersteigt.

Zeigen sie eine nur lockere Anordnung der Einzelsterne, so werden sie als *offene Sternhaufen* bezeichnet. Sternhaufen mit kugelsymmetrischer Form und hoher Dichte heißen *Kugelsternhaufen*. Beide Gruppen von Sternhaufen unterscheiden sich im Alter, in der Anzahl der ihnen zugehörenden Sterne, im Durchmesser, der Entfernung und in der Konzentration zur Ebene unseres Sternsystems. Kugelsternhaufen sind sternreicher, größer, älter, weiter entfernt als offene Sternhaufen und umgeben unser Sternsystem in Form einer symmetrischen Wolke. [3/30]

Nebel, aus Gas und Staub bestehend, kommen sowohl als leuchtende als auch als nichtleuchtende Ansammlungen diffuser Materie vor. [3/31]

Besonders eindrucksvolle Nebel tragen Eigennamen („Krebsnebel“, „Hantelnebel“, „Eulennebel“ u. a.). In dem von Charles Messier im Jahre 1784 aufgestellten Katalog der Sternhaufen und Nebel (z. B. veröffentlicht im KfS 1985, S. 167 bis 170) wird die Natur von Sternhaufen oder Nebeln nicht unterschieden. Aus diesem Katalog herrührende Objektbezeichnungen mit M1, M2, ..., M108 werden in den jährlich wiederkehrenden Zusammenstellungen lohnender Beobachtungsobjekte im KfS verwendet. Die dort ebenfalls benutzte Bezeichnung NGC weist auf den 1888 von Dreyer erarbeiteten „New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars“ hin (Bild 65/1).



65/1 Offener Sternhaufen
Plejaden (M 45)

Offene Sternhaufen sind wegen ihrer größeren Ausdehnung, Nebel wegen der geringeren Flächenhelligkeit mit schwachen bis mittleren Vergrößerungen am besten zu beobachten.

Bei Kugelsternhaufen können stärkere Vergrößerungen eingesetzt werden.

Für offene Sternhaufen ist eine Beschreibung des Erscheinungsbildes nach Klassifikationsmerkmalen gebräuchlich. Die in Tabelle 3/7 erklärten Symbole werden zur Charakterisierung des Typs zusammengezogen. [3/32]

Tabelle 3/7 Merkmale zur Klassifikation von offenen Sternhaufen

Zentrumskonzentration	Sternhelligkeiten	Mitgliedszahl n
auffällig stark (I)	annähernd gleich (1)	$n < 50$ (p)
deutlich (II)	gleichmäßig gestreut (2)	$50 \leq n \leq 100$ (m)
mäßig (III)	einige sehr hell (3)	$100 < n$ (r)
schwach (IV)	Beispiel: Plejaden II 3 r, Praesepe I 2 r	

Das vergleichsweise geringe Alter offener Sternhaufen von einigen Millionen bis zu einigen hundert Millionen Jahren kommt auch im *Hertzsprung-Russell-Diagramm* (HRD; $\nearrow$ LBA) zum Ausdruck. Der Riesenast im HRD eines offenen Sternhaufens ist nur gering mit Sternen besetzt, dagegen ist die Hauptreihe sehr dicht besiedelt. Diese Tatsache benutzt ein zweites Klassifikationsverfahren, das damit auch der physikalischen Natur der Sternhaufen besser gerecht wird. Es bedeutet:

- 1: Alle Haufensterne befinden sich auf der Hauptreihe.
- 2: Nur wenige Sterne gehören zum Riesenast.
- 3: Die meisten hellen Sterne des Sternhaufens sind Riesensterne.

[3/33]

Beobachtung der Milchstraße

Die Milchstraße ist ein viele Sternbilder durchziehendes, diffuses und schwach leuchtendes Band, das die gesamte scheinbare Himmelskugel umspannt.

Extrem klare Nächte, wie sie besonders nach einem Kaltlufteinbruch auftreten, sind besonders zum Studium der unregelmäßigen Umriss der Milchstraße geeignet. Mond- und Fremdlichteinflüsse sollten für solche Beobachtungen völlig ausgeschlossen werden. Zur Vorbereitung gehört das Kennenlernen der Sternbilder längs der Milchstraße und die Herstellung einer handgezeichneten Kopie der Grundplatte der drehbaren Sternkarte, die zumindest alle Sternbilder entlang des interessierenden Bereichs enthalten sollte. Das Duplikat ist wisch- und radierfest auf weißem Zeichenkarton herzustellen. Die Beobachtung führe man in sitzender bis halbliegender Position auf einem verstellbaren Camping- oder Liegestuhl durch. Zur weiteren Ausrüstung gehören Schreibunterlage, gedämpft leuchtende Taschenleuchte, Bleistift und Radiergummi.

Auswertung: Wurde die Beobachtung gewissenhaft durchgeführt, dann kann auf der Karte im Abstand von jeweils 0,5 bis 1 cm grafisch die Mitte des Milchstraßenbandes festgelegt werden. Durch die einzelnen Mittelpunkte wird anschließend eine ausgleichende, annähernd gleichmäßig gekrümmte Kurve gelegt, die mit grober Näherung den galaktischen Äquator darstellt. Im Krümmungsmittelpunkt ergibt sich dann annähernd der Ort für den galaktischen Nordpol, der zum galaktischen Äquator einen Abstand von 90° besitzen muß. Der galaktische Südpol befindet sich 90° vom Äquator in entgegengesetzter Richtung und liegt gerade noch auf der Sternkarte. [3/34]

Hinweis: Durch „Sternzählungen“ im Gesichtsfeld eines parallaktisch aufgestellten Fernrohrs nähert man sich stellarstatistischer Untersuchungsmethodik. Das Instrument ist

dafür mit einem kürzerbrennweitigen Okular auszurüsten. In Frage kommende Himmelsfelder werden nun in Deklinationsabschnitten von beispielsweise je 10 Grad Abstand linienweise durchmustert. Steht eine Montierung mit Nachführungsmotor zur Verfügung, so sind alle Sterne zu zählen, die bei zusätzlich von Hand bewegtem Fernrohr das Gesichtsfeld durchlaufen. Zwischensummen bei RA-Differenzen von beispielsweise je 10^{min} (angezeigt durch einen zweiten Beobachter) werden in einer Wertetabelle festgehalten.

Bei motorisch nicht nachgeführten Fernrohren sollte die Zählung am feststehenden Fernrohr erfolgen.

Aus der Wertetabelle oder auch auf grafischem Wege wird das Maximum der Stern-dichte ermittelt. Es muß möglichst genau auf dem galaktischen Äquator liegen.

Beobachtung von Sternsystemen

Sternsysteme sind Ansammlungen von vielen Milliarden von Sternen im Weltraum.

Sie befinden sich Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt und sind die am weitesten entfernten kosmischen Objekte, die der astronomischen Forschung zugänglich sind.

Die geringen Flächenhelligkeiten der nebelartig erscheinenden Objekte erfordern wie bei den galaktischen Nebeln zur visuellen Beobachtung lichtstarke Fernrohre. Die Objekte können teilweise schon mit Feldstechern oder bei geringen Vergrößerungen mit dem Schulfernrohr Telementor aufgefunden werden. Die Beobachtung ist nur unter günstigen astroklimatischen Bedingungen aussichtsreich.

Beobachtungen eignen sich zur „Schulung des Sehens“ am Fernrohr und für Übungen zum Aufsuchen astronomischer Objekte nach Koordinaten mit Hilfe der Teilkreise. Eine Auswahl dafür geeigneter Objekte wird alljährlich im KfS zusammengestellt. Diese weist neben der Nummer aus den auf S. 24 erwähnten Katalogen die Äquatorkoordinaten, den scheinbaren Durchmesser und den betreffenden Typ der Galaxie aus. Die darin vorkommenden Buchstaben bedeuten:

I: irreguläre, d. h. unregelmäßig geformte Sternsysteme ohne erkennbare Rotations-symmetrie,

E: elliptische Sternsysteme, bei denen die Flächenhelligkeit nach außen hin abnimmt,

S: spiralartige Sternsysteme mit zwei oder mehreren um das Zentrum gewundenen Spiralarmen.

Strukturunterschiede sind jedoch im Schulfernrohr nicht zu bemerken, sie sind erst an Hand detailreicher Himmelsfotografien an größeren Teleskopen zu erkennen.

Fragen und Aufträge

3/1 Berechnen Sie den Stundenwinkel für 8^h Sternzeit ($\theta = 8^h$) für folgende Objekte:

a) Andromedanebel M 31

b) Orionnebel M 42

c) Plejaden M 45!

Entnehmen Sie die Rektaszensionen dieser Objekte dem KfS!

3/2 Wie lange benötigt die Erde, um sich bei ihrer täglichen Rotation

a) um 1° b) um 15°

weiterzudrehen?

3/3 Bauen Sie eine einfache Sonnenuhr! Wie können Sie diese Uhr grob justieren? Wie muß vorgegangen werden, um die Sonnenuhr mit Hilfe der Zeitgleichung genau auszurichten?

- 3/4 Prägen Sie sich markante Zirkumpolarsternbilder ein!
- 3/5 Suchen Sie in der Literatur Angaben über die Sagen, die mit markanten Sternbildern verknüpft sind!
Schildern Sie in einem Vortrag den Inhalt einiger solcher Sagen!
- 3/6 Bestimmen Sie an dem Beobachtungsort Ihrer Schule die Südrichtung mit Hilfe der Zeigeruhr!
- 3/7 Legen Sie dar, wie man sich mit Hilfe von Karte und Kompaß im Gelände orientieren kann!
- 3/8 Messen Sie über mehrere Stunden hinweg viertelstündlich die Schattenlänge eines Gnomons! Berechnen Sie aus der Höhe des Schattenwerfers und den Schattenlängen die jeweiligen Sonnenhöhen!
- 3/9 Diskutieren Sie, wie genau die Bestimmung der Himmelsrichtungen mit Hilfe des Polarsterns sein kann! Gehen Sie dabei auch auf die Koordinaten des Polarsterns (seine Rektaszension und seine Deklination) ein!
- 3/10 Beobachten Sie die Wirkungen von Extinktion und Szintillation an einem Herbstabend an den Sternen des Sternbildes Herkules!
- 3/11 Bestimmen Sie den scheinbaren Durchmesser der Sonne
 - a) gegen Mittag
 - b) kurz vor Sonnenuntergang
 und weisen Sie an Hand der Ergebnisse nach, daß die Annahme unterschiedlicher Durchmesser auf einer Täuschung beruht!
- 3/12 Fertigen Sie, beginnend mit dem Auftauchen einer Fleckengruppe am Sonnenrand, täglich eine Skizze dieser Fleckengruppe an! Benutzen Sie dazu eine starke Vergrößerung! Weisen Sie die Veränderung der Gestalt dieser Fleckengruppe nach!

Achtung! Sonnenfilter oder Projektionsschirm verwenden!

- 3/13 Zeigen Sie an Hand einer eigenen Beobachtungsreihe, ob im Beobachtungszeitraum die Sonnenfleckenhäufigkeit zu- oder abnimmt!
- 3/14 Erklären Sie unter Verwendung der drehbaren Sternkarte an den Örtern von Sonne und Mond, warum Winter- und Sommervollmond so unterschiedliche Kulminationshöhen besitzen!
- 3/15 Erklären Sie die Entstehung des „aschgrauen Lichtes“, das wenige Tage vor oder nach Neumond auftritt!
- 3/16 Beobachten Sie eine Sternbedeckung! Bestimmen Sie dabei die Ein- bzw. Austrittszeit mit Hilfe einer Stoppuhr!
- 3/17 Prägen Sie sich die Namen der dunklen Ebenen (Mare-Gebiete), die Namen der größten Krater und die der größten Kettengebirge des Mondes ein!
- 3/18 Suchen Sie, ausgehend von den Angaben auf dem Mondglobus, einige Landeorte von Raumflugkörpern mit dem Fernrohr auf dem Monde auf!
- 3/19 Zeichnen Sie eine ausgewählte Mondlandschaft bei zunehmendem und bei abnehmendem Mond!
- 3/20 Wie entstehen Mondfinsternisse? Beantworten Sie diese Frage an Hand einer Skizze! Erklären Sie dabei auch, weshalb Mondfinsternisse an einem bestimmten Beobachtungsort häufiger zu beobachten sind als Sonnenfinsternisse!
- 3/21 Ermitteln Sie aus den Angaben im KfS günstige und ungünstige Zeiträume für die Beobachtung
 - a) von Merkur, Venus und Mars im laufenden Jahr;
 - b) von Jupiter und Saturn in den nächsten 10 Jahren!
- 3/22 Verfolgen Sie im Abstand von jeweils einigen Tagen über mehrere Monate hinweg die Ortsveränderung eines Planeten an der Himmelskugel! Erklären Sie das Zustandekommen dieser scheinbaren Bahn!

- 3/23 Fertigen Sie an mehreren möglichst dicht aufeinanderfolgenden Beobachtungstagen Zeichnungen von Mars, Jupiter oder Saturn an! Nutzen Sie Fachliteratur, um die von Ihnen wahrgenommenen Einzelheiten zu identifizieren!
- 3/24 Beobachten Sie während eines Meteorstroms, wie die Häufigkeit der Meteore (z. B. ihre Anzahl je Stunde) in den Stunden *nach* Mitternacht zunimmt. Halten Sie einen Vortrag und legen Sie darin Ihre Beobachtungsergebnisse dar! Erklären Sie die Zunahme der Meteorhäufigkeit in der zweiten Nachthälfte!
- 3/25 Halten Sie einen Vortrag über die geometrischen Sichtbarkeitsbedingungen von vier künstlichen Erdsatelliten, von denen zwei mit Flughöhen von 250 km und 750 km Polarbahnen, die anderen mit den gleichen Höhen Äquatorbahnen beschreiben! Gehen Sie dabei unter Verwendung von Skizzen auch auf die jahreszeitlichen Veränderungen der Sichtbarkeit dieser Satelliten ein!
- 3/26 Stellen Sie durch Beobachtung geeigneter Doppelsterne das Auflösungsvermögen jedes einzelnen der Ihnen zur Verfügung stehenden Fernrohre fest! Vergleichen Sie insbesondere in dieser Hinsicht das Schulfernrohr Telementor mit einem Feldstecher!
- 3/27 Fertigen Sie eine Tabelle zur Umwandlung von Dezimalteilen des Tages in Stunden und Minuten und umgekehrt an!
- 3/28 Stellen Sie eine Übersicht her, aus der abzulesen ist, an welchen Tagen der Monate November bis März des laufenden Schuljahres Algolminima in der Zeit zwischen Dämmerungsende und Mitternacht stattfinden!
- 3/29 Beobachten Sie ein Algolminimum nach der Stufenschätzmethode mit dem bloßen Auge! Beobachten Sie, beginnend 3 Stunden vor dem berechneten Minimum, alle 30 Minuten! Beenden Sie Ihre Beobachtungsreihe 3 Stunden nach dem Minimum!
- 3/30 Bestimmen Sie den scheinbaren Durchmesser eines Kugelsternhaufens durch Ermittlung der Durchgangszeit durch eine Gesichtsfeldmarkierung am stillstehenden Fernrohr! Verschaffen Sie sich aus der Fachliteratur Kenntnis über die Entfernung des Haufens von der Erde und errechnen Sie den wahren Durchmesser dieses Objekts!
- 3/31 Zeichnen Sie nach Fernrohrbeobachtungen den Orionnebel und den Ringnebel in der Leier! Wodurch kommt das Leuchten dieser Objekte zustande?
- 3/32 Klassifizieren Sie nach Feldstecherbeobachtungen einige der im KfS ausgewiesenen offenen Sternhaufen!
- 3/33 Schätzen Sie den scheinbaren Durchmesser eines offenen Sternhaufens und zählen Sie die Haufenmitglieder! Leiten Sie in Verbindung mit der Entfernung aus dem Beobachtungsergebnis eine Angabe zur räumlichen Dichte des Sternhaufens ab! Tragen Sie nach Angaben aus der Literatur die tatsächliche Lage des galaktischen Äquators und der Pole in Ihre Beobachtungsunterlagen ein!

Die fotografische Himmelsbeobachtung gehört zum Alltag moderner astronomischer Forschung. Meteore, Kleinplaneten und Erdsatelliten hinterlassen auf Himmelsfotografien deutlich sichtbare Leuchtspuren, wodurch die Bahnen dieser Objekte genauer berechnet werden können. Auf fotografischen Himmelsaufnahmen beruhen alle modernen Sternkataloge, denen man außer den Sternörter auch Angaben über die scheinbaren Helligkeiten oder über die Spektren der Sterne entnehmen kann. Die Astrofotografie ermöglicht die Vertiefung von Einsichten über die Natur von Kometen, Nebeln und Sternsystemen.

An einigen Sternwarten werden z. B. veränderliche Sterne nach einem strengen „Überwachungsprogramm“ fotografisch beobachtet. Zu diesem Zweck sind fünf, sechs oder mehr Himmelskameras auf einer einzigen Fernrohrmontierung installiert. Während einer Beobachtungsnacht entstehen dann zahlreiche Dokumente, aus denen an Meßtischplätzen mit großer Aufmerksamkeit eine Fülle von Daten gewonnen und geordnet werden müssen. Jede einzelne Messung gleicht dabei nur einem winzigen Mosaikbaustein für das Gesamtbild der allmählich entstehenden Lichtkurve eines veränderlichen Sterns. Eines der internationalen Zentren für die Veränderlichenforschung ist die Sternwarte Sonneberg des Zentralinstituts für Astrophysik der DDR.

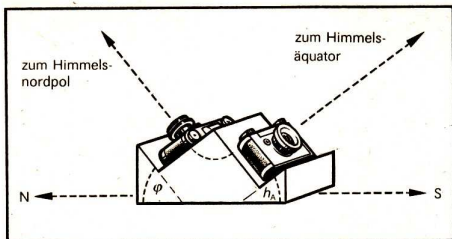
Aufnahmen von Sternstrichspuren

Durch geringen technischen Aufwand eignet sich das nachfolgend beschriebene Verfahren besonders für den Anfänger als eine Möglichkeit erster astrofotografischer Selbstbetätigung.

Bei längerer Öffnung des Verschlusses einer fest aufgestellten und auf den nächtlichen Sternenhimmel ausgerichteten Kamera erhält man infolge der Erddrehung Strichspuren der Sterne (Bild 71/1).

Die nächtliche scheinbare Himmelsdrehung widerspiegelt sich in Form eines Stückes des zurückgelegten Weges der Sterne auf dem Film. Einzige ruhende Punkte sind dabei Süd- und Nordpol des Himmels. In Abhängigkeit vom Betrag der Deklinationen sind die Spuren zum Himmelspol hin stärker gekrümmt. Im Himmelsäquator befindliche Sterne bilden sich dagegen als Geraden ab. Die Spurlänge wächst mit zunehmender Belichtungszeit. Aus ihrer Länge läßt sich umgekehrt auch über den Zentriwinkel der Kreisbögen die Belichtungszeit ableiten. Beeinträchtigungen der Strichspuren entstehen bei geringen Sternhöhen über dem Horizont. Die Extinktion schwächt und die Szintillation verbreitert sie.

Um deutliche Sternstrichspuren mit Kreisbögen von 7,5 Grad zu erhalten, ist eine Belichtungszeit von 30 Minuten erforderlich. Bei längerer Belichtung darf der zur Ausbildung des fotografischen Schleiers führende Wert nicht überschritten werden.



71/1 Einfache Kamerahalterung für Sternspuraufnahmen im Himmelsnordpol und im Himmelsäquator ($h_A = 90^\circ - \varphi$; φ ist die geographische Breite des Beobachtungsortes).

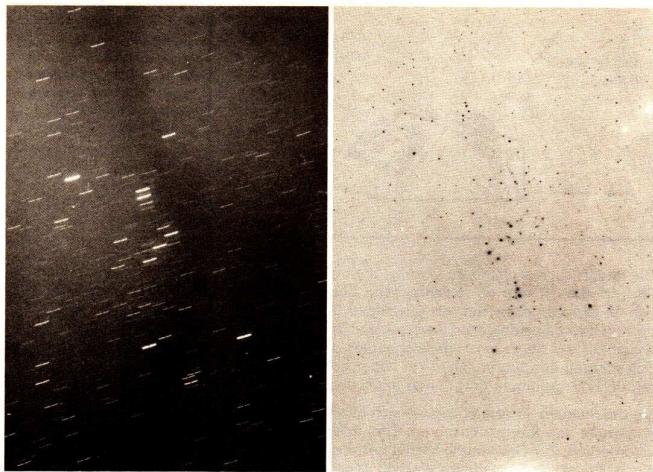
Die fotografisch erreichbare Grenzgröße hängt von der Deklination δ der im Aufnahme-feld erfaßten Sterne ab. Entsprechend der stündlichen scheinbaren Himmelsdrehung von 15 Grad ergeben sich die jeweiligen Spurlängen zu $15^\circ \cdot \cos \delta$. Im Aufnahme-feld bewegt sich demzufolge ein Stern mit der Deklination 60° nur um die Hälfte des Betrages weiter als ein Stern am Himmelsäquator. Entsprechend verfälscht erscheint dann die Schwärzung der Spuren. Dem Pol näher befindliche Sterne werden also stärker belichtet, deshalb gelangen dort Sterne mit schwächeren Grenzgrößen zur Abbildung.

Vorbereitungen. Prinzipiell eignen sich alle Kameras mit der Einstellung „B“ und „ ∞ “ zur Fotografie von Sternstrichspuren. Eine Spiegelreflexkamera ist hierfür nicht unbedingt erforderlich. Zur Gewinnung kräftig geschwärzter Spuren sollten jedoch möglichst lichtstarke Objektive mit Öffnungsverhältnissen von 1:2,8 bis 1:1,8 herangezogen werden. Als günstigstes Filmmaterial eignet sich NP 27. Stativ mit Kugelgelenk oder Kino-Panorama-Kopf, feststellbarer Drahtauslöser, Notizblock und gegebenenfalls eine drehbare Sternkarte komplettieren die Ausrüstung.

Als Beobachtungsort sollte, wie für alle weiteren fotografischen Vorhaben dieser Art, ein von Fremdlichteinflüssen freier Ort gewählt werden. Der Aufnahmebeginn ist erst nach Beendigung der astronomischen Dämmerung sinnvoll. Der in unseren geographischen Breiten zur Zeit um den Sommeranfang herum verbleibenden Mitternachtsdämmerung wegen sind Sternstrichspuraufnahmen von NW über N bis NO erst ab Anfang August und bis Mitte Mai zu empfehlen. Einer ähnlichen Beeinflussung unterliegen die Horizontabschnitte von O über S bis W bei Mondlicht. Terminvorbetrachtungen unter diesem Gesichtspunkt sind daher unumgänglich.

Zur Vorbereitung gehört ferner die Kenntnis des auf dem Aufnahmeformat abgebildeten Himmelsausschnittes. Mit einem 1:2,8/50 mm-Normalobjektiv ist beispielsweise auf dem Kleinbildformat 24×36 mm ein Himmelsfeld von 28×42 Grad abzubilden (weitere Formate s. Tab. 4/2). Wird an die Herstellung eigener Sternkarten aus dem gewonnenen Material gedacht, dann muß bei der Planung die Überlappung der anschließenden Himmelsfelder berücksichtigt werden. Entsprechende „Anschlußsterne“ sollten dann auf den angrenzenden Aufnahmen zu sehen sein. [4/1]

Im Kamerasucher sind Sterne sehr lichtschwach zu sehen. Als Visier ist deshalb ein Fernrohr nützlich, wobei die Bildmitte beider Gesichtsfelder übereinstimmen muß. Für kreisförmige Strichspuren um das Zentrum der Abbildung kann der Polarstern so recht genau eingestellt werden. Eine einfache Halterung zeigt Bild 71/1. Reizvolles Motiv für eine Kamera mit Weitwinkelobjektiv kann die Aufnahme des Polarsterns mit einem interessanten Abschnitt des natürlichen Horizonts (Hochformat) sein.



72/1 Sternspuraufnahmen und selbstgestochene Sternkarte

Auswertung. Eine zweckgebundene Aufgabe ist die Herstellung von Sternkarten. Von der gelungenen Sternstrichspuraufnahme einer interessierenden Himmelsgegend fertigt man sich eine nicht zu stark belichtete Papiervergrößerung in gewünschter Abmessung an (Bild 72/1a). Auch schwächere Spuren sind hierbei noch in ihrer vollen Breite gut zu erkennen. Die Vergrößerung wird dann auf eine glatte Holzunterlage gespannt und mit der Reißnadel einheitlich an allen Anfangs- oder Endpunkten der Spuren so weit durchstoßen, wie die Spuren jeweils dick erscheinen. Die nach dieser Technik entstandene Lochfolie legt man unter möglichst geringem Druck über ein gleich großes Blatt extrahartes Fotopapier und belichtet wie bei einer Kontaktkopie. Das entwickelte Papier zeigt nunmehr dunkle Sterne auf hellem Untergrund (Bild 72/1b). Die entstandene Sternkarte vervollständigt man durch Sternbezeichnungen und Koordinatenangaben. Auch Sternhelligkeiten können angetragen werden. Ein nach diesem Verfahren selbst gefertigter Himmelsatlas kann ein wertvolles Hilfsmittel für die weitere Arbeit darstellen. Deklinationsbedingte Helligkeitsverfälschungen (siehe weiter vorn) können bei solchen Aufnahmen gering gehalten werden, wenn die Aufnahmen geringe Deklinationsbereiche im Querformat erfassen.

Sternstrichspuraufnahmen eignen sich auch zur Überwachung von Meteoren und Satelliten.

Fotografische Beobachtung der Sonne

Der ausreichenden Flächenhelligkeit und der damit verbundenen kurzen Verschlussöffnungszeiten wegen ist unsere Sonne ein günstiges Fotoobjekt.

Bei Sonnenfotografien wird die Kamera mit einem astronomischen Fernrohr verbunden. Dabei wird das Kameraobjektiv nicht benutzt.

Bei nicht zu hoch gesteckten fotografischen Zielen sind an Art und Komfort der Fernrohrmontierung keine großen Anforderungen zu stellen. Sie darf allerdings gegen Vibrationen nicht zu anfällig sein.

Lichtdämpfung. Wie bei der visuellen Beobachtung das Auge, so ist bei der Sonnenfotografie besonders der Kameraschluß gefährdet. Es gilt daher:

Alle Aufnahmepreparierungen werden entweder bei verschlossenem bzw. durch Sonnenfilter geschütztem Objektiv oder an dem von der Sonne abgewandten Fernrohr vorgenommen. Bei Direktaufnahmen erfolgt die Scharfeinstellung stets mit aufgesetztem Sonnenfilter.

Zur Anpassung an die Öffnungszeiten des Kameraschlusses eignen sich kreisringförmige Blenden vor dem Fernrohrobjektiv. Solche Blenden können aus Pappe geschnitten und mit Gummiband befestigt werden.

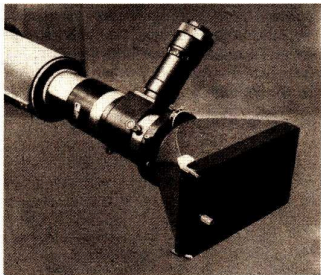
Die Abbildung. Im Brennpunkt eines Amateur- oder Bastelfernrohres mit Objektivbrennweiten von 1200 bis 500 mm entstehen Sonnenbilder mit Durchmessern von etwa 12 bis 5 mm Durchmesser. Das bedeutet für Fotos auf dem Kleinbildformat 24×36 mm einen Verzicht auf etwa 200 bis 450% des möglichen Abbildungsmaßstabes! Aus diesem Beispiel ergibt sich folgende Faustregel:

Gestirne von rund 0,5 Grad scheinbarem Durchmesser (z. B. Sonne und Mond) führen bei Objektivbrennweiten von x Metern zu Fokalbildern mit x Zentimetern Durchmesser.

Speziell für Sonne und Mond bedeutet dies: Erst im Brennpunkt eines 2 m langen Fernrohres beanspruchen ihre Bilddurchmesser das Kleinbildformat sinnvoll.

Formatfüllende Sonnenfotos sind auch mit kürzerbrennweitigen Fernrohren nach der Methode der Fernrohrfotografie (→ S. 22), insbesondere aber durch die Projektionsfotografie zu erzielen. Die Brennweiten der Okulare H-25 und H-16 sowie der durch Zwischenringe gewählte Abstand der Kamera bestimmen dabei die Bildgröße. Nach Versuchsaufnahmen ist die beste Anordnung für den Wiederverwendungszweck zu kennzeichnen bzw. im Protokoll festzuhalten.

Mond- und Planetenkamera. Mit dieser speziellen Zusatzeinrichtung für alle Zeiss-Schul- und Amateurfernrohre (Bild 73/1) sind auch Sonnenaufnahmen auf 6×9 cm Platten- oder Planfilmmaterial möglich. Die mit Verschlusszeiten von 1 bis $1/125$ Sekunde ausgestattete Kamera kann aber auch gegen das Gehäuse einer Kleinbildkamera ausgetauscht werden. Zur Kameraeinheit gehören Projektive (Okulare), die in Verbindung mit dem Schulfernrohr Telemotor zu hinreichend großen Abbildungsmaßstäben führen.



73/1 Mond- und Planetenkamera mit Kontroll-
okular

Da die Bildbeurteilung durch ein seitlich montiertes Kontrollokular erfolgt, sind auch Kameras ohne Spiegelreflexeinrichtung verwendbar. Bei Einsatz der Mond- und Planetenkamera gelten gleichfalls die Hinweise zur Lichtdämpfung.

Aufnahmen. Sonnenfotos sollten wegen der möglichen Vibrationen und störenden atmosphärischen Einflüsse bei kürzester Belichtungszeit gewonnen werden. Die gewünschte Feinkörnigkeit des Aufnahmematerials wird von den Emulsionen FU 5, NP 15 und DK 5 (Planfilm), NP 15 (Kleinbild- und 6×6 -Rollfilm) erfüllt. Für Color-Positivaufnahmen ist UT 18 geeignet (Kleinbild- und 6×6 -Rollfilm). Sofern Vorbereitung und Aufnahme nicht unter direktem Einsatz eines Chromfilters erfolgen, ergeben sich aus Gründen der Sicherheit folgende Handlungsschritte:

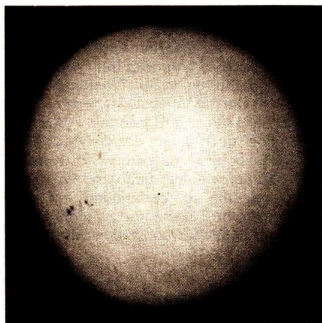
- Montage des Fotoansatzes mit Drahtauslöser an dem von der Sonne weggerichteten Fernrohr. Ausrichtung des Längsformats parallel zum Himmelsäquator.
- Kameraverschluß spannen. Scharfeinstellung auf ein sehr weit entferntes terrestrisches Objekt (z. B. Schornstein).
- Reduzierung der Objektöffnung auf etwa die Hälfte des Durchmessers durch eine selbstgefertigte Kreisblende.
- Instrument auf die Sonne ausrichten und *rasche* Korrektur der Bildschärfe. Objektivkappe leicht aufsetzen.
- Verschlußzeit einstellen. Nach „Auspendeln“ von Vibrationen Objektivkappe vorsichtig abnehmen und Verschluß auslösen. Objektivkappe *sofort* wieder aufsetzen. Notierung der Aufnahmedaten (Nummer der Aufnahme, Uhrzeit und Belichtungszeit).

Zu den *Protokollangaben* gehören: Ort, Datum, Sicht, Instrument mit Kameratyp und mechanisch-optischen Zwischenteilen, fotografisches Material, Beobachter. Bei Serienaufnahmen ist Platz für eine Tabelle mit der Zuordnung von Aufnahme-Nr., Belichtungszeit und Uhrzeit zu lassen.

Zur *protokollarischen Nachbereitung* gehören die Entwicklungsbedingungen (vgl. S. 23), die Negativbegutachtung mit Rückschlüssen auf evtl. zu verändernde Aufnahmebedingungen, die Ermittlung des Bilddurchmessers und die Archiv-Signatur des Filmmaterials.

Hinweis: Bei Halbierung, Drittelung usw. der Belichtungszeit tritt mit Verdopplung, Verdreifachung usw. der Lichteintrittsfläche jeweils gleiche Schwärzung ein.

Auswertung. Sonnenfotografien werden am günstigsten an Hand einer Papiervergrößerung und dann wie bei der visuellen Beobachtung ausgewertet.



Fleckengestalt. Mit größerem Abbildungsmaßstab sind bei längerer Belichtungszeit Fleckengruppen detailreicher zu fotografieren. Formwandel und Einordnung in das Klassifikationsschema gehen eindeutig hervor (Bild 39/1). [4/2]

74/1 Sonne mit Fleckengruppen
(Aufnahme am Schulfernrohr Telementor)

Fleckengröße. Ein zu den Sonnenpolen hin durch das Kameraformat „beschnittenes“ Bild ist dennoch gut ausmeßbar, wenn aus dem Längsformat der Sonnendurchmesser hervorgeht. Die Vermessung mittelpunktsnaher Flecken erfolgt an der Papiervergrößerung durch Verhältnisbildung (Bild 74/1).

Fleckenposition. Positionsbestimmungen von Fleckenerscheinungen nach Breite und Länge auf der Sonne sind fotografisch einerseits besonders bequem, verlangen andererseits jedoch Kenntnisse zur jahreszeitlich veränderten Lage des Koordinatensystems auf der Sonne. Informationen darüber gehen aus dem KfS hervor.

Relativzahlen. Die Bestimmung der täglichen Sonnenfleckenzahl R (→ S. 41) verlangt bei Kleinbildkameras eine optimale Ausnutzung des Formats bis hin zum Verzicht auf die Abbildung der Polregionen, in denen ohnehin keine Sonnenflecke auftreten. Für Beobachtungsreihen sollte eine Kamera „reserviert“ bleiben, die dann Sonnenfotos von maximal 36 Beobachtungstagen zu speichern vermag. Die Aufnahmen sollten stets bei etwa gleicher Sonnenhöhe gewonnen werden. Eine Auswertung erfolgt erst nach dem Entwickeln des Films.

Fotografische Beobachtung des Mondes

Der Mond ist durch Flächenhelligkeit, großen scheinbaren Durchmesser und interessante Oberflächengestaltung ein reizvolles und fotografisch leicht beherrschbares Objekt. Bei kurzen Belichtungszeiten kommt man noch ohne Fernrohrnachführung und daher auch mit einer azimutalen Montierung aus. Größere Ansprüche sind aber nur mit parallaktisch montierten und durch einen Motor nachgeführten leistungstärkeren Instrumenten zu realisieren.

Geräteanordnungen. Auf dem Negativ handelsüblicher Kleinbildkameras bildet sich der Mond nur mit einem Durchmesser von etwa 1 mm ab. Auch bei Anwendung von Teleobjektiven oder Astrokameras bleibt der Mondbilddurchmesser stets unter 10 mm. Der angestrebten Abbildungsgröße wegen werden Mondaufnahmen erst in Verbindung mit astronomischen Fernrohren sinnvoll. Folgende Möglichkeiten bestehen:

Fokalfotografie: Gemäß der „Faustregel“ zur Abbildungsgröße (S. 73) beträgt der Bilddurchmesser des Mondes im Brennpunkt des Schulfernrohrs Telementor ca. 8 mm. Die Bildbetrachtung kann über Dia-Projektor erfolgen.

Fernrohrfotografie: Die Kamera kann auf einem Fotostativ mit Kugelgelenk oder Kino-Panorama-Kopf hinter die Austrittsöffnung des Okulars gestellt werden: Solche Aufnahmen erfordern jedoch etwas Geschick wegen des sich ständig weiterbewegenden Mondes. Das Mondbild zeigt bei längerer Belichtung Bewegungsunschärfen! [4/3]

Projektionsfotografie: Bezüglich der Abbildungsgröße gelten die für die Sonne formulierten Gesetzmäßigkeiten. Die Palette verwendbarer Projektionsokulare erweitert sich bei Mondaufnahmen um alle O-Okulare. An motornachgeführten Montierungen kann dadurch zur Detailfotografie übergegangen werden.

Belichtung. Die Belichtungszeiten für Mondaufnahmen hängen von der Mondphase ab. Der Kugelgestalt des Mondes zufolge nehmen sie für den Mondrand andere Werte ein als für die Lichtgrenze. Auch für verschiedene Öffnungsverhältnisse und unterschiedliche Emulsionen unterliegen sie spezifischen Schwankungen. Durch veränderliche Faktoren wie Mondhöhe über dem Horizont und Durchsichtigkeit der Erdatmosphäre sind die aus der Tabelle 4/1 ersichtlichen Werte u. U. etwas zu variieren.

