

Das lokale Seeing bekämpfen

Die Luftunruhe (englisch: seeing) wirkt sich störend auf astronomische Beobachtungen aus: Sterne und Planeten erscheinen im Teleskop verwaschen. Ein großer Teil solcher Bildunschärfen ist »hausgemacht« und lässt sich durch bauliche Maßnahmen oder durch geschickte Auswahl des Beobachtungsplatzes reduzieren. Wie bekämpfen professionelle Astronomen das lokale Seeing, und was kann ein Amateur tun?

Von **Thomas Eversberg**

Für jeden Himmelsbeobachter – gleich ob Amateur- oder Fachastronom – sind Störungen der Bildqualität durch die Luftunruhe ein ärgerlicher Nebeneffekt: Das so genannte Seeing lässt die vom Teleskop erzeugten Bilder kontrastarm und unruhig erscheinen. Zudem bleibt das theoretische Auflösungsvermögen des Instruments ungenutzt: Ab etwa 15 Zentimeter Öffnung dominiert nicht mehr das theoretische Auflösungsvermögen der Optik, sondern das Seeing-Scheibchen am Himmel. Die störenden Bildunschärfen entstehen durch turbulente Luftzellen mit einer typischen Größe von einigen Metern. Sie verzerren die ebene Wellenfront des von einem Stern kommenden Lichts. Allgemein vergrößern sie den Abbildungsdurchmesser von punktförmigen Lichtquellen, beispielsweise das Beugungsscheibchen eines Sterns.

Um diesen unerwünschten Effekt zu minimieren, stehen den Astronomen mehrere Möglichkeiten offen. Sie können mit Weltraumteleskopen beobachten und ihre Messungen ohne die störende Erdatmosphäre durchführen. Für erdgebunde-

ne Beobachtungen nutzen professionelle Sternwarten adaptive Optiken, welche die durch die Erdatmosphäre gestörte Wellenfront des Lichts korrigieren und so den Einfluss der Luftunruhe beseitigen. Zudem befinden sich solche Observatorien an Orten mit besonders geringer atmosphärischer Luftunruhe, unter anderem auf hohen Bergen.

Für die meisten Amateurastronomen sind diese Maßnahmen im Normalfall leider nicht umsetzbar, hauptsächlich wegen zu hoher technischer Hürden und Kosten. Eine zusätzlich zu dem beschriebenen atmosphärischen Seeing bekannte Störung können Amateurastronomen jedoch für einen relativ geringen Preis deutlich reduzieren: das lokale Seeing. Dies ist derjenige Teil der Luftunruhe, der in unmittelbarer Nähe einer Beobachtungsstation entsteht. Er wird durch das Teleskop und sein Schutzgebäude verursacht.

Eine genaue Untersuchung

Eine umfassende Arbeit zu diesem Thema veröffentlichte der Astronom Lorenzo Zago 1995 an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne. In seiner Dissertati-

on betrachtete er unterschiedliche Seeing-Effekte an verschiedenen Profiobservatorien und lieferte quantitative Analysen, die sich auf Amateursternwarten übertragen lassen. Seine Untersuchungen berücksichtigen auch das so genannte Kuppel-Seeing (siehe Bild rechts). Es wird durch Strukturen innerhalb des Observatoriums verursacht und setzt sich hauptsächlich aus den folgenden Beiträgen zusammen:

- freie Konvektion vom Boden, der wärmer als die Umgebungsluft ist,
- Turbulenzen am Kuppelspalt,
- Spiegel-Seeing von einem Spiegel, der wärmer ist als die umgebende Luft, sowie
- Seeing vom Sekundärspiegel, der wärmer ist als seine umgebende Luft.

Diese Ursachen des lokalen Seeings, die ich in den folgenden Abschnitten näher beschreiben werde, können auch Amateurastronomen wirksam bekämpfen (siehe Kasten S. 78).

