

Stand und Entwicklungstendenzen beim Bau großer optischer Teleskope

Von R. SCHIELICKE, Jena

Mit 4 Abbildungen

1. Einleitung

Bei der Gewinnung von astronomischen Informationen besteht das grundsätzliche Problem, daß die beobachteten Objekte bis auf wenige Ausnahmen einer unmittelbaren Untersuchung nicht zugänglich sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die interessierenden Zustandsgrößen der Objekte aus Informationen zu gewinnen, die aus der Analyse der beobachteten elektromagnetischen Wellen abgeleitet werden können. Bei der Beobachtung vom Erdboden aus ist dabei der Einfluß der Absorption elektromagnetischer Strahlung in der Erdatmosphäre zu berücksichtigen, die neben einigen schmalen Bereichen im nahen Infrarot nur zwei „Fenster“ im sichtbaren (optischen) und im Radiobereich für Messungen zuläßt.

Die meisten Informationen über astronomische Objekte erhalten wir heute noch aus dem optischen Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung, dem sichtbaren Licht, und mit Hilfe erdgebundener Teleskope.

Der Fortschritt bei der Lösung der Forschungsaufgaben im optischen Bereich ist in der Gegenwart durch die Anzahl mittlerer und großer Teleskope begrenzt. Die Astronomen haben Methoden entwickelt, mit denen die Produktivität und Effektivität gesteigert werden können. Die drei prinzipiellen Möglichkeiten zur Lösung sind der Einsatz neuer Teleskope mit größeren Öffnungen, der Einsatz von Detektoren mit höherer Quanteneffektivität und die Automatisierung der Teleskope und Zusatzeinrichtungen. In diesem Beitrag soll ein Überblick über realisierte und geplante Teleskope mit großen Öffnungen für den optischen Spektralbereich gegeben werden.

Teleskope für die optische Astronomie haben die Aufgabe, Beobachtungsobjekte auf Detektoren abzubilden, dabei den Sehwinkel zu vergrößern und gleichzeitig das auf die Teleskopöffnung fallende Licht auf einer kleinen Fläche zu sammeln. Die für diesen Zweck heute eingesetzten größeren Fernrohre sind ausschließlich Spiegelteleskope. Die verschiedenen optischen Bauelemente sind in Rohr- oder Gittertuben angeordnet und werden von Montierungen in der jeweils erforderlichen Lage gehalten und dabei der hauptsächlich durch die Rotation der Erde hervorgerufenen Bewegung der Beobachtungsobjekte durch geeignete Antriebe nachgeführt.

2. Wichtige optische Systeme der Spiegelfernrohre

Der Hauptspiegel bildet ein astronomisches Objekt in seiner Brennebene ab (Primärfokus). Durch einen im Strahlengang angebrachten planen Hilfsspiegel kann der Fokus an den Rand des Teleskoptubus gelegt werden (I. Newton 1671). Die Richtung des Strahlenganges kann durch einen konvexen Gegenspiegel umgekehrt werden, so daß

die Fokalebene hinter dem in der Mitte durchbohrten Hauptspiegel liegt (Cassegrain 1672). Im Cassegrain-System kann zwischen Haupt- und Gegenspiegel ein planer Hilfsspiegel angeordnet werden, so daß der Fokus an den Rand des Rohrs gelegt wird und der Hauptspiegel ohne zentrale Bohrung ausgeführt werden kann (Nasmyth 1851). Wird das vom Hauptspiegel gesammelte Licht mit Hilfe von mehreren Hilfsspiegeln so abgelenkt, daß es durch die Stundenachse der Teleskopmontierung fällt, ergibt sich eine feststehende Fokalebene (Coudé-Fokus, M. Loewy, um 1882), die besonders für die Benutzung großer Zusatzgeräte günstig ist. Alle diese Systeme lassen Beobachtungen nur in unmittelbarer Nähe der optischen Achse zu, das nutzbare Gesichtsfeld hat Durchmesser in der Größenordnung von Bogenminuten und kleiner. Eine Vergrößerung des Gesichtsfeldes ist bei der Anordnung nach Cassegrain möglich durch Verwendung von Spiegeln, deren Profile Flächen höherer Ordnung entsprechen. Dabei lassen sich Gesichtsfelder bis zu einem Durchmesser von etwa 1° ausnutzen (Ritchey-Chrétien 1922). Dieses System setzt sich in den letzten Jahren immer mehr durch, seit der Herstellungs- und Prüfprozeß der deformierten Oberflächen beherrscht wird.