Tabelle 4/1 Belichtungszeiten für Mondaufnahmen (in Sekunden)

Öffnungsverhältnis	1:15 ^{*)}				1:30 ^{**)}			
Emulsion:	NP15	UT18	NP20	NP27	NP15	UT18	NP20	NP27
Mondalter								
2 ^d bzw. 27 ^d 5	3	1,5	3/4	1/4	12	6	3	1
3 ^d bzw. 26 ^d 5	1,5	3/4	1/2	1/8	6	3	1,5	1/2
4 ^d 5 bzw. 25 ^d	1	1/2	1/4	1/16	4	2	1	1/4
Erstes/letztes Viertel	1/2	1/4	1/8	1/32	2	1	1/2	1/8
11 ^d bzw. 18 ^d 5	1/6	1/12	1/25	1/100	1/3	1/4	1/6	1/25
Vollmond	1/12	1/25	1/50	1/200	1/4	1/8	1/12	1/50
^{*)} Mondbilddurchmesser im Schulfernrohr Telemotor 10 mm ^{**)} Mondbilddurchmesser im Schulfernrohr Telemotor 20 mm								

Beobachtungen. Sowohl nach Aufnahmen auf s/w-Material als auch auf Color-Dia-Film können Aussagen zur Mondfigur (Phase und Durchmesser) getroffen werden.

Mondphasen: Aus der Deckungsgleichheit von Aufnahmen wiederkehrender Mondphasen kann die Länge eines synodischen Monats zunächst mit sehr grober Näherung ermittelt werden. Die Bestimmung wird genauer, je mehr synodische Mondumläufe einbezogen werden. Die Fotografien sind deshalb mit Minutengenaugigkeit zu datieren. Sie sollten mit jeweils gleichen Aufnahmedaten unter gleichen Entwicklungsbedingungen entstehen.

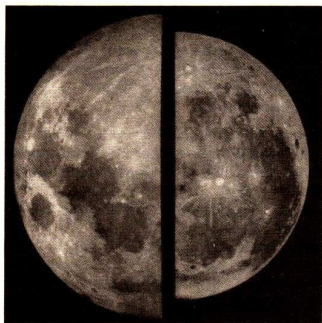
Monddurchmesser: Unter jeweils gleichen Aufnahmebedingungen, lediglich in der Belichtungszeit infolge ungleicher Phase unterschiedlich, werden Fokalaufnahmen des Erdmondes im Apogäum und im Perigäum hergestellt (Bild 77/1).

Die Aufnahmezeitpunkte gehen aus dem Kfs hervor. Sollten diese zeitlich ungünstig liegen (etwa am Tage oder zu Neumond bzw. atmosphärisch beeinträchtigt), sind nächstfolgende Termine zu wählen. Die Aufnahmen können entweder durch zwei getrennte Fotografien oder in Doppelbelichtung erfolgen. Bei der Nebeneinander-Projektion des Apogäum- und Perigäum-Mondbildes oder bei der Aufeinander-Projektion beider Mondbilder der getrennten Aufnahmen sind die Bilddurchmesser über die Mondpole hinweg zu bestimmen. Dazu können die Negative mit den Fotoschichten aufeinandergelegt und in einem Projektor untergebracht werden.

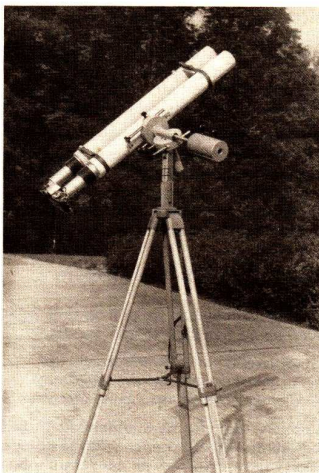
[4/4] [4/5]

Eine Direktbestimmung des scheinbaren Monddurchmessers, der wiederum über die Mondpole hinweg zu bestimmen ist, gelingt mit einem Doppelinstrument. Ein Instrument dient als Fotofernrohr, das andere übernimmt die Funktion eines Leitfernrohres. Wo kein Leitfernrohr zur Verfügung steht, kann die Anordnung auch unter Verwendung zweier Schulfernrohre Telemotor behelfsweise konstruiert werden (Bild 77/2). Zwei Instrumente werden mit zwischengelegter leichter Polsterung eng miteinander verbunden. Ihre Gesichtsfelder müssen übereinstimmen. Die Anordnung ist mindestens mit dem Ausgleichsgewicht der zweiten Montierung auszubalancieren. Das der Montierung näher gelegene Fernrohr fungiert nun als „Astrograph“ und wird mit einer Kleinbildkamera für Fokalaufnahmen ausgerüstet.

Mit der Kombination wird der Mond zum Zeitpunkt eines nach Beendigung der astronomischen Dämmerung stattfindenden Apogäums und zum Zeitpunkt eines entsprechenden Perigäums fotografiert. Zunächst ist ein vom Mondlicht nicht zu stark erhellter



77/1 Schwankungen
des scheinbaren Monddurchmessers



77/2 Zwei Schulfernrohre Telementor
als Doppelrefraktor

sternreicher Himmelsabschnitt auszuwählen. Dieser wird jeweils durch eine Fokalaufnahme in der Art der Sternfeldfotografie mit mehreren Minuten Belichtungszeit aufgenommen. Mit dem zweiten Fernrohr wird während der Aufnahmezeit unter Strichkreuzkontrolle auf einen Leitstern nachgeführt. Die Belichtung erfolgt mit der Einstellung „B“ durch Abnehmen des Objektivdeckels. Der Kameraschluß bleibt bis zur kurzzeitigen Aufbelichtung des Mondes in die Sternfeldaufnahme gespannt. Der dafür sinnvolle Richtwert ist wiederum Tabelle 4/1 zu entnehmen.

Die Bildauswertung erfolgt am günstigsten wieder durch Betrachtung des projizierten Bildes. Wurden an Hand eines Sternatlas die Koordinatendifferenzen für markante Sterne ermittelt, so liegt der Aufnahmemaßstab fest. Die Mondbilddurchmesser in einer Apogäums- und in einer Perigäumsaufnahme ergeben sich nach Messung durch Verhältnisbildung.

Kartographische Aufnahmen: Sie werden zur Abbildung detailreicher Oberflächenstrukturen gewonnen; sie orientieren sich stets auf Gebiete nahe des Terminators (der Lichtgrenze auf dem Monde). Nur dort treten der flachen Sonneneinstrahlung und kräftig ausgeprägter Schatten wegen Oberflächenmerkmale deutlich hervor. Fotografische Aufnahmen erfordern daher:

- große Abbildungsmaßstäbe,
- feinkörniges Filmmaterial (z. B. NP 15),
- kurze Belichtungszeiten,
- geringe Luftunruhe.

Da die Luftunruhe mit wachsender Höhe des Objekts abnimmt, sollte vorwiegend in Nächten mit großer Mondhöhe fotografiert werden. Solche Nächte findet man für den zunehmenden Mond im Winter und im Frühling, für den abnehmenden Mond im Som-

mer und im Herbst. Die Belichtungszeiten für Mondbilddurchmesser von 30 mm bis 40 mm (am Schulfernrohr Telementor) liegen für den Film NP 27 bereits im Bereich mehrerer Sekunden. Dennoch kann man mit etwa 1 Sekunde auskommen, wenn der Film anschließend mit doppelter Zeit entwickelt wird. Papiervergrößerungen müssen auf hartem bis extrahartem Material vorgenommen werden. Coloraufnahmen gelingen indessen nur mit den in der Tabelle 4/1 ausgewiesenen Werten. [4/6]

Zur Fotografie von Mondfinsternissen. Fotografische Dokumentationen zum Verlauf von Mondfinsternissen sollten als Fokalfotografie erfolgen. Während einer Finsternis verändern sich aber wegen der unterschiedlichen „Dichte“ von Halb- und Kernschatten die fotografischen Daten ständig.

Mondfotos sind dann fast immer zum Kernschatten hin unter- und zum äußeren Schattenrand hin überbelichtet.

Aufnahmen von Sternfeldern

Sternfeldaufnahmen werden für unterschiedliche Problemstellungen in der praktischen Astronomie benötigt, so u. a. für die

- Kartierung von Himmelsabschnitten,
- Positionsbestimmung von Objekten,
- fotometrische Untersuchung einzelner und ausgedehnter Objekte.

Voraussetzung für die Sternfeldfotografie ist eine auf einer parallaktischen Montierung befestigte und exakt nachgeführte Kamera.

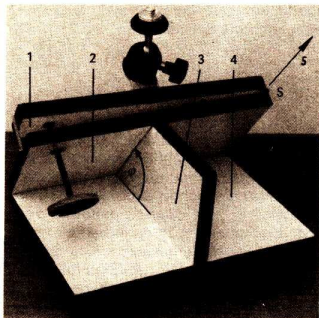
Man kann die Kamera an der Fernrohrmontierung befestigen und das Fernrohr zur Kontrolle der Nachführgenauigkeit (als Leitrohr) verwenden. Es ist aber auch möglich, die Kamera getrennt vom Fernrohr aufzustellen; dabei wird auf eine Kontrollmöglichkeit verzichtet.

Aufnahmen mit selbstgefertigter Montierung. Eine einfache „Reisemontierung“ kann leicht selbst hergestellt werden. Sie besteht aus vier entsprechend Bild 79/1 zurechtgesägten Bretchen. Die Teile 1 und 2 werden bei S durch ein Scharnier drehbar miteinander verbunden; dieses Scharnier bildet die „Stundenachse“ der Montierung. Der Teil 3 ist so auszusägen, daß der Winkel φ gleich der geographischen Breite des Beobachtungsortes ist. Die Teile 2, 3 und 4 werden fest miteinander verschraubt oder verleimt. In Teil 2 wird eine Mutter M 8 als Führung der Stellschraube (M 8) eingeleimt. Ein Paketgummi preßt Teil 1 gegen diese Schraube. Teil 1 trägt die Kamera.

Nun muß ausprobiert werden, wie viele Umdrehungen der Schraube erforderlich sind, damit der Winkel zwischen den Teilen 1 und 2 sich um 1° vergrößert. Bei der Aufnahme ist die Montierung so aufzustellen, daß die Scharnierachse zum Himmelsnordpol (5) weist. Die Schraube muß langsam von Hand gedreht werden, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daß die für 1° Drehwinkel ermittelte Anzahl von Umdrehungen in 4 Minuten zurückgelegt wird. Ein ständiger Blick zur schwach beleuchteten Uhr bzw. ein Ansagen der verfloßenen Zeit durch eine zweite Person ist dabei erforderlich. Mit dieser Ausrüstung können Himmelsaufnahmen bis zu einer halben Stunde Belichtungszeit gewonnen werden.

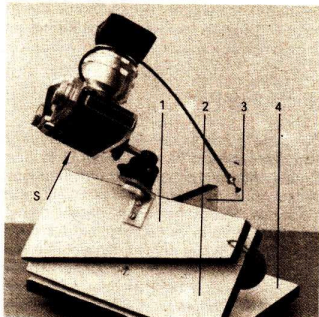
Aufnahmen an der T-Montierung. Mit dem Schulfernrohr Telementor steht eine solide Montierung zur Verfügung, die nach der Scheinerschen Methode (→ S. 17) innerhalb von 15 bis 20 Minuten für astrofotografische Belange hinreichend genau justiert werden kann.

Jede Kamera kann mittels einer gepolsterten Tischklemme an der Deklinationsachse befestigt und mit einem Kugelgelenk auf beliebige Himmelsabschnitte gerichtet werden.



79/1

a) Selbstgefertigte Reisemontierung
(Rückseite)



b) Selbstgefertigte Reisemontierung
(Vorderseite)

Durch Verschieben des Ausgleichsgewichts in Richtung der Stundenachse wird die kamerasseitige Gewichtszunahme ausgeglichen.

Aufnahmevorbereitungen und Handlungsschritte: Nachdem die Kamera befestigt und das Gleichgewicht an der Montierung hergestellt wurde, wird wie folgt verfahren:

- An der Montierung wird die Stellschraube für die Feinbewegung in Stunde nach links gedreht, bis die Montierungsbewegung nicht mehr reagiert. Von diesem Punkt an ist die Schraube etwa eine Umdrehung nach rechts zu stellen.
- Die Stellschraube für die Feinbewegung in Deklination ist in mittlere Stellung zu bringen.
- Einstellen des Fernrohrs mit dem Strichkreuzokular auf einen geeigneten hellen Leitstern in dem zu fotografierenden Himmelsabschnitt. Dafür werden beide Klemmschrauben gelockert und bei gefundener Einstellung wieder angezogen. Mit der Feinbewegung ist evtl. noch geringfügig zu korrigieren.
- Einstellen der Kamera auf den gewünschten Himmelsabschnitt.
- Kameraobjektiv auf „ ∞ “ stellen, Blende öffnen, Drahtauslöser einschrauben, Kameraverschluss spannen und auf Verschlusszeit „B“ stellen. Die Objektivkappe für das Kameraobjektiv sollte sich in Reichweite befinden.
- Erneutes Nachstellen des Fernrohrs bei gelöster Klemmung, bis der Leitstern wieder präzise in der Mitte des Strichkreuzes erscheint.
- Aufnahmebeginn: Drahtauslöser drücken und feststellen. Nachführung durch Feinbewegung unter ständiger Beobachtung des Leitsterns im Fernrohr.

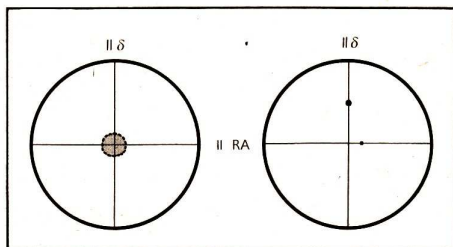
Werden bei der Nachführkontrolle Korrekturen der Deklination erforderlich, die von Einflüssen der Refraktion offensichtlich unabhängig sind, so ist die Montierung noch nicht genau genug justiert. Die Sterne bilden sich dann auf der Aufnahme in der Form konzentrischer Kreise um den Leitstern ab.

Steht dem Nutzer der T-Montierung der neue Nachführungsmotor zur Verfügung, so genügt je ein kontrollierender Blick im Abstand von Minuten, Schwankungen der Frequenz im Lichtnetz führen mit dem Verlangsamen des Synchronmotors zum allmählichen „Zurückbleiben“ des Leitsterns im Visier. In solchen Fällen sollte die Korrektur möglicher Er-

schütterungen wegen nicht während der Aufnahme erfolgen. Durch vorsichtiges Aufsetzen des Objektivdeckels auf das Kameraobjektiv kann die Belichtung für die Zeitdauer der Korrektur kurz unterbrochen werden.

Nachführhilfen

Das Strichkreuz. In der Grundausstattung des Schulfernrohrs Telementor steht mit dem Strichkreuzeinsatz für das Okular O-16 eine Visierhilfe für die Nachführkontrolle zur Verfügung. Allerdings hebt sich das schmale schwarze Kreuz vom nächtlichen Himmelsdunkel kaum ab. Als Abhilfe empfiehlt sich, den Leitstern unscharf einzustellen, so daß man das Sternscheibchen durch das Strichkreuz in vier Viertel aufteilen kann (Bild 80/1a). Auf das Beibehalten der symmetrischen Aufteilung ist dann bei der Nachführung ständig zu achten. Da sich die Helligkeit des Sterns nunmehr auf eine größere Fläche verteilt, muß der gewählte Leitstern hinreichend hell sein. Anderenfalls kann man immer auch zwei weniger helle Objekte finden, über die das Strichkreuz wie in Bild 80/1b zu legen ist. Bei langsamer Bewegung des Fernrohrs wird zuvor das Okular so gedreht, daß die Striche parallel zu den Himmelskoordinaten verlaufen.



80/1

a) unscharf eingestellter Leitstern

b) zwei Einzelsterne als Leitsterne

Die Hellfeldbeleuchtung. Auf eine Beobachtung bei scharf eingestelltem Leitstern braucht man nicht zu verzichten, wenn man sich mit Hilfe einer Batterie, einer Glühlampe, eines Schalters und eines Potentiometers eine Hellfeldbeleuchtung bastelt. Die Lampe wird dann z. B. an einer Wäscheklammer befestigt und mit dieser an die Innenwandung der Taukappe geklemmt. Mit dem Potentiometer wird über die Helligkeit der Lampe eine dem Auge angepaßte Bildaufhellung im Okular erzielt. Bei richtiger Einstellung ist trotz des aufgehellten Himmelshintergrundes sowohl der Leitstern als auch das dunkle Strichkreuz zu erkennen.

Eine ähnliche Wirkung wird erzielt, wenn ein zweiter Beobachter von Zeit zu Zeit mit einer Taschenlampe, bei der das Licht gedämpft ist, in die Taukappe schräg hineinleuchtet. Bei geöffnetem Kamerverschluß ist jedoch mit Vorsicht zu verfahren, um zufälligen Lichteinfall in das Kameraobjektiv zu vermeiden.

Die Kamera. Steht keine Amateur-Astro-Kamera zur Verfügung, so interessieren von der eigenen Kamera folgende Kenndaten:

Abbildungsschärfe: Nicht jedes Kameraobjektiv zeichnet gleichermaßen bei der Einstellung „∞“ scharf. Da bei Sternfeldaufnahmen fast immer mit voll geöffneter Blende gearbeitet wird, entfällt der bei Alltagsaufnahmen übliche Schärfentiefe-Gewinn durch die

Wahl kleinerer Blenden. Alle zur Verfügung stehenden Objektive sollten durch Testaufnahmereihen im Bereich von etwa 20 m bis ∞ auf Bildschärfe untersucht werden. Von Aufnahme zu Aufnahme wird die Entfernungsskala leicht verstellt. Nach Negativbetrachtung mit der Lupe ist die richtige Entfernungseinstellung des Objektivs mit Klebeband zu markieren.

Abbildungsmaßstäbe: Allgemein geben handelsübliche Objektive auf gängigen Formaten folgende Himmelsausschnitte in Grad wieder:

Tabelle 4/2 Zusammenhang von Objektivbrennweite, Filmformat und Himmelsausschnitt

Objektivbrennweite in mm	Filmformat in cm		
	2,4 × 3,6	6 × 6	6 × 9
50	28° × 42°	70° × 70°	70° × 105°
135	10,3° × 15,5°	25,8° × 25,8°	25,8° × 38,8°
200	7,0° × 10,5°	17,5° × 17,5°	17,5° × 26,2°
300	4,5° × 7,0°	11,5° × 11,5°	11,5° × 17,5°
500	2,8° × 4,2°	7,0° × 7,0°	7,0° × 10,5°

Belichtungszeiten: Bei Sternfeldaufnahmen wird die maximal mögliche Belichtungszeit angestrebt. Das ist der Wert, bei dem Sterne im fotografischen Schleier noch nicht „ertrinken“. Er muß für Kameraobjektiv, Emulsion und durchschnittliche HimmelsHELLigkeit durch Probeaufnahmen gefunden werden.

Für Kleinbildkameras mit dem 50-mm-Normalobjektiv können bei der Blende 2,0 mit dem Material NP 27 etwa folgende Richtwerte gelten:

Bei Sichtbarkeit von Sternen mit dem unbewaffneten Auge bis zur

Grenzgröße 6^m 1 Sekunde belichten

Grenzgröße 8^m 20 Sekunden belichten

Grenzgröße 10^m 5 Minuten belichten.

Auswertung von Fotografien nach Sternpositionen. Ist aus dem fotografierten Sternfeld der Ort eines Planeten oder Planetoiden, eines Kometenkerns oder ein Punkt einer Meteorspur, d. h. seine Rektaszension und seine Deklination, zu bestimmen, so kann man wie folgt verfahren:

Eine starke Papiervergrößerung oder das mittels eines Dia-Projektors an die Wand projizierte Bild wird mit einem Sternatlas (→ S. 24) verglichen. Um das zu lokalisierende Objekt werden drei genügend helle Sterne so ausgewählt, daß sie um das Objekt ein Dreieck bilden.

[4/7]

Durch abwechselndes Abschätzen der Entfernungsunterschiede Objekt – Stern ist die Position in guter Näherung zu finden und abzulesen. Die Ortsveränderung eines Objekts kann durch eine zweite Aufnahme (nach einigen Stunden oder Tagen) augenfällig dokumentiert werden.

Hinweise für Sternfeldaufnahmen mit feststehender Kamera. Gilt das Interesse der Abbildung hellerer Sterne oder heller, sternartig erscheinender Objekte (Darstellung einer Umrißkarte von einem Sternbild, Fotografie eines hellen Kometen, Positionsbestimmung eines Planeten usw.), dann kann u. U. auch mit feststehender Kamera fotografiert werden. Für annähernd punktförmige Abbildungen dürfen bestimmte Belichtungszeiten nicht überschritten werden. Sie hängen von der Brennweite der Aufnahmeoptik und der Deklination der Aufnahmeobjekte ab (s. Tab. 4/3).

Tabelle 4/3: Belichtungszeiten für Sternfeldaufnahmen mit feststehender Kamera

Deklination in Grad	Kamera-Objektivbrennweite in mm						
	38	50	100	135	200	400	500
0°	12 s	8 s	4 s	3 s	2 s	1 s	1 s
10°	12 s	8 s	4 s	3 s	2 s	1 s	1 s
20°	13 s	9 s	4 s	3 s	2 s	1 s	1 s
30°	15 s	10 s	5 s	4 s	2 s	1 s	1 s
40°	16 s	11 s	5 s	4 s	3 s	1 s	1 s
50°	18 s	13 s	6 s	5 s	3 s	1 s	1 s
60°	23 s	16 s	8 s	6 s	4 s	2 s	1 s
70°	34 s	24 s	12 s	9 s	6 s	3 s	1 s
80°	69 s	48 s	24 s	18 s	12 s	6 s	2 s

Fotografie von Kometen

Auffällig helle, mit bloßem Auge sichtbare Kometen (Bild 82/1) sind unter Verwendung empfindlicher Emulsionen (NP 27, NP 22) mit Belichtungszeiten nach Tabelle 4/3 zu fotografieren. Die Kamera wird dafür auf eine erschütterungsfreie Unterlage gestellt oder auf ein Fotostativ mit Kugelgelenk geschraubt. Die Belichtung erfolgt mit einem Drahtauslöser.

Für Erscheinungen bei starker Himmelsaufhellung (z. B. Dämmerung) ist gegebenenfalls die Belichtungszeit noch zu verkürzen.

Kometen, die nur im Fernrohr zu sehen sind, werden wie Sternfelder fotografiert (S. 78). Als Leitstern dient dann ein heller Nachbarstern oder der Komet selbst. Verwendet werden Astrokameras oder Fotoapparate mit Teleobjektiven bei geöffneter Blende. Die Belichtungszeit richtet sich dann nach dem für Sternfeldaufnahmen gefundenen Maximalwert. Von solchen Aufnahmen können wie bei der visuellen Beobachtung Aussagen zur Position, der Helligkeit und der Schweifstruktur getroffen werden (→ S. 51).



82/1 Komet West (1975n), aufgenommen mit feststehender Kamera

Fotografische Beobachtung von Meteoren

Meteore als nur kurzzeitig aufblitzende Leuchterscheinungen hinterlassen erst ab einer bestimmten Mindesthelligkeit Schwärzungen auf fotografischen Schichten. Aussagen zur Helligkeit einer Erscheinung an Hand eines Fotos sind aber nur bedingt zu treffen. Indessen erlaubt das fotografische Verfahren Bestimmungen der Bahnspur und mit Hilfe spezieller Einrichtungen Geschwindigkeitsbetrachtungen.

Kleinbildkameras mit den Objektiven 1:1,8 oder 1:2,8 zeichnen auf empfindlichem Material (NP 20, NP 27) durchschnittliche Erscheinungen ab $+1^m$, Teleobjektive bereits ab etwa $+3^m$, Weitwinkelobjektive dagegen erst ab -1^m auf.

Bei *feststehender Kamera* (wie zur Aufnahme von Sternstrichspuren) hinterläßt ein Meteor eine gerade Spur, die von den Bahnen der Sterne deutlich abweicht und sie zumeist an verschiedenen Stellen schneidet. Das abgebildete Himmelsfeld muß während der Aufnahme zugleich visuell überwacht werden, damit der Zeitpunkt der Erscheinung ermittelt werden kann. [4/8]

Bei *nachgeführter Kamera* fällt die Spur mehr oder minder kontrastreich unter den punktförmig abgebildeten Sternen auf. Für Abbildungsmaßstäbe, Belichtungszeiten, Wahl der Emulsionen und Geräteanordnungen gelten die Ausführungen auf S. 73. Das fotografierte Himmelsfeld ist über die Aufnahmezeit hinweg ebenfalls visuell zu überwachen, um Zeitpunkte für aufgetretene Erscheinungen festzuhalten. Liegt eine gleichzeitige visuelle Beobachtung nicht vor, so läßt sich das Ende der Bahnspur (und damit die „Laufrichtung“ des Meteors) häufig aus dem stärker geschwärzten, „verdickten“ Ende der Meteor-Strichspur ermitteln (Bild 83/1).



83/1 Helles Meteor (Feuerkugel)
auf einer Strichspuraufnahme

Fotografische Beobachtung von Veränderlichen Sternen

Schon mit den einfachen Hilfsmitteln für die Fotografie von Sternstrichspuren lassen sich Helligkeitsänderungen von Sternen nachweisen. Vorzüge gegenüber der visuellen Beobachtung bestehen u. a. darin, daß sich je nach verwendetem Aufnahmeobjektiv und ausgewähltem Himmelsabschnitt mehrere Veränderliche im Gesichtsfeld befinden können. Ferner wird das Beobachtungsdokument vergleichsweise rasch gewonnen und die Auswertung (die ja eigentlich die „Beobachtung“ selbst ist) kann am Tage oder bei Schlechtwetterperioden erfolgen. Das Dokument ist objektiv und gegebenenfalls wiederholt auswertbar.

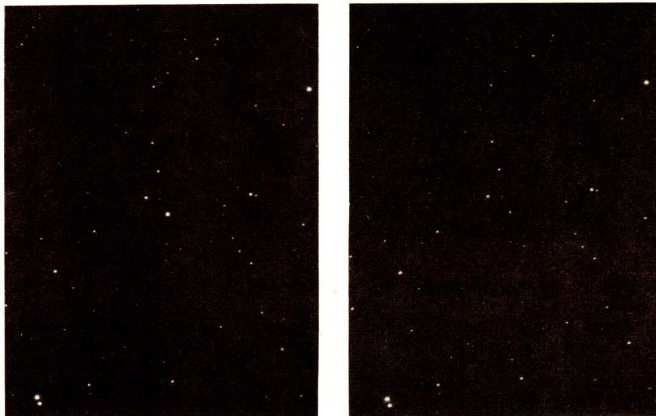
Die fotografische Methode eignet sich zur Überwachung veränderlicher Sterne. Sie wird häufig zur Ergänzung visueller Beobachtungen herangezogen. Die Beobachtungszeiten ergeben sich aus dem Termin und der Charakteristik des Minimums des interessierenden Veränderlichen.

Erstrecken sich die Aufnahmen über mehrere Termine innerhalb von Tagen oder Wochen, so sollte eine Kamera mit Film für dieses Vorhaben „reserviert“ bleiben. Dadurch sind für die fotografische Dokumentation die Entwicklungsbedingungen einheitlich. Auch Auswertung und Archivierung werden zusammenhängend möglich.

Aufnahmen mit feststehender Kamera. Der Fotoapparat (mit Drahtauslöser und den Einstellungen „B“ und „ ∞ “) auf Kugelgelenk und Stativ wird auf das Himmelsfeld des Veränderlichen gerichtet. Für eine möglichst punktförmige Abbildung der Sterne dürfen dann die in Tabelle 4/3 ausgewiesenen Belichtungswerte jedoch etwas verlängert werden. Dadurch sind nach der Filmentwicklung Staubteilchen von den dann ein wenig oval erscheinenden Sternbildchen zu unterscheiden. Für diesen Zweck ist eine Überschreitung bis zu 30% vertretbar. Mit dem Verfahren sind trotz dunklen Himmels nur relativ geringe Grenzgrößen bis etwa 8^m zu erreichen.

Aufnahmen mit nachgeführter Kamera. Diese Aufnahmetechnik entspricht vollständig der auf S. 78 bis 81 beschriebenen Anordnung für Sternfeldaufnahmen. Als Leitstern eignet sich einer der hellsten Nachbarsterne des Veränderlichen. Mit dem Verfahren sind Objekte mit geringeren Minimumhelligkeiten bis etwa 12^m zu überwachen. Die maximal mögliche Belichtungszeit auszunutzen, wird hierbei nur in seltenen Fällen erforderlich (Bild 84/1). [4/9]

Die Auswertung vollzieht sich analog zu der auf den S. 62 bis 63 beschriebenen Helligkeitsschätzung. Der dort visuell empfundenen Sternhelligkeit entspricht nunmehr die Schwärzung und der Durchmesser der fotografierten Sterne. Die Bildauswertung erfolgt am günstigsten an Hand des projizierten Originalnegativs.



84/1 Lichtwechsel eines Veränderlichen (Maximum- und Minimaufnahme)

Farbaufnahmen von Sternen

Ein wichtiges Merkmal eines Sterns ist die Färbung seines Lichtes (vgl. S. 64). Die mit Horizontannäherung zunehmende Rötung des Sternlichts beruht allerdings auf farbverfälschenden Einflüssen der Erdatmosphäre.

Farben werden von verschiedenen Strahlungsempfängern in unterschiedlicher Weise registriert. Beim menschlichen Auge verändert sich sogar die Farbempfindlichkeit beim Übergang vom Tag- zum Dämmerungssehen. Unser Auge wird überdies von zwei mit gleicher Intensität, aber in unterschiedlichen Farben strahlenden Sternen stets den rötlicheren als den lichtschwächeren gegenüber einem weiß oder bläulich-weiß erscheinenden beurteilen. Durch Filter oder Vorbehandlung können fotografische Schichten für einzelne Farben (Spektralbereiche) empfänglicher gestaltet werden. Das bei einer solchen Aufnahme entstandene Bild ist dann etwas lichtschwächer als ein Foto im Gesamtlicht.

Mit Hilfe der Astrofotografie besteht die Möglichkeit der Bestimmung der Sternfarben und mithin der genäherten Oberflächentemperaturen von Sternen.

Coloraufnahmen geben Sternfärbungen nur bei kurzen Belichtungszeiten bis zur Größenordnung von etwa 1 bis 2 Minuten annähernd richtig wieder.

Für das Studium einer überblicksweisen Farbverteilung von helleren Feldsternen eignen sich die Farbumkehr- bzw. Farbdiafilme UT 18 und UT 23. Kurzbelichtete Sternfeldaufnahmen zur Grobbestimmung von Farben der Hauptsterne eines Sternbildes sollten bei geöffneter Blende nur mit Weitwinkel- oder Normalobjektiven aufgenommen werden.

[4/10]

Mit lichtstarken Teleobjektiven von etwa 200 mm Brennweite an kann mittels kurzbelichteter Fotografien von ausgedehnten offenen Sternhaufen (h und Chi im Perseus, Plejaden, Hyaden, Praesepe im Krebs) eine näherungsweise Farbbestimmung der Einzelsterne für ein Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD) versucht werden.

Mehrfarbenfotometrie. Dem Verfahren liegt zugrunde, daß anstelle der Untersuchung des gesamten Sternspektrums ausgewählte Farbbereiche des Sternlichts in der Helligkeit beurteilt werden. Dadurch sind vergleichsweise rasch von vielen Sternen physikalische Informationen zu gewinnen.

Von ein und demselben Sternfeld werden dazu unter Vorsatz von Farbfiltern mehrere Schwarz-weiß-Fotografien hergestellt. Sterne mit hoher Oberflächentemperatur „verraten“ beispielsweise den größeren Blauanteil in ihrem Licht durch stärkere Schwärzungen der Emulsionen bei Vorsatz von Blaufiltern. Im Vergleich dazu erscheint der Stern bei Rotaufnahmen dann mit geringerer Schwärzung.

Aufnahmen von Bahnpuren künstlicher Erdsatelliten

Solche Fotografien werden der kurzen Erscheinungsdauer wegen mit feststehender Kamera vorgenommen. Sternstrichspuren sind dann noch wenig ausgeprägt. Es genügt häufig schon eine Kleinbildkamera mit Normalobjektiv und dem Film NP 27.

Durchführung. Der Fotoapparat wird über Kugelgelenk auf festem Stativ montiert und auf das erwartete Bahnstück gerichtet. Nach geöffneter Blende und der Einstellung „∞“ wird der Verschuß gespannt und bei leicht gelockertem Objektiveckel ausgelöst. Nun kann das Erscheinen des Satelliten abgewartet werden.

Für die Durchführung ist ein zweiter Beobachter erforderlich, der über eine genaue Uhr (Quarzuhr) verfügt und von Beobachtungsbeginn an protokolliert. Er hat die besondere Aufgabe, von Aufnahmebeginn an die ablaufenden Sekunden halblaut zu zählen.



86/1 Durch Intervallbelichtung unterbrochene Bahnspur eines Erdsatelliten

Die nun folgende intervallartige Belichtung muß im „Trockentraining“ verlässlich erprobt sein: Tritt der Satellit in das Gesichtsfeld der Kamera, so wird durch Abheben des bereits gelockerten Objektivdeckels zweimal je Sekunde belichtet und ebensolange unterbrochen. Die Aufnahmezeitpunkte müssen notiert werden. Die entstehenden Spurunterbrechungen (Bild 86/1) markieren Aufnahmebeginn und Bewegungssinn des Objektes. Als dann genügt bis zum Austritt aus dem Bildfeld das Verfahren nach dem Muster: 5 Sekunden Belichtung, 1 Sekunde Unterbrechung usw.

Auswertung. Das Negativ wird entweder über eine starke Papiervergrößerung oder durch Betrachtung über einen Dia-Projektor ausgewertet. Jedem zeitlich fixierten Punkt der Satellitenbahn sind nunmehr die Himmelskoordinaten (α , δ) zuzuordnen. Dafür zieht man eine detaillierte Sternkarte heran und verfährt wie zur Auswertung von Sternpositionen (→ S. 72). Es genügen 2 bis 3 Positionsangaben, die sich durch Nachbarschaft zu markanten Sternen anbieten. Zu den vollständigen Angaben der Beobachtung gehören: Satellit, Datum, Beobachtungsort mit genauer geographischer Länge λ und Breite φ einschließlich der Höhe über NN, Beobachter/Auswerter, Beobachtungsort und technische Angaben zur Zeitmessung. Die einzelnen Satellitenpositionen sind mit Zeitangaben (UT) und Fehlereinschätzung zu versehen.

Fragen und Aufträge

- 4/1 Überschlagen Sie an Hand einer drehbaren Sternkarte, wieviele Aufnahmen mit Ihrem Kamerateyp a) vom Zirkumpolarkreis, b) von der nördlichen Halbkugel des Himmels mindestens erforderlich sind!
- 4/2 Fertigen Sie unter annähernd gleichen Aufnahmebedingungen eine Fotoserie zum Gestaltwandel einer Sonnenfleckengruppe innerhalb weniger aufeinanderfolgender Tage an!
- 4/3 Berechnen Sie an Hand der scheinbaren Himmelsbewegung, zu welchem Verlust es an Bildauflösung für Dimensionen an Mondformationen um den Mondmittelpunkt innerhalb der gewählten Belichtungszeit kommt (Bewegungsunschärfe).
- 4/4 Berechnen Sie aus den Durchmesserunterschieden die prozentuale Entfernungsänderung Apogäum–Perigäum. Geben Sie unter Zugrundelegung des wahren Monddurchmessers die absoluten Entfernungen an!
- 4/5 Stellen Sie nach einem ersten Mondviertel während des Winterhalbjahres an ein

und demselben Tag Fokalaufnahmen 1 Stunde nach Mondaufgang sowie zur Kulmination her. Vermessen Sie die Bilder in Dia-Projektion! Diskutieren Sie das Ergebnis gegenüber der verbreiteten Annahme, daß der Mond im Aufgang größer sei als zur Kulmination!

- 4/6 Ermitteln Sie an Hand eigener Fotos die Ausmaße der Mondformationen Mare Imbrium, Mare Serenitatis, Mare Nubium und Mare Nectaris sowie der Krater Ptolemäus, Alphonsus, Arzachel, Plato, Archimedes und Copernicus. Welche geringsten Ausmaße einer Oberflächeneinheit gibt Ihr Foto noch sicher wieder?
- 4/7 Werten Sie eine mit 2- bis 3minütiger Belichtungszeit gewonnene Sternfeldfotografie aus, in deren Bildmitte sich ein Planet befindet. Bestimmen Sie mit diesem Verfahren die Positionen des Planeten in Abständen von jeweils einem Monat!
- 4/8 Wählen Sie das Maximum eines Meteorstroms nach Tab. 3/5 aus und versuchen Sie sich mit Ihrer Kamera in der Gewinnung von Meteorspuraufnahmen. Richten Sie die Kamera mit Normalobjektiv und dem Filmmaterial NP 27 auf den Radian ten und belichten Sie wie für Sternspuraufnahmen. Entscheiden Sie über die Stromzugehörigkeit von Meteoren!
- 4/9 Bestimmen Sie nach der drehbaren Sternkarte Beobachtungszeiträume für das Sternbild Perseus im laufenden Jahr. Ermitteln Sie nach dem KfS günstige Algolmi nima und fertigen Sie über den rund 3stündigen Helligkeitsan- oder -abstieg eine fotografische Dokumentation an!
- 4/10 Weisen Sie die von der Belichtungszeit abhängige farbverfälschende Eigenschaft von Colorfilmen durch Aufnahmen des jeweils gleichen Himmelsabschnitts mit ein- und mit zehnminütiger Belichtungszeit nach!