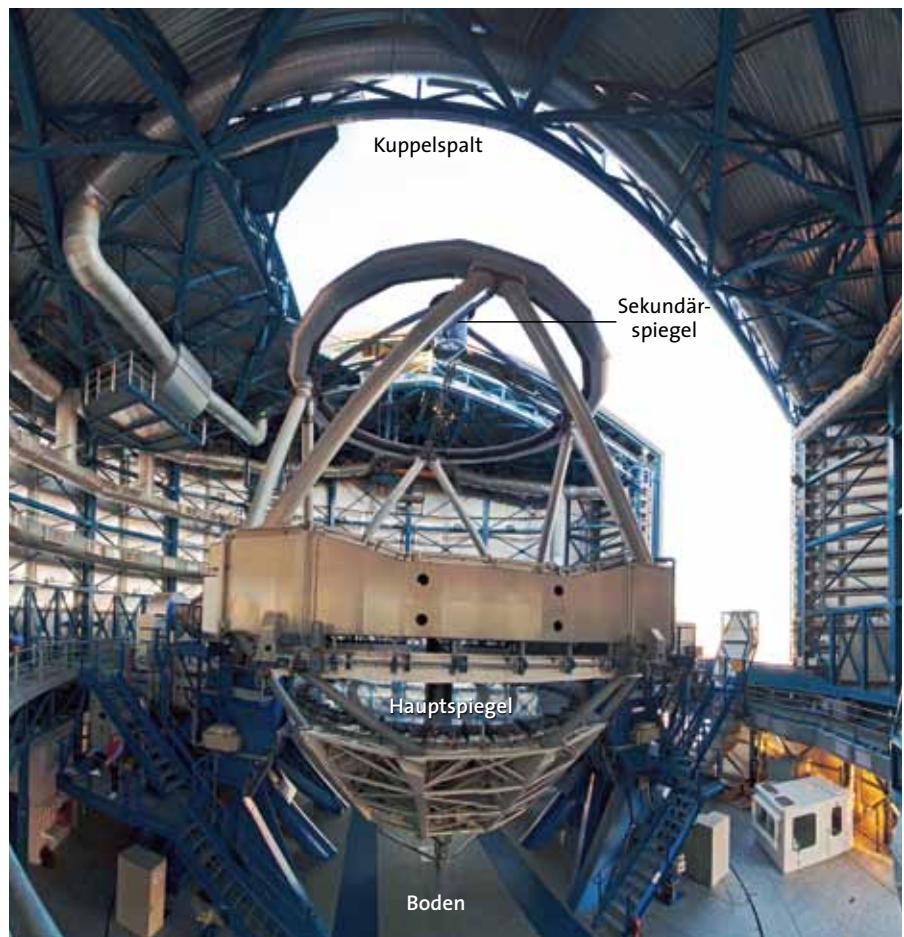
Freie Konvektion vom Boden

Nach dem Bau des Observatoriums der Europäischen Südsternwarte auf dem Berg La Silla in Chile führten die Astronomen



Thomas Eversberg

Bei der Planung einer Sternwarte kommt es neben den Kosten auf die Wahl des Ortes, die Konstruktion und auf das Baumaterial an – denn diese Faktoren entscheiden über die lokale Luftunruhe und damit über die Nutzbarkeit des Teleskops. Eine Arbeitsgruppe errichtete im Bergischen Land die Teleskopgebäude des »Schnörriigen Telescope Science Institute« (STScI).



ESO / B. Tafreshi (twanight.org)

An diesen Stellen innerhalb einer Sternwartenkuppel lässt sich das lokale Seeing durch technische Maßnahmen wirksam reduzieren: am Boden, am Kuppelspalt sowie am Hauptspiegel und Sekundärspiegel des Teleskops.

an verschiedenen Teleskopen Seeing-Messungen durch (siehe Bilder rechts). Dabei erlebten sie eine Überraschung: Das Seeing am 3,6-Meter-Teleskop war deutlich schlechter als das am kleineren 2,2-Meter-Teleskop. Dieses Ergebnis erstaunte, da die Kuppel des 3,6-Meter-Teleskops beim Bau stark überdimensioniert worden war, um durch eine große Distanz zwischen Teleskop und Kuppelspalt störende Windeinflüsse auf die Teleskopstruktur zu vermeiden. Außerdem wurde das Gerät auf ein relativ hohes Gebäude gesetzt, um dem bodennahen Seeing im Außenbereich aus dem Weg zu gehen. Im Gegensatz dazu steht das 2,2-Meter-Teleskop ebenerdig in einer Kuppel mit minimalen Abmessungen im Verhältnis zum Teleskop. Trotzdem war das dortige Kuppel-Seeing signifikant besser.

Ähnlich negative Erfahrungen sammelten die Astronomen am Canada-France-Hawaii-Telescope (CFHT) auf dem Mauna Kea. Das Instrument mit 3,6 Meter Spie-

geldurchmesser ist ebenfalls in einem großen Gebäude untergebracht.

Der alles entscheidende Vorteil des 2,2-Meter-Teleskops liegt im aktiv gekühlten Boden des Teleskopraums. Als man auch den Boden des CFHT kühlte, verbesserte sich das mittlere Seeing von rund 2 auf 0,6 Bogensekunden. Eine Kühlung des Bodens wirkt sich also positiv auf die Luftunruhe im Teleskopraum aus und eliminiert das so genannte Boden-Seeing gänzlich. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für Boden- und Wandisolierungen ohne Ventilation.

Turbulenzen am Kuppelspalt

Eine nicht zu vernachlässigende Quelle störender Luftunruhe sind die bereits erwähnten Windturbulenzen am Kuppelspalt. Sie reduzieren nicht nur die Abbildungsqualität, sondern versetzen das Teleskop auch in mechanische Schwingungen. Hierdurch vermindern sie die Genauigkeit, mit der sich das Gerät auf ein

Himmelsobjekt ausrichten und der Himmelsdrehung nachführen lässt.