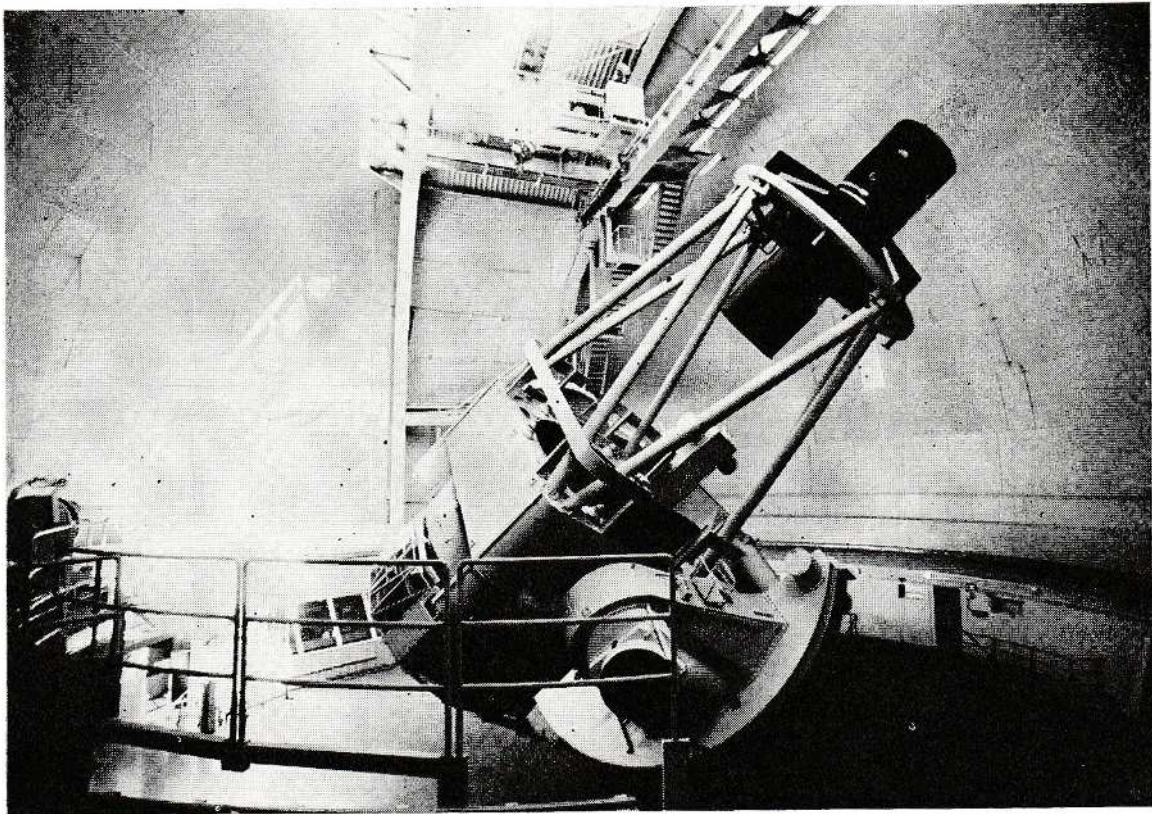


Abb. 1 Das 3,6-m-Spiegelteleskop des European Southern Observatory auf dem Berg Cerro La Silla im nördlichen Mittelchile (Foto: European Southern Observatory)

Für die Abbildung noch größerer Gesichtsfelder mit Durchmessern von einigen Grad wird im Krümmungsmittelpunkt eines Kugelspiegels eine deformierte Platte zur Korrektur sphärischer Abbildungsfehler angeordnet. Das Bild entsteht zwischen Korrektionsplatte und Spiegel auf einer kugelförmigen Fokalfläche, so daß die hier als Detektor verwendete Photoplatte durchgebogen werden muß (B. Schmidt 1932).

Bei der Auswahl des Spiegelmaterials ist die Längenausdehnungszahl α besonders zu beachten, weil astronomische Teleskope einerseits oft relativ schnellen Temperaturänderungen ausgesetzt sind und andererseits dadurch bedingte Form- und Abstandsänderungen zur Verminderung der Abbildungsgüte führen. Die zuerst für Spiegel eingesetzten Glassorten hatten Ausdehnungszahlen von $\alpha \approx 6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Seit etwa 40 Jah-

ren werden Borsilikatgläser (Duran, Pyrex) mit $\alpha \approx 3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ verwendet, und seit 1960 ist es möglich, auch Quarzgläser mit $\alpha = 0,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ als Spiegelmaterial zu benutzen. Nur wenige Jahre später wurde die Technologie der Herstellung von Glas-keramik auch für größere Abmessungen entwickelt und dieses Material für die meisten neuen großen Teleskope eingesetzt. Dieser teilkristalline Werkstoff mit den Handelsbezeichnungen Sitall, Cer-Vit, Zerodur oder Pyrocéram hat eine Ausdehnungszahl von praktisch Null; jedenfalls werden für Einzelmessungen von α an einem Werkstück Werte zwischen $+0,03 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $-0,01 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ angegeben (H. Elsässer [1]).

3. Wichtige Typen von Teleskopmontierungen

Es besteht die Notwendigkeit, die im Teleskoptubus mechanisch gehaltene Optik auf beliebige Orte des Himmels auszurichten. Dazu sind Bewegungen in zwei Koordinaten auszuführen. Herkömmlicherweise wird in Anbetracht der Notwendigkeit der Nachführung des Fernrohrs zum Ausgleich der durch die Erdrotation verursachten Bewegung der Himmelskörper eine der beiden Drehachsen parallel zur Erdachse angeordnet und als Stundenachse bezeichnet. Die Deklinationsachse ermöglicht die Drehung senkrecht zur Stundenachse. In Abb. 2 sind die wichtigsten Montierungen schematisch dargestellt.

