Moderne Methoden der beobachtenden Astronomie (Teil 1)

Die Astronomie gilt als die älteste Wissenschaft schlechthin. Beobachtungen der Gestirne haben bei der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft schon immer eine wesentliche Rolle gespielt. Lange Zeit waren astronomische Beobachtungen nur mit bloßem Auge möglich. Beginnend im 17. Jahrhundert führten neue Erkenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Optik und später der Feinmechanik, Messtechnik und Elektronik zur Entwicklung immer besserer Instrumente für die Himmelsbeobachtung.

Die beobachtende Astronomie[1] ist das Gegenstück zur theoretischen Astronomie bzw. Astrophysik. Letztere umfasst z.B. solche Disziplinen wie Himmelsmechanik, Kosmologie (Entstehung des Universums) oder auch Astroteilchenphysik. Zwischen den einzelnen Gebieten gibt es allerdings viele Überschneidungen.

In der beobachtenden Astronomie werden die von den Beobachtungsobjekten (insbesondere Sterne, Planeten, Monde, Asteroiden, Kometen, Gas- und Staubwolken) ausgesandten Strahlungen und Teilchenströme erfasst und ausgewertet. Inzwischen wird das gesamte elektromagnetische Spektrum der Strahlung genutzt, also Radiowellen, Infrarot, sichtbares Licht, Ultraviolett, Röntgen- und Gammastrahlung. Dazu kommt die Auswertung kosmischer Teilchen, wie z.B. Neutrinos sowie in letzter Zeit auch Gravitationswellen.

Mit Hilfe dieser Informationsträger werden Positionen, Entfernungen, Bewegungen und Strukturen von Himmelskörpern erfasst. Weitere Untersuchungen betreffen Leuchtkraft und Strahlungsspektrum der Objekte sowie deren zeitliche Änderung.

Gegenüber anderen Naturwissenschaften hat die beobachtende Astronomie den Nachteil, dass die Beobachtung und Vermessung der Untersuchungsgegenstände nicht unter kontrollierten Laborbedingungen möglich sind. Untersuchungsmöglichkeiten mit direktem Kontakt zum Untersuchungsobjekt gibt es nur bei wenigen relativ nahen Himmelsobjekten. Andererseits können durch beobachtende Astronomie extrem energiereiche Vorgänge untersucht werden, was auf der Erde nicht möglich ist. Bei der Erforschung von Prozessen, die über sehr lange Zeiträume (Jahrmillionen bis Jahrmilliarden) ablaufen, bedient man sich der vergleichenden Beobachtung ähnlicher Objekte in verschiedenen Entwicklungsstadien. Auf weit entfernte, schwer beobachtbare, Objekte lassen sich Rückschlüsse anhand naher Objekte ziehen. Dabei kommt das sogenannte kosmologische Prinzip[2] zur Anwendung, das besagt, dass für ausreichend große Distanzen das Weltall homogen und isotrop ist, d.h. unabhängig vom Standpunkt des Beobachters und seiner Beobachtungsrichtung.

Nach diesen Vorbetrachtungen wird auf eine Auswahl konkreter Beobachtungsmethoden und -ausrüstungen näher eingegangen.

Optische Teleskope[3] waren die ersten vergrößernden Geräte zur Beobachtung von Himmelskörpern. Nach ständiger Vervollkommnung und in einer Vielzahl von Varianten spielen sie auch heute noch eine entscheidende Rolle in der Astronomie. Dabei wurde die anfängliche rein visuelle Astronomie zunehmend durch die Astrofotografie und Auswertung am PC erweitert. Rein visuelle Beobachtungen haben heute nur noch in Amateurkreisen Bedeutung. Nach der grundsätzlichen Bauart unterscheidet man Linsenfernrohre (Refraktoren) und Spiegelfernrohre (Reflektoren). Während bei ersteren das Bild durch eine Kombination von Linsen erzeugt wird, benutzten letztere einen Hohlspiegel als Objektiv in Kombination mit Linsen und weiteren Spiegeln (**Bild 1**).