Turbulenzen entstehen am Spalt, weil die Luft innerhalb des Kuppelraums größere Geschwindigkeitsfluktuationen aufweist als im Außenbereich. Dabei liegt der typische Durchmesser der Windwirbel – fachsprachlich Turbulenzlänge genannt – in der Größenordnung der Spaltbreite beziehungsweise der Gebäudeöffnung. Dies wiederum ruft oszillierende Druckunterschiede mit einer typischen Frequenz von einem Hertz hervor. Vor allem in engen Kuppeln können solche Schwingungen die Nachführung des Teleskops stören. Dieses Problem lässt sich reduzieren, wenn die Kuppel groß im Vergleich zum Teleskop ist – so, wie es beim 3,6-Meter-Teleskop auf La Silla realisiert wurde (siehe Bild rechts).

Man mag nun argumentieren, dass parallele Wände und große Gebäude mit großen Öffnungen das Turbulenzproblem gänzlich lösen. Beispiele sind die bei Amateurastronomen beliebten Schutzbauten

Natürliches und lokales Seeing

Je größer die Luftunruhe ist, desto mehr erscheint das Bild eines im Teleskop betrachteten Sterns zu einem Scheibchen aufgeweitet. Der in Bogensekunden ausgedrückte scheinbare Durchmesser dieser Sternabbildung wird durch die Halbwertsbreite seines Helligkeitsprofils (englisch: full width at half maximum, FWHM) charakterisiert. Sie beschreibt den Durchmesser der Intensitätsfunktion in Bogensekunden einer durch die Luftunruhe verbreiterten Punktlichtquelle auf ihrer halben Intensitätshöhe (siehe Grafik).

Im Folgenden wird die Halbwertsbreite mit dem griechischen Buchstaben Φ (Phi) bezeichnet. Da sich das Seeing aus verschiedenen Beiträgen zusammensetzt und da es keine Techniken gibt, mit denen sich diese Einflüsse optisch unterscheiden lassen, muss man das natürliche, atmosphärische Seeing Φ_N und das lokale Seeing Φ_L immer gemeinsam betrachten. Sie wirken gleichberechtigt auf das Gesamt-Seeing Φ in Form eines Potenzgesetzes. Es gilt

$$\Phi^{5/3} = \Phi_N^{5/3} + \Phi_L^{5/3}$$

beziehungsweise

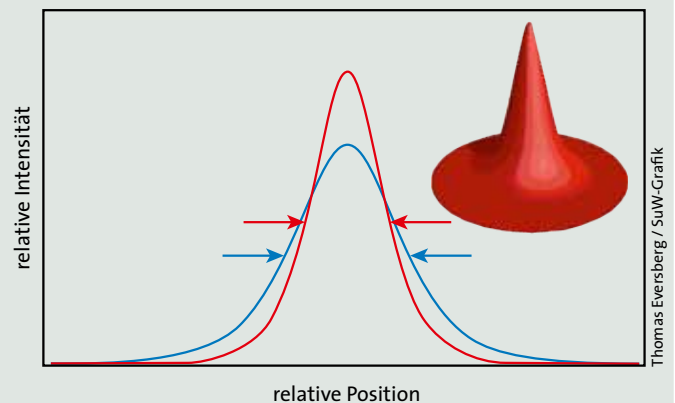
$$\Phi = (\Phi_N^{5/3} + \Phi_L^{5/3})^{3/5}$$

Hieraus folgt, dass sich das Gesamt-Seeing allein schon durch das Verkleinern des lokalen Seeing-Beitrags Φ_L verbessern lässt.

■ **Beispiel:** Wir nehmen Seeing-Beiträge von jeweils vier Bogensekunden an – sowohl für das natürliche als auch für das lokale Seeing: $\Phi_N = \Phi_L = 4$ Bogensekunden. Damit ergibt sich ein Gesamt-Seeing von $\Phi = (4^{5/3} + 4^{5/3})^{3/5}$ Bogensekunden = 6,1 Bogensekunden.

Gelänge es uns nun, den Beitrag des lokalen Seeings auf $\Phi_L = 1$ Bogensekunde zu verringern, so würde sich das Gesamtseeing auf $\Phi = (4^{5/3} + 1)^{3/5} = 4,2$ Bogensekunden verbessern!

Es ist also erstrebenswert, das Seeing dort zu bekämpfen, wo es für Amateurastronomen am einfachsten möglich ist: unmittelbar am Observatorium. Hier leistet das Kuppel-Seeing den Hauptbeitrag zur Luftunruhe.