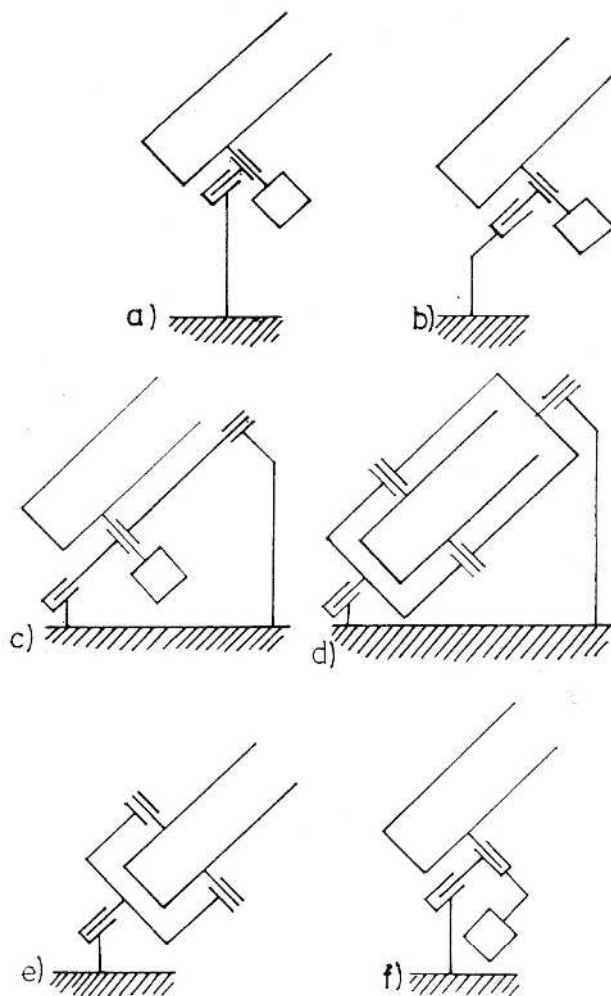


Abb. 2 Die wichtigsten Montierungstypen: a) Deutsche Montierung; b) Kniemontierung; c) Englische Achsenmontierung; d) Englische Rahmenmontierung; e) Gabelmontierung; f) Stützmontierung

Die deutsche Aufstellung geht auf C. Grienberger (um 1620) zurück und wurde von J. Fraunhofer 1825 ausgebildet. Sie hat den Nachteil, daß man einem Stern in bestimmten Teleskoplagen nicht über den Meridian hinaus folgen kann, weil das Okularende an der Montierung anstoßen würde. Zur Vermeidung dieses Nachteils wurde zwischen 1900 und 1910 von der Firma Repsold und bei Zeiss-Fernrohren die Kniemontierung eingeführt. Für größere Teleskope werden die englische Aufstellung (J. Sisson, um 1730), bei der die Achsen- und die Rahmenmontierung unterschieden werden, oder Gabelmontierungen nach W. Lassell (1865) verwendet. Damit bei Teleskopen mit englischer Rahmenmontierung Beobachtungen am Pol möglich werden, ist das obere Lager auch oft hufeisenförmig ausgebildet. 1967 entwickelte A. Jensch [2] für die 2-m-Teleskope des VEB Carl Zeiss Jena die Stützmontierung. Bei ihr ist der Schwerpunkt aus dem Schnittpunkt von Stunden- und Deklinationsachse in den Mittelpunkt des oberen Lagers der Stundenachse, die als Öldrucklagerung ausgebildet ist, verlagert worden, wodurch die Stundenachse nur noch vernachlässigbar kleine Durchbiegungen durch ihr Eigengewicht erfährt. Diese Montierung gewährleistet die unbeschränkte Bewegungsmöglichkeit des Teleskops, einen Coudé-Strahlengang mit nur zwei planen Ablenkspiegeln, hohe Biegesteifigkeit, volle Ausnutzbarkeit des Kuppelfußbodens und bequeme Einstellbarkeit von Azimut und Polhöhe. Im Gegensatz zu diesen äquatorialen oder parallaktischen Montierungen steht bei den altazimutalen oder horizontalen Montierungen eine Achse senkrecht und die zweite horizontal. Diese Aufstellung hat u. a. den Vorteil, daß die Lagerbelastungen in allen Stellungen konstant bleiben.