„Ich bezweifle deshalb die Richtigkeit der Ausführungen des Herrn Geheimrates Professor Spies mit allem Nachdruck. Eine Rakete, die sich vorwärtsbewegen soll, muß eine Stützmasse besitzen. Diese Stützmasse existiert in den beim Verbrennen des Treibstoffsatzes entstehenden und nach hinten mit relativ geringer Geschwindigkeit ausgestoßenen Pulvergase. Die Rakete stößt diese Pulvergase in die umgebende stoffgefüllte Atmosphäre aus, wobei sie abgebremst werden. Die Wirkung ist das Vorwärtsstoßen der Rakete.

Wenn aber – wie mein Herr Gegenredner behauptet –, dieser Prozeß im Weltraum funktionieren soll, dann müßten dort die gleichen Bedingungen gegeben sein. Gerade das aber trifft nicht zu. Im Weltraum besteht ein Vakuum, keine stoffgefüllte Atmosphäre, die Pulvergase einer Rakete entspannen sich in ein Nichts, ins Vakuum, das aber geschieht, da der Vakuumdruck unendlich klein, nämlich Null ist, mit unendlich großer Geschwindigkeit und somit ist die Stützmassenwirkung der Pulvergase auf die Rakete unendlich klein – oder wie man auch sagen kann, gleich Null. Die Rakete ist demzufolge für Weltraumflüge genauso ungeeignet wie das allen bekannte Propellertriebwerk der Flugzeuge.“

So oder ähnlich argumentierte ein Professor Dr. Riem aus Berlin-Steglitz öffentlich im Jahre 1924, obwohl zu dieser Zeit der Gedanke der Raumfahrt und ihre technischen Möglichkeiten bereits in vielen Ländern ernsthaft diskutiert wurden.

Die hier angeführten Argumente sind falsch; der Streit der beiden Professoren hat sich tatsächlich abgespielt. Dieses Beispiel ist auch kein Einzelfall, es zeigt, wie wenig damals Erkenntnisse über die Möglichkeit der Raumfahrt, untermauert durch schon lange bekannte Grundprinzipien der Physik, selbst bei Wissenschaftlern bekannt waren.

Geschichtliche Entwicklung

Raketen gibt es schon seit dem Mittelalter. Solche Flugkörper, die eine im Inneren der Rakete abbrennende Pulverladung vorwärtstreibt, wurden entweder als Feuerwerkskörper oder Kampfmittel eingesetzt. Eine Verwendung als Antriebsaggregat für den Luft- oder Weltraumtransport harpte noch der Lösung durch Physiker, Chemiker, Mathematiker und Techniker. Erst durch den Einsatz von Wissenschaftlern der verschiedenen naturwissenschaftlichen und technikwissenschaftlichen Forschungsbereiche wurde es möglich, die Raumfahrt zu entwickeln.

Als **Raumfahrt**, auch Astronautik oder Kosmonautik genannt, wird die Durchquerung des Raumes außerhalb der dichteren Schichten der Erdatmosphäre mit **Raumflugkörpern** bezeichnet. Durch den Einsatz entsprechender Hilfsmittel sollen dem Menschen auch andere Himmelskörper direkt zugänglich gemacht werden.

Die Ziele und Aufgaben der Raumfahrt zu verwirklichen, erfordert die Entwicklung der **Raumfahrttechnik**. Die wichtigsten Bereiche der Raumfahrttechnik für bemannte und unbemannte Raumflugkörper sind die **Antriebstechnik** und die **Raumfahrtnavigation**. Die Entwicklung der Raumfahrt und der dafür notwendigen Raumfahrttechnik begann in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts.

Antriebstechnik. Solange es keine geeignete, funktionsfähige, sichere Antriebstechnik gab, konnte keine Raumfahrtforschung betrieben werden. Somit richtete sich das Interesse der Forscher zunächst auf diesen Bereich der Raumfahrttechnik.

In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts führte die Entwicklung des Kapitalismus in den industrialisierten Ländern zum Ruin vieler kleinerer Unternehmen, und es entstand eine bis dahin noch nicht erreichte Konzentration der Produktion. Die Tatsache, daß die Aufteilung der Welt unter den führenden kapitalistischen Staaten abgeschlossen war und nun die Zeit des Kampfes um eine Neuaufteilung begann, führte notwendig zur vorrangigen Entwicklung der Schwer- und Rüstungsindustrie. Dabei fanden Erkenntnisse der Wissenschaft, die einen besonders hohen Profit versprachen, sehr schnell Eingang in die Produktion; andere, weniger profitversprechende, wurden nicht oder nur zögernd verwirklicht. Zu solchen, zu dieser Zeit kaum beachteten Erkenntnissen gehörten die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumfahrt.

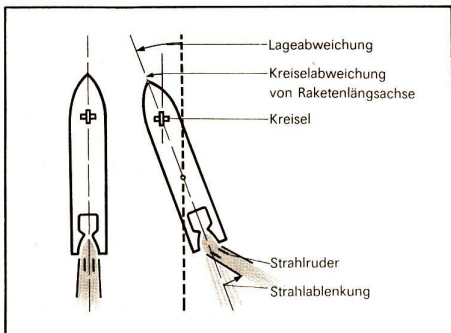
Das zur Verwirklichung der Raumfahrt geeignete Transportmittel, die Rakete, wurde erst Ende des 19. Jahrhunderts aus verschiedenen Gründen Untersuchungsgegenstand von Wissenschaftlern und Ingenieuren. Im Zuge der Entwicklung des Transportwesens (Eisenbahn, Dampfschiff, Luftschiff, Flugzeug) erweckte die Rakete mit ihrem scheinbar verhältnismäßig unkomplizierten technischen Aufbau das Interesse der Techniker, die nach noch ungenutzten Antriebsprinzipien und neuen Möglichkeiten zur Entwicklung von Kraftmaschinen suchten. Die Erkenntnisse, Erfahrungen und Hilfsmittel der Wissenschaften (Naturwissenschaften, Technikwissenschaften) ermöglichten zu dieser Zeit auch die theoretische Untersuchung von Raketentriebwerken und die Erörterung der Möglichkeiten einer Raumfahrt zum Mond und zu anderen Planeten.

Theoretische Grundlagen. Der russische Mathematiklehrer Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski schuf um 1896 theoretische Grundlagen für die Erforschung des Weltraums mit Raketen. Damit trat neben die empirisch betriebene, meist militärische Praxis der Anwendung von Raketen die Wissenschaft der Raumfahrt.

Die Ideen und wissenschaftlichen Erkenntnisse Ziolkowskis (Bild 152/1) waren folgende:

- Das Geschwindigkeit-Masse-Gesetz des Raketenantriebes (Raketengleichung, Ziolkowski-Gleichung).
- Theoretische Herleitung der Mehrstufenrakete aus der Raketengleichung.
- Verwendung von flüssigen Treibstoffen (Benzin und Alkohol) und von verflüssigten Gasen (Wasserstoff und Sauerstoff).
- Verwendung einer Komponente des flüssigen Treibstoffes als Kühlmittel für die Brennkammer.
- Lenkung einer Rakete durch an der Düsenmündung angebrachte Strahlruder (Bild 90/1).
- Lagestabilisierung durch Lenkung der Rakete über kardanisch aufgehängte Kreisel.

Ziolkowski veröffentlichte seine Arbeiten von 1903 bis 1914, in einer Zeit, in der in den entwickelten kapitalistischen Ländern der Übergang von der kapitalistischen Gesellschaftsformation in das Stadium des Imperialismus bereits abgeschlossen war. Ein direktes Bedürfnis an der praktischen Nutzung der von Ziolkowski gefundenen wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Raumfahrt, zur Erforschung des Weltraumes und der Planeten, bestand nicht. Deshalb unterblieben auch alle Versuche, diese Erkenntnisse an der Praxis zu überprüfen. Das Interesse der Kapitalisten galt damals dem Aufbau von

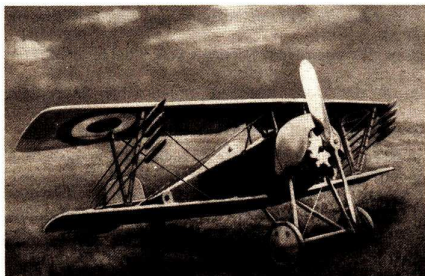


90/1 Lagestabilisierung einer Rakete

Grundstoff- und Chemieindustrie, der Entwicklung und dem Ausbau des Verkehrswezens, vor allem aber der Rüstungsindustrie und der Ausstattung der Armeen mit verbesserten, herkömmlichen Waffen, Transportmitteln und Geräten. Eine waffentechnische Nutzung der Rakete ist in dieser Zeit kaum zu verzeichnen (Bild 90/2).

Praktische Experimente. Wissenschaftliche Untersuchungen und praktische Arbeiten zur Entwicklung des Raketenantriebs wurden etwa um 1912 in den USA von Professor Robert H. Goddard aufgenommen. Er untersuchte zunächst bis 1915/16 Feststoffraketenantriebswerke (Bild 153/2), später entwickelte er Flüssigkeitsraketenantriebswerke, mit denen 1926 Raketen eine Aufstiegshöhe von 12 m erreichten (Bild 153/3). Raketenanstiege um 1932 durch kreiselstabilisierte Raketen mit Strahlruder führten zu wesentlich größeren Aufstiegshöhen von mehreren hundert Metern. Nach 1935 übernahm eine Dienststelle der USA-Marine die Fortführung der Arbeiten an Raketenantriebswerken.

Wenig später als in den USA setzten auch in anderen Staaten die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Flüssigkeitsraketenantriebswerken ein, dabei standen stets militärische Interessen im Vordergrund. Verschiedene private Vereinsbildungen zum Zwecke der Förderung der Weltraumforschung mit Raketen führten unter den herrschenden gesellschaftlichen Bedingungen meist nur zu geringen Anfangserfolgen.



90/2 Französisches Jagdflugzeug Nieuport 12 aus dem ersten Weltkrieg, ausgerüstet mit 8 Raketen zur Bekämpfung von Fesselballons und Luftschiffen

Hermann Oberth entwickelte um 1920, ohne Kenntnis der von Ziolkowski bereits erarbeiteten Theorie, einige wesentliche Grundlagen der Raketentechnik (Bild 155/2). In Frankreich wirkte der Flugzeugtechniker und Konstrukteur Robert Esnault-Pelterie auf dem Gebiete des Rückstoßantriebes.

Bis 1929 gab es auch in Deutschland eine Reihe praktischer Erprobungen von Feststoff- und Flüssigkeitsraketen. Unter zum Teil recht primitiven und für die einzelnen Techniker gefährlichen Bedingungen wurden in dieser Zeit einige grundlegende Arbeiten und Experimente durchgeführt. Am 14. März 1931 startete der Ingenieur Johannes Winkler eine Flüssigkeitsrakete (Bild 154/3). Johannes Winkler war bei den Junkers-Flugzeugwerken angestellt, wo man auch das Problem der Starthilfe schwerer Verkehrsflugzeuge (für einen geplanten Atlantikflugverkehr) durch Raketentriebwerke erörtere.

Die von Winkler 1931 gestartete Rakete bestand aus drei 60 cm langen Messingröhren, in denen flüssiger Sauerstoff untergebracht war. Methan als Brennstoff befand sich in einem gesonderten Behälter. Alle Behälter waren durch Röhren miteinander verbunden. Die Treibstoffkomponenten wurden durch den eigenen Dampfdruck in die am Kopf der Rakete befindliche Brennkammer gedrückt und dort elektrisch gezündet (Bild 154/3). Das Gerät hatte eine Leermasse von 3 kg, und die Treibstoffmasse betrug 1,7 kg. Das Gerät flog nach dem Start etwa 100 m hoch und 200 m weit. Instabilität beim Aufstieg und konstruktive Mängel des Triebwerkes führten zunächst zu keinem größeren Erfolg.

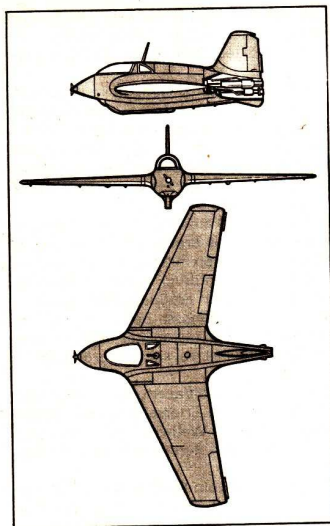
Zu dieser Zeit bestand in Deutschland ein „Verein für Raumschiffahrt“. Seine Mitglieder waren zumeist Wissenschaftler, die durchaus eine friedliche Erforschung und spätere kommerzielle Nutzung des Weltraumes erstrebten. Aber die Weltwirtschaftskrise, also Bedingungen der kapitalistischen Gesellschaft, brachten den Verein sehr bald in sogenannte „wirtschaftliche Schwierigkeiten“.

Bei der Reichswehr waren Interesse an Raketen und Geld vom Staat vorhanden; denn die Reichswehr suchte nach Ersatzwaffen zur Aufrüstung, die man im Versailler Friedensvertrag vergessen hatte, Deutschland zu verbieten. Die Reichswehr nahm sich deshalb im Juli 1930 der Mondforscher und ihrer Raketenpläne an und ... alle private Raketenforschung wurde von Staats wegen zum Zwecke der Geheimhaltung vor den Siegermächten des ersten Weltkrieges kurzerhand in Deutschland verboten.

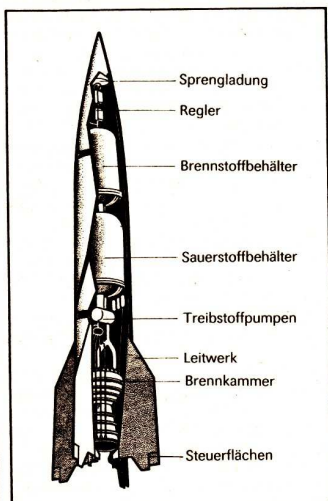
Wernher von Braun, Hitlers und Görings späterer Raketenpezialist, war bereits seit 1932 als Mitarbeiter im Heereswaffenamt der deutschen Reichswehr beschäftigt. Diese Stelle war im faschistischen Deutschland verantwortlich für die Entwicklung von ferngelenkten und Raketenwaffen. Von Raumfahrt mit Raketen zum Zwecke der Erforschung des Weltraumes wurde im Deutschland der Hitlerfaschisten nie gesprochen. In einigen Konzernen der deutschen Flugzeugindustrie waren in der gleichen Zeit Konstrukteure und Entwicklungsabteilungen mit dem Bau von Flugzeugen mit Raketentriebwerken beschäftigt, die als Jagdflugzeuge eingesetzt werden sollten. Die faschistische deutsche Luftwaffe sollte nach den Vorstellungen der braunen Machthaber die totale Luftüberlegenheit im geplanten zweiten Weltkrieg garantieren (Bild 92/1).

Die im Auftrage der Reichswehr betriebene Raketenforschung war auf die Entwicklung einer Fernrakete zum Transport einer Sprengladung von 1000 kg gerichtet. Dieses Ziel wurde im faschistischen Deutschland mit äußerst großem technischem, wissenschaftlichem und materiellem Aufwand ab 1936 an der Heeresversuchsanstalt in Peenemünde (Usedom) verfolgt.

Der Einsatz von Wissenschaftlern und Facharbeitern aus allen Bereichen der Wirtschaft sowie der Zwangseinsatz von Häftlingen aus den Konzentrationslagern, die Inanspruchnahme verschiedener Zweige der chemischen und metallurgischen Industrie, die Beteiligung der Mitarbeiter aus Universitäten, Hochschulen und anderen Forschungsinstituten ermöglichte in kurzer Zeit den Bau und die Erprobung der projektierten Fernrakete (Bild 92/2). Unter solchen Bedingungen wurde es möglich, daß die faschistische deut-



92/1 Deutsches Jagdflugzeug Me-163
mit Raketentriebwerk (1943)
Schubkraft: 15,7 kN
Steiggeschwindigkeit: 81 m/s
Steigzeit: 4,5 min
Startmasse: 4310 kg
Gipfelhöhe: 16500 m
Fluggeschwindigkeit: 950 km/h
Flugzeit: 12 min



92/2 Großrakete A 4 (V2)
Steighöhe: 80 km
Reichweite: 300 km
Brenndauer: 68 s
Schubkraft: 260 kN
Startmasse: 13000 kg
Treibstoffmasse: 8930 kg
Nutzmasse: 980 kg
Sprengstoff

sche Wehrmacht ab September 1944 Flüssigkeitsraketen im Krieg, dabei vor allem gegen die Zivilbevölkerung in England und Belgien, einsetzen konnte. Im faschistischen Deutschland wurden Raketen ausschließlich für die Weltherrschaftspläne des deutschen Imperialismus entwickelt und eingesetzt.

Entwicklung der Raumfahrtforschung

Unter dem Begriff Raumfahrtforschung werden alle damit zusammenhängenden wissenschaftlichen Forschungen und Entwicklungen der Physik, Chemie, Astronomie, Medizin, Biologie, Geophysik, Astrophysik, Antriebstechnik, Navigationstechnik, Mikroelektronik usw. zusammengefaßt.

Raumfahrtforschung in der Sowjetunion

Die Erkenntnis, daß in der sozialistischen Gesellschaft den Wissenschaften die Bedeutung einer fundamentalen Produktivkraft zukommt, wurde unter Lenins Leitung in dem gerade erst geschaffenen jungen Sowjetstaat von Anfang an angewendet und verwirklicht. Bereits 1919 wurden Volkskommissariate gegründet, die die Aufgabe hatten, zusammen mit den Wissenschaftlern Pläne für die Entwicklung der verschiedenen Bereiche der Gesellschaft, der Wirtschaft, der Volksbildung, der Landesverteidigung und der Kultur auszuarbeiten.

Man wählte Ziolkowski zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften Sowjetrußlands. Im Jahre 1920 erläuterte Friedrich Arturowitsch Zander, ein Ingenieur aus Moskau, auf einer Gebietskonferenz Probleme der Raketentechnik.

Lenin beauftragte daraufhin Zander, systematische Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Raumfahrttechnik zu betreiben. Zander hatte sich intensiv mit Raketentriebwerken beschäftigt. Die Sowjetmacht sorgte dafür, daß die notwendigen materiellen Voraussetzungen geschaffen wurden.

Unter Leitung Zanders wurden Raketentriebwerke für Flüssigtreibstoff entwickelt und erprobt (Bilder 156/2, 156/3). 1932 erzeugte das Triebwerk OR-2 einen Schub von 500 N (der Startschub der Wostok-Rakete beträgt 4020 kN!)

Diese ersten Erfolge konnte Ziolkowski noch miterleben. Er verstarb 1935 in Kaluga. Er hinterließ eine Vielzahl von Arbeiten und verfügte darüber:

„Meine gesamten Arbeiten über Luftschiffahrt, Raketenflug und interplanetaren Verkehr übergebe ich der Partei der Bolschewiki und der Sowjetmacht – den wahren Wegbereitern des Fortschritts der menschlichen Kultur. Ich bin überzeugt, daß sie diese Arbeiten erfolgreich vollenden werden.“

In diesen Worten Ziolkowskis kommt die Unterstützung des ersten sozialistischen Staates für die Entwicklung aller Zweige der Wissenschaft und damit auch der Raumfahrtforschung zum Ausdruck.

In der Sowjetunion entstand im Jahre 1931 die GIRD (Gruppe zum Studium der Rückstoßbewegung). Sie wurde von Zander und später von S. P. Koroljow geleitet (↗ S. 156).

Die Mitglieder der GIRD bewältigten ein umfangreiches Programm:

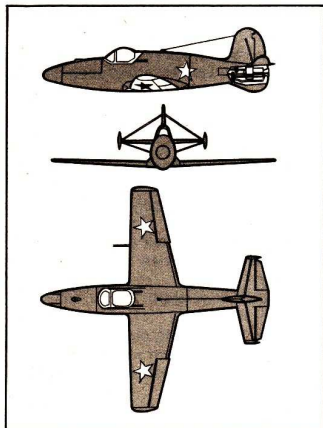
- Öffentliche Vorträge zu Fragen der Raumfahrt,
- Versuche zu praktischen Problemen der Raketentechnik,
- Erarbeitung einer Theorie der Raketentechnik,
- Erarbeitung von Projekten zur Nutzenanwendung der Raketentechnik.

Damit zeigten die sowjetischen Wissenschaftler von Anbeginn der Forschungsarbeit an, daß ihre hauptsächlichsten und unmittelbaren Gründe für die Erschließung des (zunächst erdnahen) Weltraumes durch die notwendige Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Entwicklung von Wissenschaft, Technik und Produktion, also durch gesellschaftliche Bedürfnisse gegeben sind.

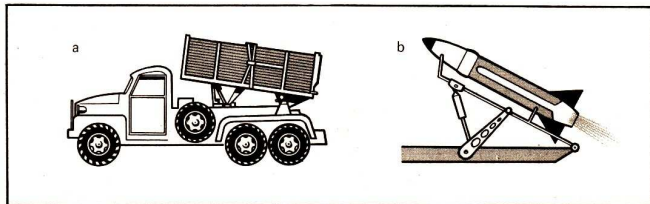
Am 17. August 1933 um 19.00 Uhr stieg die erste sowjetische Rakete mit Flüssigkeitstriebwerk, die GIRD 09, mit einer Masse von 18 kg, in eine Höhe von 500 m (↗ S. 156 Zander).

Die außenpolitischen Bedingungen, unter denen das Sowjetvolk den Sozialismus aufbaute, erforderten es, vor allem auch die Verteidigungsbereitschaft und die Schlagkraft der Armee ständig zu erhöhen. Erhebliche wissenschaftliche und technische Mittel mußten zur Verfügung gestellt werden. Bereits um 1930 wurden deshalb in der Sowjetunion die ersten raketengetriebenen Kampfmittel entwickelt. Es handelte sich um Feststoffraketen der Kaliber 82 mm und 132 mm. Der von den deutschen Imperialisten entfachte zweite Weltkrieg erforderte dann den vollen Einsatz aller Wissenschaftler und Techniker, die an Raketenprojekten arbeiteten, für die Aufgaben der Landesverteidigung.

Die sowjetischen Streitkräfte wurden bereits anfangs des Großen Vaterländischen Krieges mit raketentriebenen Kampfmitteln ausgerüstet, die neben der Artillerie entscheidende Aufgaben zu lösen hatten (Bilder 94/1, 94/2). Heute sind die sowjetischen Raketenstreitkräfte als Teile aller drei Streitkräfte und als selbständige Einheiten mit modernsten Raketenwaffen ausgerüstet. Sie leisten durch ihre ständige Einsatzbereitschaft einen wichtigen Beitrag zum Schutze der sozialistischen Staatengemeinschaft und zur Erhaltung des Friedens in der Welt.



94/1 Sowjetisches Jagdflugzeug BI-1 mit Raketentriebwerk (1942)
 Schubkraft: 10,8 kN
 Steiggeschwindigkeit: 82 m/s
 Steigzeit: 2 min
 Startmasse: 1638 kg
 Flughöhe: 6000 m
 Fluggeschwindigkeit: 900 km/h

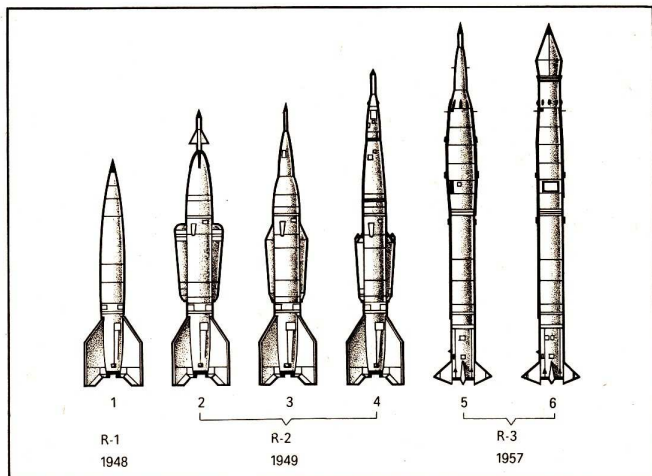


94/2 Geschößwerfer Katjuscha für Raketingeschosse (1941)

Nach der siegreichen Beendigung des Großen Vaterländischen Krieges konnten sich die sowjetischen Völker dem Wiederaufbau des verwüsteten Landes und der Umstellung der Wirtschaft auf die Friedensproduktion widmen. 1948 wurde in der Sowjetunion die Industrieproduktion von 1941 erstmals überboten.

In dieser Zeit erhielt die Raumfahrtforschung erneut gesellschaftliche Bedeutung; ihr wurden große Aufgaben und neue Ziele gestellt. Am 9. August 1946 berief man den Raketenspezialisten Koroljow zum Chefkonstrukteur für ballistische Langstreckenraketen. Koroljow sah seine Aufgaben nicht nur in der Entwicklung einer Interkontinentalrakete, sondern in einem Raketensystem, mit dessen Hilfe der erdnahe Weltraum erforscht und Flüge zum Mond und den Planeten möglich werden. Doch zunächst galt es, die militärische Sicherheit des sozialistischen Vaterlandes zu gewährleisten.

		R-1 1948	R-2 1949	R-3 1957
Höhe	mm	14960	17955	22982
Startmasse	kg	13910	13836	30000
Nutzmasse	kg	130	1516	1520
Gipfelhöhe	km	110	110	512
Schubkraft	kN	245	310	375
Triebwerk		RD-100	RD-101	RD-103



95/1 Sowjetische Forschungsraketen

Die imperialistischen Mächte, besonders aber der USA-Imperialismus, versuchten, die nach dem zweiten Weltkrieg eingetretenen Veränderungen im Kräfteverhältnis zwischen Sozialismus und Kapitalismus rückgängig zu machen. Die Imperialisten der USA drohten mit der Atombombe. Um den Frieden zu sichern, wurde in der Sowjetunion planmäßig die Verteidigungskraft der Armee gefestigt. Das Kernwaffenmonopol der USA wurde 1949 gebrochen. In jenem Jahr erprobten sowjetische Wissenschaftler erstmals eine Atombombe.

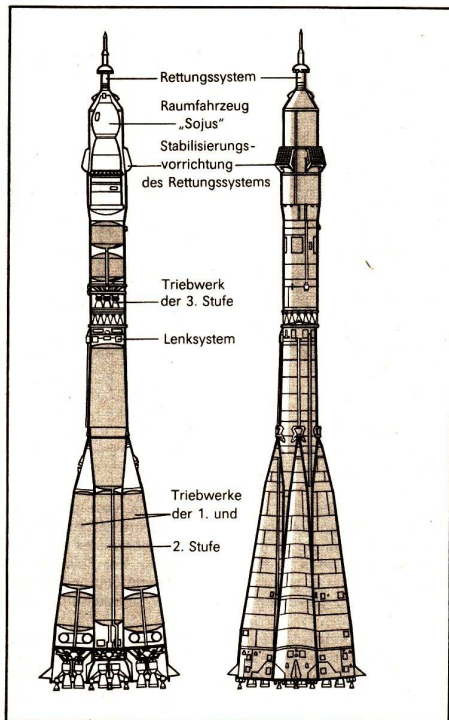
Da Raketen als Transportmittel, auch für Kernwaffen, in der Lage sind, große Entfernungen mit großer Geschwindigkeit, d. h. überraschend schnell, zu überwinden, folgte aus der allgemeinen militärischen Situation die Notwendigkeit der Entwicklung leistungsfähiger Raketen. Solche Raketen wurden gleichzeitig für die Erforschung des Weltraumes benötigt.

Bei der Entwicklung großer Raketen waren im wesentlichen zwei Aufgaben zu meistern:

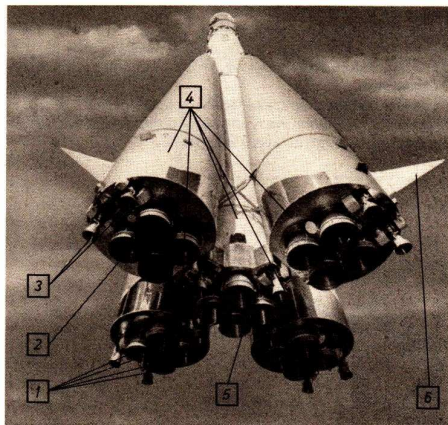
- Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Raketen.
- Erarbeiten von Methoden zur Rückführung von Nutzlasten zur Erde.

Unter staatlicher Planung und Leitung lösten die sowjetischen Wissenschaftler und Konstrukteure diese Aufgabe.

Die erste einsatzfähige Rakete war ein für meteorologische Zwecke entwickeltes Aggregat. Die Startmasse dieser Standardrakete betrug 725 kg, die Nutzmasse 45 kg und die Gipfelhöhe 100 km. Ab 1948 standen dann die ersten, noch einstufigen Großraketen der Typen R-1, später dann R-2 und R-3 zur Verfügung, mit denen Meßgeräte und mit Hundebesetzte Kabinen gestartet wurden (Bild 95/1).



96/1 Sojus-Trägerrakete



97/1 Heckansicht
einer Wostok-Rakete
1 – Triebwerkbündel
2 – Antriebstriebwerk
3 – Steuertriebwerk
4 – 1. Raketenstufe
5 – 2. Raketenstufe
6 – Luftruder

In den Jahren von 1954 bis 1957 wurde die Rakete R-7 unter der Leitung des Chefkonstruktors S. P. Koroljow entwickelt (Bild 99/1) und in den beiden möglichen Varianten, als Interkontinentalrakete und als Satellitenträger, am 21. 8. 1957 erstmals in Baikonur mit Zielgebiet Stiller Ozean gestartet. Neu an dieser Großrakete war die Anordnung der Raketenstufen. Die 1. Stufe besteht aus 4 Triebwerkbündeln, die die 2. Stufe der Rakete umgeben. Zum Zeitpunkt des Starts arbeiten beide Stufen, also insgesamt fünf Triebwerkbündel. Sie erzeugen einen Startschub von 4020 kN. Nach dem Ausbrennen und Abtrennen der 1. Stufe arbeitet die 2. Stufe weiter und bringt die Nutzmasse auf die Umlaufbahn (Bilder 96/1 und 97/1).

Am 4. Oktober 1957 beförderte eine solche Rakete Sputnik 1 auf eine Umlaufbahn. Erstmals gelangten damit für einen längeren Zeitraum Meßgeräte in Bereiche außerhalb der Erdatmosphäre. Dadurch erweiterte sich der Bereich, in dem die Menschen die Naturgesetze erkennen, Theorien überprüfen und für die sie sich neue Aufgaben zur Nutzung der Naturgesetze stellen können.

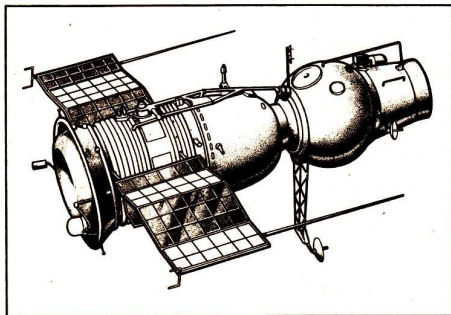
Die Anwesenheit von Menschen in diesem neu erschlossenen Bereich wurde notwendig, um Aufgaben mit zunehmender Kompliziertheit lösen zu können. Um Menschen in eine Erdumlaufbahn zu bringen, mußten jedoch alle Lebensbedingungen garantiert sein. Das bedeutet notwendig höchste Zuverlässigkeit der Raumfahrttechnik und eine weitere Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Raketen.

Die in der Sowjetunion geschaffenen Großraketen sind nach einem Baukastensystem aufgebaut. Dadurch verringern sich die Entwicklungs- und Fertigungskosten der Raketen, ihre Bauzeiten verkürzen sich, ihre Wartung kann nach wenigen Standards erfolgen, und die Lagerhaltung vereinfacht sich. Unter solchen günstigen Voraussetzungen bereiteten die sowjetischen Raumfahrtforscher die nächsten Experimente vor.

Am 12. April 1961 brachte eine dreistufige Wostok-Rakete erstmals einen Menschen, den sowjetischen Fliegeroffizier Juri Gagarin, in einem Raumfahrzeug in eine Erdumlaufbahn. Nach sechs erfolgreichen Wostok-Raumflügen wurden ab 1964 Raumfahrzeuge Woschod mit einer jeweils dreiköpfigen Besatzung gestartet. Im darauffolgenden Jahr schwebte erstmals ein Mensch frei im Weltraum (Leonow, Woschod 2).

Am 12. 9. 1970 wurde in Baikonur die erste der drei Mondsonden Luna gestartet, mit denen zunächst eine Lande- und Rückkehrsektion und dann jeweils ein von der Erde aus ferngesteuertes Mondmobil Lunochod zum Mond transportiert wurde. Damit wurde durch die sowjetische Raumfahrt ein äußerst effektives und wirtschaftliches Lande-, Arbeits- und Rückkehrsystem angewendet.

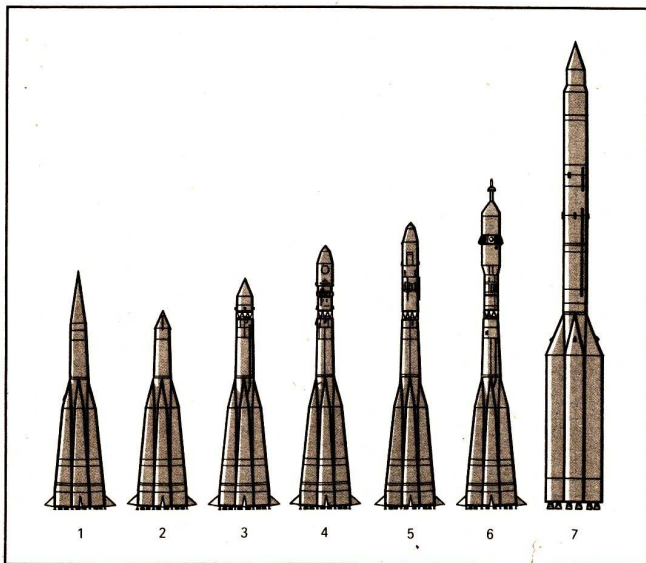
Um den Kosmonauten noch bessere Arbeitsmöglichkeiten zu schaffen, wurden immer vollkommenere Raumfahrzeuge entwickelt. Einen wesentlichen Schritt auf diesem Wege bedeutete die Entwicklung des Raumfahrzeugtyps Sojus (Bild 98/1).



98/1 Raumfahrzeug vom Typ Sojus

	R-7 Inter- konti- nental- rakete	R-7 Sputnik	R-7 Wo- stok-L	R-7 Wostok	R-7 Mol- nija	R-7 Sojus	R-7 Proton
Entwicklungs- zeitraum	1954	1957	1958	1959– 1960	1960– 1961	1962– 1963	1961– 1965
erster Start		4. 10. 1957	2. 1. 1959	15. 5. 1960	4. 2. 1961	16. 11. 1963	16. 7. 1965
Höhe mit Nutzlast in m	29,17		33,50	38,36	42,00	49,30	≈ 70
Startmasse in t		267	279	290	306	305	
maximale Nutz- masse in t		1,3	0,4	4,7	1,6	7,0	20,0
Startschub in kN	3900		4020	4020	4020	4020	14000

Dieser Typ ist konzipiert als Mannschaftstransport- und Versorgungsfahrzeug für Raumstationen vom Typ Salut. Am 19. April 1971 brachte man in der Sowjetunion Salut 1 mit einer Rakete Proton auf eine Umlaufbahn. Damit wurde es möglich, Wissenschaftlern und Technikern einen längeren Aufenthalt im Kosmos zu gewährleisten und neue Erkenntnisse, zum Beispiel auf den Gebieten Physik, Geographie, Biologie, Astronomie und Technik, zu gewinnen.



99/1 Die Trägerrakete R-7 in verschiedenen Einsatzvarianten

1 – Interkontinentalrakete, 2 – Sputnik, 3 – Wostok (Luna), 4 – Wostok, 5 – Molnija, 6 – Sojus, 7 – Proton

Die Erforschung des erdnahen Weltraumes, der Erde und der Möglichkeiten und Bedingungen des Arbeitens in der Schwerelosigkeit werden fortgesetzt. Es wurden viele Langzeitflüge erfolgreich durchgeführt, und es hat viele internationale Besatzungen in den Raumstationen Salut gegeben. Große Beachtung hat die Teilnahme des Kosmonauten Sigmund Jähn aus der DDR im August 1978 gefunden. Die von ihm durchgeführten Experimente an Bord von Salut 7 einschließlich der Erdaufnahmen mit der Multispektralkamera MKF-6 aus den Zeisswerken in Jena waren durch die Akademie der Wissenschaften der DDR ausgearbeitet und vorbereitet worden. Unübersehbar groß und von noch lange nicht ausgeschöpfter Fülle sind die bis jetzt gesammelten Forschungsergebnisse der Salutbesatzungen.