Dargestellt sind zwei Schnitte durch die Helligkeitsverteilung einer Sternabbildung im Teleskop. Bei geringer Luftunruhe (rot) ist die Kurve schmäler als bei größerer Luftunruhe (blau). Die Pfeile markieren die jeweilige Halbwertsbreite. Zusätzlich ist die räumliche Ansicht einer solchen Helligkeitsverteilung skizziert, deren Form einem Hut ähnelt. Sie wird mathematisch durch eine »Moffat-Funktion« beschrieben, die neben dem Einfluss der Luftunruhe auch die Beugungseffekte der Teleskopoptik berücksichtigt.



Das 3,6-Meter-Teleskop der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf La Silla befindet sich in einer großen, überdimensionierten Kuppel (links), während der Kuppelraum des benachbarten 2,2-Meter-Teleskops (rechts) im Verhältnis zum Teleskop minimale Abmessungen aufweist.

In der Amateurastronomie sind Schutzhütten mit Schiebedach weit verbreitet.



mit Schiebedach. In dieser Konstruktionsweise haben wir vor einigen Jahren am Schnörringen Telescope Science Institute unsere erste Teleskophütte realisiert (siehe Bild S. 77 oben).

Auch auf La Silla gibt es ein Teleskopgebäude mit rechtwinklig zueinander angeordneten Wänden. Es beherbergt das New Technology Telescope (NTT) mit 3,6 Meter Spiegeldurchmesser. Hier stellten die Astronomen allerdings fest, dass bei bestimmten Winkeln zwischen den Gebäudewänden und der Windrichtung die Turbulenzen sogar verstärkt werden können. Abhilfe schaffen Windschirme, die dann jedoch einen signifikanten Mehraufwand bedeuten und nur bei bestimmten Winkeln zur Windrichtung wirken.

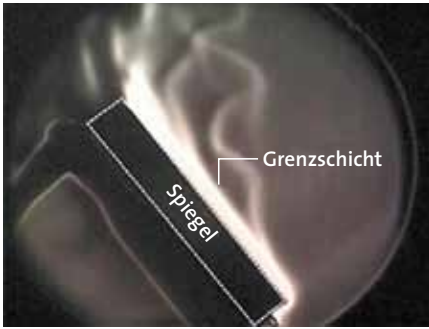
Der Seeing-Beitrag des Primärspiegels

Ein weiterer oft vernachlässigter Beitrag zur lokalen Luftunruhe ist das so genannte Spiegel-Seeing. Doch gerade dieser Einfluss sollte im Fokus aller Betrachtungen zur Qualität des Standorts und Instrumentariums stehen, denn er liefert in der Regel den weitaus größten Anteil am gesamten lokalen Seeing! Die Ursache dieser Störung ist ein Hauptspiegel, der wärmer als die umgebende Luft ist und damit direkt auf der Spiegeloberfläche thermische Turbulenzen erzeugt. Diese Situation ist völlig analog zu einem Kuppelraum, der wärmer als die umgebende Außenluft ist und thermische Turbulenzen am Spalt verursacht. Umfangreiche Untersuchungen von Lo-

renzo Zago lieferten Ergebnisse, die auch Amateurastronomen verwerten können.

Das Spiegel-Seeing spielt sich in einem sehr engen geometrischen Bereich ab: Die weitaus größten Störungen werden durch eine maximal fünf Millimeter starke Grenzschicht über dem Spiegel verursacht (siehe Bild S. 80 oben).

Eine quantitative Analyse ergibt, dass ein Spiegel, der wärmer als seine Umgebung ist, ein zusätzliches Seeing von 0,3 bis 0,4 Bogensekunden pro Grad Celsius liefert. Ist der Hauptspiegel also nur um rund fünf Grad Celsius wärmer als die Umgebungsluft, so verschlechtert sich das lokale Seeing um bis zu zwei Bogensekunden. Gemäß obiger Gleichung wird ein für mitteleuropäische Verhältnisse exzellen-



Über einem warmen Spiegel bilden sich Luftschlieren. Sie liefern den Hauptbeitrag zum lokalen Seeing.

Der erwärmte Sekundärspiegel eines Teleskops erzeugt eine Wärmefahne, die ebenfalls zum lokalen Seeing beiträgt.



tes Seeing von einer Bogensekunde durch einen gegen die Umgebungstemperatur fünf Grad Celsius wärmeren Spiegel um mehr als das Doppelte verschlechtert.

Dieser Effekt ist auch Amateurastronomen bekannt: Beobachtungen am Morgen, nachdem der Hauptspiegel in der Nacht auf die Umgebungstemperatur abgekühlt ist, liefern signifikant bessere Ergebnisse als Beobachtungen am Abend, wenn der Hauptspiegel noch warm ist. Dieses Problem wird von manchen Teleskopherstellern durch Ventilatoren im Tubus berücksichtigt. Verfügt ein Teleskop nicht über solche Ventilatoren, so empfiehlt sich ein nachträglicher Einbau. Anzumerken sei noch, dass bei Spiegeltemperaturen, die um mehr als drei Grad Celsius unterhalb der Umgebungstemperatur liegen, kein Spiegel-Seeing auftritt.