4. Antriebe und Winkelkodierer

Antriebe und Winkelkodierer bilden Stell- und Meßglieder im Lageregelungssystem astronomischer Teleskope. Es ist erforderlich, die optischen Systeme mit einer Masse von teilweise einigen hundert Tonnen mit einer Genauigkeit von $0,1''$ bis $1''$ auf beliebige Orte am Himmel zu positionieren und das Teleskop der scheinbaren Bewegung der Sterne nachzuführen. Für die Positionierung werden im allgemeinen drei verschiedene Geschwindigkeiten benutzt; die Nachführbewegung muß mit $15'' \text{ s}^{-1}$ erfolgen:

Grobbewegung	$\pm (1 \dots 3)^\circ \text{ s}^{-1} \pm 5\%$
Feinbewegung	$\pm (1 \dots 3)' \text{ s}^{-1} \pm 5\%$
Feinstbewegung	$\pm (0 \dots 5)'' \text{ s}^{-1} \pm 0,1'' \text{ s}^{-1}$
uhrgesteuerter Antrieb	$15 \pm (0 \dots 5)'' \text{ s}^{-1} \pm 0,001'' \text{ s}^{-1}$
Objektverfolgung	programmierbare Feinstbewegung

Über die Entwicklung der uhrgesteuerten Antriebe für Teleskope vom Zentrifugalregulator über astatische Regler bis zur quarz Uhr gesteuerten Nachführeinrichtung berichtete A. Jensch in [3].

Tab. 1 soll den gegenwärtigen Stand der Technik zur Winkelauflösung und Einstellgenauigkeit von Teleskopen charakterisieren. Zusammenfassend kann aus der Literatur abgeleitet werden, daß sich der Schrittmotorantrieb zumindest bei den größeren Teleskopen nicht durchgesetzt hat. Moderne Entwicklungen benutzen schrittgesteuerte Gleichstrommotoren, deren Drehmoment über Stirnradgetriebe auf die Achsen übertragen wird.

Die Einstellgenauigkeit beträgt im allgemeinen $\pm 10''$, hier bildet lediglich das Anglo-Australische Teleskop mit $\pm 2,5''$ eine Ausnahme. Der erste Wert ist für absolute Positionierungen ganz sicher ausreichend, da jede Leiteinrichtung zur manuellen oder automatischen Pointierung einen so großen Fangbereich aufweisen wird. Andererseits folgt aber aus dieser Tatsache, daß auch bei einer quarz gesteuerten Nachführung eine Nachführkontrolle vorhanden sein muß, damit nach dem Positionieren das Objekt auch tatsächlich auf einer Marke, zum Beispiel einem Fadenkreuz, gehalten werden kann.

Tabelle 1 Auflösung der Winkelmeßsysteme und Einstellgenauigkeit von Teleskopantrieben

Institution bzw. Teleskop	Spiegel- durch- messer (m)	Winkelauflösung		Einstell- genauigkeit (")
		(")	absolut	
Kwasan Observatory	0,65	2,5	$1:10^{19}$	
McDonald Observatory	2,73	1,0		
Astrophysikalisches Spezialobservatorium	6,00	0,15	$1:10^{23}$	± 15
Massachusetts Institute of Technology	0,61	0,10		
Tokyo Astronomical Observatory	1,50	0,10		
Anglo-Australian Telescope	3,89	0,05		$\pm 2,5$
European Southern Observatory	3,60	0,05		
Centro Astronómico Hispano-Alemán	3,50	0,05		
VEB Carl Zeiss Jena	2,00	0,05		
Hale Telescope	5,08	0,004		± 10

Zum Zweck des Wechsels zwischen mehreren Beobachtungsobjekten in einem kleineren Feld werden relative Einstellbewegungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1''$ angestrebt.

5. Stand und Entwicklungstendenzen

Eine Übersicht über die Häufigkeitsverteilung realisierter Spiegelteleskope nach den Spiegeldurchmessern D ist in Abb. 3 gegeben, dabei ist bei kleinen D -Werten sicher keine Vollständigkeit erreicht worden. Man erkennt eine Häufung für $180 \leq D \leq 280$ cm und eine weitere im Bereich um 400 cm. Letztere verdeutlicht die von verschiedenen Autoren geäußerte Meinung, daß hinsichtlich astronomischer Leistungsfähigkeit einerseits und technischem Aufwand und damit auch Preis andererseits für Einspiegelteleskope ein Optimum bei etwa 4 m Spiegeldurchmesser liegt. Die Tabellen 2 und 3 enthalten Einzelheiten über die heute arbeitenden bzw. kurz vor der Fertigstellung stehenden größeren Spiegelteleskope. Besonders hervorzuheben ist der schon 1919 nach einer Entwicklungszeit von 13 Jahren fertiggestellte Hooker-Spiegel mit einem Durchmesser von 2,58 m und einer Spiegelmasse von 4,1 t. Dieses Spiegelteleskop wird heute noch für Beobachtungen verwendet.

Aus den Tabellen folgt, daß viele Teleskope in mehreren optischen Systemen genutzt werden können und mit einem Gittertubus ausgerüstet sind. Die Lager für die Stundenachse sind durchweg als Öldrucklager ausgeführt, wobei der Druck zwischen 4 und 6 MPa zu einer Dicke des Ölfilms zwischen 0,05 und 0,13 mm führt.

Die Grenzgröße als wesentlicher astronomischer Parameter eines Teleskops ist vom eingesetzten Detektor abhängig. Die Vergrößerung der Quanteneffektivität der modernen Bildempfänger gegenüber der herkömmlichen Photoplatte kann als Vergrößerung des effektiven Spiegeldurchmessers angesehen werden. In Tab. 4 wird dies am Beispiel des 5-m-Spiegels vorgeführt. Der effektive Spiegeldurchmesser ist dabei als derjenige Durchmesser definiert, den der Hauptspiegel haben müßte, um mit der Photoplatte bei 30 Minuten Belichtungszeit die gleiche Grenzgröße zu erreichen. Seit 1968 kann also mit einer effektiven Öffnung von 16,6 m und seit 1971 sogar mit einer effektiven Öffnung von etwa 40 m beobachtet werden bei einer relativen Steigerung der Quanteneffektivität auf das 10- bzw. 70fache bezogen auf die Photoplatte.