Raumfahrtforschung in den USA

Eine wesentliche Entwicklung der Raumfahrt war in diesem wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlich hochentwickelten kapitalistischen Land nach den Raketenexperimenten Goddards um 1930 (→ S. 153) für lange Jahre nicht mehr zu verzeichnen. Alle Arbeiten konzentrierten sich auf die Entwicklung einer Höhenrakete, die allerdings für rein militärische Zwecke gedacht war. Die Atombombe wurde in den USA von Wissenschaftlern im Interesse des Imperialismus entwickelt.

Erst nach dem Ende des zweiten Weltkrieges, die USA waren damals im Besitz des Atombombenmonopols, wandten militärische Kreise und später dann die Luftfahrtindustrie dem Projekt Rakete ihr Interesse zu. Im Gefolge dieser Interessengemeinschaft „zur Anwendung von Atombombenraketen gegen die Sowjetunion“ bildete sich später der in den USA mächtigste, der militärisch-industrielle Komplex heraus.

Mit 300 Waggonladungen in Hitlerdeutschland erbeuteten V-2-Raketen und dem zum eben noch angeblichen Todfeind übergelaufenen Raketenforschungstab Peenemünde der deutschen Faschisten, allen voran Hitlers Wunderwaffen-Experte W. von Braun, wollte man Zeit, Geld und Entwicklungsarbeit sparen.

Aber die V-2 war eine Terrorwaffe mit geringer Steighöhe und Flugstabilität und keine Höhenrakete für Forschungszwecke. Auch nachdem man oben die USA-Rakete Wac Corporal als Zweitstufe aufsteckte, gelang nur ein Aufstieg auf 402 km Höhe. Dabei zeigte sich, daß dieser Weg der Entwicklung keinen Erfolg versprach.

So entschloß sich das Pentagon 1955, eine Rakete in Auftrag zu geben, mit der 1957 ein militärischer Satellit von 8,3 kg auf eine Umlaufbahn gebracht werden sollte. Das gelang dann auch, aber erst 1958 und nachdem der Sputnik (zehnfache Masse) bereits 4 Monate zuvor für 3 Wochen sein piip-piip gesendet hatte, was auch hieß: „Ich bin schon da!“ Und der Sputnik 2 mit einer Masse von 508 kg folgte bereits am 4. November 1957, während der Sputnik 3, mit einer Masse von 1327 kg am 15. Mai 1958 gestartet, zeigte, welche leistungsfähige Transportraketen die UdSSR zu dieser Zeit bereits besaß.

In den USA hielt man an der militärischen Konzeption der angestrebten Raumfahrt fest. Das Verhältnis der Starts von 20 Spionagesatelliten zu 11 Forschungssatelliten bis zum Jahre 1960 belegt das bereits für diese Zeit sehr deutlich.

1958 begann in den USA der Einsatz von künstlichen Satelliten für militärische Zwecke. Das Ziel bestand und besteht darin, den Sozialismus im Weltmaßstab zurückzudrängen, und dazu wollte man sich die absolute militärische Überlegenheit verschaffen. Mit Spionagesatelliten Discoverer wurde nach Raketenbasen in den sozialistischen Ländern gesucht, und 1969 brüsteten sich USA-Militärs damit, daß „alle 94 Minuten einer der amerikanischen Aufklärungssatelliten über den Roten Platz in Moskau“ segele, und militärische Nachrichtensatelliten (IDCSP, TACOMSAT) ermöglichten die Befehlsübermittlung vom Pentagon, dem USA-Kriegsministerium, zu den verschiedenen USA-Militärstützpunkten. Der Satellit TACOMSAT diente speziell der Nachrichtenverbindung zwischen dem Pentagon in Washington und den operativ-taktischen USA-Stäben in Süd-vietnam. Militärische Navigationssatelliten (Lofti, Transit) wurden in das Navigationssystem der USA-Seestreitkräfte einbezogen.

Sogenannte Frühwarnsatelliten vom Typ Midas sollten Raketenstarts, Raketenversuchsanlagen und Raketenbasen in den sozialistischen Ländern ausspionieren und registrieren.

Die militärische Anwendung der Raumfahrttechnik verschlang enorme Mittel, die der friedlichen Erforschung des Kosmos nicht zur Verfügung standen. Für die Midas-Experimente wurden 1962 423 Millionen Dollar ausgegeben. 1964 wurden für die Entwicklung der Raumfahrt in den USA insgesamt 18,62 Milliarden Dollar zur Verfügung gestellt. Davon gab man für militärische Zwecke 14,68 Milliarden Dollar aus.

Die kommerzielle Nutzung von Satelliten setzte mit der Entwicklung von Projekten zur Stationierung von Telefon- und Fernseh-Relaisstationen im erdnahen Weltraum ein. Nun tat sich für die Telefon-, Telegraphie- und die gesamte Elektronik- und Informationsindustrie der USA eine neue Profitquelle auf.

1962 brachte man den ersten Fernseh-Relaissatelliten Telstar auf eine Umlaufbahn. Die amerikanische Gesellschaft „American Telephon and Telegraph“ ließ den Satelliten bauen und übernahm die Entwicklungs- und Baukosten für die Trägerrakete. Die Experimente verliefen erfolgreich. Weitere Nachrichtensatelliten folgten. Daß in der kapitalistischen Gesellschaft auch die Nachrichtensatelliten zu einem Mittel hemmungslosen Konkurrenzkampfes gemacht werden, zeigt folgendes Beispiel: 1964 bildeten 18 kapitalistische Staaten die internationale Vereinigung Intelsat, weil alle diese Staaten gleichermaßen an einer Verbesserung der Nachrichtenverbindung interessiert waren. Die Intelsat organisierte die Entwicklung und den Einsatz von Nachrichtensatelliten für die Mitgliedstaaten. Das Stimmrecht (Stimmenanzahl) der einzelnen Länder wurde nach dem Aktienanteil aufgeschlüsselt. Davon entfielen auf die USA allein 52% der Aktien, der Rest teilte sich auf 162 Fernmeldegesellschaften anderer Staaten auf. Damit konnten stets vorrangig Interessen (dem Profitstreben) des USA-Monopolkapitals bei den Entscheidungen der Intelsat durchgesetzt werden, meist zum Nachteil anderer ausländischer Gesellschaften.

Nach dem Sputnik-Schock für die US-Militäradministration folgte am 12. April 1961 der Gagarin-Schock. Juri Gagarin, sowjetischer Raumfahrer, vollführte als erster Mensch im erdnahen Weltraum in 108 Minuten eine Erdumkreisung und landete wohlbehalten.

Tage danach, am 25. Mai 1961, forderte der damalige amerikanische Präsident J. F. Kennedy vor dem Kongreß, es als nationale Aufgabe zu betrachten, daß bis 1970 erstmals ein Mensch, und zwar ein Amerikaner, den Mond betreten solle. Wenn der Kongreß die Mittel dafür nicht bewillige, dann bliebe Amerika im Weltraum ständig Zweibester.

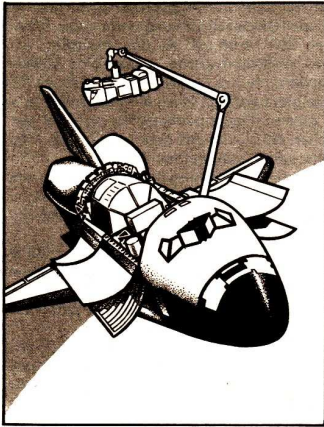
In jenem Jahr fuhr das erste sowjetische fahrbare Mondlaboratorium Lunochod über den Mondboden.

Um das Prestige des USA-Imperialismus, das unter anderem durch die sowjetischen Erfolge im Weltraum, durch seine Verbrechen in Vietnam, durch Krisen und den Kaufkraftverlust des USA-Dollars in der Welt stark gesunken war, wieder zu erhöhen, wurde die Raumfahrtforschung verstärkt unterstützt. Mit viel Reklame kündigte man für den 20. Dezember 1961 das erste bemannte Raumfahrtunternehmen der USA an. Am 20. Februar 1962, nach zehnmaliger Startverschiebung, startete dann der erste US-amerikanische Astronaut John H. Glenn zu einer dreimaligen Umrundung der Erde.

Nach vier bemannten Raumflügen mit Mercury-Kapseln begann 1965 das Gemini-Programm. Mit diesem Programm konnten die Kopplung von Raumfahrzeugen und Ausstiegsmanöver durchgeführt werden. Insgesamt erfolgten zehn bemannte Gemini-Flüge. Nach Entwicklung einer leistungsfähigeren Rakete und der erfolgreichen Erprobung des Apollo-Systems betrat am 21. Juli 1969 erstmals ein amerikanischer Astronaut den Mond. Die sowjetische Raumfahrtforschung hatte bereits vor Verkünden des Propagandaprogramms der USA einen anderen Weg der Monderforschung eingeschlagen.

Im Dezember 1972 fand mit Apollo 17 nach fünf weiteren Mondlandungen und einem fast mit einer Katastrophe endenden, vorzeitig wegen einer Explosion an Bord von Apollo 13 abgebrochenen Unternehmen das letzte bemannte Raumflugunternehmen der USA zum Mond statt. Damit ist das Apollo-Programm als solches erfolgreich beendet worden.

Im Ergebnis dieses Mondunternehmens der USA ist etwa zu verzeichnen: 12 Astronauten waren auf dem Mond mehr als 3 Tage außerhalb der Landefähren tätig, sie errichteten fünf wissenschaftliche Meßstationen, legten mit drei Mondjeeps bis zu 36 Kilometer zurück und brachten etwa 390 Kilogramm Gestein zur Erde mit zurück.



103/1 Space Shuttle mit Greifarm
zum Einfangen eines Satelliten

Es hat viele Hinweise und Kritiken von Wissenschaftlern in den USA gegeben, die auf den im Verhältnis zum Aufwand geringen wissenschaftlichen Wert der Apollo-Unternehmen zur Erforschung der Mondoberfläche aufmerksam machten. Das gesamte Apollo-Vorhaben kostete etwa 23,4 Milliarden Dollar. Ein Lunochod-Unternehmen erforderte etwa 2% bis 5% der Kosten eines einzelnen Apollo-Unternehmens.

Danach wurden keinerlei solche bemannten Unternehmen im Weltraum von der US-Weltraumbehörde NASA mehr geplant. Zwischen Dezember 1969 und Dezember 1970 wurden 280 000 zum Teil höchstqualifizierte Spezialisten der NASA entlassen, viele in die Arbeitslosigkeit. Man wandte sich dem erdnahen Weltraum zu, um ihn vorrangig militärisch zu erschließen. Dem dienten das Skylab-Unternehmen und seit 1981 das Space Shuttle-Programm, das mit seinen Weltraumfähren wiederverwendungsfähige Weltraumgleiter besitzt, von denen aus das Einfangen von Satelliten, die Benutzung von Laser-Waffen und das Abschießen von Raketen aus dem Weltraum auf Erdziele bereits trainiert wird (Bild 103/1).

In den Plänen der NASA findet man Space Shuttle als kleinen Raumtransporter für die Versorgung einer großen Raumstation. Gestrichen aus diesen Plänen wurde in den 60er Jahren die Raumstation. Das Geld war für das überdimensionierte Apollo-Mondunternehmen vertan worden. Der USA-Imperialismus war nicht bereit und wohl auch nicht in der Lage, nach diesem Gewalterfolg noch etwas für friedliche Weltraumforschung auszugeben. Erst mit der Verschärfung der politischen Lage durch die USA und der hierfür betriebenen Hochrüstung wurden Mittel bereitgestellt, um eine Raumstation zu planen und zu bauen, die ab 1992 zum Einsatz kommen kann.

Zur Zeit fliegt der Space Shuttle als Teil einer neuen Raumfahrtkonzeption. Sein Einsatz erfolgt nach anfänglicher Lösung wissenschaftlicher Aufgaben fast ausschließlich für das Pentagon. Aber viele Menschen in aller Welt protestieren gegen solche Weltraumrüstungspläne des Präsidenten R. Reagan. Dieser Präsident erklärte 1984: „Ich freue mich, Ihnen mitzuteilen, daß ich heute ein Gesetz zur endgültigen Auslöschung Rußlands unterzeichnet habe; wir beginnen mit der Bombardierung in fünf Minuten.“ Auch

wenn diese Sätze nur für eine Mikrofonprobe von Reagan ausgesprochen wurden, sie sind eine Ungeheuerlichkeit. Sie sind Ausdruck der Geistesverfassung derjenigen, die an der Schaltstelle der Politik des Weltgendarmen USA sitzen und die den Weltraum, entgegen dem auch von den USA unterzeichneten Weltraumvertrag, in dem eine Militarisierung des Weltraumes ausdrücklich verneint wird, in ihre Angriffsstrategie gegen das sozialistische Weltlager einbezogen haben. Sie glauben, sich in eine militärisch überlegene Situation im Weltraum hineinrücken zu können. Dabei bedienen sie sich der dem aggressivsten Flügel des Imperialismus typischen Fehleinschätzung ihrer eigenen Möglichkeiten und der Möglichkeiten der sozialistischen Staatengemeinschaft.

Und daß auf Seiten der Verantwortungslosen in der USA-Regierung schon immer eine große Portion Ignoranz, Überheblichkeit und Nichteinsichtigkeit in die Realität des Leistungsvermögens der sozialistischen Gesellschaft eine wesentliche Rolle bei ihren Entscheidungen gespielt hat, das ist bekannt. Beispielhaft sei angeführt:

Am 27. November 1953 bereits erklärte der Präsident der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Prof. Nesmejanow, und das aus dem Wissen über das Leistungsvermögen der sowjetischen Raumfahrtforschung, in Wien auf einem Raumfahrtkongreß: „Die Wissenschaft hat einen Stand erreicht, um einen künstlichen Erdsatelliten zu schaffen und einen Raumflugkörper nach dem Mond zu senden.“

Am 1. August 1955 konkretisierte das Prof. Dr. Sedow, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, auf dem VI. Internationalen Astronomischen Kongreß in Kopenhagen, indem er ankündigte, die UdSSR werde sich mit einem Satelliten am Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 beteiligen.

Am 4. Oktober 1957 umkreiste dann der 83 Kilogramm schwere Sputnik auf einer Umlaufbahn die Erde, gestartet mit einer sowjetischen Trägerrakete, deren Existenz bis dahin lautstark von den USA-Militärs immer wieder angezweifelt worden war.

Und noch ein Beispiel: Der sowjetische Kosmonaut Generalleutnant Beregowoi erklärte 1979 auf dem XX. Internationalen Astronomischen Kongreß in München: „Die UdSSR arbeitet heute ebenso wie die USA an einem Raumtransporter, der eine Kombination von Rakete und Flugzeug darstellt. Wir bemühen uns dabei, nach der wirtschaftlichsten Variante zu arbeiten. Zunächst jedoch bemühen sich unsere Wissenschaftler und Techniker, das Salut-Sojus-Progress-System weiter auszubauen“.

Raumstationen der UdSSR und der USA

Raumstationen	UdSSR	USA
Name	Salut	Space Station
Ersteinsatz	1971	1992 (geplant)
Besatzungsanzahl	2 ... 6	6 ... 8
Aufenthaltsmöglichkeit (in Tagen)	20 ... 250	120 ... 180
Bahnhöhe (in km)	200 ... 400	320 ... 450
Masse (in t)	39,9	36,0
Länge (in m)	29	20 ... 30
Volumen (in m ³)	90 ... 140	100 ... 200
Energieversorgung (in kW)	20	55 ... 75

Schlußbetrachtung

Beim Studium des Abschnittes über die geschichtliche Entwicklung der Raumfahrt lassen sich einige wesentliche Erkenntnisse zusammenstellen:

- Die Entwicklung der Weltraumforschung bestätigt die Erkenntnis, daß die gesellschaftlichen Bedingungen entscheidend die Nutzung von Wissenschaft und Technik beeinflussen.
- Auch in der Raumfahrt ist wie bei allen die gesamte Volkswirtschaft erfassenden Prozessen eine langwährende Entwicklung notwendig, und Kontinuität und langfristige, weit vorausschauende Planung sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Entwicklung.

Gerade das aber ist in der profitorientierten kapitalistischen Wirtschaft nicht gewährleistet.

Wenn man historisch die Entwicklung der Raumfahrt betrachtet, so erkennt man, daß es eine Dynamik in der technischen Vervollkommnung, eine ständige Verbesserung der Verfahren und auch prinzipiell neue technische Lösungen (z. B. Mikroelektronik) gibt, mit denen neue Leistungen möglich wurden, neue wissenschaftliche Erkenntnisse gesammelt und diese in der Raumfahrt und in anderen Gebieten angewendet werden.

In kontinuierlicher Forschungsarbeit wurden z. B. die Leistungen der Raketentriebwerke verbessert, immer bessere Regel- und Steuersysteme entwickelt und dadurch Raketenanstiege in immer größere Höhen möglich, bis die für einen Erdumlauf erforderliche Höhe und Bahngeschwindigkeit erreichbar waren. Erst der Entwicklungsstand von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft im 20. Jahrhundert ließ solche Leistungen zu.

Wenn man die Entwicklung und die Zielrichtungen der Raumfahrt im Zusammenhang betrachtet, so erkennt man, daß die Entwicklung einerseits von solchen Bedingungen wie dem Stand der Wissenschaften, dem Reichtum an Bodenschätzen, leistungsfähigen Industrieanlagen, Energievorräten und andererseits von der Gesellschaftsordnung abhängt. Das drückt sich darin aus, daß in der Entwicklung wirtschaftlich und wissenschaftlich fortgeschrittene, ökonomisch starke Staaten wie die Sowjetunion und die USA in der Raumfahrtforschung und in der Raumfahrt führend sind. Das drückt sich jedoch auch darin aus, daß entsprechend der unterschiedlichen gesellschaftlichen Systeme die USA die Weltraumfahrt der Militarisation des Weltraumes unterordnet, während die Sowjetunion die Weltraumfahrt zur friedlichen Nutzung des Weltraumes entwickelt und gewillt ist, eine vom Imperialismus angestrebte Militarisation zu verhindern.

Nur bei solchen Betrachtungsweisen ist man in der Lage, solche zunächst widersprüchlichen Erscheinungen zu verstehen, warum z. B. Staatsbürger der USA auf dem Mond Friedensbotschaften deponierten und zur gleichen Zeit Bürger dieses gleichen Staates in Vietnam Millionen Menschen gemordet haben, warum Milliarden Dollar für die Weltraumrüstung von den USA ausgegeben werden, aber Millionen USA-Bürger keine ausreichende Schulbildung erhalten, arbeitslos sind, hungern und unter menschenunwürdigen Bedingungen dahinvegetieren.

Raumfahrttechnik

Der Begriff Raumfahrttechnik umfaßt verschiedene Teilgebiete, wie Raketenantriebstechnik, Raketentriebwerke, Trägersysteme, Raumflugnavigation, Bahnmechanik. Diese Teilgebiete werden in diesem Buch unter Auslassung der Raumflugnavigation zusammengefaßt in den drei Abschnitten

- Physikalische Grundlagen,
 - Technische Grundlagen,
 - Raumflugkörper
- und mit ausgewählten Beispielen behandelt.

Physikalische Grundlagen

Vor etwa zweihundert Jahren, am 21. November 1783, gelang es erstmals, daß Menschen von unserer Erde mit einem besonderen Fahrzeug für kurze Zeit aufstiegen. Das Fahrzeug war ein Heißluftballon.

Das Wirkungsprinzip des Heißluftballons (wie auch des wenig später erfundenen gasgefüllten Freiballons) besteht darin, daß der völlig von Luft umgebene Ballon eine Auftriebskraft erfährt. Diese Auftriebskraft ist der Gewichtskraft des Ballons entgegengerichtet. Nach dem Gesetz von Archimedes ist diese Auftriebskraft so groß wie die Gewichtskraft der verdrängten Luft.

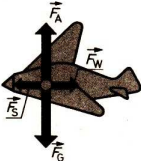
Die größte, durch einen Menschen mit einem Ballon erreichte Höhe über der Erde beträgt etwa 35 Kilometer. Da die Auftriebskraft eines Ballons von der Dichte der Luft abhängt, diese mit zunehmender Höhe abnehmende Dichte aber in Höhen über fünfzig Kilometer keine nennenswerte Auftriebskraft mehr zustande kommen läßt, ist der Freiballon für Raumfahrtunternehmen kein geeignetes Gerät.

Vor etwa achtzig Jahren, am 17. Dezember 1903, gelang es erstmals, daß ein Mensch mit einem Motorflugzeug von der Erde aufstieg.

Das Wirkungsprinzip des Flugzeuges besteht darin, daß ein von Luft umströmter Tragflügel eine Auftriebskraft erfährt. Die Auftriebskraft ist von der Dichte der Luft abhängig, aber auch von der Tragflügelgröße und der Antriebskraft des Motors. Die größte, mit einem Flugzeug erreichte Höhe über der Erde beträgt etwa 42 Kilometer.

Die zum Fliegen erforderliche Auftriebskraft ist beim Flugzeug ebenfalls wie beim Freiballon von einer genügend großen Dichte der Luft abhängig.

Für Aufstiege in noch größere Höhen und für das Verlassen des erdnahen Weltraumes eignet sich nur die mit einem Rückstoßtriebwerk ausgerüstete Rakete.

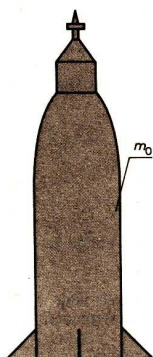
Beispiel	Freiballon	Flugzeug	Rakete
Gerät			
Art der Kraftwirkung	statischer Auftrieb	dynamischer Auftrieb	Impuls
Größe und Wirkungsprinzip	$F_A = V \cdot (\rho_1 - \rho_2)$ Gewichtskraftunterschiede einander verdrängender Körper	$F_A = c_a \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot A$ Druckkraftunterschiede beim Umströmen eines Körpers	$F_S = \frac{\Delta(m \cdot v)}{\Delta t}$ Schubkraft durch Rückstoß
erreichte Höhe	Stratosphäre (35000 m)	Stratosphäre (42000 m)	Weltraum

Raketenprinzip

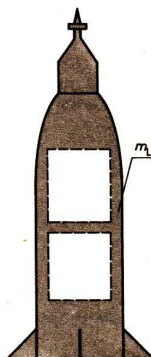
Auf eine Rakete muß, wenn sie senkrecht aufsteigen soll, eine Schubkraft wirken, die so groß ist wie die Summe aus der Gewichtskraft F_G der Rakete und der zur Beschleunigung notwendigen Antriebskraft F_b .

$F_s = F_G + F_b$	F_s : Schubkraft F_G : Gewichtskraft F_b : Beschleunigungskraft
-------------------	---

Durchsatz und Schubkraft. Eine startbereite Rakete (Bild 107/1) hat die Startmasse m_0 . Dazu gehören die Leermasse m_L der Rakete (einschließlich der Nutzmasse) und die Masse m_T des Treibstoffes.



107/1 Startmasse m_0 einer Rakete,



Leermasse m_L einer Rakete

Nach dem Zünden des Raketentriebwerkes entströmen den Düsen Verbrennungsgase mit der Ausströmgeschwindigkeit v_T . Dabei verbraucht das Triebwerk in der Zeit t_b Treibstoff der Masse m_T . In der Raketentechnik hat man hierfür eingeführt die physikalische Größe

Durchsatz D

$D = \frac{m_T}{t_b}$	m_T : Treibstoffmasse t_b : Brenndauer
-----------------------	---

Einheit ist $1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

■ Die Endstufe einer Trägerrakete enthält 10 t Treibstoff. Die Brenndauer des Triebwerks beträgt 270 Sekunden.
Wie groß ist der Durchsatz?

Gesucht:

D

Lösung:

$$D = \frac{m_T}{t_B}$$

Gegeben:

$$m_T = 10 \text{ t}$$

$$t_B = 270 \text{ s}$$

$$D = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ kg}}{270 \text{ s}}$$

$$D = 37 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Die Schubkraft eines Raketentriebwerks erhält man als Produkt aus dem Treibstoffdurchsatz D und der Ausströmgeschwindigkeit v_T der Verbrennungsgase.

Schubkraft F_S

$F_S = D \cdot v_T$	D : Durchsatz v_T : Ausströmgeschwindigkeit
---------------------	--

Einheit ist $1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ N}$

■ Wie groß ist die Schubkraft der Endstufe einer Trägerrakete, wenn der Durchsatz $37 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ beträgt und die Ausströmgeschwindigkeit $3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ist?

Gesucht:

F_S

Lösung:

$$F_S = D \cdot v_T$$

Gegeben:

$$D = 37 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_T = 3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_S = 37 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_S = 133 \text{ kN}$$

Alle diese Berechnungen sind grundsätzlich richtig, auch wenn viele wichtige Einflußgrößen nicht berücksichtigt wurden. [5/1]

Raketengrundgleichung. Der Start eines Raumflugkörpers mit einer Trägerrakete erfordert entsprechend der zu transportierenden Nutzmasse und der Raketenmasse ein Mehrfaches an Treibstoffmasse.

Soll ein Raumflugkörper in eine Erdumlaufbahn gebracht werden, dann muß die Transportrakete eine ganz bestimmte Endgeschwindigkeit haben (↗ Bahngeschwindigkeiten, S. 112). Das Problem lautet also:

Eine Rakete der Startmasse m_o (Bild 107/1) soll einem Körper eine bestimmte Endgeschwindigkeit v_e erteilen.

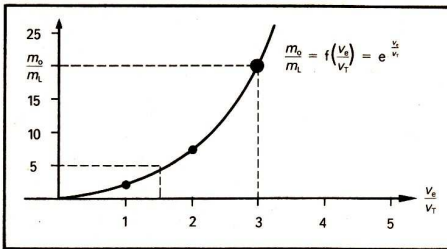
Wie groß muß die Treibstoffmasse m_T sein, damit die Rakete die erforderliche Endgeschwindigkeit v_e erreicht?

Die Verbrennungsgase sollen mit der konstanten Ausströmgeschwindigkeit v_T ausgestoßen werden.

Es gilt die von K. E. Ziolkowski aufgestellte Raketengrundgleichung für das

Massenverhältnis m_o/m_L

$\frac{m_o}{m_L} = e^{\frac{v_e}{v_T}}$	m_o = Startmasse m_L = Leermasse v_e = Endgeschwindigkeit v_T = Ausströmgeschwindigkeit
---	--



Das Massenverhältnis wird auch als Ziolkowski-Zahl bezeichnet. Die Gleichung berücksichtigt keine weiteren Einflußgrößen wie z. B. die Erdbeschleunigung. Die Endgeschwindigkeit v_e wird deshalb als ideale Endgeschwindigkeit bezeichnet. Mit dieser Gleichung ist es möglich, einige prinzipielle Betrachtungen über physikalische Zusammenhänge beim Start einer Rakete anzustellen.

Das im Bild 109/1 abgebildete Diagramm gestattet das Ablesen von Massenverhältnis m_0/m_L in Abhängigkeit von Endgeschwindigkeit v_e der Rakete und Ausströmgeschwindigkeit v_T der Verbrennungsgase.

Um eine Endgeschwindigkeit von $v_e = 1,5 \cdot v_T$ zu erreichen, muß das Massenverhältnis nach dem v_T - m_0/m_L -Diagramm (Bild 109/1) etwa $m_0/m_L = 5$ sein. Zum Transport von 10 kg Leermasse werden also 40 kg Treibstoff benötigt.

Zum Erreichen einer doppelt so großen Endgeschwindigkeit $v_e = 3,0 \cdot v_T$ muß das Massenverhältnis schon $m_0/m_L = 20$ betragen, und wenn gelten soll $v_e = 4,5 \cdot v_T$, dann muß das Massenverhältnis auf 90 gesteigert werden; die Ausströmgeschwindigkeit wird als konstant angenommen.

■ Es soll ein Wettersatellit in eine Erdumlaufbahn gebracht werden. Perigäum 630 km. Apogäum 690 km. Der Satellit einschließlich Raketenendstufe hat eine Masse m_L von rund 1000 kg. Wie groß muß das Massenverhältnis gewählt sein bei $v_T = 3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$?

In 660 km über der Erdoberfläche beträgt die Erdbeschleunigung nur noch $g = 8,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Die Kreisbahngeschwindigkeit muß $v_e = 7520 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ betragen (↗ Bahngeschwindigkeiten, S. 112).

Gegeben:

$$\begin{aligned} m_L &= 1000 \text{ kg} \\ v_T &= 3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ v_e &= 7520 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Lösung:

$$\begin{aligned} \frac{m_0}{m_L} &= e^{\frac{v_e}{v_T}} & \frac{m_0}{m_L} &= e^{2,52} \\ & & \frac{m_0}{m_L} &= 12,31 \end{aligned}$$

Gesucht:

$$\frac{m_0}{m_L}$$

Das heißt, zum Befördern von 1 kg Masse einer Rakete werden 11,31 kg Treibstoff benötigt, der Treibstoffvorrat muß also 11310 kg betragen. [5/2]

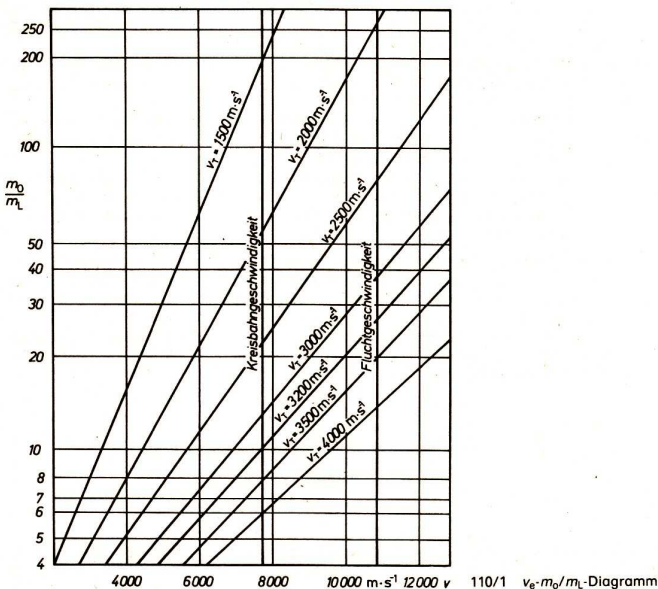
Die Tabelle über die Ausströmgeschwindigkeiten (S. 110 oben) gibt einen Überblick über einige unter Berücksichtigung der technischen Realisierungsmöglichkeiten erreichbare Massenverhältnisse und Ausströmgeschwindigkeiten bei Einstufenraketen.

Ausströmgeschwindigkeiten

	Feststoffraketen	Flüssigkeitsraketen
$\frac{m_o}{m_L}$	20 ... 30	10 ... 15
v_T	$2500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$3000 \dots 3500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Ziolkowski-Zahlen größer als 30 sind demnach mit Einstufen-Feststoff-Raketen nicht zu erreichen. Für eine Mondlandung mit Rückkehr wurden Massenverhältnisse um 800 errechnet! [5/3]

Um die Endgeschwindigkeit v_e einer Rakete mit bekanntem Massenverhältnis m_o/m_L zu berechnen, wird die Raketengrundgleichung nach v_e aufgelöst. Das $v_e \cdot m_o/m_L$ -Diagramm (Bild 110/1) erleichtert das Auffinden der gesuchten Größe.



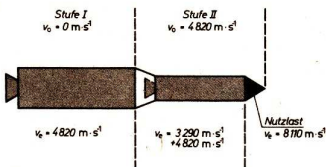
Es gilt für die
Endgeschwindigkeit v_e

$v_e = v_T \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{m_o}{m_L}$	v_T = Ausströmgeschwindigkeit m_o = Startmasse m_L = Leermasse
---	--

■ Das Massenverhältnis einer Einstufenrakete beträgt 5, die Ausströmgeschwindigkeit $3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Welche Endgeschwindigkeit kann die Rakete erreichen?

Die Rakete erreicht eine Endgeschwindigkeit von $v_e = 4823 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Diese Geschwindigkeit ist für das Einbringen eines Satelliten in eine Erdumlaufbahn zu gering (→ S. 114).

Die Mehrstufenrakete. Die Raketengrundgleichung führte K. E. Ziolkowski zu dem Schluß, daß mit einer Mehrstufenrakete die Möglichkeit besteht, den erdnahen Weltraum zu verlassen. Er ging dabei von dem einfachen Prinzip aus, daß bei der Überlagerung von Geschwindigkeiten sich diese summieren.



111/1 Mehrstufenrakete

Danach erhält man z. B. bei einer Mehrstufenrakete mit zwei Stufen (Bild 111/1) die
Endgeschwindigkeit v_e

$v_e = v_{e1} + v_{e2}$	v_{e1} : Endgeschwindigkeit 1. Stufe v_{e2} : Endgeschwindigkeit 2. Stufe
-------------------------	--

Für eine Mehrstufenrakete mit zwei Stufen gilt das

Massenverhältnis m_o/m_L

$\frac{m_o}{m_L} = \frac{m_{o1}}{m_{L1}} \cdot \frac{m_{o2}}{m_{L2}}$	m_o : Startmasse m_L : Leermasse
---	---

Eine Mehrstufenrakete wirkt nach folgendem Prinzip:

Die Rakete startet mit den Triebwerken der ersten Stufe, bis der hierfür vorgesehene Treibstoff verbraucht ist. Die nächste Stufe wird gezündet und die erste Stufe abgestoßen. Die nächste, nun um vieles leichtere Stufe startet also bereits mit der Endgeschwindigkeit der ersten Stufe. Durch das Ausbrennen des Treibstoffes und Abstoßen der ersten Stufe wird nun eine sehr viel kleinere Raketenmasse beschleunigt; dazu ist weniger Treibstoff notwendig, als wenn die erste Stufe nutzlos weiter mitbeschleunigt werden müßte. Aus dem Diagramm 110/1 und der Tabelle über die Ausströmgeschwindigkeiten geht hervor:

– Mit einer Flüssigkeitsrakete kann nur dann die Fluchtgeschwindigkeit erreicht werden,

wenn das Massenverhältnis mindestens 20 bis 30 beträgt. Das ist für eine Einstufenrakete technisch bisher noch nicht erreicht worden.

- Mit einer Zweistufenrakete kann man ein Massenverhältnis von 30 dann erreichen, wenn die beiden Stufen Massenverhältnisse von 5 bis 6 haben. Das ist technisch möglich.

Bahngeschwindigkeiten

Für alle Raumflugkörper gelten die Gesetze der Himmelsmechanik, denen die natürlichen Himmelskörper unterliegen. Das sind die drei Keplerschen Gesetze für natürliche Himmelskörper mit zumeist elliptischen Umlaufbahnen um ein Zentralgestirn.

Für die praktische Nutzung der Raumfahrt zu Zwecken der Erdbeobachtung und der Durchführung von Experimenten unter nahezu gleichbleibenden Bedingungen wird meist eine kreisförmige Umlaufbahn angestrebt.

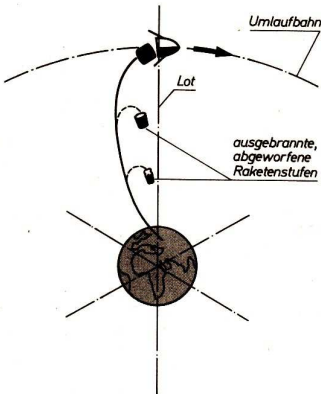
Von wesentlicher Bedeutung für die Bewegung eines Raumflugkörpers auf einer Umlaufbahn um die Erde ist die Gravitation. Sie äußert sich durch die aus der Erfahrung bekannte Anziehungskraft oder

Gravitationskraft F_g

$F_g = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	m_1: Masse des Raumflugkörpers m_2: Masse der Erde r: Abstand der Massenmittelpunkte k: Gravitationskonstante
---	---

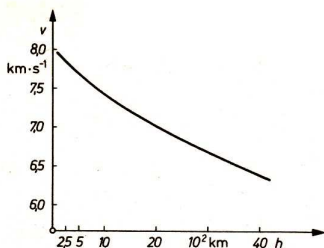
Gravitationskonstante $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Diese Gravitationskraft F_g ist gleich der Gewichtskraft F_G eines Körpers in Abhängigkeit vom Abstand zu einem anderen Körper. Für Betrachtungen zur Raumfahrt in Erdnähe ist das die Kraft, die den Raumflugkörper beim Umlauf auf einer Kreisbahn zur Erde heranzieht. Sie entspricht der



112/1 Start eines Raumflugkörpers

Der Start eines Raumflugkörpers mit Hilfe einer Mehrstufenrakete erfolgt senkrecht von der Erdoberfläche aus. Nach dem Ausbrennen und Abwerfen der einzelnen Raketentriebwerkstufen wird mit der Endstufe der Raumflugkörper in die Umlaufbahn gebracht und dann von der Endstufe getrennt. Die Form der Umlaufbahn hängt ab von der erreichten Höhe und von der Endgeschwindigkeit, die der Raumflugkörper erhalten hat.