Der Seeing-Beitrag des Sekundärspiegels

Eine weitere, wenn auch schwächere Seeing-Quelle ist der Sekundär- oder Fangspiegel eines Teleskops. Er dominiert mit seiner geringen Größe geometrisch zwar nicht das Gesamtsystem, doch wegen seiner Position im Strahlengang beeinflusst er die Wellenfront des einfallenden Lichts. Ist er wärmer als die Umgebungstemperatur, so steigt über ihm eine Fahne warmer und damit unerwünschter turbulenter Luft auf, welche die Bildqualität vermindert (siehe Bild links).

Man tut also gut daran, auch den Sekundärspiegel mit Hilfe eines Ventilators oder einer anderen Kühlmethode in das Gesamtkonzept einzubeziehen.

Weitere Störquellen

Einige Aspekte, die Lorenzo Zago in seiner umfassenden Arbeit nicht diskutierte, sollten Amateurastronomen bei der Planung einer Sternwarte in Betracht ziehen: das Baumaterial, den Pflanzenbewuchs am Teleskopgebäude und in seiner Umgebung sowie das lokale Klima. Auf die beiden erstgenannten Punkte möchte ich im Folgenden näher eingehen.

■ **Das Gebäudematerial:** Die bisherigen Betrachtungen zum Teleskopraum und dem Instrumentarium lassen sich zwanglos auf das Teleskopgebäude als Ganzes übertragen, insbesondere auf das Baumaterial. Bevor man sich über dieses Thema überhaupt Gedanken machte, waren massive Sandstein- oder sogar Granitbauten



Die Außenwand des Marsh-Dome am Bayfordbury Observatory in Südengland ist mit einer Hecke bepflanzt. Sie reduziert die Aufheizung des Gebäudes, was sich positiv auf das lokale Seeing am Teleskop auswirkt.

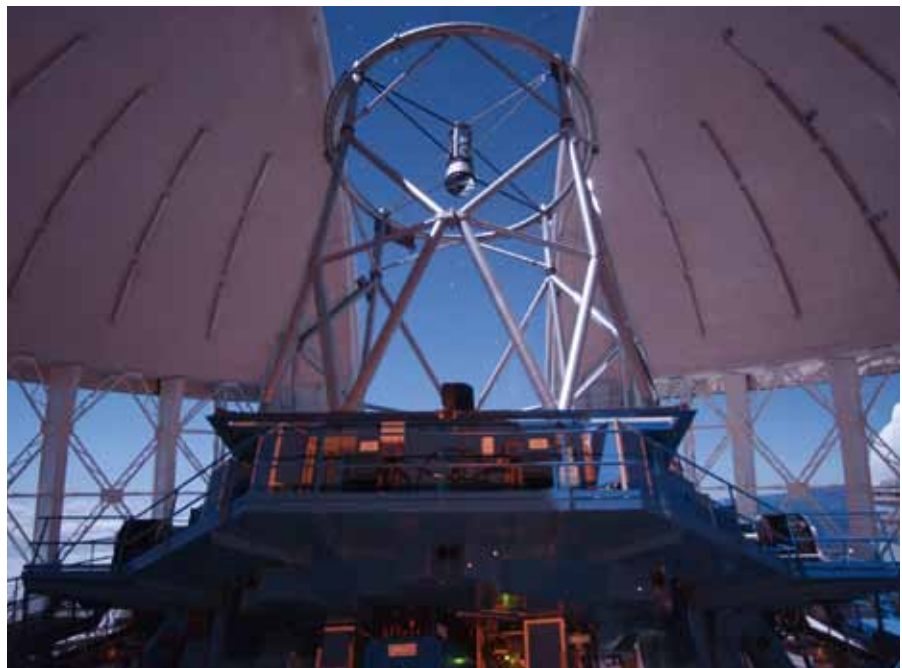
Der Innenraum des Gemini-Observatoriums auf dem Mauna Kea in Hawaii ist mit großen Luken ausgestattet, die eine optimale Belüftung garantieren.

weit verbreitet. Solche Materialien weisen eine hohe Wärmekapazität auf – mit negativen Konsequenzen für den Wärmehaushalt und damit für das lokale Seeing.

Bei der Auswahl der Baumaterialien stößt man auf zwei sich widersprechende Anforderungen. Einerseits soll sich das Innere der Kuppel tagsüber möglichst wenig aufheizen, um nachts das Teleskop und den Teleskopraum möglichst kühl zu halten. Demnach sollten die Wände isoliert sein. Andererseits sollte die tagsüber in der Wand angesammelte Wärmemenge möglichst schnell nach außen geführt werden. Die Wände sollten daher wiederum relativ dünn und nicht isoliert sein.