Tabelle 2 Teleskope mit 2—3 m Spiegeldurchmesser

Teleskop Observatorium Ort	Jahr	Spiegel- durch- messer (m)	optische Systeme ^{b)}	Mon- tierung ^{c)}	Tubus ^{d)}	Masse der beweglichen Teile (t)
Karl-Schwarzschild-Observatorium Tautenburg	1960	2,00	S, N, C	G	R	65
Astrophysikalisches Observatorium Schemacha, Aserbaidshan. SSR	1966	2,00	P, Ca, C	St	R	85
Astronomisches Institut der AdW Ondřejov, ČSSR	1967	2,00	P, Ca, C	St	R	85
Astronomisches Nationalobservatorium Roshen, Bulgarien	1979	2,00	RC, C	St	R	
Observatoire de Haute Provence Pic du Midi de Bigorre	1979	2,00	P, Ca	ER(HE)	R	
Otto Struve Reflector McDonald Observatory Mount Locke, Texas	1939	2,03	Ne, Ca	EA		
Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, B. C., Mexiko	1979	2,12	P, RC, C	ER	G	
Kitt Peak National Observatory Kitt Peak, Arizona	1963	2,13	Ca, C	G		
Max-Planck-Institut für Astronomie Cerro La Silla, Chile	1982	2,20				
Centro Astronómico Hispano-Alemán Calar Alto, Spanien	1979	2,20	Ca, C	G	G	72
Mauna Kea Observatory Mauna Kea, Hawaii	1970	2,25	RC, C			
Mount Stromlo and Siding Spring Observatory		2,25				
Steward Observatory Kitt Peak Station Kitt Peak, Arizona		2,30				
Wyoming Infrared Telescope Wyoming Infrared Observatory Jelm Mountain, Wyoming	1977	2,30	Ca	ER	G	
Kitt Peak National Observatory Kitt Peak, Arizona		2,50				
Irenée du Pont Telescope Mount Wilson and Las Campanas Observatories Cerro Manquis, Chile	1977	2,50	RC, C	G	G	
Isaac Newton Telescope Royal Greenwich Observatory Herstmonceux Castle, England ^{a)}	1967	2,50	RC, Ca, C			
Hooker Telescope Mount Wilson and Las Campanas Observatories Mount Wilson, California	1919	2,58	Ne, N, C	ER	G	90
Astrophysikalisches Observatorium Bjurakan, Armenische SSR	1976	2,64	P, N, C	G	G	

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Teleskop Observatorium Ort	Jahr	Spiegel- durch- messer (m)	optische Systeme ^{b)}	Mon- tierung ^{c)}	Tubus ^{d)}	Masse der beweglichen Teile (t)
Astrophysikalisches Krim-Observatorium Simeis, Krim, Ukrainische SSR	1960	2,64	P, Ca, N, G C			
McDonald Observatory Mount Locke, Texas	1969	2,73	Ca, C			

^{a)} 1982 Neuauflistung mit neuem Spiegel am Roque de los Muchachos Observatory, La Palma, Kanarische Inseln.

^{b)} P Primärfokus, Ne Newtonfokus, S Schmidtamera, N Nasmythfokus, Ca Cassegrainfokus, C Coudéfokus, RC Ritchey-Chrétien-Fokus.

^{c)} G Gabelmontierung, ER englische Rahmenmontierung, EA englische Achsenmontierung, A altazimutale Montierung, HE Hufeisenmontierung, St Stützmontierung.

^{d)} G Gittertubus, R Rohrtubus.

Über den Einsatz des 5-m-Teleskops gibt J. B. Oke in [4] einen Überblick. Im Jahre 1973 wurden 70% der nächtlichen Beobachtungszeit für Arbeiten mit Standard-Hilfsgeräten (Cassegrain- und Coudé-Spektrographen, Vielkanalspektrometer, Primärfokusbeobachtungen) verwendet, zwei Drittel dieser Zeit mit modernen lichtelektrischen Wandlern an Stelle der Photoplatte als Lichtempfänger. Die restlichen 30% wurden für Beobachtungen mit speziellen Instrumenten (Infrarot-Photometer, digitale Bildempfängersysteme, SIT-Kamera, scannendes Interferometer) verwendet, insgesamt 10% für IR-Messungen. Daneben wurden an 114 Tagen Tageslichtbeobachtungen ausgeführt (Coudé-Spektrograph, Beobachtungen im fernerem IR und bei 1 mm Wellenlänge), so daß im Winter mehr als 18 Stunden pro Tag gearbeitet werden konnte. Das wirkte sich allerdings negativ auf die Service-Zeit und die Zeit für die Erprobung neuer Hilfseinrichtungen aus.