113/1 Geschwindigkeit
in Abhängigkeit von der Höhe

Radialkraft F_r .

$F_r = \frac{m \cdot v^2}{r}$	m: Masse des Raumflugkörpers v: Kreisbahngeschwindigkeit des Raumflugkörpers r: Radius der Kreisbahn
-------------------------------	---

Bei der nun folgenden Herleitung verschiedener Bahngeschwindigkeiten wird aus Gründen der Vereinfachung der Einfluß anderer Gravitationskörper, der Reibung in der Erdatmosphäre, der ungleichmäßigen Form und Masseverteilung der Erde und des Strahlungsdruckes von der Sonne nicht berücksichtigt.

Die Kreisbahngeschwindigkeit. Um einen Raumflugkörper auf eine kreisförmige Umlaufbahn um die Erde zu bringen (Bild 112/1), muß er

- auf die erforderliche Bahnhöhe gehoben werden und
- in der erforderlichen Bahnhöhe eine bestimmte Geschwindigkeit erhalten (Bild 113/1).

Um für die Kreisbahngeschwindigkeit eine Gleichung aufzustellen, setzt man zunächst, wie oben erläutert, die Radialkraft F_r der Gewichtskraft F_G des Körpers gleich.

$F_r = F_G$, damit erhält man weiter

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot g$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich durch Auflösen eine Gleichung für die Geschwindigkeit, bei der Gleichgewichtszustand des umlaufenden Körpers auf einer kreisförmigen Umlaufbahn um einen anderen Körper in bezug auf die Gravitationskraft besteht. Man bezeichnet diese Größe als die

Kreisbahngeschwindigkeit v_k .

$v_k = \sqrt{r \cdot g}$	r: Radius der Kreisbahn g: Erdbeschleunigung
--------------------------	--

Diese Geschwindigkeit ist unabhängig von der Masse des umkreisten Körpers (Erde) und der Masse des umkreisenden Körpers (Erdsatellit). Da g zunächst nur für die Erdoberfläche gilt, ist r der Erdradius r_E , was bedeutet, daß diese Gleichung nur für eine Kreisbahn um die Erde in 0 Meter Höhe über der Erdoberfläche gilt.

■ Für eine Kreisbahn um die Erde direkt an der Oberfläche erhält man eine erforderliche Geschwindigkeit (theoretisch, ohne Berücksichtigung anderer Störfaktoren):

Gesucht:

v_K

Lösung:

$$v_K = \sqrt{r \cdot g}$$

Gegeben:

$r = r_E$

$r = 6378 \text{ km}$

$$= 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$v_K = \sqrt{6,378 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$v_K = 7,91 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Für einen Körper, der in einem bestimmten Abstand über der Erdoberfläche eine Kreisbahn beschreiben soll, ergibt sich ein anderer Betrag, weil sich die Erdbeschleunigung und die Entfernung r mit wachsender Bahnhöhe des Satelliten ändern. Das v_K - h -Diagramm (Bild 113/1) zeigt den Zusammenhang zwischen der Kreisbahngeschwindigkeit v_K und der Höhe h des Satelliten über der Erdoberfläche.

Für eine Kreisbahn mit der Höhe h über der Erdoberfläche ist der Radius der Kreisbahn $r = r_E + h$. Die Gleichung für die Kreisbahngeschwindigkeit lautet dann

$$v_K = \sqrt{\frac{r^2}{r_E + h} \cdot g}$$

[5/4]

Aus der bekannten Bahngeschwindigkeit v_K und der Höhe h eines Satelliten läßt sich die Umlaufzeit T bestimmen. Das ist die Zeit, die ein Satellit für einen vollen Umlauf benötigt. Auf einer Kreisbahn bleiben Höhe h und Bahngeschwindigkeit v_K konstant. Es gilt das Geschwindigkeitsgesetz der gleichförmigen Bewegung:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{2\pi(r_E + h)}{T}$$

$$\text{und damit auch } T = \frac{2\pi(r_E + h)}{v}$$

■ Wie groß wäre die Umlaufzeit für einen Satelliten auf einer Kreisbahn direkt an der Erdoberfläche?

Gesucht:

T

Lösung:

$$T = \frac{2\pi(r_E + h)}{v_K}$$

$$T \approx \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6378 \text{ km} \cdot \text{s}}{7,9 \text{ km}}$$

Gegeben:

$$v_K = 7,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$r_E = 6378 \text{ km}$$

$$h = 0$$

$$T \approx 5070 \text{ s}$$

$$T \approx 84 \text{ min}$$

Mit Hilfe des Diagramms (Bild 113/1) kann man die Umlaufzeiten für andere Kreisbahnen ermitteln.

■ Kosmos 151 (Start: 24. 3. 1967) bewegte sich auf einer Kreisbahn 630 km über der Erdoberfläche. Es soll die Umlaufzeit bestimmt werden. Aus der Tabelle 5/38 folgt für 630 km Bahnhöhe ein Betrag für die Kreisbahngeschwindigkeit von $7,55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Gesucht:

T

Lösung:

$$T = \frac{2\pi \cdot r}{v_K}$$

Gegeben:

$$r = 6378 \text{ km} + 630 \text{ km} = 7008 \text{ km}$$

$$v_K = 7,55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

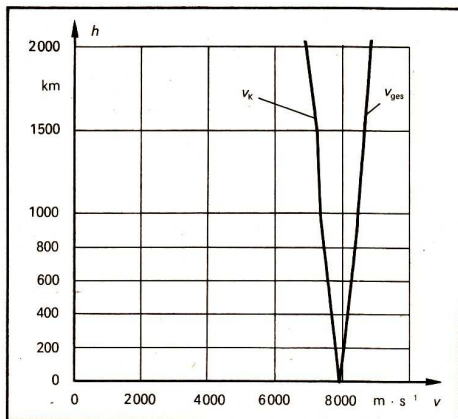
$$T \approx \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 7008 \text{ km} \cdot \text{s}}{7,55 \text{ km}}$$

$$T \approx 97,1 \text{ min}$$

Kosmos 151 hatte laut Rechnung eine Umlaufzeit von 97,1 Minuten. Der Wert stimmt mit dem aus Beobachtungen gewonnenen überein.

Bis jetzt ist stets nur betrachtet worden, daß ein Raumflugkörper eine bestimmte Endgeschwindigkeit für eine Umlaufbahn erhalten muß. Da aber zunächst der Raumflugkörper durch die Rakete auf die Umlaufbahn der Höhe h gehoben werden muß, ist ihm hierfür eine weitere Geschwindigkeit zu erteilen (Bild 115/1). Die vollständige Gleichung für die Gesamtgeschwindigkeit lautet:

$$v_{\text{ges}} = v_K \sqrt{\frac{r_E + 2h}{r_E + h}}$$



115/1 Kreisbahngeschwindigkeit und Gesamtgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kreisbahnhöhe

Die Parabelbahngeschwindigkeit. Ist die Endgeschwindigkeit eines Körpers in einer bestimmten Höhe größer als die Kreisbahngeschwindigkeit, dann bewegt er sich auf einer elliptischen Bahn um die Erde. Bei einer genügend großen Geschwindigkeit wird aus der elliptischen eine parabolische Bahn; der Körper entweicht von der Erde und kehrt nicht mehr in Erdnähe zurück. Wegen der Flugbahn in Form einer Parabel nennt man diese irdische Entweichgeschwindigkeit von der Erde

Parabelbahngeschwindigkeit v_P .

$$v_P = \sqrt{2 \cdot g \cdot r}$$

g : Erdbeschleunigung
 r : Radius der Kreisbahn

Vergleicht man die Gleichungen für die Kreisbahngeschwindigkeit v_K und die zuletzt angeführte für die Parabelbahngeschwindigkeit v_P miteinander, so erkennt man:

$$v_P = \sqrt{2} \cdot v_K$$

■ Ein Raumflugkörper soll das Gravitationsfeld der Erde verlassen. Es ergibt sich bei der Vernachlässigung des Luftwiderstandes als Entweichgeschwindigkeit die Parabelbahngeschwindigkeit v_p .

$$\begin{aligned} v_p &= \sqrt{2} \cdot v_k \\ \text{Mit } v_k &= 7,91 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \text{ und } \sqrt{2} = 1,414 \text{ erhält man} \\ v_p &= 11,153 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \\ \underline{v_p} &\approx \underline{11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} \end{aligned}$$

Der Körper müßte, um auf eine Parabelbahn zu gelangen, (an der Erdoberfläche) eine Entweichgeschwindigkeit von mindestens $11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ erreichen.

Hyperbelbahngeschwindigkeit. Welche Geschwindigkeit ein Raumflugkörper erreichen muß, um das Gravitationsfeld der Sonne zu verlassen, soll erläutert werden.

Die Erde und ihre Satelliten bewegen sich mit einer Kreisbahngeschwindigkeit von $29,8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ um die Sonne. Die erforderliche Entweichgeschwindigkeit in bezug auf die Sonne beträgt $42,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Ein Raumflugkörper, der von der Erde startet, muß ebenfalls diese Geschwindigkeit relativ zur Sonne erreichen, wenn er das Gravitationsfeld der Sonne verlassen soll.

Startet man den Raumflugkörper zu dem Zeitpunkt, an dem er sich gleichsinnig tangential zur Erdbahn bewegt, dann wirkt bereits die Geschwindigkeitskomponente der Erde auf der gleichen Wirkungslinie. Er muß dann nur $42,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} - 29,8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 12,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ zusätzlich zur Entweichgeschwindigkeit von der Erde von $11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ erreichen, um die erforderliche Geschwindigkeit, die auf einer Hyperbelbahn von der Sonne wegführt, zu erhalten.

Wegen der Flugbahn in Form einer Hyperbel nennt man diese solare Entweichgeschwindigkeit von der Erde

Hyperbelbahngeschwindigkeit v_H .

$v_H = \sqrt{v_{p1}^2 + v_{p2}^2}$	v_{p1} : Parabelbahngeschwindigkeit für die Erde v_{p2} : $12,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
------------------------------------	---

Gegeben:

$$v_{p1} = 11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{p2} = 12,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Gesucht:

$$v_H$$

Lösung:

$$v_H = \sqrt{v_{p1}^2 + v_{p2}^2}$$

$$v_H = \sqrt{125,44 \text{ km}^2 \cdot \text{s}^{-2} + 156,25 \text{ km}^2 \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$\underline{v_H = 16,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Der Körper muß eine mit der Geschwindigkeit der Erddrehung gleichsinnige Endgeschwindigkeit von $16,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ erreichen, um von der Erde aus auf einer Hyperbelbahn unser Planetensystem verlassen zu können.

Schlußbetrachtung

Bei der Erarbeitung des Abschnittes Bahngeschwindigkeiten wurden einige Einschränkungen gemacht. Um die Qualität der Aussagen richtig einschätzen zu können, werden hier die wesentlichsten Einschränkungen noch einmal genannt und die Wirkungen der „Störfaktoren“ angedeutet.

1. Bei allen Überlegungen wurde die Erde als Massenpunkt behandelt. Unsere Erde ist aber ein angenähert dreiachsiger Rotationsellipsoid.

Außerdem ist die Dichte im Erdinnern nicht überall gleich. Folglich ist die Gravitationskraft der Erde auf Körper, die sich im Gravitationsfeld der Erde bewegen (auch bei gleichem Abstand vom Massenmittelpunkt der Erde) örtlich verschieden. Bei den Aussagen des Abschnittes wurden nur die wesentlichsten Gesetze berücksichtigt. In jedem praktischen Fall müssen die Wirkungen zusätzlicher Bedingungen abgeschätzt werden.

2. Die Reibungskräfte wurden nicht berücksichtigt. Sie wirken aber und führen dazu, daß der Satellit beim Zusammenstoß mit Teilchen (z. B. Luftmolekülen) abgebremst wird. Die Höhe des Satelliten nimmt ab, bis er schließlich verglüht.
3. Bei der Betrachtung über Erdsatelliten wurde nur die Gravitationskraft der Erde berücksichtigt. Es wirken jedoch auch die Gravitationskräfte der Sonne, des Mondes und der Planeten.
Man begeht keinen großen Fehler, wenn entsprechend den vorangegangenen Ausführungen Erdsatelliten mit Bahnen in geringem Abstand von der Erde untersucht werden.
4. Bei den Geschwindigkeitsbetrachtungen wurden immer nur Bahngeschwindigkeiten betrachtet. Um jedoch einen Satelliten auf die Bahnhöhe über der Erdoberfläche zu bringen, muß ihm in der senkrechten Start- und Aufstiegsphase eine Aufstiegs geschwindigkeit erteilt werden, die, wegen der beim Aufstieg sich verändernden Erdbeschleunigung und Luftwiderstandskraft, mit vereinfachten Gleichungen nicht errechnet werden kann.
5. Von der Sonne geht eine intensive Strahlung aus. Sie bewirkt einen Strahlungsdruck. Bei Satelliten mit großer Oberfläche und geringer Masse muß diese Kraft berücksichtigt werden.
6. Auf die Trägerrakete wirken während des Aufstiegs auf die Ausgangshöhe des Satelliten zahlreiche technische Störfaktoren, die auch beim Übergang von der Aufstiegsbahn in die Umlaufbahn auftreten und die durch Steuer- und Antriebsimpulse ausgeglichen werden müssen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß einige Vereinfachungen vorgenommen wurden, um das im Rahmen dieser Darstellungen Wesentliche sichtbar zu machen. Die Satelliten führen eine sehr komplizierte Bewegung aus. Durch Beobachtung der Satelliten kann man aber diese „Störfaktoren“ untersuchen.

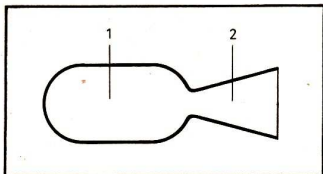
Technische Grundlagen

Raketentriebwerke

Der Antrieb von Raketen erfolgt durch Rückstoßwirkung zwischen zwei Körpern, von denen in diesem Falle der eine Körper die Rakete und der andere Körper der aus dem Raketentriebwerk ausgestoßene Antriebsstrahl des verbrannten Treibstoffes ist. Die dabei freigesetzte Energie wird durch thermochemische Reaktionen des Treibstoffes gewonnen. Solche Triebwerke nennt man thermochemische Raketentriebwerke.

Ein Raketentriebwerk (Bild 118/1) besteht aus einer Brennkammer (1), in der die thermochemische Reaktion stattfindet, und einer Düse (2), in der die Umwandlung der thermischen Energie in mechanische Energie der Masse des beschleunigten Antriebsstrahls erfolgt.

Nach der Art des verwendeten Treibstoffes unterscheidet man die Raketentriebwerke.



118/1 Raketentriebwerk

1 – Brennkammer,

2 – Düse

Feststofftriebwerke. Bei diesem Triebwerk wird der Treibstoff in fester Form mitgeführt. Der Treibstoff befindet sich in der Brennkammer. Die Masse des in der Brennkammer mitgeführten Treibstoffes begrenzt die mögliche Betriebsdauer eines solchen Triebwerkes. Feste Raketentreibstoffe bestehen oft aus chemischen Verbindungen auf Perchlorat- oder Nitratbasis, wie z. B. Kaliumperchlorat und Kaliumnitrat als Sauerstoffträger. Brennstoffe sind oft wasserstoffreiche organische Hochpolymere wie Polybutadiene oder Polyurethane. Das Sauerstoff-Brennstoff-Gemisch ist gießbar und kann dadurch ohne besondere mechanische Bearbeitung in die Form des Raketentreibstoffsatzes gebracht werden.

Der Treibstoffsatz ist als Innenbrenner ausgelegt. Dadurch wird die Brennkammerwand bis fast zum Ausbrennen vor der starken Wärmeentwicklung geschützt. Das ermöglicht den Leichtbau von Feststoffraketen-Brennkammern.

Feststoff-Raketentriebwerke können mit den heutigen technischen Mitteln bis zu Durchmessern von 6 m und erreichbaren Schubkräften von $2 \cdot 10^4$ kN gefertigt werden.

Durch den Einsatz von glasfaserverstärkten Plasten wird die Masse des Triebwerkes relativ niedrig gehalten. Das dünnwandige Stahlgehäuse wird mit mehreren Lagen des Plastwerkstoffes umwickelt. Die Innenwand ist mit einer wärmedämmenden Schicht versehen.

Feststofftriebwerke arbeiten mit Brennkammerdrücken von 1,0 bis 1,5 kPa und Verbrennungstemperaturen von etwa 3000 K. Die Ausströmgeschwindigkeit des Gasstrahles liegt im allgemeinen um $2500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Der Einsatz von Feststoff-Raketentriebwerken in der Raumfahrt erfordert eine steuerbare Schubkraftbeeinflussung. Das Abschalten und das Wiedereinschalten eines solchen Triebwerkes ist möglich; es erfordert jedoch zusätzliche Steuerungsvorrichtungen. Dadurch wird ein Vorzug des Feststoff-Raketentriebwerkes, der einfache Aufbau und die geringe Masse, beeinträchtigt.

Zur Triebwerkabschaltung werden (Bild 119/1) am Kopf des Brennraumes angeordnete Ventile (4) geöffnet, und durch den plötzlichen Druckabfall erlöscht der Abbrand des Treibstoffsatzes.

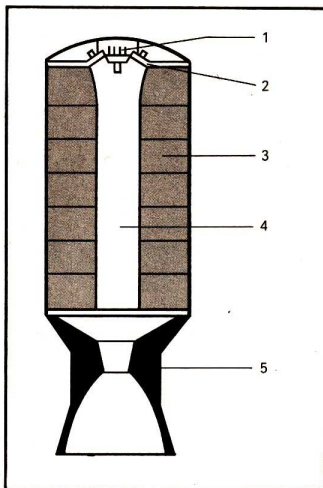
Zum erneuten Einschalten des Triebwerkes wird durch Einspritzventile (1) Flüssigbrennstoff und Flüssigoxidationsstoff eingespritzt, die beim Zusammentreffen zünden und den Abbrand des Festtreibstoffes wieder in Gang setzen.

Flüssigkeitriebwerk. Bei diesem Triebwerk wird der Treibstoff in flüssiger Form der Brennkammer zugeführt. Die Treibstoffkomponenten (Brennstoff und Oxydator) sind außerhalb des Triebwerkes angeordnet.

Als Treibstoffe kommen vorwiegend solche zur Verwendung, deren Komponenten hypergol reagieren; d. h., die Zündung erfolgt beim Zusammentreffen. Bisher wurden als Oxydatoren ausschließlich Sauerstoff und Fluor verwendet.

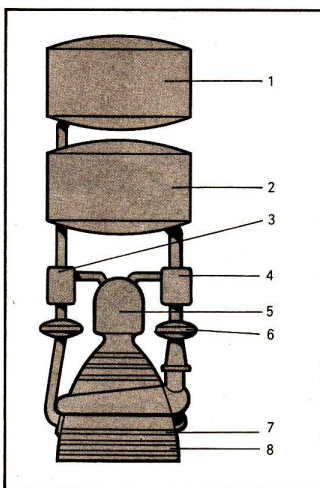
Als Brennstoff kommt vorwiegend Kerosin zur Verwendung. Die Vorteile von Flüssigkeitriebwerken liegen darin, daß

– Treibstoffe mit sehr großer Energie verwendet werden können,



119/1 Feststoff-Raketentriebwerk (schematisch)

- 1 – Zündvorrichtung (Anschalt-Einspritzventil)
- 2 – Abschaltventil
- 3 – Treibstoffsatz
- 4 – Brennraum
- 5 – Düse



119/2 Flüssigkeits-Raketentriebwerk (schematisch)

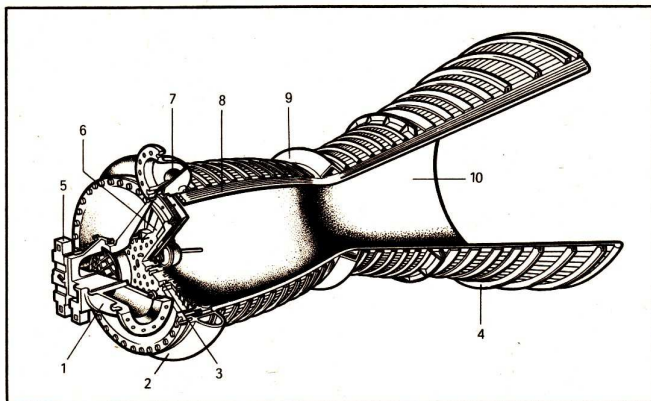
- 1 – Brennstoffbehälter
- 2 – Oxydatorbehälter
- 3 – Brennstoffpumpe
- 4 – Oxydatorpumpe
- 5 – Brennkammer
- 6 – Treibstoff-Förderturbine
- 7 – Kühlsystem
- 8 – Düse

- Zünden, Abschalten und Wiederzünden verhältnismäßig einfach und sicher zu erreichen sind,
- zur Kühlung des Triebwerkes eine der Treibstoffkomponenten (Oxydator) benutzt werden kann.

Ein Flüssigkeits-Raketentriebwerk ist prinzipiell aus den im Bild 119/2 gezeigten Einheiten aufgebaut.

Der Brennkammerdruck, gegen den die Treibstoffkomponenten in die Brennkammer gefördert werden müssen, beträgt bei bekannten Triebwerken zwischen 3 MPa bis 7 MPa und maximal bis 15 MPa. Die Brennkammertemperatur erreicht maximal etwa 3500 K und die Ausströmgeschwindigkeit des Gasstrahls bis zu $4000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Bei solchen Triebwerken wird ein Durchsatz von $2000 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $3000 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ erreicht. Die Brenndauer beträgt bis zu 500 Sekunden.

Solche Leistungen zwingen die Konstrukteure zu vielen Sonderlösungen. Größtmögliche Schubkraft, eine lange Brenndauer, einwandfreie Kühlung, gleichmäßiges Betriebsverhalten und extremer Leichtbau eines solchen Raketentriebwerkes (Bild 120/1) müssen



120/1 Brennkammer eines Raketentriebwerkes

- 1 – Oxydatorzuleitung
- 2 – Einlaufverteiler für Brennstoff
- 3 – Einspritzkopf
- 4 – Versteifungsring
- 5 – Anschlußstück

- 6 – Zündanlage
- 7 – Brennstoffzuleitung
- 8 – Kühlmantel (Brennstoffkühlung)
- 9 – Düsenhalsversteifung
- 10 – Düsenmündung

gewährleistet sein. Bewährt hat sich in dieser Hinsicht das 1954 bis 1957 entwickelte Raketentriebwerkssystem RD 107/108 der sowjetischen Standard-Trägerrakete, bei dem 20 Triebwerke gebündelt einen Gesamtschub von etwa 5000 kN für eine Brennzeit von 135 s bzw. 300 s abgeben. [5/5]

Thermochemische Treibstoffe. Raketentriebwerke müssen in der dünnen Hochatmosphäre und im Vakuum eine Schubkraft liefern. Der notwendige Treibstoff muß in Behältern mitgeführt werden. Auch der Sauerstoff als Oxydator kann nicht aus der Umgebung entnommen werden.

Der Treibstoff für chemische Antriebe besteht aus zwei Komponenten, dem Brennstoff und dem Sauerstoffträger (Oxydator).

Treibstoff = Brennstoff + Oxydator

Raketentechnisch wichtige Daten eines Treibstoffes sind die erreichbare Ausströmgeschwindigkeit v_T und die Dichte ρ_T des Treibstoffes.

Treibstoffe größerer Dichte haben gegenüber solchen mit geringerer Dichte den Vorteil, daß im gleichen Tankvolumen Treibstoff mit größerer Masse untergebracht werden kann. Mit Treibstoffen geringerer Dichte werden dagegen allgemein höhere Ausströmgeschwindigkeiten erzielt.

Die Brennstoffe dienen gleichzeitig als Bindemittel. Durch Zusatz von z. B. Aluminium, Beryllium oder Lithium zum Brennstoff wird die Ausströmgeschwindigkeit noch erhöht.

Feste Treibstoffe

Oxydator	Brennstoff	T in K	v_T in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	ρ_T in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Ammonium-perchlorat NH_4ClO_4	Polyester $\text{C}_{23}\text{H}_{28}\text{O}_4$	2800	2330	1,73
NH_4ClO_4	$\text{C}_{23}\text{H}_{28}\text{O}_4$ + Aluminium- zusatz	3290	2470	
Kaliumper- chlorat KClO_4	Asphalt	2400	1900	1,75

Die Qualität eines Treibstoffes wird nicht nach seiner Ausströmgeschwindigkeit oder nach seiner Dichte, sondern nach dem Produkt beider Größen beurteilt. Dieses Produkt ist bestimmend für den Betrag der Schubkraft. [5/6]

Flüssige Treibstoffe

Oxydator/Brennstoff	T in K	v_T in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	ρ_T in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Sauerstoff O_2 Äthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	2690	2740	1,01
Sauerstoff O_2 Hydrazin N_2H_4	3130	3070	1,07
Wasserstoffperoxid H_2O_2 Hydrazin N_2H_4	2580	2760	1,26
Distickstofftetroxid N_2O_4 Aerozin	3100	2820	2,0
Sauerstoff O_2 Wasserstoff H_2	2700	3830	0,28
Fluor F_2 Hydrazin N_2H_4	4400	3560	1,31
Fluor F_2 Wasserstoff H_2	3600	4020	0,45

■ Von zwei Einzeltriebwerken sind folgende Daten bekannt:

Daten	Triebwerk 1	Triebwerk 2
Treibstoff ϱ_T v_T	H_2/O_2 $0,28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ $3830 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$NH_4ClO_4/C_{23}H_{28}O_4$ $1,73 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ $2330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Treibstoff- volumen V_T	2 m^3	
t_B	10 s	

Für beide Triebwerke sind Durchsatz und Schubkraft zu berechnen.

$$\varrho_T = \frac{m_T}{V_T}$$

$$m_{T1} = 5,6 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

$$m_{T2} = 34,6 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

Für Triebwerk 2 ist die Masse des zur Verfügung stehenden Treibstoffes größer als für Triebwerk 1.

$$D = \frac{m_T}{t_B}$$

$$F_S = D \cdot v_T$$

$$F_{S1} = 2100 \text{ N}$$

$$D_1 = 56 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_{S2} = 7060 \text{ N}$$

$$D_2 = 346 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Trotz geringerer Ausströmgeschwindigkeit wird mit Triebwerk 2 eine größere Schubkraft erreicht als mit Triebwerk 1.

Die Treibstoffkombination H_2/O_2 wird deshalb nicht in Startstufen eingesetzt. Startstufen werden mit Treibstoffen betankt, für die das Produkt $v_T \cdot \varrho_T$ einen großen Betrag ergibt. Manche Mehrstufenraketen werden mit Feststofftriebwerken gestartet, die Zweit- und Drittstufen dann mit Flüssigkeitstriebwerken. Die Übersicht S. 123 enthält einige Aspekte des Vergleichs zwischen Feststoffantrieben und Flüssigkeitsantrieben.

Raketentriebwerke, in denen die Schubkraft durch chemische Reaktionen der Treibstoffkomponenten erzeugt wird, sind für Raketenstarts von der Erdoberfläche aus geeignet. Für den Start von einer Parkbahn, in den Oberstufen und Lande- und Rückkehrtriebwerken von Sonden (→ S. 132) können auch andere Antriebssysteme eingesetzt werden.

Steuerung von Raketen. Das Befördern einer Nutzlast mit Hilfe einer Rakete in eine vorherbestimmte Höhe oder auf eine bestimmte Bahn ist nicht durch den Einsatz eines entsprechenden Triebwerkes allein realisierbar. Die Rakete muß durch besondere Einrichtungen auf dem Kurs gehalten werden.

Bei den ersten Flüssigkeitsraketen wurde dieses Problem durch den Kopfantrieb (Godard, Winkler, s. S. 153, 154) gelöst. Die Treibstoffbehälter stellten gleichzeitig Stabilisatoren dar.

Mit dem Verlagern von Brennkammer und Ausströmdüse in das Heck der Rakete traten neue, schwierige Probleme auf: das Stabilisieren der Rakete in der Antriebsbahn sowie eventuell vorzunehmende Bahnänderungen.

Befindet sich die aufsteigende Rakete noch innerhalb der dichteren Schichten der Erdatmosphäre, so kann die Rakete durch außen angebrachte Flächen stabilisiert werden (Bild 92/2). Diese Methode versagt aber in den dünnen Atmosphärenschichten und erst

Vergleich zwischen Feststoff- und Flüssigkeitsantrieb

	Feststoffantrieb	Flüssigkeitsantrieb
Triebwerkskonstruktion	einfach, Brennkammer ist gleichzeitig Treibstoffbehälter, keine Pumpen, Ventile, Leitungen; Leermasse groß, durch Verwenden von Platten ist Massenverringering möglich	kompliziert; Pumpen, Treibstoffleitungen, Ventile, Vereisungsgefahr für Ventile durch flüssige Treibstoffe; Leermasse geringer, Behälter gerade so ausgelegt, daß sie dem Andruck der flüssigen Treibstoffmasse widerstehen.
Treibstoffe	Durch Einsatz plastischer Bindemittel (gleichzeitig Brennstoffkomponente) gieß- und formbar, bleiben nach dem Härten plastisch und können so außerhalb des Triebwerksgehäuses transportiert werden. Segmentbauweise gestattet Herstellen großer Treibsätze. Ausströmgeschwindigkeit bis $2800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und hohe Treibstoffdichten möglich.	Große Auswahl an Brennstoffen und Oxydatoren, allgemein niedrige Dichte hochenergetischer Treibstoffe. Ausströmgeschwindigkeit bis $4200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Einzeltriebwerke werden zu Triebwerksbündeln zusammengefaßt (bis zu 8 für Startstufen von Großraketen). Verflüssigte Gase verdampfen (Problem beim Betanken einer Rakete).
Zündung, Schubregulierung	Schwierig, aber lösbar; Zündung stets von außen, schlagartiges Abbrechen des Schubs durch Umleiten des Gasstrahls in Düsen in Flugrichtung, Wiedierzünden möglich; Schubregulierung schwierig, Abbrandsteuerung durch verschiedene Formen der Treibsätze.	Zündung von außen und Selbstzündung durch entsprechende Treibstoffkomponenten. Schubregulierung einfach von grob bis fein (Lenkung). Löschen und Wiedierzünden einfach realisierbar.
Kühlung	Nicht problemlos, erfolgt durch entsprechende Gestaltung des Abbrandes (Innenbrenner) und Schitzkühlung (Ausströmdüse mit verdampfenden Stoffen ausgekleidet, die beim Verdampfen Wärme entziehen).	Einfacher, weil Treibstoff als Kühlmittel Brennkammer und Düse umströmt (Gegenstrom).
Verwendung	Startstufen von Großraketen, auch Oberstufen. Höhenforschung, Kampfraketen (ungelenkte Raketen). Korrekturtriebwerke für einmalige Korrektur. Geringe Startvorbereitungszeit, geringer Aufwand.	Startstufen von Großraketen (Triebwerksbündel), Oberstufen mit hochenergetischen Komponenten, Kampfraketen mit großer Reichweite bis 12000 km (gelenkte Raketen), Korrekturtriebwerke für mehrere Manöver.

recht im luftleeren Raum. Hier stellen die schon von Ziolkowski vorgeschlagenen Strahlruder (Bild 90/1) eine der Möglichkeiten zum Steuern dar. Mit Hilfe dieser Strahlruder läßt sich eine Rakete während der Antriebsphase auch im luftleeren Raum lenken. Dazu muß dem Stellmotor des Ruders ein entsprechender Befehl aus einem Programmgeber erteilt werden. Ein solcher Befehl kann auch mit Hilfe elektronischer Einrichtungen von einer Leitzentrale auf der Erde aus an die Rakete übermittelt werden.

Unter der Steuerung einer Rakete versteht man alle Maßnahmen, mit deren Hilfe das Aufstiegsprogramm einer Rakete erfüllt wird. Dafür kann ein bestimmtes Steuerprogramm vor dem Start in den Steuermechanismus der Rakete eingegeben werden. Damit ist jedoch nicht gewährleistet, daß die Rakete das Aufstiegsprogramm erfüllt.

Eine wesentliche Aufgabe der Raketensteuerung besteht in der ständigen Überprüfung der richtigen Erfüllung des Aufstiegsprogramms und in der Durchführung von Maßnahmen, die bei Abweichungen vom Programm diese Abweichungen ausgleichen. Hierfür dienen Regelmechanismen.

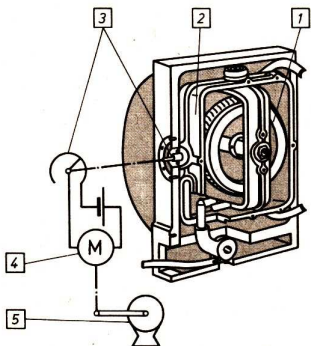
Abweichungen während des Aufstiegs vom vorgesehenen Programm können vielerlei Ursachen haben.

Vor allem in der Startphase kann die seitlich wirkende Winddruckkraft Abweichungen von der vorgesehenen Aufstiegsbahn der Rakete hervorrufen. Die nicht völlig gleichmäßig arbeitenden, vielfach gebündelten Triebwerke verursachen Antriebsschwankungen, die sich auch auf die Einhaltung der Aufstiegsbahn auswirken können. Im Innern der Rakete können sich solche Schwankungen auf den flüssigen Treibstoff in den Tanks übertragen und durch die hervorgerufene unregelmäßige Schwerpunktverschiebung die Abweichungen der Rakete von der Flugbahn verstärken.

Alle solche Schwankungen müssen durch komplizierte, selbsttätig wirkende Regelmechanismen (Bild 125/1) über ein genau arbeitendes Steuersystem der Rakete ausgeglichen werden. Grundprinzip einer solchen Regelung ist die Kreiselsteuerung, die außerdem durch Messen von auftretenden Trägheitskräften und Berechnen von Geschwindigkeiten zur sogenannten Trägheitsnavigation der Rakete benutzt wird. Dabei werden die für die Bewegung eines Kreisels geltenden physikalischen Gesetze angewendet. Ein rotierender, frei beweglicher, kardanisch aufgehängter Kreisel (Bild 124/1) hat die Eigenschaft, daß er mit seiner Rotationsachse im Raum stets dieselbe Lage beibehält. Weicht also eine Rakete mit ihrer Längsachse von

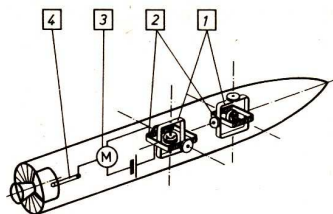
der vorgeschriebenen Bahn ab, so ändert sich der Winkel zwischen Kreiselachse und Raketenlängsachse. Diese Winkeländerung wird über eine entsprechende Einrichtung auf den Stellmotor des Strahlruders übertragen und so die Lage der Rakete korrigiert.

Der Kreisel dient hier also als Meßgerät. In Trägerraketen z. B. befindet sich ein ganzes Kreiselsystem, bestehend aus drei nach einem rechtwinkligen, dreiachsigen Koordinatensystem ausgerichteten Meßkreiseln.



124/1 Kreisel in drehbarer Halterung

- 1 – Kreiselkörper
- 2 – Druckgasantrieb
- 3 – Potentiometer zur elektrischen Anzeige der Abweichung
- 4 – Stellmotor
- 5 – schwenkbares Triebwerk



125/1 Rakete mit 2 Kreiseln zur Lageregelung in 2 Ebenen
 1 – Kreisel
 2 – Potentiometer
 3 – Stellmotor
 4 – Schwenkmechanismus des Triebwerkes bzw. Strahlruders

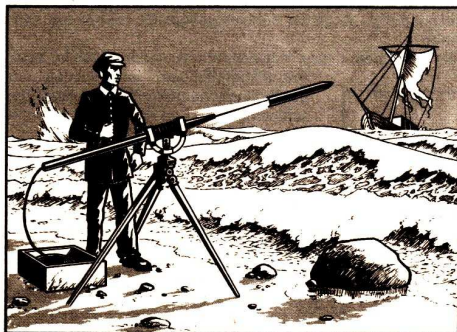
Diese Meßkreisel sind gemeinsam mit Beschleunigungsmessern in einem Geräteblock untergebracht, dem Trägheitsnavigationssystem. Die Kreisel rotieren mit einigen tausend Umdrehungen in der Minute. Das Kreiselsystem wird vor dem Start der Rakete in Betrieb gesetzt und ausgerichtet.