Die Kunst der Auswahl adäquaten Baumaterials besteht also darin, einen hinreichend guten Kompromiss zwischen den obigen Anforderungen zu finden. Da nur die wenigsten Amateurastronomen über entsprechende Kenntnisse der Bauphysik verfügen, werden Fragen zum Material oft vernachlässigt – und so erging es auch uns am STScI. Doch im Internet findet sich Hilfe: Beispielsweise ermöglicht die Website www.u-wert.net über ein Eingabeformular die Berechnung verschiedener bauphysikalischer und für uns wichtiger Parameter für verschiedene Baumaterialien. Mit einem derartigen Werkzeug können alle relevanten Informationen für Dutzende frei wählbarer Standardmaterialien und Wandstärken grafisch und in Zahlen ausgegeben werden: der Wärmedurchgangskoeffizient in Watt pro Quadratmeter und Grad Celsius, das Kondensat in Kilogramm pro Quadratmeter, die Temperaturamplitudendämpfung, die Phasenverschiebung aber auch der Taupunkt, der Ort des Tauwassers und der Temperaturverlauf.

Für ein eigenes Sternwartenprojekt – einen Teleskopturm mit Kuppel – stellten sich überraschenderweise gebrannte Zie-



gel als überaus vorteilhaft heraus. Allerdings lassen sich ähnlich gute Eigenschaften auch mit wesentlich preisgünstigeren Hohlblocksteinen erreichen, so dass unsere Wahl auf dieses Baumaterial fiel.

■ **Der Außenbewuchs:** Bei einem Gespräch mit den Verantwortlichen am Bayfordbury Observatory in Südengland diskutierte ich vor einigen Jahren die lokalen Seeing-Bedingungen an den dortigen Teleskopen und ihren Kuppeln. Dabei lernte ich, dass eines der sieben permanent installierten Teleskope dauerhaft das beste Seeing liefert. Es ist das Marsh-Teleskop, ein Instrument mit Cassegrain-Optik und 50 Zentimeter Öffnung. Der Grund für das gute Seeing ist ein starker Heckenbewuchs an der Außenwand des Teleskopgebäudes (siehe Bild ganz oben).

Offenbar wirkt die Pflanze temperaturregulierend, indem sie die Aufheizung des Gebäudes durch Sonneneinstrahlung

reduziert. Außerdem stabilisiert sie die lokale Feuchtigkeit – ganz so, wie man es von Innenräumen gut kennt.

Was Sie beachten sollten

Wer einmal an einem professionellen Observatorium arbeiten durfte, wird für Beobachtungen in den urbanen Umgebungen Mitteleuropas nicht mehr viel übrig haben: Zu frustrierend ist der Unterschied zwischen dem für professionelle Observatorien typischen Seeing von bis zu 0,2 Bogensekunden und den in der Regel zehnfach schlechteren Werten für amateurastronomische Beobachtungen. Zwar berichten mir Amateurkollegen oft von dauerhaften Seeing-Werten von einer Bogensekunde am eigenen Teleskop. Auf Grund eigener Erfahrungen und den Tabellen zum astronomischen Seeing auf der Webseite www.meteoblue.com erscheinen mir diese Angaben jedoch zu optimistisch.



An diesem Teleskop mit 80 Zentimeter Öffnung kühlen vier Ventilatoren die Spiegelzelle (links). Für dieses Instrument wurde ein Gebäude mit Sechs-Meter-Kuppel errichtet, das hier in der Bauphase zu sehen ist (oben).

Nichtsdestoweniger sollten Sie bei der Planung eines eigenen Observatoriums auch das lokale Klima berücksichtigen, um ein für hiesige Verhältnisse optimales Ergebnis zu erzielen. Leider sehe ich wiederholt unglückliche Amateurlösungen, die aus meiner Sicht möglichst vermieden werden sollten:

- Abstand zu Häusern: Jede gegen das lokale Seeing gerichtete Strategie ist sinnlos, wenn der weitaus größte Gebäudeteil nicht berücksichtigt wird. Da Häuser sich in der Regel auf das Seeing bis in mehrere Dutzend Meter Höhe auswirken, beeinflussen sie sogar das natürliche Seeing. Also: Weg von den Häusern!

- Das Baumaterial prüfen: Hinsichtlich der Temperaturanpassung (Diffusion) und der Temperaturstabilität (Isolation) sollten Sie sich eingehend Gedanken machen und erst dann unter Berücksichtigung weiterer Randbedingungen wie Finanzen und Standort entscheiden, welches Material in Betracht kommt. Ist das Gebäude auf Grund ungünstiger Baumaterialien erst einmal ein »Wärmespeicher«, so lässt sich dies später mit anderen Maßnahmen, beispielsweise durch eine aktive Kühlung, nur schwer korrigieren.