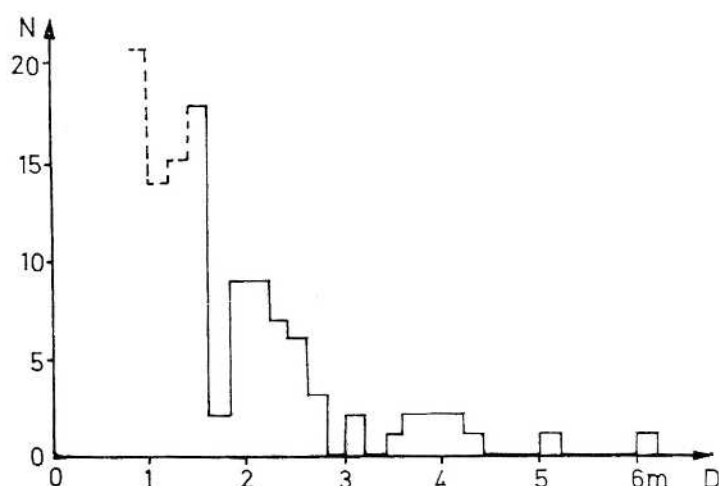


Abb. 3 Häufigkeitsverteilung realisierter Spiegeldurchmesser

Das 6-m-Spiegelteleskop eröffnete eine historische Epoche in der Entwicklung der astronomischen Beobachtungstechnik aus zwei Gründen: erstens, weil es unwahrscheinlich ist, daß jemals ein noch größeres Teleskop mit einem Spiegel für den Gebrauch auf der Erdoberfläche konstruiert werden wird, und zweitens, weil der Erfolg mit der altazimutalen Montierung die Anwendung der schräggelagerten und belasteten Polachse für große Teleskope überflüssig machen wird (B. Lovell, nach [5] und [6]).

Tabelle 3 Teleskope mit mindestens 3 m Spiegeldurchmesser

Teleskop Observatorium Ort	Jahr	Spiegel- durch- messer (m)	Optische Systeme (Brennweite in m)	Montie- rung	Tu- bus	Spiegel- material	Öl- druck (MPa)	Masse bewegl. wick- Teile (t)	Ent- wick- lungs- zeit (a)	Kosten (Mill. \$, Jahr)
NASA-Infrared Telescope Facility Mauna Kea, Hawaii	1979	3,00	Ca(105), C(360)	ER	G	Cer-Vit				
C. Donald Shane Telescope Lick Observatory Mount Hamilton, California	1959	3,05	P(15), Ca(46) C(107)	G	G	Pyrex	5,8	150	20	1,8 (1959)
Centro Astronómico Hispano-Alemán Calar Alto, Spanien	1982	3,50	P(12, 14), RC(35) C(122)	HE	G	Zerodur		225		
European Southern Observatory Cerro La Silla, Chile	1976	3,60	P(11), Ca(29), C(108)	G	G	Quarz		200	23	
Canada-France-Hawaii Telescope Mauna Kea, Hawaii	1979	3,67	P(14), RC(29), C(126)	HE	G	Cer-Vit			15	20 (1973)
United Kingdom Infrared Telescope Mauna Kea, Hawaii	1979	3,80	Ca(34), C(76, 133)	ER	G	Cer-Vit			6	2,7 ^a
Anglo-Australian Telescope Anglo-Australian Observatory Siding Spring Mountain, Australien	1974	3,89	P(13), RC(31), C(140)	HE	G	Cer-Vit				22 (1974)
Nicholas U. Mayall Reflector Kitt Peak National Observatory Kitt Peak, Arizona	1973	4,00	P(11), Ca(32), C(120)	HE	G	Quarz	4,1	300	13	10 (1971)
Cerro Tololo Inter-American Observatory Cerro Tololo, Chile	1976	4,00	P(11), Ca(32), C(120)	HE	G	Cer-Vit	4,1	300	13	10 (1971)
George Ellery Hale Telescope Palomar Observatory Palomar Mountain, California	1948	5,08	P(17), Ca(81), C(152)	ER(HE)	G	Pyrex	4,0	530	20	6,5 (1948)
Astrophysikalisches Spezial-Observatorium Staniza Selentschukskaja, RSFSR	1977	6,00	P(24), N(186)	A	G	Pyrex (Sital geplant)		840	17	

^{a)} Mill. £.

Tabelle 4 Vergrößerung der Reichweite am Hale-Teleskop durch Verwendung moderner Bildempfänger (nach [13, 14])

Jahr	Reichweite (^m)	Δm (mag)	Effektive Empfänger- fläche (m ²)	Effektiver Spiegel- durchmesser (m)	Empfängertyp
	22,4		19,6	5,08	Photoplatte, 30 min belichtet
1968	25	2,6	215,2	16,6	SEC-Vidicon RCA-Isocon
1971	27	4,6	1358,4	41,6	TV-System, 33 min

Für das 6-m-Teleskop war sehr frühzeitig bereits die altazimutale Aufstellung vorgesehen (I. M. Kopylow [7, 8]), die gegenüber jeder Art von äquatorialer Montierung die folgenden wesentlichen Vorteile aufweist:

- relativ einfache mechanische Anforderungen,
- symmetrische und konstante Belastung der vertikalen Achse,
- nur von der Zenitdistanz abhängige Rohrdurchbiegung,
- Ausführung beider Achsenlager als Öldrucklager möglich,
- einfache Konstruktion der Spiegelhalterung,
- die Montierung ist unabhängig von der geographischen Breite des Aufstellungsortes.