Raketen

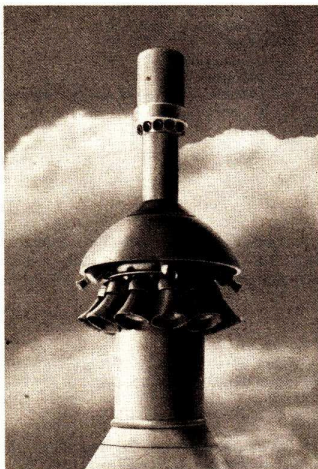
Verwendung von Raketen. Raketen finden in vielen Bereichen zumeist dort Verwendung, wo ein einfaches Antriebs- oder Transportmittel benötigt wird oder wo nur ein Impulstriebwerk einsetzbar ist.

Arbeitsraketen werden verwendet als

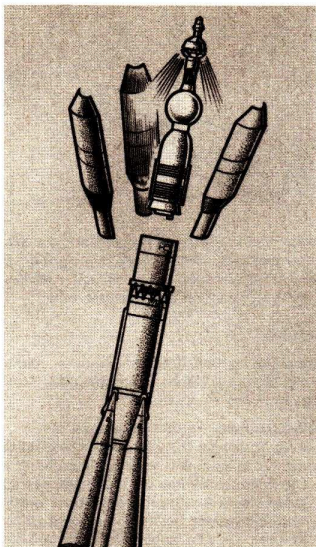
- Rettungsrakete (zur einmaligen Verwendung), um in unwegsamem Gelände oder von der Küste zu einem gestrandeten Schiff eine Seilverbindung herzustellen (Bild 125/2). Die Rettungsraketen an Trägerraketen (zur einmaligen Verwendung) ermöglichen bei einer Havarie während des Starts die Herausführung des Raumfahrzeuges aus der Transportrakete bis in eine sichere Entfernung und Höhe, aus der das Raumfahrzeug gefahrlos am Fallschirm zur Erde sinken kann (Bild 126/1).
- Starthilfs- oder Bremsrakete (zur einmaligen Verwendung), um ein Flugzeug auf einer zu kurzen Start- oder Landebahn oder eine Rakete während der letzten Phase des Starts zusätzlich zu beschleunigen, bzw. in der Landephase ein Raumfahrzeug so zu verzögern, daß es mit möglichst geringer Geschwindigkeit aufsetzt (Bild 126/2).



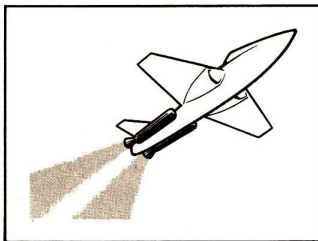
125/2 Rettungsrakete des Küstenseenotdienstes



126/1 Rettungsrakete für Raumfahrzeuge



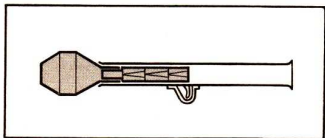
- Signal- und Wetterrakete (zur einmaligen Verwendung), um Leuchtzeichen oder Chemikalien von einem beliebigen Ort aus in große Höhe zu transportieren. Das Leuchtzeichen sinkt am Fallschirm langsam abwärts. Chemikalien werden im Gipfelpunkt der Aufstiegsbahn der Wetterrakete ausgestoßen und dienen als Kondensationskeime, um eine drohende Hagelkornbildung infolge des Fehlens geeigneter zahlreicher Kondensationskeime zu verhindern.
- Raketenantrieb für Flugzeug, mit dem dieses in besonderer Situation (Abwehr- oder Angriffshandlungen) sehr schnell auf große Flughöhe gebracht bzw. stark beschleunigt wird und dadurch eine große Geschwindigkeit erreicht.



126/2 Starthilfsrakete

Kampfraketen werden bei allen Truppenteilen verwendet. Es sind viele Arten bekannt:

- Panzerabwehrrakete (Bild 127/1)
- Panzerabwehrlenkrakete (Bild 127/2)
- Flugzeug-Bordrakete (Bild 127/3)
- Fliegerabwehrrakete (meist mit Flüssigkeitstriebwerk (Bild 127/4)
- taktische und Interkontinentalraketen (mit Feststoff- bzw. Flüssigkeitstriebwerken, Reichweiten bis 12000 km)



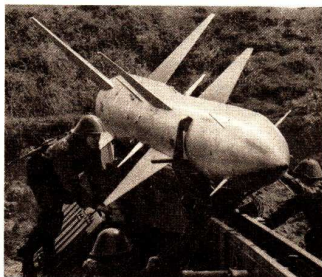
127/1



127/2



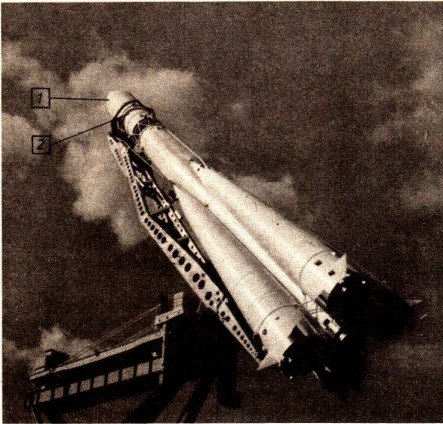
127/3



127/4

Forschungsraketen werden verwendet, um Meßgeräte und Beobachtungsinstrumente in große Höhen (über 400 km) zu befördern, in denen erdnahe Raumstationen und Raumfahrzeuge auf Umlaufbahnen nicht eingesetzt werden. Sie dienen vor allem in der Vorraumfahrt als wichtiges Mittel, um physikalische Forschungsaufgaben zur Vorbereitung der erdnahe Raumfahrt zu lösen (Bild 95/1).

Trägersraketen sind solche Raketen, mit denen Raumfahrzeuge, Raumstationen, Satelliten bzw. Sonden auf die entsprechende Ausgangsposition ihrer zukünftigen Bahn getragen werden (Bild 128/1).



128/1 Trägersrakete
der Wostok

Aufbau von Raketen. Die Rakete ist technisch betrachtet ein Transportmittel, das durch ein Raketentriebwerk angetrieben wird und infolge der Antriebsschubkraft vertikal beschleunigt und deshalb vertikal oder auf einer mehr oder weniger flach geneigten Bahn aufsteigen kann. Eine Rakete besteht bautechnisch aus mehreren, im einzelnen sehr komplizierten Einheiten (Bild 129/1):

Antriebseinheit:

- 1 Triebwerk (Bild 129/2)
- 2 Treibstoffförderanlagen
- 3 Treibstoffbehälter

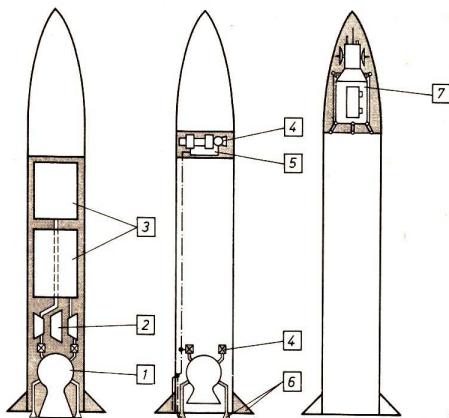
Lenkeinheit

- 4 Regelsystem für Flugbahn, Triebwerk
- 5 Steuersystem für Start-, Flug- und Notfallprogramm
- 6 Steueranlage

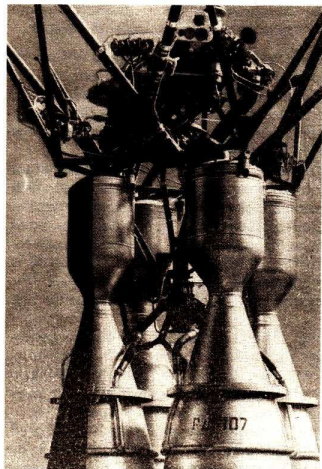
Transporteinheit

- 7 Meßgeräteteil bzw. Nutzmasse

Die Nutzmasse kann ein Arbeitsmittel, ein Kampfmittel oder auch eine weitere Raketenstufe oder ein auf eine Raumflugbahn zu befördernder Raumflugkörper sein.



129/1 Schematischer Aufbau einer Rakete



129/2 Raketenantrieb der „Wostok“

Rückführung von Raumflugkörpern. Um einen Raumflugkörper von der Erde aus auf eine Umlaufbahn um die Erde oder auf die Bahn zu einem anderen Planeten zu bringen, muß eine Energie aufgebracht werden, die danach in dem Raumflugkörper gespeichert ist. Bei der Rückführung des Raumflugkörpers zur Erde wird diese Energie wieder frei; sie muß dem Raumflugkörper entzogen werden, damit er ohne Zerstörung landet. Für die Landung von Raumflugkörpern auf der Erde bzw. auf anderen Himmelskörpern sind verschiedene Landesysteme entwickelt worden.

Passives Landesystem. Erfolgt die Landung auf einem von einer Gashölle umgebenen Himmelskörper, dann eignet sich hierfür ein System von Fallschirmen, mit denen der Raumflugkörper zunächst abgebremst und dann mit konstanter geringer Geschwindigkeit bis auf den Boden sinkt.

Dieses System wird in der letzten Phase der Rückführung bei den sowjetischen Raumflugkörpern angewendet, wobei kurz vor dem Aufsetzen Bremsraketen die Sinkgeschwindigkeit bis fast auf Null verringern.

Die sichere Rückführung des Raumflugkörpers beginnt mit dem Abstieg in die Gashölle des Himmelskörpers. Dabei wird ein sehr großer Teil der im Raumflugkörper gespeicherten Energie durch aerodynamische Aufheizung in thermische Energie umgewandelt. Von dieser Energie kann aber nur ein geringer Teil direkt in die Umgebung durch Strahlung und Wärmeströmung abgeleitet werden. Ein großer Teil der thermischen Energie wird durch Verdampfen des speziell für diesen Zweck angebrachten Wärmeschutzschildes vom eigentlichen Rückkehrapparat ferngehalten.

Während der aerodynamischen Abbremsung, die mehrere Minuten dauert, verdampft das Material des Wärmeschutzschildes. Diese verdampften Stoffteilchen umgeben eine Zeitlang den Rückkehrapparat als eine Wolke ionisierter Teilchen. Dadurch wird für diese Zeit jeder Funkverkehr zwischen Rückkehrapparat und Leitzentrale unmöglich.

Aktives Landesystem. Das zunächst naheliegende und einfach erscheinende Verfahren, einen Raumflugkörper bzw. den Rückkehrapparat steuerbar wie ein Flugzeug auf der Erde auf einer Landebahn-landen zu lassen, konnte in der Anfangszeit der bemannten Raumfahrt noch nicht verwirklicht werden. Die besonderen Probleme sind die Bewältigung der aerodynamischen Aufheizung, der Abmessungen und des Masseaufwandes eines solchen Belastungen gewachsenen Rückkehrflugzeuges.

Beim heutigen Stand der Entwicklung sind Raumgleiter bereits im Einsatz. Das US-amerikanische Raumgleitersystem Space shuttle ist im Rahmen der langfristig geplanten Militarisierung des erdnahen Weltraumes als Experimentier- und Übungssystem entwickelt worden. Unter hohem technischem und finanziellem Aufwand ist man in der Lage, Satelliten auszusetzen und einzufangen, umfangreiche Flugbahnhöhen- und Lagekorrekturen auszuführen und Waffensysteme zu erproben. Der technische Aufwand (Treibstoff) ist dabei so groß, daß Einsatzzeiten von nur maximal einigen Tagen möglich sind. Die Wartungs- und Überholungszeiten der Raumgleiter sind sehr lang. Space shuttle ist ein militärisches Projekt (Bild 131/1).

Der Vorteil des Einsatzes eines Raumgleiters liegt vor allem darin, daß er auf der gesamten Abstiegsbahn aus dem erdnahen Weltraum zur Erde auf Grund seiner aerodynamischen Möglichkeiten gesteuert werden kann. Mit dem Raumgleiter kann im antriebslosen Gleitflug ein Landeanflug durchgeführt werden (allerdings von etwa 2000 Kilometer Länge). Ein weiterer Vorteil besteht in der Wiederverwendbarkeit des Raumgleiters.

Die thermische Belastung eines startenden bzw. landenden Raumgleiters ist sehr groß. Rumpfbogen und Flügelvorderkanten müssen Temperaturen von 2000 K standhalten, die Tragflügeloberseiten etwa 1000 K und die Tragflügelunterseite 1600 K. Da die für einen Wärmeschutz geeigneten Stoffe solche hohen Temperaturen nur kurzzeitig aushalten, muß die auf der Raumgleiteroberfläche angebrachte Wärmeschutzschicht auswechselbar sein.

Raumflugkörper

Grundbegriffe

Beim heutigen Stand der Technik ist es möglich, von Menschen geschaffene Körper auf Umlaufbahnen um verschiedene Planeten, zur Landung auf fremden Planeten sowie zur Rückkehr und zur Landung auf der Erde zu bringen.

Solche Unternehmen, die das Erreichen einer bestimmten Entweichgeschwindigkeit voraussetzen, werden als **Raumflüge** bezeichnet. Die dabei eingesetzten Körper sind **Raumflugkörper**.

Bei Raumflugunternehmen werden aus wissenschaftlich-technischen und forschungsmethodischen Gründen folgende Arten von Raumflugkörpern verwendet:

– Sonde, Satellit, Raumfahrzeug, Raumstation.

Um einen Raumflugkörper auf seine Bahn zu bringen und ihm die erforderliche Geschwindigkeit zu erteilen, muß er von der Erde aus gestartet und in eine entsprechende Position (Bild 112/1) transportiert werden. Hierzu dient die Rakete.

Eine besondere Gruppe von Raumflugkörpern sind die für unbemannte Flüge vorgesehenen Sonden und Satelliten.

Sonden

Sonden sind Raumflugkörper, die auf eine Bahn zu einem Himmelskörper gebracht werden und Informationen über die Beschaffenheit und Besonderheiten von Objekten im interplanetaren Raum aufnehmen und zur Erde übermitteln. Das Ziel der Sonden ist meist ein fremder Planet oder der Erdmond, wobei entsprechend den vorgesehenen Aufgaben entweder eine harte oder weiche Landung, der Übergang in eine Satellitenbahn um diesen Himmelskörper oder ein Vorbeiflug an dem Himmelskörper erfolgt. Gegebenenfalls findet nach Erfüllung des Forschungsprogramms die Rückkehr zur Erde statt.

Zur Erforschung des Erdmondes und verschiedener Planeten wie Venus und Mars sowie des Kometen Halley sind seit Beginn der Raumfahrt schon viele den jeweiligen Zwecken entsprechend ausgerüstete Sonden gestartet worden. Bei der Kompliziertheit der Vorhaben, den großen Entfernungen und den vielen Unsicherheitsfaktoren sind einige dieser Vorhaben nicht beim ersten Versuch gelungen, aber sie brachten stets wertvolle Resultate, die zur Verbesserung der eingesetzten Systeme beigetragen haben.

Luna 16

Versuche zur weichen Landung auf dem Mond und zur Rückkehr einer Sonde von dort reichen zurück bis zum Jahre 1959 (Luna 1). Am 12. 9. 1970 konnte Luna 16 gestartet werden. Das war eine Sonde, die ein Lande- und Rückkehrgerät zum Mond trug (Bild 133/1). Vom Landegerät aus wurde am Landeplatz durch ein Bohrgerät eine Bodenprobe gewonnen und in einen Transportbehälter verladen. Der Transportbehälter wurde mit dem Rückkehrgerät vom Mond gestartet, zur Erde zurückgeführt und auf dem Gebiet der Sowjetunion am 24. 9. 1970 weich gelandet.

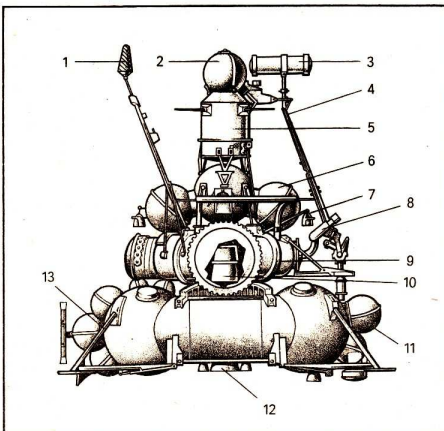
Die Sonde führte alle Operationen ferngesteuert bzw. teilautomatisiert aus. Die hohen Anforderungen an die Steuerung und Regelung bei Raumfahrtunternehmen werden z. B. durch folgende Phasen des sowjetischen Lunaexperiments gekennzeichnet:

- Flug auf einer günstigen Bahn von der Erde auf eine Parkbahn und von dort Start zum Mond (384 000 km) und Einflug in eine Mondumlaufbahn in 110 km Höhe über der Mondoberfläche,
- Einsteuern in eine elliptische Umlaufbahn mit einem größten Abstand von 106 km und einem geringsten Abstand von 15 km zur Mondoberfläche,
- Abstieg aus dieser Bahn an einem bestimmten, etwa 250 km vor dem Landeplatz lie-

- genden Punkt durch Abbremsen bis in eine Höhe von 600 m über der Mondoberfläche,
- Abbremsen und Abstieg bis auf 2 m Höhe über der Mondoberfläche,
 - weiche Landung im freien Fall (die Fallhöhe von 2 m auf dem Mond entspricht einer Fallhöhe von 0,3 m auf der Erde) auf dem Mond,
 - Durchführung der programmgesteuerten Bohrung:
 Ausklappen des Bohrgestänges, Einschalten des Bohrtriebwerkes, Aufsetzen des Hohlbohrers, Bohren bis auf eine Tiefe von 0,35 m entsprechend der Länge des Hohlbohrers, Ausschalten des Bohrtriebwerkes, Zurückholen des Hohlbohrers mit der erbohrten Bodenprobe, Unterbringen des Hohlbohrers und der Bodenprobe in der Rückkehrkapsel,
 - Start der Rückkehrsektion,
 - Trennen der Rückkehrkapsel von der Rückkehrsektion während des Rückfluges,
 - Flugbahnkorrektur beim Anflug auf die sich bewegende und sich drehende Erde,
 - Lageregelung während des Abbremsens in der Erdatmosphäre,
 - Auslösen der Bremsfallschirme in 14,5 km Höhe und in 11 km Höhe.

Mit der Rückkehrkapsel wurde erstmals Material vom Mond (100 g) auf die Erde gebracht, ohne daß ein Mensch an dieser Exkursion zum Mond teilnehmen mußte. Ein Vergleich des Ergebnisses mit dem Aufwand zwischen sowjetischen unbemannten Mondunternehmen und einem US-amerikanischen bemannten Mondunternehmen ist im Abschnitt „Geschichtliche Entwicklung“ angeführt.

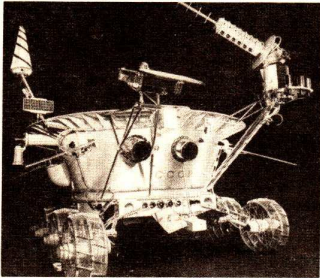
Die Programmsteuerung der automatischen Landung auf dem Mond hatte bei Luna 16 ihre Bewährungsprobe bestanden. Damit wurde ein wichtiger technischer Teil zur Monderforschung durch die sowjetischen Wissenschaftler und Techniker abgeschlossen, der mit der schrittweisen Erweiterung eines bereits für Luna 5 (Mai 1965) aufgestellten Steuerprogramms zur weichen Mondlandung begonnen worden war. Nun konnte die eigentliche Erforschung des Mondes durch Automaten beginnen.



133/1 Luna 16 – Aufbau-schemata

- 1 – Antenne
- 2 – Rückkehrkapsel
- 3 – Bohrgerät
- 4 – Bohrgestänge
- 5 – Gerätesektion der Rückkehrstufe
- 6 – Treibstoffbehälter für die Rückkehrstufe
- 7 – Steuertriebwerke der Rückkehrstufe
- 8 – Telefontometer
- 9 – Gerätesektion der Landstufe
- 10 – Triebwerk der Rückkehrstufe
- 11 – Treibstoffbehälter für die Landstufe
- 12 – Triebwerk der Landstufe
- 13 – Teleskopfederbeine

Der Erfolg mit Luna 16 gestattete den Wissenschaftlern in der Sowjetunion, noch im gleichen Jahr 1970 ein weiteres Mondexperiment zu starten. Zu diesem Zweck wurde auf dem Einheitslandegerät der Lunaserie ein fahrbares Forschungslaboratorium Lunochod (russ.: Mondläufer) aufgebaut und auf den Mond transportiert. Lunochod 1 (Bild 134/1) war zuvor in langen Tests allen denkbaren schwierigen Situationen ausgesetzt worden,



und die Steuerleute hatten eine lange Fahrpraxis erworben. Nach der erfolgreichen Landung auf dem Mond verließ das von einer Leitzentrale in der Sowjetunion ferngesteuerte Fahrzeug nach entsprechender Vorbereitung das Landegerät über eine ausgeklappte Abrollrampe.

134/1 Lunochod 2

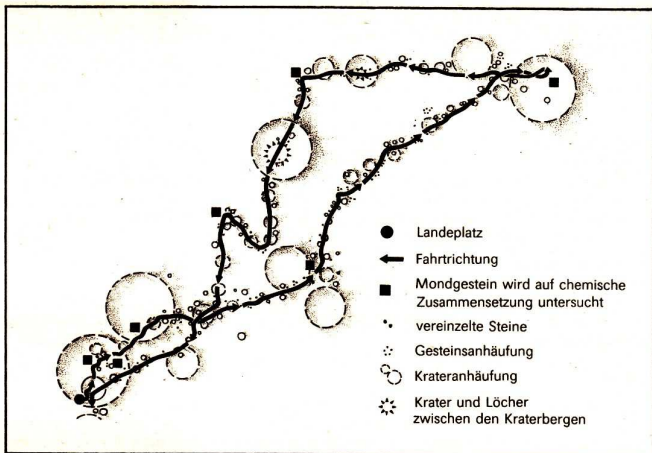
Die Fernsteuerung eines derartigen Fahrzeuges über solche Entfernungen hinweg birgt zahlreiche Schwierigkeiten.

Zwischen der Leitzentrale in Baikonur und Lunochod lag eine Strecke von rd. 384000 km. Da die Übermittlung einer Information über diese Entfernung etwa 1,3 Sekunden dauert, mußte ein besonderes Verfahren bei der Steuerung angewendet werden. Von den Fernsehkameras wurde in Abständen von 3 bis 20 Sekunden jeweils ein Bild von der vorgesehenen Fahrtstrecke aufgenommen, zur Erde gesendet und dort als Stehbild dem Steuerungskollektiv vorgeführt. Nach eingehendem Terrainstudium und Beratung wurden Fahrtrichtung und Fahrzeit und damit die zurückzulegende Strecke bestimmt und dem Fahrzeug die erforderlichen Steuerimpulse übermittelt. Da die Bilder von dem Fahrprozeß aber mit einer Verspätung von etwa 1,3 s auf der Erde eintrafen, befand sich das Fahrzeug immer schon in einer ganz anderen Fahrtsituation, als sie das Bild aufzeigte. Deshalb wurde während des Fahrens die Steuerung von Lunochod weitgehend einem elektronischen Rechner überlassen. Für den Fall, daß das Fahrzeug während der Fahrt in eine kritische Lage geraten wäre (zu große Neigung, keine Bodenberührung eines der Räder, Überlastung eines der Radantriebe), wäre durch die Steuerung das Fahrzeug automatisch stillgelegt worden.

Während der Fahrt wurden von Lunochod verschiedene Aufgaben gelöst:

- Panoramaaufnahmen von der Fahrtstreckenumgebung,
- Messen des Neigungswinkels der Mondoberfläche,
- Prüfen der Bodenfestigkeit,
- chemische Analyse des Mondbodens mit einem Röntgenfluoreszenzspektrometer,
- Untersuchung der Strahlung auf dem Mond.

Mit Lunochod 1 wurden während einer zehnmönatigen Funktionsfähigkeit insgesamt 10,5 km Fahrtstrecke zurückgelegt und dabei eine Fläche von 80000 m² optisch, spektralanalytisch, mechanisch und vermessungsmäßig untersucht; insgesamt konnten etwa 500000 m² Mondoberfläche mit Kratern, Erhebungen und Ebenen „vermessen“ und kartographisch erfaßt werden (Bild 135/1).



135/1 Topographische Karte des von Lunochod 1 erforschten Mondgebietes

Vom 16. 1. 1973 (Start am 8. 1. 1973) befand sich Lunochod 2 bis zum 4. 6. 1973 auf dem Mond mit erweiterter Aufgabenstellung im Einsatz. Dabei wurden 37 km Fahrtstrecke zurückgelegt, 80000 Fernsehbilder übertragen und für den Mond eine Hülle von Staubpartikeln nachgewiesen.

Im Dezember 1984 wurden im Abstand von sieben Tagen in der Sowjetunion zwei Sonden Vega mit Proton-Raketen gestartet, die auf ihrem Flug zunächst zur Venus gelangten, um dort Meßgeräte zu stationieren.

Durch die Gravitation der Venus wurde die Bahn der Sonden so beeinflusst, daß sie im Jahre 1986 den zu dieser Zeit (etwa alle 76 Jahre) in „Erdnähe“ auftauchenden Kometen Halley erreichten. Sie haben den Kometen im Abstand von 8889 km bzw. 8030 km passiert.

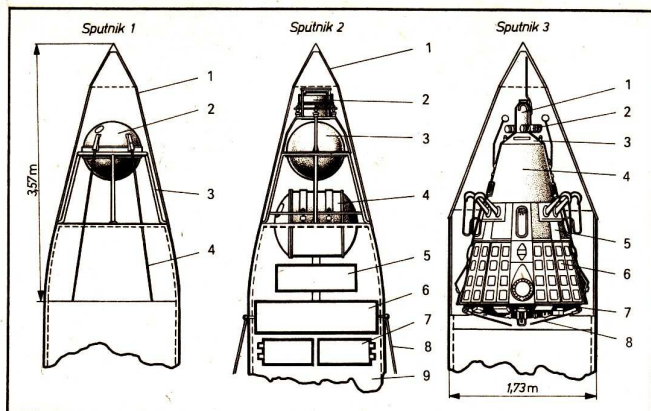
Diese beiden Sonden sendeten erstmals Meßdaten über den Kometen zur Erde. Gleichzeitig dienten sie durch ihre Funksignale und Meßdaten als Pfadfinder der beiden 1985 von westeuropäischen Staaten und von Japan gestarteten Halley-Sonden, die sie durch diese Positionsangaben in noch größerer Nähe (500 km) bzw. bis auf 200000 km an den Kometen heranführten, als sie selber erreichen konnten.

Satelliten

Satelliten sind Raumflugkörper, die sich auf Umlaufbahnen um einen Himmelskörper bewegen. Ihre Aufgabe besteht in der Aufnahme von Informationen über den betreffenden Planeten und seine Umgebung und in der Vermittlung dieser Informationen zu einer Empfangsstelle auf der Erde.

Künstliche Erdsatelliten befinden sich auf Umlaufbahnen um die Erde. Ihren Aufgaben entsprechend, kann man diese untergliedern in:

- Erprobungssatelliten,
- Forschungssatelliten,
- Nachrichtensatelliten.



137/1

Sputnik 1

1 – Startverkleidung

2 – Satellit

3 – Transportgerüst

4 – Antennen

Masse: 83,6 kg

Perigäum: 228 km

Apogäum: 947 km

Umlaufzeit: 96,16 min

Bahnneigung: 65,2°

Flugzeit: 92 Tage

Start: 4. 10. 1957

Sputnik 2

1 – Startverkleidung

2 – UV-Meßgeräte,
Röntgenstrahlenmeßgeräte

3 – Funkgerätekapsel
für Bahnvermessung

4 – Tierkabine mit Klimaanlage
und Versorgungseinrichtung

5 – Meßgerätebehälter

6 – Meßwertsender

7 – Spannungsquellen

8 – Antennen

9 – Raketenendstufe
(blieb mit Sputnik 2
fest verbunden)

Masse: 508,3 kg

Perigäum: 225 km

Apogäum: 1671 km

Umlaufzeit: 103,76 min

Bahnneigung: 63,31°

Flugzeit: 162 Tage

Start: 3. 11. 1957

Sputnik 3

1 – Magnetometer

2 – Fotozellen zum
Registrieren
der solaren Strahlung

3 – Sonnenbatterien

4 – Ionisationsmeßgeräte
(Ionenfallen,
Magnetfeldindikator,
Massenspektrometer)

5 – Sender

6 – Energiequellen,
Programmsteuerung,
Temperaturregelung

6 – Temperaturregelblenden

7 – Mikrometeoritendetektor

8 – Antenne

Masse: 1327 kg

Perigäum: 226 km

Apogäum: 1881 km

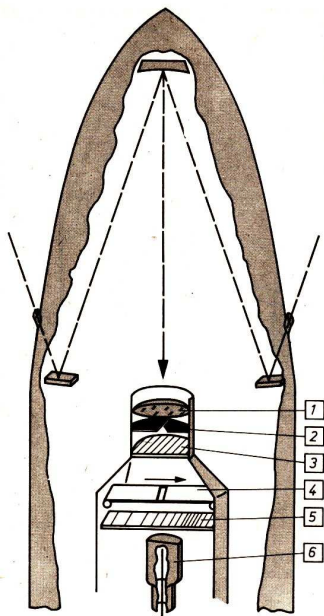
Umlaufzeit: 105,95 min

Bahnneigung: 65,2°

Flugzeit: 691 Tage

Start: 15. 5. 1958

Untersuchung der UV-Strahlung. Sputnik 2 trug unter anderem eine Beobachtungseinrichtung zum Untersuchen der kurzwelligen, ultravioletten Sonnenstrahlung (Bild 138/1). Eine solche Untersuchung ist deshalb auf einer Erdumlaufbahn weit oberhalb der dichten Schichten der Atmosphäre notwendig, weil diese Strahlung von der Erdatmosphäre so stark absorbiert wird, daß sie nicht bis zur Erdoberfläche vordringt.



- 138/1 Schematische Darstellung einer Meßapparatur zum Messen und Auswerten von Spektralbildern
- 1 – Optisches System
 - 2 – Spalt
 - 3 – Gitter
 - 4 – Abtastblende
 - 5 – vollständiges Spektrum (ohne Berücksichtigung der Abtastblendenwirkung)
 - 6 – Ionisationskammer zum numerischen Erfassen der Intensität des UV-Lichts über das gesamte abgebildete Spektrum hinweg

Das Sonnenspektrum (↗ Physik Lehrbuch für die Klasse 10, S. 121, und Farbbeilage) reicht im Ultraviolettbereich von $\lambda \approx 400 \text{ nm}$ bis herab zu $\lambda = 10 \text{ nm}$. Die Erdatmosphäre absorbiert diese Strahlung bei $\lambda < 290 \text{ nm}$. Gerade dieser Teil des Sonnenspektrums gibt aber Aufschluß über die Beschaffenheit der tieferen Schichten der Sonne. Die kurzwellige Ultraviolettstrahlung der Sonne ionisiert die Luftmoleküle der Erdatmosphäre in ihren obersten Schichten. Dadurch wird die Ionosphäre ständig mit Energie versorgt. Viele damit verbundene physikalischen Erscheinungen und Umwandlungsprozesse, wie zum Beispiel Beeinflussung des Erdmagnetfeldes und Leuchterscheinungen in der Atmosphäre, sind damit auf die Wirkung des ultravioletten Anteils der Sonnenstrahlung zurückzuführen.

Die Schwierigkeit der Messung und Auswertung der Ultraviolettstrahlung der Sonne beim Aufstieg einer Forschungsrakete besteht vor allem darin, daß während des meist mehrere Sekunden dauernden Meßvorganges die gesamte Meßapparatur möglichst genau auf die Sonne ausgerichtet sein muß. Die Meßapparatur (Bild 138/1) besteht aus einer Spezialkamera, deren Linsen aus Quarzglas bzw. aus Lithiumfluoridglas hergestellt sind, aus einem Gitterspektrographen und einer Registriervorrichtung. Der Gitterspektrograph zerlegt das Licht entsprechend der unterschiedlich starken Beugung der Lichtwellen unterschiedlicher Wellenlänge. Die im ultravioletten Spektrum auftretenden Ab-

sorptionslinien werden ermittelt und mit Spektren verglichen, die unter Laboratoriumsbedingungen gewonnen wurden. Welche Schwierigkeiten hierbei auftreten können, soll ein ganz kurzer Auszug aus einem Forschungsprotokoll geben.

„Kohlenstoff – Die einzige im untersuchten Spektralgebiet liegende intensive Linie $\lambda_1 = 247,9$ nm wird von Fe-Linien überdeckt und konnte daher nicht festgestellt werden.

Sauerstoff – Diesem Element wird ein aus drei Linien bestehendes Multipllett zugeschrieben. Diese Linien werden jedoch von Fe- und V-Linien überdeckt, daher ist ihre Identifizierung nicht sicher.“

Auf diese Art machen sich immer wieder neue Probleme deutlich. Aber auch die Meßapparatur selbst beeinflusst die Durchführbarkeit der Messungen. Um ein Spektralbild zu erhalten, muß das Sonnenlicht durch ein Linsensystem geleitet werden. Linsen aus Normalglas lassen Licht der zu untersuchenden Wellenlängen im UV-Bereich nicht durch. Linsen aus einer Verbindung LiF lassen UV-Licht der Wellenlänge $\lambda \geq 100$ nm durch. Das Spektralbild, welches mit einem Gitter erzeugt, photoelektrisch abgetastet und zur Erde gesendet wird, kann mit einer gasgefüllten Ionisationskammer ermittelt werden. Die Gasfüllung der Meßkammer, Voraussetzung für den Meßprozeß, gibt Meßimpulse nur in einem bestimmten Wellenlängenbereich; bei einem Gasgemisch Stickstoff/Sauerstoff liegt der Meßbereich nur bei Wellenlängen $\lambda \geq 134$ nm, d. h., die beschriebene Meßapparatur kann nur einen Wellenlängenbereich $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, also $\Delta\lambda = 24$ nm erfassen.

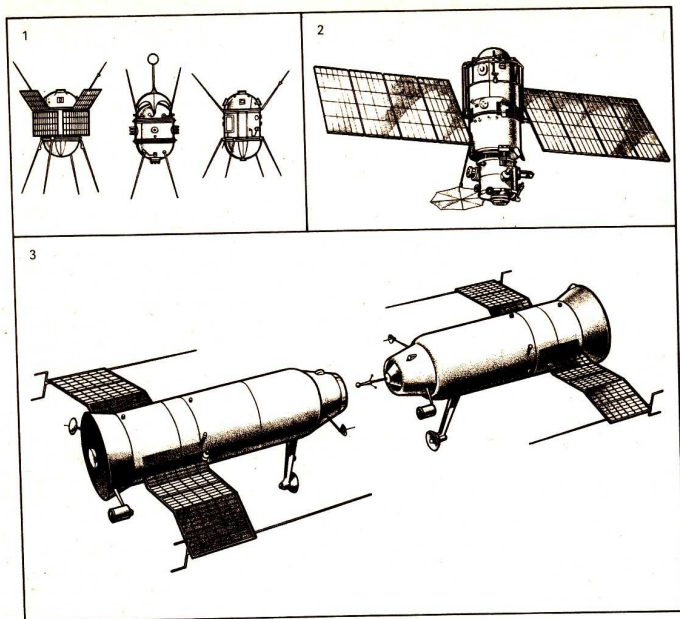
Am Beispiel dieser drei Sputniksatelliten wurden Probleme erörtert, die in der Raumfahrtforschung allgemein von Bedeutung sind. Es sind also nicht nur rein technische Probleme des Raketenantriebes, der Konstruktion von Raumflugkörpern und der Bahnsteuerung zu meistern, sondern es sind auch meßtechnisch Meisterleistungen zu vollbringen, die umfangreiche und schwierige Verfahren und Methoden der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der Physik zum Inhalt haben.

In diesem Zusammenhang sei auf die engen Wechselbeziehungen hingewiesen, die zwischen der Entwicklung der Wissenschaften und der Entwicklung der Technik durch die Forschung bestehen. Die Erhöhung z. B. der Meßgenauigkeit erfordert einerseits neue Meßgeräte und Meßverfahren, also die technische Lösung einer durch die Wissenschaften gestellten Aufgabe, andererseits ermöglicht ein neues Verfahren durch seine Einführung in die Technik und in die Produktion diesen Zweigen der Volkswirtschaft wiederum ein effektiveres und genaueres Produzieren. Über die Wechselbeziehungen zwischen Gesellschaft und die in ihr wirkenden und durch sie genutzten technischen und anderen Wissenschaften kann im Abschnitt „Geschichtliche Entwicklung“ nachgelesen werden. Sputnik 2 trug außer den Meßgeräten und den Versorgungsanlagen eine Druckkabine mit allen Einrichtungen zur Aufrechterhaltung der Lebensbedingungen über eine Zeit von etwa 7 Tagen für einen Hund. Die Untersuchungen umfaßten die Messung der Puls- und Atemfrequenz, des arteriellen Blutdrucks und der Biosphäre des Herzens.