- Natürliche oder künstliche Hindernisse meiden: Der Schlüssel für ein exzellentes natürliches Seeing ist eine laminare atmosphärische Luftströmung ohne Turbulenzen. Nur so werden turbulente

Zellen vermieden. Dies erklärt zwanglos die guten Seeing-Bedingungen einiger Observatorien in relativ flachem Gelände. Wählen Sie daher einen weiten, freien Platz ohne Hindernisse!

Das Gesamtpaket muss stimmen

Moderne Observatorien berücksichtigen alle Details der Untersuchungen von Zago. Er stellte fest, dass ein belüftetes, ventiliertes Gebäude das lokale Seeing vollständig beseitigen kann. Das Kuppel-Seeing wird generell eliminiert, sobald die Teleskopoptik kühler ist als die Innenluft und die Innenluft wiederum kühler ist als die Außenluft. Dementsprechend finden sich an modernen professionellen Observatorien wie dem Teleskop Gemini auf Hawaii neben aktiven Kühlsystemen auch hinreichend große Luken, die einen optimalen Luftaustausch gewährleisten (siehe Bild S. 81 Mitte).

Des Weiteren stellte Zago fest, dass der Winddurchfluss und damit der Temperatureausgleich bei Gebäuden mit rechteckigem Grundriss effizienter ist als bei Gebäuden mit kreisförmigem Grundriss. Rechteckige Gebäude können aber wiederum störende Turbulenzen verursachen. Auf Grund dieser unterschiedlichen Probleme werden moderne Kuppeln nicht mehr exakt sphärisch gebaut: Ihre Form ist einer möglichst turbulenzarmen Luftströmung geschuldet.

Für einen Amateurastronomen sind diese Ergebnisse durchaus frustrierend: Zwar kann er die Belüftung seines Teleskops noch mit relativ geringen Mitteln umsetzen; doch gekühlte Teleskopräume – sei es mit Ventilatoren oder speziellen Kühleinrichtungen – verursachen zusätzliche Kosten und erfordern zwangsläufig einen separaten Kontrollraum, denn sonst müsste der Beobachter frieren. Ein spezielles Baumaterial kann ebenfalls teuer sein, ganz zu schweigen von Extrakosten für ein Observatorium fernab jeglicher Bebauung. Bereits herkömmliche sphärische Kuppeln sind nicht billig, und Spezialanfertigungen belasten die Finanzen noch höher.

Unser eigener Entwurf

Die obigen Betrachtungen boten die Grundlage für die Planung eines neuen Teleskopgebäudes am Schnörtringen Telescope Science Institute (STScI), dessen Arbeit durch einen gemeinnützigen Förderverein sowie aus privaten Mitteln der beiden Initiatoren finanziert wird. Insbesondere die Anschaffung eines sehr großen Teleskops erforderte genaue Untersuchungen zum lokalen Seeing. Unser Hauptinstrument ist ein professionelles Ritchey-Chrétien-Teleskop mit 80 Zentimeter Spiegeldurchmesser (siehe Bild oben links). Das von dem US-amerikanischen Hersteller DFM Engineering ge-



Am Boden des Teleskopraums wurden Lüftungskanäle verlegt. Dieses Kanalsystem wird später unter einer noch einzubauenden Zwischendecke aus Holz liegen.

fertigte Gerät befand sich zuvor auf dem Wendelstein. Teleskope dieses Typs wurden weltweit bisher mehr als hundertmal installiert. Und da wir unseren Komplex insbesondere dem Nachwuchs als außerschulischen Lernort anbieten wollen, sollte er auch umsichtig geplant sein.

Das Teleskop besitzt hervorragende optomechanische Eigenschaften: eine aktive Optik mit Aktuatoren, einen durch Invar-Elemente temperaturstabilisierten Fokus und eine aktive Ventilator-Kühlung des Hauptspiegels. Um die Nutzbarkeit des Geräts nicht noch weiter zu beschränken, wie es der mitteleuropäische Standort per se schon tut, waren umfangreiche Vorüberlegungen nötig. Sie sollten einerseits die Ergebnisse von Zago berücksichtigen und andererseits zu finanziell realisierbaren Ergebnissen führen. Eine gute thermische Planung war zentraler Bestandteil dieser Betrachtungen. Als Baumaterial für den Teleskopturm kam KLB-Bimsstein in Betracht, der an der Außenseite weiß verputzt wird. Eine sehr günstig angebotene gebrauchte Sechs-Meter-Kuppel krönt den Teleskopturm (siehe Bild S. 82 rechts oben).