Heute spielen astronomische Linsenfernrohre außer als historische Vorführobjekte nur noch eine Rolle im Amateurbereich, insbesondere als klassische Einsteigerinstrumente. Folgende Nachteile von Linsenfernrohren haben zur weitgehenden Ablösung durch Spiegelteleskope geführt:

- technische Fertigungsgrenzen für immer größere Linsen und damit begrenzte erreichbare Vergrößerungen
- stark steigende Preise für immer größere Linsen
- aufwändige Beseitigung optischer Farbfehler
- Unhandlichkeit großer Linsenteleskope und hohes Gewicht großer Linsen

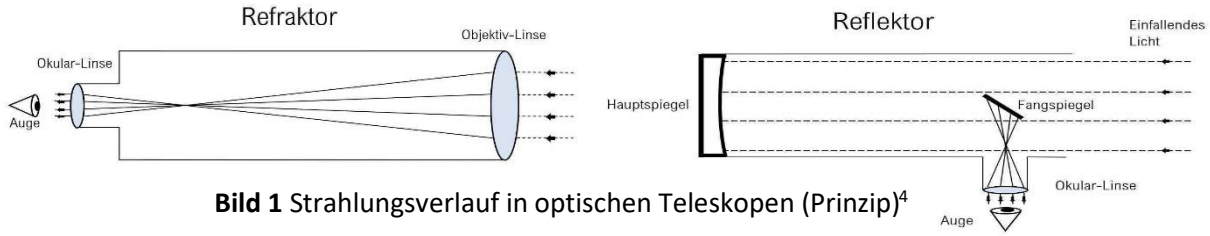

Bild 1 Strahlungsverlauf in optischen Teleskopen (Prinzip)[4]

Teleskope sind in der Regel auf einer sogenannten Montierung angebracht. Diese dient dazu, das Instrument von einem stabilen Standort aus exakt auf das Beobachtungsobjekt auszurichten. Nur bei einfachen Ausführungen erfolgt das von Hand, in der Regel sonst mittels eines computergesteuerten motorischen Antriebes. Diese Nachführung kompensiert die Erddrehung und kann bei geeigneter Ausführung auch zur Verfolgung von Objekten dienen, die sich relativ zum Sternenhimmel bewegen (z. B. Kometen oder Satelliten). Teleskope sind in der Regel mit mehr oder weniger umfangreichem Zubehör ausgestattet. Dazu gehören z.B. verschiedene Okulare und Filter sowie CCD-Kameras.

Je höher die Anforderungen an das Beobachtungsergebnis sind, desto höher sind auch die Anforderungen an den Beobachtungsstandort. Zunächst einmal sollte der Fremdlichteinfall (die sogenannte Lichtverschmutzung) möglichst niedrig sein. Darüber hinaus sollte die Luft möglichst frei von Verschmutzungen und Feuchtigkeit sein. In der Praxis wird das Auflösungsvermögen von Teleskopen sehr stark durch das sogenannte Seeing bestimmt, welches durch Turbulenzen und sonstige Bewegungen in der Erdatmosphäre verursacht wird. Ein mit bloßem Auge sichtbarer Effekt des Seeings ist das bekannte Funkeln der Sterne. Aus den genannten Gründen werden große Teleskope meist fernab von menschlichen Siedlungen in trockenen Regionen auf hohen Bergen errichtet. Beispiele sind die Atacama-Wüste in Chile oder der Vulkan Mauna Kea auf Hawaii. Aber selbst an solchen Standorten setzt das Seeing dem Auflösungsvermögen Grenzen. Wesentliche Fortschritte wurden hier durch die Entwicklung adaptiver Optiken erreicht. Dabei werden deformierbare Teleskopspiegel durch sogenannte Aktuatoren, die in großer Zahl hinter dem Spiegel angeordnet sind, in einer Weise verformt, die optische Fehler wie sie u.a. durch Seeing hervorgerufen werden, ausgleichen. Dieser Ausgleich erfolgt äußerst rasch in einer Größenordnung von 100 Mal pro Sekunde. Damit werden Auflösungen erreicht, die mit der von Weltraumteleskopen, bei denen es ja kein Seeing gibt, vergleichbar sind.

Beispielhaft sind nachfolgend einige besonders leistungsstarke Spiegelteleskope aufgeführt.

Das von amerikanischen Universitäten und der NASA betriebene **Keck-Observatorium**[5] (**Bild 2**) ist Teil des Mauna-Kea-Observatoriums und befindet sich auf dem 4.200 m hohem schlafenden Vulkan Mauna Kea auf Hawaii. Es besteht aus zwei baugleichen Spiegelteleskopen, welche 1993 bzw. 1996 ihren Betrieb aufnahmen. Ihre Hauptspiegel haben Durchmessern von 10 m. Bis 2007 waren sie die größten optischen Teleskope der Welt. Die mit adaptiven Optiken ausgestatteten Teleskope können separat oder gemeinsam betrieben werden und verfügen über eine Vielzahl hochtechnisierter Auswertungs-instrumente. Sie arbeiten im sichtbaren und nahen infraroten Frequenzbereich. Einige wesentliche Forschungsergebnisse waren bisher:

Bild 2 Die Kuppeln der beiden Keck-Teleskope[5]

- Das Auffinden der ältesten und am weitesten entfernten bisher bekannten Galaxien
- Das Aufspüren der ersten extrasolaren Planeten, sowie der Hauptzahl der Exoplaneten insgesamt
- Die Entdeckung des supermassereichen Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstraße

Bild 3 Eines der vier VLT-Teleskope[6]

Das **Very Large Telescope**[6] (VLT - **Bild 3**) gehört zum Paranal-Observatorium, das von der Europäischen Südsternwarte (ESO) betrieben wird. Der Standort befindet sich in der chilenischen Atacamawüste in einer Höhe von 2.635 m. Das Großteleskop besteht aus vier zusammenschaltbaren Einzelteleskopen mit 8,2 m-Hauptspiegeln und arbeitet im sichtbaren bis mittleren Infrarotbereich. Durch adaptive Optiken wird sogar das Auflösungsvermögen des Hubble-Teleskops im Nah-Infrarot-Bereich übertroffen, allerdings nicht im sichtbaren Spektralbereich. Das VLT begann seinen wissenschaftlichen Beobachtungsbetrieb 1999. Bisherige Arbeitsschwerpunkte waren die Entdeckung von Exoplaneten, die Kometenforschung (Experiment „Deep Impact“ 2005 mit Beobachtung des Einschlags einer Sonde auf dem Kometen), die Untersuchung Brauner Zwerge u.v.a.m.

Bild 4 Blick aus dem Inneren der ELT-Kuppel, August 2023[7]

Weitere noch leistungsstärkere Spiegelteleskope befinden sich in der Vorbereitung. Da ist zum einen das **Extremely Large Telescope**[7] (ELT - **Bild 4**) der ESO, das 2027 in Betrieb gehen soll. Die derzeitige Baustelle befindet sich in 3.060m Höhe in der Atacama-Wüste in der Nähe des VLT. Das ELT wird mit einem 39 m durchmessenden Hauptspiegel das weltweit größte optische Teleskop sein und über die fortschrittlichste adaptive Optik verfügen. Wissenschaftliche Zielstellungen betreffen erdähnliche Planeten, die erstmals auch abgebildet werden sollen, Klärung von Fragen zur Natur der Dunklen Materie und Dunklen Energie, Untersuchung von frühen Phasen der Entwicklung von Sternen und Galaxien sowie Erkenntnisgewinn zu Schwarzen Löchern.

Bild 5 Künstlerische Darstellung des fertiggestellten GMT[9]

Ein weiteres Riesenteleskop mit der Bezeichnung **Giant Magellan Telescope**[8] (GMT - **Bild 5**) wird als Bestandteil des Las-Campanas-Observatoriums im Hochland von Chile in 2.380 m Höhe gebaut. Das Projekt läuft in der Verantwortung einer großen internationalen Wissenschaftskooperation und soll 2029 fertiggestellt werden. Das GMT wird mit sieben Primärspiegeln mit je 8,4 m Durchmesser ausgestattet sein. Der effektive Spiegeldurchmesser wird damit 21,4 m (auf die Fläche bezogen) bzw. 24,5 m (bezüglich der Auflösung) betragen und soll gegenüber dem Hubble-Teleskop eine zehnfach bessere Auflösung ermöglichen. Sechs der sieben Spiegel sind inzwischen fertiggestellt. Neben vielen anderen Aufgaben wird die Suche nach außerirdischem Leben zu einem wichtigen Ziel gehören.

Quellen

1	https://de.wikipedia.org/wiki/Beobachtende_Astronomie
2	https://de.wikipedia.org/wiki/Kosmologisches_Prinzip

3	https://de.wikipedia.org/wiki/Teleskop#Teleskope_f%C3%83%C2%BCr_sichtbares_Licht_(optische_Teleskope)
4	https://www.pcpointer.de/astronomie/astronomie-fuer-einsteiger-ratgeber/2/
5	https://de.wikipedia.org/wiki/Keck-Observatorium
6	https://de.wikipedia.org/wiki/Paranal-Observatorium
7	https://de.wikipedia.org/wiki/Extremely_Large_Telescope
8	https://de.wikipedia.org/wiki/Las-Campanas-Observatorium
9	https://www.ohb.de/news/2021/preliminary-design-review-fuer-giant-magellan-telescope-erreicht

Fortsetzung folgt ...