Mit Sputnik 3 wurde ein reiner Meßsatellit auf eine Erdumlaufbahn gebracht. Das Programm sah umfangreiche Messungen wichtiger physikalischer Größen der Erde und der Erdatmosphäre vor.

Kosmos

Zur Vorbereitung des Aufstieges von Raumfahrzeugen mit Kosmonauten und für systematische und komplexe wissenschaftliche Untersuchungen begann man 1962 in der Sowjetunion mit einem Forschungsprogramm, das durch Satelliten mit der Sammelbezeichnung Kosmos (Bild 140/1) bestritten wurde. Am 16. März 1962 startete der erste Satellit dieser Serie. Im Verlauf von etwa fünfundzwanzig Jahren umkreisten mehr als



140/1 Kosmosatelliten

1 – Forschungssatellit

2 – Wettersatellit

3 – Erprobungs-Satellit für die automatische Kopplung von Raumfahrzeugen

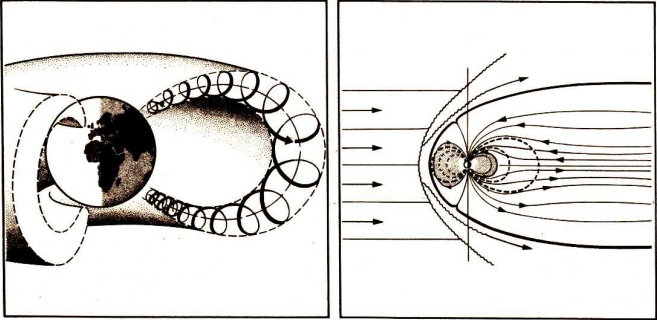
1700 Kosmos-Satelliten die Erde. Das Forschungsprogramm für die Kosmos-Satelliten ist sehr umfangreich. Es umfaßt physikalische, chemische, astrophysikalische, physiologische und technische Untersuchungen, Messungen und Experimente. Unter dem Sammelnamen Kosmos-Satelliten sind die verschiedensten Arten wie Meßsatelliten und Beobachtungssatelliten, aber auch unbemannte Raumfahrzeuge zusammengefaßt.

Eine interessante Besonderheit stellten in der langen Kosmos-Reihe die Mehrfachstarte dar. Dabei wurden drei, fünf oder acht Satelliten durch eine Trägerrakete auf ihre Umlaufbahnen gebracht.

Ein Teil der Satelliten, vor allem solche, die mit Versuchstieren und Pflanzen besetzt waren, wurde nach Ausführung des Forschungsauftrages wieder zur Erde zurückgeführt.

Der Erforschung der Umweltbedingungen im erdnahen Raum messen die sowjetischen Wissenschaftler größte Bedeutung bei. Das hierfür entwickelte Forschungsprogramm erhielt deshalb die Bezeichnung Kosmos-Programm.

Die Ergebnisse dieser auch heute noch nicht abgeschlossenen Forschung waren für die Wissenschaftler erstaunlich. Die Luftdichte in Höhen über 200 Kilometer erwies sich als wesentlich größer, als man bis dahin angenommen hatte. Diese Annahmen basierten auf den Meßergebnissen, die bei Raketenanstiegen bis etwa 1960 gewonnen wurden. Eine für die Raumfahrt besonders wichtige Erscheinung sind die in größerer Entfernung von der Erde auftretenden, meist von der Sonne stammenden oder von ihr beeinflussten Strahlungserscheinungen. Diese solare bzw. kosmische Strahlung durchdringt alle Körper, zumindest solche, die so geringe Abmessungen haben wie die Raumfahrzeuge. Sie wirken auf lebende Organismen stark schädigend, bei längerem Einwirken tödlich. Diese Strahlung wurde bei fast jedem Kosmosaufstieg durch Meßapparaturen nachgewiesen und gemessen. Ein Ergebnis der Kosmos-Forschung ist die Entdeckung, daß es um unsere Erde herum Gebiete mit unterschiedlich intensiver Strahlung gibt, das Vorhandensein von sogenannten Strahlungsgürteln (Bild 141/1).



141/1 Strahlungsgürtel der Erde (nicht maßstäblich)

links: Schema der Teilchenbahnen in einem Strahlungsgürtel

rechts: Schema der Strahlungsgürtel und des Magnetfeldes unter dem Einfluß des Sonnenwindes

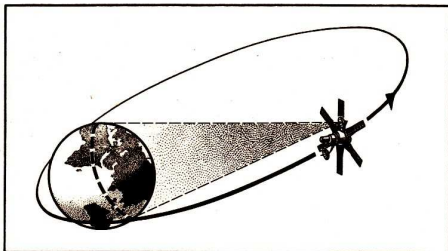
In den Strahlungsgürteln der Erde befinden sich Protonen und Elektronen, die sich mit hoher Geschwindigkeit auf bestimmten Bahnen bewegen. Diese Bahnen stellen Schraubenlinien dar, die entlang der Feldlinien des magnetischen Erdfeldes verlaufen. Große Bedeutung kommt den Erkenntnissen zu, die aus der Untersuchung solcher Strahlungserscheinungen gewonnen wurden. In Moskau am Kurtschatow-Institut und in Nowosibirsk wurden z. B. hierzu seit fast zwei Jahrzehnten Forschungen über das Verhalten von Plasma betrieben. Kurzzeitige Herbeiführungen von thermonuklearen Kernreaktionen in sowjetischen Forschungsreaktoren deuten den Erfolg der sowjetischen Wissenschaftler an. Das dabei benutzte Prinzip der magnetischen Falle findet man als Vorbild der Natur in den „Strahlungsschläuchen“ des magnetischen Erdfeldes wieder. Die von der Sonne kommenden elektrisch geladenen Teilchen werden in den Schläuchen eingefangen und pendeln von einem Schlauchende zum anderen, wobei sie aber schon weit vor dem magnetischen Pol in der Schlauchverengung zurückpendeln. Daraus wiederum resultiert die Erkenntnis, daß es über unserer Erde auch Gebiete gibt, in denen die Dichte der energiereichen Teilchen sehr gering ist. Solche Stellen eignen sich für den Durchflug bemannter Raumfahrzeuge in den Weltenraum und als Einflogschneise bei der Rückkehr aus dem Weltenraum.

Nachrichtensatelliten werden auf solche Umlaufbahnen gebracht, daß von ihnen aus möglichst lange über ein möglichst großes Gebiet funktechnisch Informationen ausgestrahlt werden können. Die entsprechenden Informationen werden den Nachrichtensatelliten zugesendet. Über Speicher, Empfänger, Verstärker und Sender werden die Informationen dann zur gewünschten Zeit gesendet.

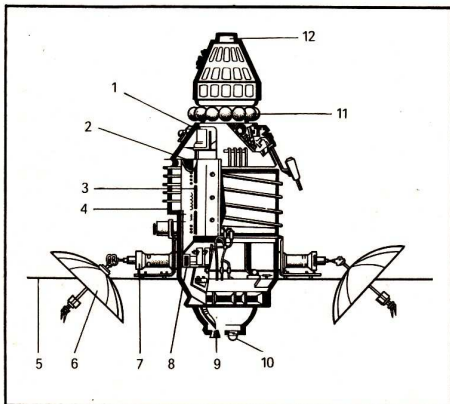
In der Sowjetunion und insgesamt innerhalb der sozialistischen Staatengemeinschaft besteht ein durch die sozialistische ökonomische Integration gefördertes Bedürfnis nach Informationsaustausch.

Molnija

Eine Relaisstation, die bei jedem Umlauf in großer Höhe die Territorien der sozialistischen Staatengemeinschaft überfliegt, kann die zugesendeten Fernseh-, Telefon- und Rundfunksendungen über das gesamte Gebiet aussenden (Bilder 142/1, 142/2). 1965 bis 1984 sind 60 Nachrichtensatelliten Molnija-1 gestartet und im Einsatz geprüft worden.



142/1 Umlaufbahn und Empfangsbereich eines Nachrichtensatelliten Molnija



142/2 Nachrichtensatellit vom Typ Molnija

- 1 – Grundkörper
- 2 – Funk- und Fernsehgeräte
- 3 – Geräte zur Temperaturregelung
- 4 – Kühlanlage
- 5 – Sonnenenergieanlage
- 6 – Empfangsantennen
- 7 – Antennenrichtgerät
- 8 – Kreiselgerät
- 9 – Optik des Sonnenrichtgerätes
- 10 – Optik des Erdrichtgerätes
- 11 – Druckgasbehälter
- 12 – Steuertriebwerk

Zur Zeit befinden sich auch Satelliten vom Typ Molnija-2 und Molnija-3 auf Umlaufbahnen. Zusammen mit 37 über das Gebiet der Sowjetunion verteilten Orbita-Empfangsstationen kann z. B. von Moskau aus ein Fernsehprogramm über ein Gebiet ausgestrahlt werden, das von etwa 90% der Bevölkerung der Sowjetunion bewohnt wird. Dieses Nachrichtensystem wird aber nicht nur zur Übermittlung von Informationen für die Bevölkerung benutzt. Eine ebenso große Bedeutung hat in einer mit den modernsten Mitteln ausgestatteten Wirtschaft die Datenübertragung für wissenschaftliche, ökonomische und technische Aufgaben. Der zentrale Wetterdienst, Rechenzentren für miteinander arbeitende, aber räumlich weit voneinander entfernte Forschungsinstitute, die Energieversorgung mit ihren zentralen Schaltstellen, die mit der ständigen Anpassung der Wirtschaftspläne betrauten Stellen, für gemeinsame Projekte produzierende Großbetriebe mit dem gesamten Zulieferkreis sind die Nutzer eines solchen staatenweiten Nachrichtensystems. Die Energieversorgung erfolgt durch Sonnenenergieanlagen, deren Vorteil darin besteht, daß kein Energieträger im Satelliten mitgeführt werden muß. Von Nachteil ist die geringe Energiemenge, die von solch einer Anlage aufgenommen werden kann (etwa $0,15 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$) und der geringe Wirkungsgrad des Energiewandlers ($\eta \approx 0,1$).

Die Sonnenenergieanlage besteht aus Halbleiterphotoelementen, in denen durch Energiezufuhr (Sonnenlicht) ein Elektronenstrom erzeugt wird. Diese Photoelemente werden auf großen Solarflächen dem Sonnenlicht ausgesetzt.

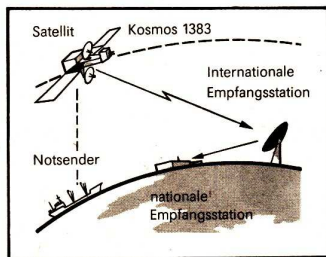
Die Molnija-Satelliten bewegen sich auf Umlaufbahnen mit einem Perigäum von ungefähr 500 km und einem Apogäum von ungefähr 40000 km. Die Bahn liegt so, daß diese Satelliten bei einer Umlaufzeit von 12 Stunden zu der für das Gebiet der Sowjetunion günstigsten Zeit etwa 8 Stunden sendebereit sind.

Kospos-Sarsat-System

Ein besonderes Nachrichten-Satellitensystem ist Kospos/Sarsat (Bild 143/1). Es ist ein internationales Satellitensystem für Such- und Rettungsaufgaben auf der gesamten Erdoberfläche. Die drei Nachrichtensatelliten vom Typ Kosmos haben eine polare Umlaufbahn von etwa 1000 Kilometer Höhe über der Erde. Mit einem Notrufsender ausgerüstete Schiffe und Flugzeuge, vor allem Sportfahrzeuge, die in Not geraten sind, können Notsignale aussenden, die von einem der Suchsatelliten aufgenommen und einer Satelliten-Bodenstation zugesendet werden. Von dort aus wird der nationale Rettungsdienst des Gebietes, in dem sich das Notfallfahrzeug befindet, benachrichtigt und der Standort mitgeteilt.

Dieses System, 1977 begründet von der UdSSR, Kanada, USA und Frankreich, das wie vorgesehen $3 \times 27000 \text{ km}^2$ Erdoberfläche überwacht, hat bereits in vielen hundert ersten

Notfällen geholfen, mehr als 300 Menschenleben zu retten, und zwar in weniger als 2 Stunden vom Eintritt des Notfalles an gerechnet.



143/1 Kospos/Sarsat-Satelliten-Rettungssystem

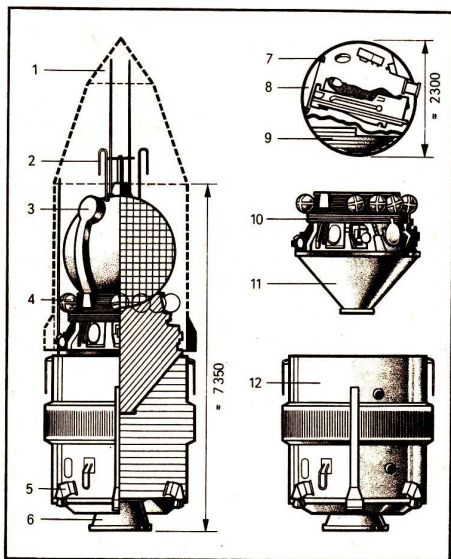
Raumfahrzeuge

Raumfahrzeuge sind Raumflugkörper, die zur Aufnahme einer aktiv am Raumflug beteiligten menschlichen Besatzung dienen (bemanntes Raumfahrzeug bzw. für Transport- oder Versuchszwecke unbemanntes Raumfahrzeug).

Neben der Erforschung des Mondes und der Planeten durch Sonden und automatische Stationen widmen sich die sowjetischen Forschungskollektive im besonderen der Untersuchung des erdnahen Weltraumes und seiner Nutzung. Deshalb sind in diesen Bereich des Weltraumes viele Kosmonauten vorgedrungen und haben mit ihrer Arbeit Pionierleistungen vollbracht.

Das erste bemannte Raumfahrzeug vom Typ Wostok stieg am 12. 4. 1961 in der Sowjetunion auf. Zuvor war mit 5 unbemannten Raumfahrzeugen das System gründlich erprobt worden. Das Raumfahrzeug Wostok war für einen Raumfahrer und für Fahrten bis zu 10 Tagen ausgelegt (Bild 144/1).

Mit solchen Raumfahrzeugen wurde neben der Lösung vielfältiger anderer wissenschaftlicher Aufgaben vor allem auch festgestellt, wie der Mensch unter Raumflugbedingungen arbeiten kann, denn das war damals im Jahre 1961 noch völlig unbekannt und konnte nur theoretisch vorausgesagt werden. Entsprechend dem Fortschreiten der Erkenntnis mit der Anzahl der erfolgreichen Raumflüge führten diese Experimente bis zu den Langzeitaufenthalten sowjetischer Kosmonauten und zu den Forschungsaufenthalten internationaler Besatzungen aus sozialistischen Ländern und einigen anderen Ländern.



144/1 Raumfahrzeug

Wostok,

Masse der Kabine: 4,73 t,

Masse der

Gerätezone: 1,44 t

1 – Schutzkegel

2 – Antennen

3 – Schwenkarm mit
Abreißkontakten

4 – Druckgasbehälter

5 – Steuerröhre

6 – Triebwerk der Endstufe

7 – Raumfahrerkabine

8 – Einstiegluke

9 – Wärmeschutzschild

10 – Gerätezone

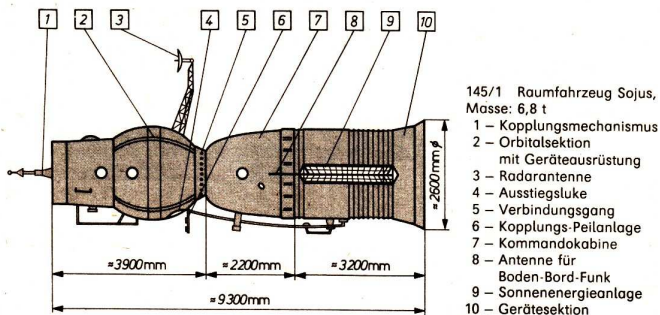
11 – Bremsstrahltriebwerk

12 – Endstufe der
Trägerrakete

Mit dem Einsatz der Sojus-Raumfahrzeuge begann im April 1967 die Phase der intensiven Erforschung des erdnahen Weltraumes. Das Sojus-Raumfahrzeug besitzt volle Manövrierfähigkeit während der gesamten Umlaufzeit. Es können Bahnänderungen bis zu einer Höhe von 1300 km erreicht werden. Die Ausrüstung für drei Raumfahrer reicht für eine Zeit von etwa 30 Tagen.

Während der Rückkehr zur Erde wird der Rückkehrteil (Kommandokabine) im oberen Bereich der Erdatmosphäre zum Abbremsen aerodynamisch so gesteuert, daß die Verzögerung nur den etwa 3- bis 4fachen Betrag der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche erreicht; dabei bleibt die Erwärmung des Rückkehrteils in einem technisch beherrschbaren Temperaturbereich. Nach dieser Phase des Rückkehrprozesses werden die Bremsfallschirme geöffnet, und kurz vor der Landung wird durch nochmaliges Zünden der Feststoff-Bremstriebwerke eine weiche Landung eingeleitet.

Das gesamte Raumfahrzeug Sojus besteht aus 3 Einheiten (Bild 145/1):



Orbitalsektion. Das ist der Raum, in dem während der Erdumläufe die Besatzung ihre Aufgaben löst.

Kommandokabine. Das ist der Raum, in dem sich die Besatzung (maximal 3 Raumfahrer) während des Aufstieges und der Landung aufhält und von der aus die Steuerung des gesamten Raumfahrzeuges erfolgt. Sie ähnelt den Kabinen von Wostok und Woschod. Orbitalsektion und Kommandokabine haben zusammen ein Innenraumvolumen von 9 m³.

Gerätesektion. Das ist der Teil, in dem alle Versorgungsanlagen (Energie, Klima), zwei Bremstriebwerke (je 4000 N), die Steuertriebwerke, der Treibstoff und die Sonnenenergiegewinnungsanlage untergebracht sind.

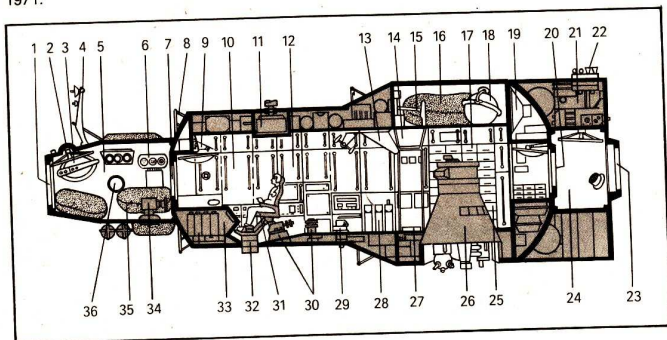
Das Sojus-Raumfahrzeug war von Anfang an so konstruiert und ausgerüstet, daß es an ein anderes Raumfahrzeug herangesteuert und mit diesem gekoppelt werden kann. Die Größe und technische Ausrüstung von Sojus gestatten des weiteren mit Hilfe automatischer Steuerung (Progreß-Raumtransporter) den Transport von Geräten, Treibstoff und Nahrungsmitteln zu einer Raumstation bzw. den Austausch von Besatzungen einer solchen Raumstation sowie den Einsatz als Rettungsraumfahrzeug für in Not geratene Raumfahrzeugbesatzungen.

Heute haben die Sojus-T-Raumfahrzeuge keine besonderen selbständigen Aufgaben. Sie dienen dem Transport von Wissenschaftlern zu Raumstationen und von diesen wieder zurück zur Erde.

Raumstationen

Raumstationen sind Raumflugkörper, die sich auf einer nahezu stabilen Umlaufbahn um die Erde bewegen und von denen aus mit Experimentier-, Meß- und Beobachtungseinrichtungen die Besatzung über eine längere Zeit hinweg ihre Aufgaben erfüllt.

Am 11. September 1970 wurde von Baikonur aus mit einer Mehrstufenrakete Proton (Bild 99/1) erstmals eine Forschungsstation vom Typ Salut (Bild 146/1) auf eine Erdumlaufbahn in etwa 200 km Höhe gebracht. Zweimal koppelten sowjetische Raumfahrer ein Sojus-Raumfahrzeug an die Station an, Sojus 10 am 24. 4. 1971 und Sojus 11 am 6. 7. 1971.



146/1 Raumstation Salut

Masse: 18,9 t, Länge: 21,4 m, Durchmesser: 4,15 m, Volumen: etwa 100 m³.

- | | |
|---|--|
| 1 – Vorderer Kopplungsstutzen | 19 – Staubfilter |
| 2 – Lukendeckel | 20 – Luke |
| 3 – Ausstiegluke | 21 – Gerätesektion |
| 4 – Richtantenne zur automatischen Zielbegleitung | 22 – Lageregelungsdüsen |
| 5 – Schleusensektion | 23 – hinterer Kopplungsstutzen |
| 6 – Bedienpult für Ausstieg | 24 – Schleusentunnel |
| 7 – Luke | 25 – Lebensmittelvorräte |
| 8 – Handgriff | 26 – wissenschaftliche Geräte |
| 9 – Fernsehkamera | 27 – Laufband |
| 10 – Luftregenerierungsanlage | 28 – Multispektralkamera MKF-6M |
| 11 – Antrieb einer Solarzellenfläche | 29 – Kamera KATE 140 |
| 12 – Hauptarbeitsraum | 30 – Visiere und Sensoren für die Lageregelung |
| 13 – Velo-Ergometer | 31 – Sitze |
| 14 – Sauna/Dusche | 32 – optisches Visier |
| 15 – „Waage“ | 33 – zentrales Steuerpult |
| 16 – Schlafplatz | 34 – Sauerstoffherzeuger |
| 17 – hinterer Arbeitsraum | 35 – Druckanzüge |
| 18 – Schleuse für Abfälle | 36 – Bordfenster |

Zum ersten Mal in der Raumfahrtgeschichte konnten sich Wissenschaftler unter Laborbedingungen einem umfangreichen Forschungsprogramm über eine Zeit von 23 Tagen widmen. Dieses Forschungsprogramm umfaßte 140 Experimente. Dabei standen etwa folgende Aufgabenkomplexe im Mittelpunkt des Programms:

- Überprüfung und Erprobung aller Konstruktionselemente sowie Systeme der Raumstation Salut,
- Erprobung von Methoden und Mitteln zur Orientierung, Navigation sowie der Bahnänderung,
- Untersuchung geologisch-geographischer Objekte auf der Erde, atmosphärischer Erscheinungen sowie Beobachtung der Schnee- und Eisdecke,
- Erforschung von physikalischen Verhältnissen im erdnahen Raum sowie astronomisch-astrophysikalische Untersuchungen in verschiedenen Spektralbereichen,
- Medizinisch-biologische Untersuchungen.

Einen Überblick über die Möglichkeit eines solchen Forschungsprogramms und der einsetzbaren Geräte zeigt die Tabelle auf S. 100.

Die Erforschung der Erde aus dem Weltraum wurde fortgesetzt mit der am 3. April 1973 in der Sowjetunion gestarteten zweiten Raumstation Salut.

Sie diente der weiteren Erprobung und Durchführung von Forschungsaufträgen. Am 28. Mai 1973 wurde das Programm für Salut 2 beendet. In der Zeit vom 27. 9. bis 29. 9. 1973 wurde ein neues Raumfahrzeug Sojus 12 durch die Kosmonauten Lasarew und Makarow erprobt und am 25. Juni 1974 Salut 3 auf eine Umlaufbahn gebracht. In den Raumstationen Salut 4 und Salut 5 arbeiteten jeweils zwei Kosmonauten 63 bzw. 48 Tage, während mit Salut 6 bereits erste Langzeitexperimente durchgeführt wurden. Mit Salut 7 wurde 1974 ein neuer Langzeitrekord von 237 Tagen durch die drei Kosmonauten Kisim, Solowjow, Dr. Atkow aufgestellt.

Für die Versorgung der Raumstation und der Raumfahrer wird der Raumfahrzeugtyp Progreß benutzt. Das ist ein modifizierter Typ von Sojus, kann automatisch von der Erde und von Salut aus bedient werden und hat bei 6,6 m³ Laderaumvolumen eine Ladefähigkeit von 1,3 t, hinzu kommt 1,0 t Treibstoff in Behältern, der in der Treibstoffsektion untergebracht wird.

Es steht fest, daß die Einrichtung und Stationierung von Weltraumstationen die besten Voraussetzungen zur intensiven und effektiven Erforschung von Erde und erdnahem Weltraum schaffen.

Forschung mit Hilfe der Raumfahrt

Die mit Hilfe der Raumfahrt unter Nutzung von Raumflugkörpern mögliche Forschung im erdnahen Weltraum richtet sich vorzugsweise auf die drei Bereiche

- terrestrische Forschung,
- biologisch-medizinische Forschung,
- physikalisch-technische Forschung.

Unter den gegenwärtigen, durch die imperialistische Weltraumstrategie geschaffenen Bedingungen, die durch die vom USA-Präsidenten Reagan 1983 verkündete Sternenkriegstheorie zum Ausdruck gebracht wurden, richtet sich die Forschung aber auch auf militärische und militär-technische Bereiche.

Diese Forschungen sind nicht zu verwechseln mit der Weltraumforschung, die sich speziell auf die Erforschung des Weltraumes richtet, und auch nicht mit der Raumfahrtforschung, die sich speziell auf die Erforschung der Möglichkeiten zum Betreiben der Weltraumfahrt richtet.

Der volkswirtschaftliche Nutzen, der sich unmittelbar aus dem Betreiben der Raumfahrt z. B. für die Sowjetunion bis zum Jahre 1978 ergeben hatte, betrug das Fünffache der Investitionen, und bis zum Jahre 1981 war er bereits auf das Siebenfache angewachsen.

Terrestrische Forschung

Die Erforschung unserer Erde an der Oberfläche und im Inneren sowie der die Erde umgebenden Atmosphäre und Magnetosphäre hat mit Hilfe der Raumfahrt in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine große Fülle von Erkenntnissen über nicht bekannte Fakten, Erscheinungen, Zusammenhänge und Wirkungen gebracht.

Erdoberfläche. Für die Landwirtschaft ist es vor allem in weit ausgedehnten Gebieten, wie z. B. in der Sowjetunion, von Bedeutung, die Bodenbeschaffenheit für den Anbau bestimmter Monokulturen, aber auch für den herannahenden Zeitpunkt von Aussaat und Ernte oder einen eventuellen Befall mit Schädlingen rechtzeitig zu erkennen. Das gleiche gilt für die Waldbestände, die meist schwer zugänglich sind und von wesentlich niedriger als Raumflugkörper fliegenden Flugzeugen aus nicht effektiv genug beobachtet und kontrolliert werden können.

Für die Vermessung der Erdoberfläche, der Landgebiete, Küsten und Inseln leisten Satellitenfotos, aufgenommen mit entsprechenden Spezialkameras, ausgezeichnete Arbeit.

Für die Anlegung neuer Verkehrsbauten und Verkehrswege liefern Satellitenfotos die erforderlichen meßtechnischen Unterlagen.

Erddinneres. Bei der Auswertung von Satellitenfotos der Erdoberfläche Europas wurden z. B. ringförmige Oberflächenkonturen von bis zu 500 Kilometer Durchmesser entdeckt. Hier ist zur Zeit der Krustenbildung auf unserer Erde Magma hervorgebrochen. Dabei haben sich Erzablagerungen gebildet.

Die Lagerstätten von Bodenschätzen unter der Erdoberfläche führen infolge ihres Einflusses auf die physikalischen Eigenschaften der Erde zu Bahnabweichungen der Erdsatelliten. Solche Abweichungen lassen sich ermitteln und damit auch ihre Ursprungsorte, die Lagerstätten. Zahlreiche noch nicht bekannte Lagerstätten von Bodenschätzen aller Art wie Erze, Kohle, Erdöl, Wasser wurden mit Hilfe von Satelliten entdeckt, aber nicht nur in unwegsamen Gebieten wie in Sibirien, Argentinien, Zentralafrika, sondern z. B. auch in der DDR und in der Bundesrepublik Deutschland.

Erdatmosphäre. Da sich in diesem erdnahen Bereich fast das gesamte Wettergeschehen der Erde abspielt, ist seine Beobachtung und Erforschung besonders auf die Wettererscheinungen gerichtet. Wolkenbildung, Fronten, Zykone und Wirbelstürme können durch Satelliteninstrumente frühzeitig erkannt und zur Wettervorhersage genutzt werden. In den letzten Jahren konnten so z. B. nach Schätzungen mindestens fünfhundert Schiffe vor dem Untergang, viele Menschenleben vor dem Tod und wertvolle Schiffsladungen vor der Vernichtung bewahrt werden.

Erdmagnetosphäre. Die äußerste Zone der Erdatmosphäre ist erfüllt von sich ständig in Bewegung befindlichen ionisierten Teilchen (→ Strahlungsgürtel, S. 141). Ihre Erforschung ist notwendige Voraussetzung für bemannte Raumflüge.

In der Magnetosphäre bestehen besondere Bedingungen, die durch kosmische Strahlung hervorgerufen werden. So wird z. B. der Wirkungsgrad von Sonnenbatterien durch die Strahlung beeinträchtigt, optische Systeme können beschädigt werden, indem Trübungen der lichtdurchlässigen Teile hervorgerufen werden, und organische Stoffe können zerstört werden.

Die Erforschung der Strahlungsgürtel erfordert u. a. gleichzeitige Messungen an weit voneinander entfernten Punkten. Deshalb wurden in der Sowjetunion ab 1964 mit besonderen Trägerraketen Mehrfachsatelliten gestartet. Das Mehrfachsatellitensystem Elektron besteht aus zwei Einzelsatelliten: Elektron 1 (350 kg, Apogäum 7 100 km) und Elektron 2 (445 kg, Apogäum 68 200 km). Mit den über ein Jahr durchgeführten Messungen und den dabei erhaltenen Meßwerten konnte erstmals eine Strahlungskarte des erdnahen Raumes angefertigt werden.

Biologisch-medizinische Forschung

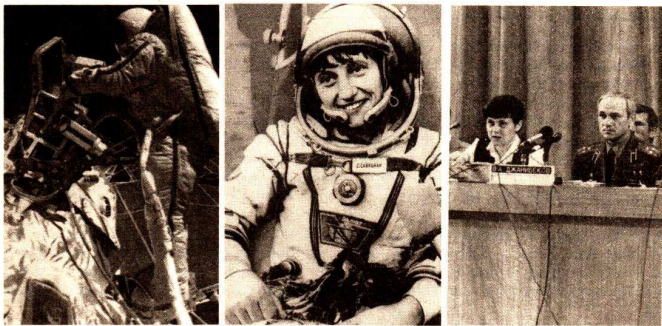
Der Einfluß der Schwerelosigkeit auf Pflanzen, Tiere und Menschen, deren Entwicklung auf unserer Erde unter dem Einfluß der Gravitation stattgefunden hat, wird in Raumstationen, vor allem bei Langzeitflügen untersucht. Solche Erkenntnisse sind notwendig, weil der Mechanismus des Wachstums, der Stoffwechsel- und Kreislaufprozesse bei Raumfahrten unbedingt funktionieren muß.

Solchen Aufgaben dienen biologische Experimente, in denen Mikroorganismen, Fische, Fliegen, Schildkröten, Kakteen, Gladiolenzwiebeln, Gemüse-, Mais- und Bohnensamen in bezug auf die Veränderung der pflanzlichen und tierischen Molekularstruktur und das Wachstum in der Schwerelosigkeit untersucht wurden. Dem Einfluß der kosmischen Strahlung galt dabei besondere Aufmerksamkeit, weil deren schädigende Wirkung bei kosmischen Langzeitunternehmungen eine echte Gefahr darstellen kann.

In den Jahren 1983/84 hielten sich drei sowjetische Kosmonauten, Leonid Kisim, Wladimir Solowjow und Dr. Oleg Atkow, zur Erfüllung eines umfangreichen Programms 237 Tage in der Raumstation Salut 7 auf. Zu ihnen gesellten sich zeitweilig noch Wladimir Dshannibekow und Swetlana Sawizkaja, die sich als erste Frau für längere Zeit zu Montagearbeiten außerhalb einer Raumstation aufhielt (Bilder 149/1). Die Kosmonauten Kisim und Solowjow arbeiteten fast 23 Stunden im freien All außerbords von Salut 7.

Mit der Erfüllung ihres Programms haben diese Kosmonauten wesentlich dazu beigetragen, daß man jetzt darangehen kann, eine der Hauptaufgaben der sowjetischen Raumfahrtforschung zu erfüllen, nämlich ständig arbeitende wissenschaftliche Orbitalkomplexe mit wechselnden Besatzungen zur weiteren Erforschung der Erde zu schaffen. Bereits jetzt glaubt man sagen zu können, daß der Aufenthalt von Menschen im All beliebig lange dauern könne, ohne daß Schädigungen des Organismus auftreten, wenn der festgestellte kontinuierlich verlaufende Kalziumverlust (ungefähr 4 g/Monat) aus dem menschlichen Organismus verhindert werden kann.

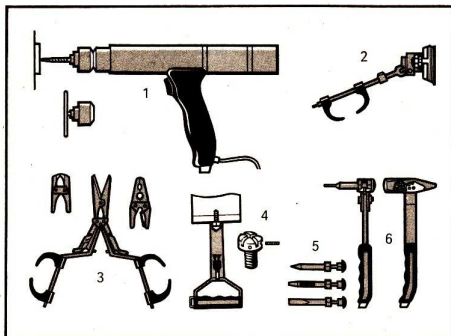
Mit zunehmender Aufenthaltsdauer in der Schwerelosigkeit größer werdende Schwierigkeiten bereitet heute noch den Kosmonauten nach ihrer Rückkehr zur Erde die Anpassung an die irdischen Lebensbedingungen.



149/1 Swetlana Sawizkaja bei Außenarbeit an Salut 7, nach der Rückkehr aus Salut 7 und während einer Pressekonferenz

Physikalisch-technische Forschungen

Diese Wissenschaftsbereiche, die weitgehend Voraussetzungen schaffen für die Durchführung einer sicheren Weltraumfahrt, wurden bereits in den Abschnitten „Geschichtliche Entwicklung“ und „Raumfahrttechnik“ mit dargestellt. Experimente, die Bedeutung für die Produktion auf der Erde haben, werden ständig mit neuen Geräten (Bild 150/1) in der Raumstation Salut und außerhalb derselben, also unter Bedingungen der Schwerelosigkeit und des Vakuums, durchgeführt. Dabei spielen metallurgische und Kristallisationsprozesse, aber auch relativ einfach erscheinende Montage- und Reparaturarbeiten mit Benutzung von Weltraumwerkzeugen eine besondere Rolle, weil die sowjetische Raumfahrtforschung für die nächste Etappe die Stationierung großer Raumstationen vorsieht, die aus mehreren Komplexen in erdnahe Umlaufbahn zusammengefügt werden sollen.



150/1 Weltraumwerkzeuge der sowjetischen Kosmonauten:

- 1 – Rückstoßfreier Elektroantrieb für auswechselbare Werkzeuge
- 2 – Mutterschlüssel
- 3 – Hebelschere und Zange
- 4 – Schraubendreher
- 5 – Halter für Schlagwerkzeuge (Meißel, Dorn)
- 6 – Rückschlagfreier Hammer

In den Raumstationen Salut wurden so in den vergangenen Arbeitsphasen Metallschmelzen von Blei, Wismut, Zinn und Kadmium hergestellt. Stahlrohre wurden mit einer Mangan-Nickel-Legierung zusammengelötet.

Gearbeitet wird an einem Verfahren zur Herstellung hochwärmfester Legierungen aus Metallen und Nichtmetallen, wobei eingelagerte fadenförmige Reinkristalle, die als Whiskers bezeichnet werden, der Legierung die hohe Festigkeit verleihen. Diese Einlagerungs- und Kristallisationsprozesse lassen sich mit Aussicht auf Erfolg nur im Vakuum und in der Schwerelosigkeit herbeiführen. Die Zugfestigkeit eines Whiskers aus Eisen beträgt zum Beispiel $1,3 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ und die eines Normalkristalls aus Eisen dagegen nur $4,5 \cdot 10^2 \text{ N/mm}^2$.

Eine besondere, supraleitfähige Legierung aus Gold und Germanium (die beide unter irdischen Bedingungen nicht supraleitfähig sind) läßt sich auf der Erde nicht herstellen, weil sich die beiden Metalle stets voneinander getrennt abscheiden bei Abkühlung der Legierungsschmelze. In der Schwerelosigkeit erstarrt die Legierung dagegen homogen.

Besondere Zukunftsbedeutung aber darf der Kern- und Plasmaforschung in großen Raumstationen zugemessen werden.

Unter irdischen Bedingungen ist es zur Zeit nur mit übermäßigem technischem Aufwand an Vakuumpumpen und Anlagen möglich, kurzzeitig in einer kleinen Kammer ein Va-

kuum und darin eine Kernfusion für den Bruchteil einer Sekunde zustande zu bringen. Neue Ergebnisse erhofft man sich von Experimenten im Vakuum des Weltraumes. Eine Kernfusion, die über längere Zeit aufrechterhalten werden kann, würde den Kernphysikern neue Erkenntnisse bringen und der menschlichen Gesellschaft ein großes Stück vorwärtshelfen, das Problem der Energiebereitstellung in der Zukunft auch technisch zu lösen.