Ob eine Hinterlüftung aus isolierendem Holz oder reflektierendem Trapezblech nötig ist und ob eine Innenraumisolierung die thermische Situation verbessert, müssen wir durch weitere Untersuchungen klären. Im Hochsommer liegen, selbst bei direkter Sonneneinstrahlung und ohne

aktive Kühlung, die Temperaturen des Teleskopraums deutlich unterhalb der Außentemperaturen. Die aktive Kühlung des Teleskopraums wird durch einen geräuscharmen Hochdruckventilator der Firma dalap GmbH mit entsprechenden Lüftungskanälen erfolgen. Dieser Ventilator soll im Verbund mit einem verzweigten Rohrsystem im Winter kühle Außenluft durch den Kuppelspalt ansaugen und dann nach außen führen. Wegen der Größe des Teleskopraums von rund 100 Kubikmetern musste der Lüftungskanaldurchmesser 150 Millimeter betragen, so dass sich die gesamte Luft im Teleskopraum in weniger als zehn Minuten abführen lässt (siehe Bild links).

Im Sommer wäre diese Konfiguration wegen der umgekehrten Temperaturverhältnisse – warme Luft außen, kühlere innen – jedoch nicht sinnvoll. Daher wird in der warmen Jahreszeit Umgebungsluft durch mehrere Meter lange Erdkanäle strömen, wobei der Boden sie auf etwa zehn Grad Celsius abkühlt. Die angesaugte Luft gelangt anschließend in den Teleskopraum. Im Unterschied zum Winter, wenn die kalte Luft aktiv über den Kuppelspalt in den Teleskopraum und dann nach außen geführt wird, geschieht die Kühlung im Sommer passiv, mit Hilfe des Kamineffekts, wobei die Luft durch den kühlen Erdboden strömt. Ob zusätzlich Wandlücken für einen verstärkten Luftaustausch eingebaut werden, entscheiden wir nach entsprechenden Seeing-Messungen mit der Ventilationsanlage in Betrieb.

Darüber hinaus erwägen wir, den Boden des Teleskopraumes aktiv zu kühlen, genauso wie beim 2,2-Meter-Teleskop der Europäischen Südsternwarte auf La Silla. Dies ist mit Kühlschlangen, einer Fußbodenheizung und einem Wärmetauscher relativ einfach zu realisieren. Die abgeführte Energie lässt sich dann im Winter zur Heizung des Servicegebäudes und im Sommer zur Aufheizung eines Tanks für Nutzwasser einsetzen.

Die folgenden Fragen sind derzeit noch unbeantwortet:

- Welche Außenverkleidung des Teleskopgebäudes wirkt am besten: isolierendes Holz oder reflektierendes Blech?
- Welchen Beitrag leistet eine hinterlüftete Außenverkleidung des Gebäudes?
- Inwieweit vermag eine aktive Ventilation Defizite bei der Bauplanung, insbesondere bei der Wahl des Materials und der Konstruktion, zu kompensieren?

Zu diesen Punkten gibt es widersprüchliche Aussagen von Fachleuten, so dass der fertiggestellte Teleskopturm vorerst keine Außenverkleidung erhält.

Resümee: Kühlen und lüften!

Man mag an einem Beobachtungsort wunderbare atmosphärische Bedingungen vorfinden. Dennoch kann die innerhalb des Teleskopgebäudes und in seiner unmittelbaren Umgebung entstehende lokale Luftunruhe alles zunichtemachen. Da sie sich aus vielen Störquellen zusammensetzt – unter anderem aus den Einflüssen der Kuppel, der Gebäudewände, und des Teleskops – kann die resultierende Luftunruhe schnell auf einige Bogensekunden anwachsen. So werden gute Beobachtungsbedingungen katastrophal verschlechtert, und die optische Qualität des Teleskops bleibt ungenutzt.

Selbstverständlich hängt der Umfang der Gegenmaßnahmen von den individuellen Bedingungen und Ansprüchen ab. Bei Observatorien professionellen Zuschnitts sind umfassende Überlegungen zum lokalen Seeing unverzichtbar. Doch angesichts der klimatischen Verhältnisse, mit denen Sternfreunde zu kämpfen haben, lohnen sich entsprechende Mühen auch für sie. ☺



THOMAS EVERSBERG ist Astrophysiker und arbeitet beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Er ist Mitgründer des »Schnörringen Telescope Science Institute« (STSci), das mit professionellen Astronomen kooperiert.

Literaturhinweise

Eversberg, Th.: Vom Fundament zur Datenerfassung. In: *Sterne und Weltraum* 1/2009, S. 74 – 80

Moffat, A. F. J.: A Theoretical Investigation of Focal Stellar Images in the Photographic Emulsion and Application to Photographic Photometry. In: *Astronomy & Astrophysics* 3, S. 455 – 461, 1969

Zago, L.: The Effect of the Local Atmospheric Environment on Astronomical Observations. *École Polytechnique Fédérale, Lausanne* 1995

Dieser Artikel und Weblinks im Internet:
www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1378460