Die Nachteile sind:

- beide Achsen müssen zur Nachführung ungleichförmig bewegt werden,
- das Gesichtsfeld rotiert kontinuierlich und
- es existiert eine „tote Zone“ um das Zenit.

Dabei muß festgestellt werden, daß der zuerst genannte Nachteil nicht schwerwiegend ist, da auch äquatorial aufgestellte Teleskope unter Berücksichtigung der Refraktion und anderer Störgrößen ungleichförmig angetrieben werden müssen. Es wird ersichtlich, daß eine digitale Teleskopsteuerung erforderlich ist.

In einem Vortrag in Genf im Jahre 1971 geht C. Kühne [9] auf Antriebssteuerungen für altazimutal montierte Teleskope ein. Dieser frühe Zeitpunkt ist besonders bemerkenswert, da damals lediglich für das sowjetische 6-m-Teleskop eine altazimutale Aufstellung geplant war und sich erst in den letzten Jahren die Ansicht festigte, daß diese Art der Montierung für die größeren Teleskope und vor allem für die Mehrspiegelsysteme auch im Hinblick auf die positiven Erfahrungen mit dem 6-m-Spiegel in der Zukunft eine bedeutende Rolle spielen wird.

Die oben genannten drei Probleme bei der Steuerung altazimutal aufgestellter Teleskope werden unter besonderer Berücksichtigung der nichtlinearen Rotation des Sternfeldes relativ zum Teleskoprohr diskutiert. Bei der Realisierung muß auch dafür die Rechnersteuerung vorausgesetzt werden. C. Kühne gibt sehr ausführlich den Algorithmus für die Auswertung der Sensorsignale einer Nachführkontrolle zur Teleskopsteuerung an und kommt zu dem Schluß, daß trotz erheblicher Probleme in der Zukunft auch kleinere Teleskope altazimutal aufgestellt werden sollten, weil diese Art der Montierung eine Reihe großer Vorteile gegenüber der äquatorialen aufweist.

In den letzten Jahren ist der Bau sehr großer Teleskope wieder in den Vordergrund gerückt. Während auf einer ESO-Konferenz in Genf im Dezember 1977 über „Optische Teleskope der Zukunft“ zunächst Projekte und Vorstellungen über den Bau neuer großer erdgebundener Teleskope erläutert wurden [10], sind auf der Konferenz über „Optische und Infrarot-Teleskope der 90er Jahre“, zu der sich in Januar 1980 auf dem Kitt Peak National Observatory (USA) über 200 Teilnehmer aus 16 Ländern eingefunden hatten, detailliertere Pläne über neue Spiegelfernrohre vorgelegt worden ([11], siehe auch [12]).