Konstantin
Eduardowitsch
Ziolkowski

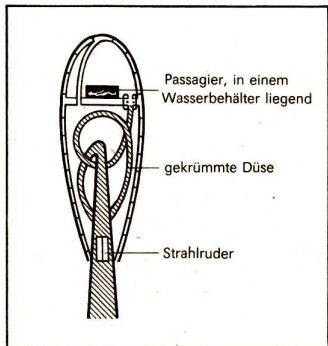
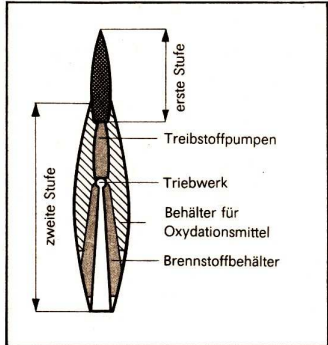
geboren am 17. 9. 1857 in Ishewskoja, verstorben am 19. 9. 1935 in Kaluga; begann 1896 mit der gründlichen Bearbeitung der theoretischen Probleme der Raketen- und Raumfahrttechnik, veröffentlichte 1903 die Ableitung der für die Raketentechnik fundamentalen Raketengleichung, schuf mit der Mehrstufenrakete die Grundvoraussetzung für die gegenwärtige Weltraumforschung. Von K. E. Ziolkowski stammt die Idee des Flüssigkeitstriebwerkes mit den Treibstoffkomponenten Flüssigsauerstoff und Flüssigwasserstoff. Zur Förderung des Treibstoffes sollten Pumpen verwendet werden. Außerdem schlug er eine Flüssigkeitskühlung der Brennkammer durch den Sauerstoff vor. Zur Steuerung der Rakete sollte das Kreiselprinzip verwendet werden, wonach ein rotierender Körper seine Lage im Raum bei Ablenkung durch äußere Einwirkung beizubehalten versucht.

K. E. Ziolkowski entwickelte die **Raketen-
grundgleichung**

$$v = c \cdot \ln \frac{m_o}{m_L}$$

152/2 Stufenrakete nach Ziolkowski

152/3 Raketenentwurf von Ziolkowski
aus dem Jahre 1914





Robert
Hutchings
Goddard

geboren am 5. 10. 1882 in Worcester, verstorben am 10. 8. 1945 in Princeton; untersuchte Raketentriebwerke ab 1912 auf ihre Eignung zum Antrieb von Höhen- und Fernflugkörpern.

Experimentierte mit festen Treibstoffen und verschiedenen Düsenöffnungswinkeln.

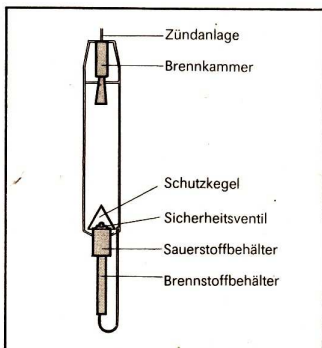
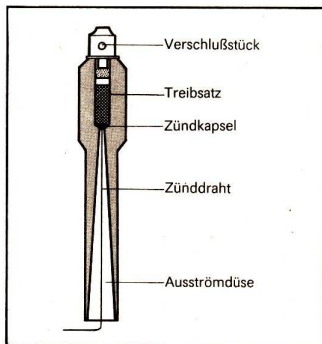
Ab 1920 experimentierte er mit flüssigen Treibstoffen und entwickelte eine Flüssigkeitsrakete, die am 16. 3. 1926 gestartet wurde. Goddard führte seine Versuche im luftgefüllten Raum und in Vakuumkammern aus. Er entwickelte das Projekt einer fünfstufigen Rakete mit Registriergeräten als Nutzlast. Goddard fand für den Wirkungsgrad eines Raketentriebwerkes eine Gleichung mit den Größen der realen Auströmgeschwindigkeit v_T und der theoretischen Auströmgeschwindigkeit v_{th} .

Wirkungsgrad

$$\eta = \left(\frac{v_T}{v_{th}} \right)^2$$

153/2 Feststoffraketenriebwerk
für Meßversuche von Goddard

153/3 Aufbauprinzip einer Goddard-Rakete

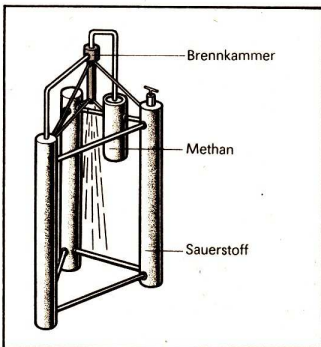
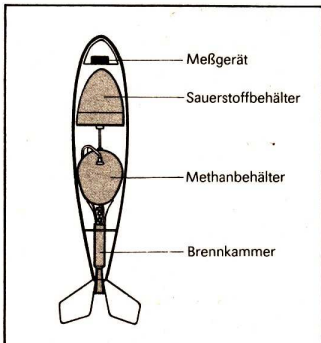




Johannes
Winkler

geboren am 25. 5. 1897, verstorben am 27. 12. 1947; verwirklichte erstmalig den Start einer Flüssigkeitsrakete (HW 1) mit einer Triebwerkschubkraft von 50 N am 14. 3. 1931, führte zuvor zahlreiche Prüfstand-Meßversuche durch. Die erreichte Aufstieghöhe der Rakete betrug etwa 100 Meter.

Die von Winkler konstruierte Rakete HW 2 hatte eine Leermasse von 3 Kilogramm, die Masse des Treibstoffes betrug 34 Kilogramm. Die HW 2 war etwa 1,75 Meter hoch. Infolge vieler technischer Schwierigkeiten, die bei der Entwicklung und dem Aufstieg einer Rakete dieser Baugröße durch einen einzelnen Spezialisten auftreten mußten, scheiterte die Fortsetzung der Versuche mit diesem Raketentyp.



154/2 Flüssigkeitsrakete HW 2 von Winkler

154/3 Aufbau der Winkler-Rakete

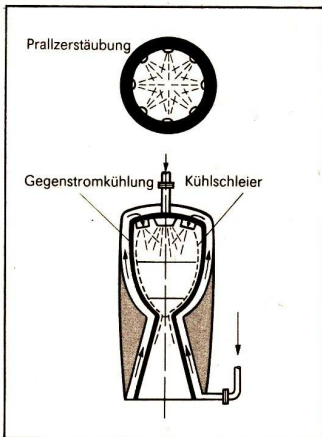


Hermann
Oberth

geboren am 25. 6. 1894 in Sibiu (Hermannstadt); veröffentlichte 1923 eine Arbeit mit dem Titel „Rakete zu den Planetenräumen“ und schuf damit eine theoretische Grundlage für die in Deutschland arbeitenden Raketentechniker, entwickelte das System einer Zweistufenrakete, die Schleierkühlung von Raketentriebwerken und die Prallzerstäubung, arbeitete von 1938 an in Peenemünde an Projekten von Raketenwaffen und nach 1945 zunächst in Italien und danach in den USA an ähnlichen Projekten.

Das Prinzip der Schleierkühlung beruht auf einer bestimmten Art der Treibstoffeinspritzung, wodurch sich an der Innenseite der Brennkammer und im Düsenhals ein Treibstoffschleier bildet, der diese Teile vor der hohen Verbrennungstemperatur schützt.

Das Prinzip der Prallzerstäubung beruht auf dem Einspritzen des Treibstoffes in gegeneinandergerichteten Strahlen. Durch den Aufprall wird der Treibstoff besonders fein zerstäubt.



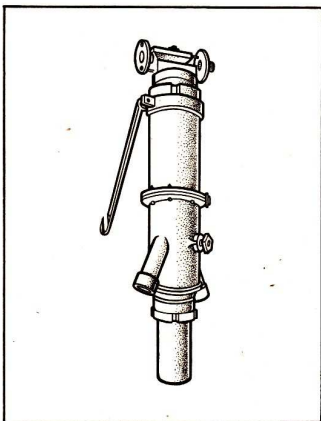
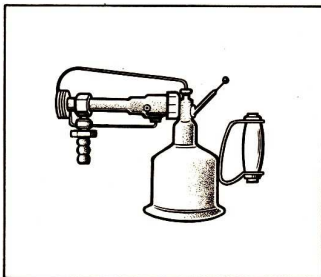
155/2 Prallzerstäubung und Schleierkühlung
nach Oberth



Friedrich
Arturowitsch
Zander

geboren am 23. 8. 1887 in Riga, verstorben am 28. 3. 1933 in Kislowodsk; untersuchte die Einsatzmöglichkeit von Raketentriebwerken zum Antrieb von Flugzeugen, entwickelte Versuchstriebwerke und Treibstoffkomponenten mit Metallzusatz.

Das in gemeinsamer Arbeit durch Zander und eine Arbeitsgruppe der GIRD entwickelte Raketentriebwerk OR-2 wurde mit flüssigem Sauerstoff und Benzin betrieben. Die erreichte Schubkraft betrug 500 N. Dieses Triebwerk wurde für die erste sowjetische Höhenforschungsrakete weiterentwickelt und eingesetzt, wobei die Schubkraft 650 N betrug.



156/2 Raketenversuchstriebswerk OR-1
von Zander

156/3 Raketentriebswerk OR-2 von Zander

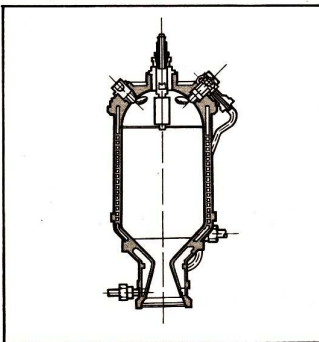


Sergej
Pawlowitsch
Koroljow

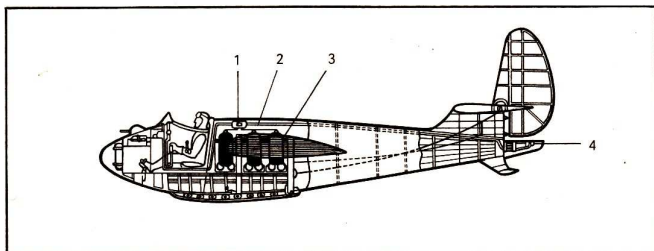
geboren am 12. 1. 1906, verstorben am 14. 1. 1966; seit 1932 Leiter der GIRD, später Leiter der Abteilung Raketenflugkörper im Institut zur Erforschung des Rückstoßprinzips, veröffentlichte 1934 die Arbeit „Der Raketenflug in der Stratosphäre“. Nach 1945 war Koroljow verantwortlich für die Raketenentwicklung und die technische Raumfahrtforschung in der Sowjetunion.

Koroljow entwickelte das Raketenflugzeug RP-318, das mit einem Flüssigkeitstriebwerk im Heck ausgestattet war. Die Schubkraft betrug 1400 N. Der Erstflug dieses Flugzeuges erfolgte im Februar 1940.

Von 1941 bis 1945 leitete Koroljow die Entwicklung von Raketen-Zusatztriebwerken für Jagdflugzeuge.



157/2 Brennkammer des Raketenflugzeuges RP-318 aus dem Jahr 1940



157/3 Raketenflugzeug RP-318

1 – Regler, 2 – Treibstoffleitung, 3 – Treibstoffbehälter, 4 – Triebwerk

Anhang

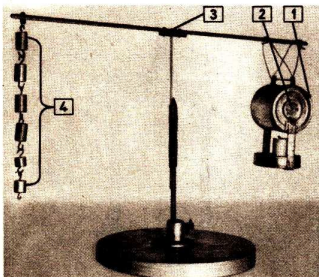
Experimente

1. Reaktionsantrieb

Aufgabe

Ermitteln Sie experimentell und theoretisch die Beträge der Größen Schubkraft und Ausströmgeschwindigkeit eines Reaktionstriebwerkes!

Hinweise: Als Dampferzeuger eignet sich eine Kondensmilchbüchse, besser aber ein noch kleinerer Behälter. Lötstellen sollen nicht von Heizflammen berührt werden.



Die Ausströmöffnung sollte einen Durchmesser von $d = 1 \text{ mm}$ erhalten.

Mit geeigneten Meßverfahren sind die nachfolgend aufgeführten Meßgrößen zu bestimmen.

158/1

- 1 – Bohrung zum Einfüllen, mit Holzschraube verschlossen
- 2 – Ausströmöffnung:
Durchmesser = Stecknadeldurchmesser;
Stecknadel in größere Bohrung einlöten und herausdrehen
- 3 – Druckknopf-Stricknadel-Lager
- 4 – Wägestücke, dienen zum Einstellen des Gleichgewichts

Rechnerisch sind die Größen zu bestimmen, für die in der Auswertung eine Gleichung angegeben ist. Zum Schluß sind die experimentell und theoretisch (rechnerisch) gefundenen Größen zu vergleichen.

Meßgrößen

- | | |
|---|---|
| m_G : Masse des Gerätes (ohne Kerze, ohne Wasser) | t_2 : Zeit von Beginn des Drehens bis zum Beginn der Messung von n Umläufen |
| m_W : Masse des Wassers | t_3 : Zeit der n Umläufe |
| m_K : Masse der Kerze | n : Anzahl der Umläufe |
| t_0 : Zeit vom Entzünden der Kerze bis Dampfaustritt | m_R : Masse des Triebwerkes nach n Umläufen (ist gleich m_1) |
| t_1 : Zeit vom Beginn des Dampfaustritts bis zum Beginn des Drehens (Schubaufbau) | |

Auswertung

- | | |
|---|--|
| 1. m_0 : Startmasse
$m_0 = m_G + m_W + m_K$ | 4. D : Durchsatz $D = \frac{m_T}{t_B}$ |
| 2. m_T : Treibstoffmasse (verbrauchter Treibstoff)
$m_T = m_0 - m_R$ | 5. T : Zeit eines Umlaufes $T = \frac{t_3}{n}$ |
| 3. t_B : Brenndauer $t_B = t_1 + t_2 + t_3$ | |

6. v_e : Endgeschwindigkeit $v_e = \frac{2\pi \cdot r}{T}$

$r = 16 \text{ cm}$ (Abstand der Ausströmöffnung vom Drehpunkt)

7. $\frac{m_o}{m_L}$: Massenverhältnis

8. v_{TEX} : „Praktische“ Ausströmgeschwindigkeit

$$m_T \cdot v_{\text{TEX}} = m_R \cdot v_e \quad v_{\text{TEX}} = \frac{m_R \cdot v_e}{m_T}$$

9. F_{SEX} : „Praktische“ Schubkraft

$$F_{\text{SEX}} = D \cdot v_{\text{TEX}}$$

10. v_T : „Theoretische“ Ausströmgeschwindigkeit

$$\frac{v_e}{v_T} = 2,3 \lg \frac{m_o}{m_L}$$

$$\frac{m_o}{m_L} = e^{\frac{v_e}{v_T}} \quad v_T = \frac{v_e}{2,3 \cdot \lg \frac{m_o}{m_L}}$$

11. F_S : „Theoretische“ Schubkraft

$$F_S = D \cdot v_T$$

Beispiel für drei Meßreihen (Meßprotokoll)

m_G	67,55 g	67,55 g	67,55 g
m_K	20,55 g	14,05 g	20,9 g
m_W	80,10 g	46,65 g	62,75 g
t_0	—	6 min 40 s	7 min 39,4 s
t_1	57,8 s	20,4 s	1 min 2,0 s
t_2	1 min 20,4 s	26,6 s	1 min 44,9 s
t_3	1 min 23,65 s	1 min 29,5 s	3 min 49,6 s
n	20	20	15
m_R	141,0 g	124,5 g	133,2 g
m_o	168,2 g	128,25 g	151,2 g
m_T	27,2 g	3,75 g	18,0 g
t_B	221,85 s	136,5 s	396,5 s
D	0,12 g · s ⁻¹	0,028 g · s ⁻¹	0,0454 g · s ⁻¹
T	4,18 s	4,575 s	15,3 s
v_e	24,02 cm · s ⁻¹	21,93 cm · s ⁻¹	6,57 cm · s ⁻¹
v_{TEX}	124,48 cm · s ⁻¹	728,0 cm · s ⁻¹	48,62 cm · s ⁻¹
F_{SEX}	14,95 g · cm · s ⁻²	20,38 g · cm · s ⁻²	2,3 g · cm · s ⁻²
$\frac{m_o}{m_L}$	1,19	1,03	1,135
v_T	137,36 cm · s ⁻¹	733,0 cm · s ⁻¹	51,9 cm · s ⁻¹
F_S	16,5 g · cm · s ⁻²	20,5 g · cm · s ⁻²	2,45 g · cm · s ⁻²
Ergebnis	m_W zu groß, Reibungskraft zu groß	brauchbare Meßwerte	starke Schräglage des Balkens, Reibungskraft zu groß

2. Bestimmen der Schubkraft

- | | |
|------------------------------|---------------|
| 1. Kleiner Luftstromerzeuger | 2. Meßstab |
| 3. Kraftmesser | 4. Tafelwaage |
| 5. Wägesatz | 6. Bindfaden |

1. Das Rückstoßprinzip ist zu erklären.
2. Dieses Experiment hat Modellcharakter. Während hier im Modellversuch die Luft durch einen Elektromotor mit einer Luftschraube bewegt wird, ist es beim Strahltriebwerk die Verbrennung von Kraftstoff und die damit verbundene Ausdehnung der Verbrennungsgase.

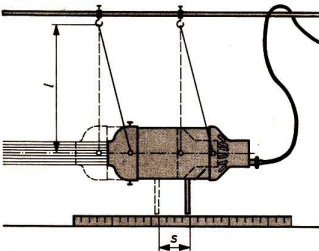
Die Ausströmgeschwindigkeit wird durch eine Verengung des Ausströmkanals, durch eine Düse, vergrößert. Wir erkennen als Gemeinsamkeit, daß sowohl beim Strahltriebwerk wie auch im Experiment durch ausströmende Gase ein Rückstoß, die Schubkraft erzeugt wird.

Variante a

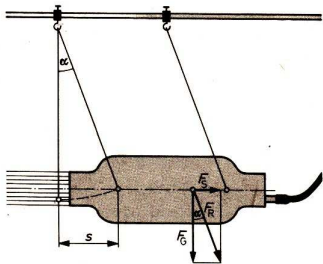
Man bestimmt zunächst die Masse des kleinen Luftstromerzeugers mit Hilfe einer Tafelwaage. Dann wird er mit Bindfäden an einer aus Stativteilen zusammengestellten Aufhängevorrichtung in horizontaler Lage so befestigt, daß sich sein Haltestab dicht über einem auf der Tischplatte liegenden Meßstab befindet. Die Entfernung zwischen den Aufhängepunkten und der Achse des Luftstromerzeugers soll mindestens 1000 mm betragen. Das Anschlußkabel wird über die Haltevorrichtung geführt, damit der Luftstromerzeuger möglichst leicht beweglich ist (Bild 160/1). Man mißt nun den Abstand l seiner Achse von den Aufhängepunkten. Seine Ruhelage wird aus der Stellung des Haltestabes über der Skale ermittelt. Nach dem Einschalten erfährt das Gerät einen Rücktrieb und kommt nach kurzer Pendelbewegung zur Ruhe. Die neue Stellung des Haltestabes wird wiederum abgelesen und die Entfernung s von der Ruhelage bestimmt.

Auf den Luftstromerzeuger wirken bei diesem Versuch die Schubkraft F_S und seine Gewichtskraft F_G ein (Bild 160/2). Die Richtung der Resultierenden F_R entspricht der Richtung der Aufhängefäden. Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke bestehen die Gleichungen

$$\frac{F_S}{F_G} = \tan \alpha \quad \text{und} \quad \frac{s}{l} = \sin \alpha.$$



160/1 Bestimmung der Schubkraft eines Luftstromerzeugers durch Messen der Entfernung von der Ruhelage



160/2 Kräfte an einem hängenden Luftstromerzeuger

Da $\tan a$ für kleine Werte von a nahezu gleich $\sin a$ ist, kann man setzen

$$\frac{F_s}{F_G} \approx \frac{s}{l}$$

Aus dieser Proportion ergibt sich für die Schubkraft die Näherungsgleichung

$$F_s = \frac{F_G \cdot s}{l}$$

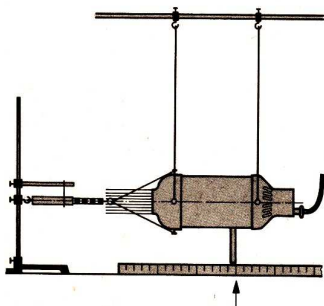
Beispiel:

Bei einem Versuch wurden folgende Werte ermittelt:

$F_G = 36,7 \text{ N}$; $l = 1000 \text{ mm}$; $s = 21 \text{ mm}$. Die Rücktriebskraft F_s des Luftstromerzeugers beträgt demnach $0,8 \text{ N}$.

Variante b

Man kann die Schubkraft auch direkt mit einem Kraftmesser messen. Zu diesem Zweck wird in der oben beschriebenen Versuchsanordnung ein Kraftmesser zwischen dem Luftstromerzeuger und dem vor der Düse befindlichen Stativ mit Hilfe einer Hakenmuffe und einer Schnuröse befestigt. Der Kraftmesser wird so weit gespannt, daß der Luftstromerzeuger in die Ruhelage zurückgezogen wird (Bild 161/1). Schubkraft und Spannkraft der Feder halten sich hier das Gleichgewicht. Bei dem im Versuch benutzten Luftstromerzeuger wurde eine Schubkraft von $0,8 \text{ N}$ gemessen. Dieser Wert entspricht mit hinreichender Genauigkeit dem durch Rechnung gefundenen.



161/1 Messen der Schubkraft eines Luftstromerzeugers mit einem Kraftmesser

Fragen und Aufträge

- 5/1 Die zweite Stufe einer Mehrstufenrakete hat eine Startmasse von 3 t. Der Durchsatz beträgt $50 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Der Treibstoff ist nach 45 s verbraucht. Die Ausströmgeschwindigkeit beträgt $3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Bestimmen Sie Schubkraft und Treibstoffmasse!
- 5/2 Eine einstufige Feststoffrakete soll 30 kg Nutzmasse in eine Höhe von 90 km transportieren. Die Endgeschwindigkeit (Brennschlußgeschwindigkeit) beträgt $3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Die Ausströmgeschwindigkeit wird mit $1800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ angenommen. Bestimmen Sie die Ziolkowski-Zahl nach Tabelle 5/35!
- 5/3 Ein Raumflugkörper soll auf irdische Fluchtgeschwindigkeit gebracht werden. Die Ausströmgeschwindigkeit sei $v_T = 3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Bestimmen Sie die Ziolkowski-Zahl mit dem Diagramm (Bild 109/1)!
- 5/4 Beschreiben Sie, wie die Endgeschwindigkeit der Rakete von den anderen Größen der Gleichung abhängt!
- 5/5 Berechnen Sie den Durchsatz für das Triebwerksystem RD 107/108 bei einer angenommenen Ausströmgeschwindigkeit von $v_T = 3200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$!
- 5/6 Begründen Sie, weshalb Raketen nicht mit Gasen, sondern mit festem bzw. flüssigem Treibstoff betankt werden!

A

Abbildungs-maßstab 12
-schärfe 80
Amateurastronom 5
Antriebstechnik 89
Apogäum 44
Apollo 103
Äquator-koordinaten 67
-system 14, 17
- -, rotierendes 29
- -, ruhendes 30
Astro-graph 21, 76
-kamera 82
-nautik 88
Astronomie, extraterrestrische 10
astronomische Datenwerke 10
atmosphärische Extinktion 9, 36, 70
- Refraktion 9, 38
Aufheizung, aerodynamische 130
Auflösungsvermögen 13, 14, 59, 64
Aufstellung, parallaktische 17
Auftrieb, dynamisch, statisch 106
Ausstiegsmanöver 102
Ausströmgeschwindigkeit 107, 110, 119
Azimut 28

B

Bahnmechanik 105
Baikonur 97, 134
ballistische Rakete 94
Bedeckungsveränderliche 58, 60
Belichtungszeit 70
Beobachtung 5
-, Jupitermonde 49
-, künstliche Erdsatelliten 55
-, Mond 42, 75
-, nächtliche 16

-, Neptun, Uranus 50
-, Planetoiden 50
-, Saturn 50
-, Sonne 36, 73
-, fotografische 19
-, visuelle 6, 18, 27, 84
Beobachtungs-platz 15
-protokoll 18
-zeit 28
Bestimmung der Deklination 57
- der geographischen Breite 56
Bildschärfe 12
Breite, geographische 28
Bremsrakete 130
Brenn-dauer 107, 119
-kammer 91
-kammerdruck 118, 119
-punkt 12
-stoff 120
-weite 12

C

Challenger 102
Chromfilter 14, 37, 57
Copernicus, Nicolaus 49

D

Dämmerung 30
-, astronomische 71
Dampfdruck 91
Datum, julianisches 61
Deklination 29, 58, 71
Distanz 59
Doppelstern 56, 58, 65
Durchgangsinstrument 25
Durchmusterung 10
Durchsatz 107

E

Ekliptik 29
Emulsion, fotografische 19
Endgeschwindigkeit 108, 111
Entfernungsgewinn 11
Epoche 59
Erd-atmosphäre 8, 148
-beschleunigung 114
-inneres 148
-magnetosphäre 148
-oberfläche 148
-satellit, künstlicher 85
Esnault-Pelterie, Robert 91
Extinktion, atmosphärische 9, 36, 70

F

Feldstecher 62
Fern-rohr 6, 11, 21, 59
-justierung 16
-, Kenndaten eines 11
Fernseh-Relaissatelliten 102
Feststofftriebwerk 118
Filmempfindlichkeit 20
Flugzeug 106
Flüssigkeitstriebwerk 118
Fokalbild 73
Fokussiereinrichtung 12
Forschung, biologisch-medizinische 149
-, physikalisch-technische 150
-, terrestrische 148
Forschungs-satelliten 101
-sternwarte 24
Fotografie, Fernrohr- 22, 75
-, Fokal- 21, 75
-, Projektions- 22, 75
fotografische Beobachtung 19, 22
- Emulsion 19, 21
Frühlingspunkt 29
Frühwarnsatelliten 101

G

Gagarin, Juri 102
galaktisch, Äquator 66
-, Nordpol 66
-, Südpol 66
Galilei, Galileo 49
Gasnebel 64
geographische Breite, Bestimmung der 56

- Länge 57
Gerätesektion 145
Geschwindigkeit, Ausström- 108, 119
-, Bahn- 112
-, End- 108
-, Entweich- 115
-, Hyperbelbahn- 116
-, Kreisbahn- 113
-, Parabelbahn- 115
Gesichtsfeld 13
GIRD 93
Glenn, John H. 102
Gnomon 28
Goddard, Robert H. 90, 101, 153
Gravitations-konstante 112
-kraft 112
Grenzgröße 13, 19, 71
Größenklasse 62

H

Hauptreihe 66
Heeresversuchsanstalt 91
Heißluftballon 106
Hellfeldbeleuchtung 80
Helligkeit, scheinbare 42, 64
Helligkeitsschätzung 62
Hertzsprung-Russel-Diagramm 66
Himmels-äquator 29, 71
-aufnahme 6
-beobachtung 6, 70
-karte 23
-koordinaten 59
-kugel 27, 29
-kugel, scheinbare 66
-nordpol 28
-richtung, Auffinden der 34
-südpol 29
Höhe 28
Horizont-ebene 27
-, mathematischer 28
-, natürlicher 28
-system 14, 16, 27

I

Impuls 106
Intelsat 102
Interkosmos-Programm 100
Interkontinentalrakete 94, 97

J

- Jähn, Sigmund 99
- julianisches Datum 61
- Jupitermonde, Beobachtung der 49
- Justierung, wiederverwendbare 18

K

- Kalender, astronomischer 30
- für Sternfreunde 24
- Kamera 20
- Kampfmittel, raketengetriebene 93
- Karten 23
- , Himmels- 23
- , Mond- 24
- , Stern- 23
- Kernschatten 46
- Koma (Komet) 51
- Komet 51, 53, 82
- Kometensucher 52
- Kommandokabine 145
- Konjunktion 46
- Konstellation 46
- Koroljow, Sergej P. 93, 97, 157
- kosmische Strahlung 141
- Kosmonautik 88
- Kosmos 139, 147
- Kosmos-Sarsat-System 143
- Kreisel 89
- steuerung 124

L

- Lande-fähre 102
- system, aktiv 130
- system, passiv 130
- Länge, geographische 28
- Langzeitflüge 99
- Leermasse 107
- Leitstern 79
- lichtelektrisches Verfahren 7
- Licht-kurve 60, 63
- schwächung 9
- stärke 11
- Linsenfernrohr 11
- Luna 98, 132, 134
- Lunochod 98, 102, 134

M

- Massenverhältnis 108

- Materie, diffuse 65
- Mehrfarbenfotometrie 85
- Mehrstufenrakete 89, 111
- Meridian 28
- kreis 26
- Messier, Charles 65
- Meteor 52, 83
- Meteorite 52
- Meteoroide 52
- Milchstraße 66
- militärisch-industrieller Komplex 101
- Mir 104, 107
- Molnija 142
- Mond-bewegung 42
- bild; Apogäum, Perigäum 76
- durchmesser 44
- finsternis 46
- kamera 73
- mobil 98
- oberfläche 45
- Montierung 14, 19
- , parallaktische 37, 78
- Multispektralkamera 99

N

- Nachführhilfen 80
- Nachthimmelslicht 9
- NASA 103
- Nebel 65
- Nutzmasse 107

O

- Oberflächentemperatur 64
- Oberth, Hermann 91, 155
- Objektiv-brennweite 21
- durchmesser 21
- Observatorium 24
- Öffnung 12
- Öffnungsverhältnis 12, 21
- Okular 12, 59
- , Huygens- 22
- revolver 14
- spektroskop 64
- Opposition 46
- optische Veränderliche 60
- Orbitalsektion 145
- Orientierung 27
- Ortszeit, wahre 32
- Oxydator 120

P

Parallaktische Aufstellung 17, 58, 62
Passageinstrument 25
Peenemünde 91
Pendelquadrant 28
Pénumbra 39
Perigäum 44
Periheldurchgang 50
Periode 60
Phasenwinkel 48
physikalische Grundlagen der Raumfahrt 106
Planeten 46
–durchgang 46
–durchmesser 47
–kamera 73
–phasen 48
Polarstern 35, 71
Positionswinkel 43, 59
Prallzerstäubung 155
Prisma 64
Progreß 145
Projektionsschirm 36, 57
Proton 146

R

Radiant 53
Radialkraft 173
Rakete 88, 125
–, Aufbau 128
–, Brems- 125
–, Forschungs- 128
–, Kampf- 127
–, Rettungs- 125
–, Signal- 126
–, Starthilfs- 125
–, Träger- 128
–, Transport- 125
–, Wetter- 126
Raketen-antrieb 90
–antriebstechnik 105
–, Feststoff- 110
–, Flüssigkeits- 110
–gleichung 89
–grundgleichung 108, 152
–prinzip 107
–stufen 97
–triebwerke 105, 117, 126
Raumfahrt-forschung 92, 94
–, geschichtliche Entwicklung der 88

–, Grundlagen der 88
–navigation 89, 105
–technik 89, 105
Raum-fahrzeug 97, 132, 144
–flüge 132
–flugkörper 88, 132
–gleiter 130
–station 132, 146
–transporter 145
Reflektor 11
Refraktion, atmosphärische 9, 38
Refraktor 11, 25
Reisemontierung 78
Rektaszension 29, 58
Riesenast 66
Rotation, differentieller 38
–, gebundene 45
Rotationsdauer, synodische 39
Rückführung von Raumflugkörpern 130
Rückkehr-apparat 130
–flugzeug 130
–kapsel 133
–sektion 98

S

Salut 99, 104, 145, 147
Satellit 132
Satelliten, Erprobungs- 136
–, Forschungs- 136
–, künstliche Erd- 135
–, Nachrichten- 142
–, Spionage- 101
Schleierkühlung 155
Schubkraft 108
–beeinflussung 118
–regulierung 123
Schulfernrohr Telementor 13, 52, 76, 78
Schwärzung 20
Schweif (Komet) 51
Schwerelosigkeit 99
Seeing 10
siderischer Monat 42
Sojus 98, 145
Sonde 132
Sonne 36, 73
Sonnen-aktivität 39
–beobachtung 14, 25
–durchmesser 37
–filter 36, 73
–fleckchen 39, 75
–fleckchenrelativzahl 41, 75

- foto 22
- rotation 38
- spektrum 64
- uhr 32
- zeit 31
- Space-Shuttle 103
- Space-Station 104
- Spektralklasse 59, 64
- Spektrum 64
- Spiegel-fernrohr 11
- teleskop 24
- Spionagesatelliten 101
- Sputnik 97, 101, 104, 136
- Start-masse 107
- schub 97
- Stern-atlas 76
- bedeckung 42
- bild 33
- feld 78
- feldfotografie 77, 81
- haufen 65
- höhe 70
- karte, drehbare 23
- licht, Rötung 85
- spektrum 64
- strichspuren 70
- system 67
- tag 30
- , veränderlicher 25, 60, 83
- zählung 66
- zeit 30, 58
- Steuerung von Raketen 122
- Strahlruder 89
- Strahlungsarten 8
- Strahlungsgürtel 141, 148
- streifende Bedeckung 43
- Strichkreuz-einsatz 14, 60
- okular 59, 79
- Stufenschätzung 52
- Stunden-kreis 29
- winkel 30
- Szintillation 10, 36, 70

T

- Taghimmelshelligkeit 8
- Technische Grundlagen der Raumfahrt 117
- Telemotor (Schulfernrohr) 13, 28, 46, 52
- Temperatur von Sternen 85
- thermochemisches Raketentriebwerk 117
- thermochemische Treibstoffe 120

- Tierkreissternbilder 34
- Trägersysteme 105
- Trägheitsnavigation 124
- Treibstoff, fest 121, 123
- , flüssig 121, 123
- komponenten 91
- masse 107, 108
- Triebwerk-bündel 97
- konstruktion 123

U

- Umbra 39
- Umgebungskarte 62
- Umlaufzeit 114
- Unfallschutz 15

V

- V-2-Rakete 101
- Verbrennungstemperatur 118
- Vergleichssterne 62
- Vergrößerung 12, 59
- visuelle Beobachtung 6, 18, 27
- von Braun, Wernher 91, 101

W

- Wagen, großer, kleiner 35
- Wärmeschutzschild 130
- Weltraum, Erforschung des 89, 105
- , friedliche Nutzung des 105
- , Militarisierung des 105
- , Nutzung des 91
- Winkelmeßinstrument 25
- Winkler, Johannes 91, 154
- Woschod 97
- Wostok 97, 144

Z

- Zander, Friedrich A. 93, 156
- Zeit-gleichung 31
- maße 30, 38
- Zenit 28
- prisma 14
- teleskop 26
- Ziolkowski, Konstantin E. 89, 93, 108, 124, 152
- gleichung 89
- zahl 109
- Zirkumpolarsterne 34
- Zündung 123
- Zusatzeinrichtungen (für Fernrohre) 14

Bild 2. Umschlagseite

Großer Refraktor der Archenhold-Sternwarte in Berlin-Treptow

Das längste Linsenfernrohr der Welt, seit 1967 technisches Denkmal und nach seiner Rekonstruktion wieder benutzbar, wurde anlässlich der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1896 in Betrieb genommen.

Länge des Refraktors: 21,4 m

Objektivdurchmesser: 68 cm

Bild 3. Umschlagseite

Hauptsaal des sowjetischen Flugleitzentrums in Kalinin

Von hier aus werden alle Raumflugunternehmen mit Sojus-Raumfahrzeugen, Progress-Raumtransportern und Salut-Raumstationen geleitet.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Archenhold-Sternwarte/Archiv, Berlin: 7/1. P. Bannow, Schwerin: 158/1. K. Friedrich, Berlin: 13/1, 13/2, 14/1, 21/1, 37/1, 38/1, 48/1, 59/2, 73/1, 77/2, 79/1a, b, 86/1. K. Guhl, Berlin: 83/1. A. Jaeger, Berlin: 65/1. A. Langmach, Fredersdorf: 44/1a, b, c. G. Meyer, Berlin: 90/2. Militärverlag der DDR, Berlin: 127/2, 127/4. Nowosti: 129/2. H. Pietsch, Fredersdorf: 74/1, 82/1. J. Rendtel, Potsdam: 53/1. E. Rothenberg, Berlin: 7/2, 35/1, 72/1a, b. W. Schwinge, Bautzen: 77/1. VVV/Archiv, Berlin: 152/1, 153/1, 154/1, 155/1, 156/1. L. Willmann, Berlin: 97/1, 127/3, 128/1. Zentralbild, Berlin: 2. und 3. Umschlagseite, 126/1a, 134/1, 149/1a, b, c, 157/1.