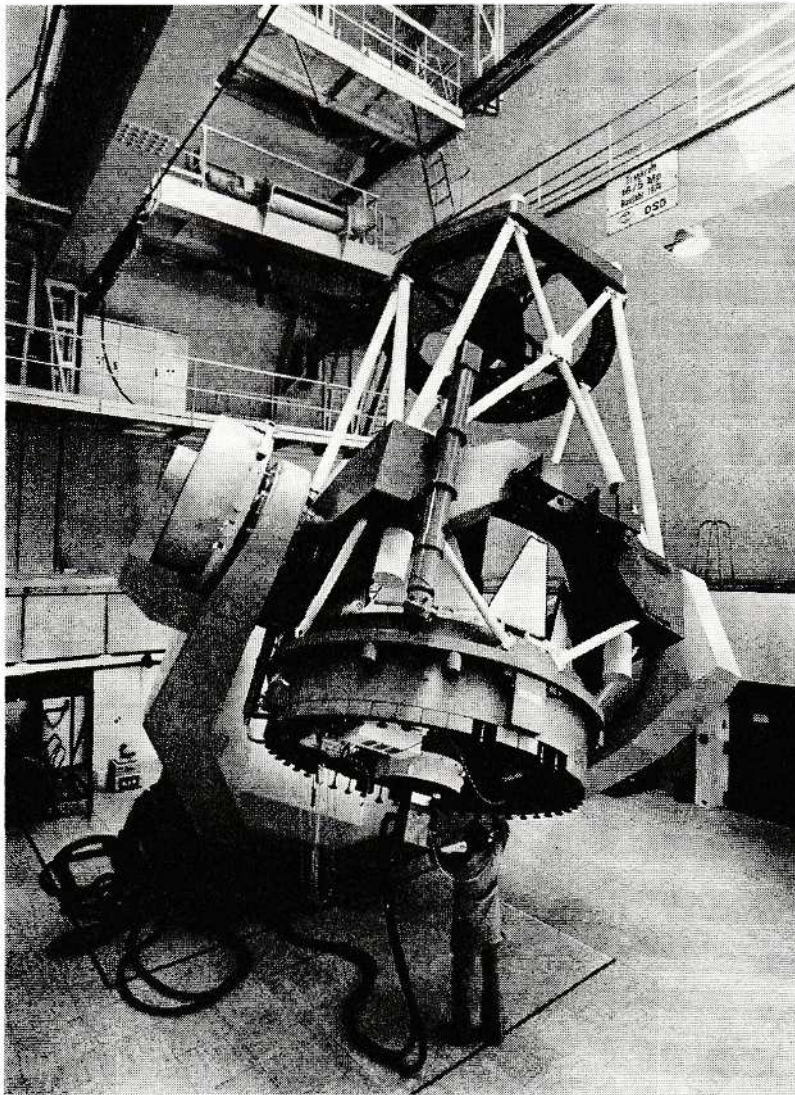


Abb. 4 Das 2,2-m-Teleskop des Centro Astronómico Hispano-Alemán nach der Montage auf dem Calar Alto, Spanien (Foto: Max-Planck-Institut für Astronomie)

Tabelle 5 Projekte erdgebundener Mehrspiegelteleskope für den optischen Spektralbereich mit großen Öffnungen

Institution bzw. Projekt	effektive Öffnung (m)	Konstruktionsprinzip	Preis (Mill. \$)
Multi Mirror Telescope	4,8	sechs 1,8-m-Spiegel	8,5
University of Texas	7	dünner Spiegel	25
University of California	10	Mosaik aus 54 sechseckigen 1,4-m-Spiegeln, 10 cm dick	
Kitt Peak National Observatory MT-2	14	acht 5-m-Spiegel in einer Montierung	
European Southern Observatory	16	Mosaikspiegel aus 18 Segmenten	
UdSSR 3T-25	25	Mosaikspiegel aus 500 hexa- gonalen Elementen	
Kitt Peak National Observatory	25	feststehender Mosaikspiegel	60
Kitt Peak National Observatory	25	sechs 10,2-m-Teleskope als Array	

Bei allen Konstruktionen wird, dem Stand der Technik entsprechend, von einer rechnergesteuerten Altazimut-Montierung, deren Beherrschung heute keine Schwierigkeiten mehr bereitet, ausgegangen. Die vorgestellten Projekte sind in Tab. 5 zusammengestellt. Zum Vergleich ist in Zeile 1 das bereits seit 1979 arbeitende Multi Mirror Telescope mit angeführt.

Insgesamt wird deutlich, daß neben der Entwicklung der nichtoptischen Empfänger und der satellitengetragenen Instrumente auch der Bau erdgebundener optischer Teleskope noch einer ständigen Weiterentwicklung unterliegt.

Literatur

- [1] ELSÄSSER, H.: Arbeitsmittel der optischen Astronomie. *Sterne Weltraum* **18** (1979) 368—376.
- [2] JENSCH, A.: 2-m-Primär-Cassegrain-Coudé-Spiegelteleskop. *Jenaer Rundsch.* **12** (1967) 190—199.
- [3] JENSCH, A.: Uhrgesteuerte Antriebe für Astro-Geräte. *Jenaer Rundsch.* **12** (1967) 182—186.
- [4] OKE, J. B.: Current research programmes at the Hale Observatories. ESO/SRC/CERN Conference on Research Programmes for the New Large Telescopes. Genf 1974. S. 29—34.
- [5] AHNERT, P.: Das sowjetische 6-m-Teleskop. *Kalender für Sternfreunde* 1979. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1978. S. 126—127.
- [6] Das sowjetische 6-m-Teleskop. *Sterne Weltraum* **16** (1977) 92.
- [7] KOPYLOW, I. M.: The Soviet 6 m telescope project. ESO/CERN Conference on Large Telescope Design. Genf 1971. S. 85—98.
- [8] KOPYLOW, I. M.: Diskussionsbeitrag. ESO/CERN Conference on Large Telescope Design. Genf 1971. S. 467—468.
- [9] KÜHNE, C.: On drive controls for altazimuth mountings. ESO/CERN Conference on Large Telescope Design. Genf 1971. S. 453—468.
- [10] PACINI, F.; RICHTER, W.; WILSON, R. N.: Optical Telescopes of the Future. Proceedings of an ESO Conference. Genf 1977.
- [11] HEWITT, A.: Optical and Infrared Telescopes for the 1990's. Kitt Peak Observatory, Tucson, Ariz. 2 Bde.
- [12] SCHIELICKE, R.: Neue optische Riesen-Teleskope geplant. *Sterne* **57** (1981) 117—119.
- [13] DENNISON, E. W.: A high sensitivity TV system as a visual aid for observers. ESO/CERN Conference on Large Telescope Design. Genf 1971. S. 429—435.
- [14] DENNISON, E. W.: A photon counting image recorder. ESO/CERN Conference on Large Telescope Design. Genf 1971. S. 495—499.

Anshr. d. Verf.: Dipl.-Ing. R. SCHIELICKE, Universitäts-Sternwarte, DDR-6900 Jena,
Schillergäßchen 2