

fokussiert



Ronald Stoyan, Chefredakteur



▲ **Titelbild: Die Sonnenkorona und der Neumond in ihrer ganzen Pracht**, fotografiert während der totalen Sonnenfinsternis vom 11.7.2010 vom Tatakoto-Atoll in Französisch-Polynesien. Dieses Foto gehört zu den vielleicht schönsten Bildern dieses Ereignisses, die je entstanden sind, weitere sind ab S. 8 zu finden. Die Aufnahme ist ein Komposit aus 120 verschiedenen Belichtungen mit einem 4,3"-Refraktor bei 640mm, einem 4"-Objektiv bei 1000mm und einem 8"-Ritchey-Chrétien-Teleskop bei 1624mm Brennweite mit Canon EOS 5D-Digitalkameras. *Miloslav Druckmüller, Martin Dietzel, Shadia Habbal, Vojtech Rušin*

Liebe Leserinnen und Leser,

Sonnenfinsternisse sind sicher die beeindruckendsten kosmischen Schauspiele, die wir von unserem Planeten aus beobachten können. Sie haben seit grauer Vorzeit die Menschen fasziniert. Während das Verschwinden der Sonne am helllichten Tag noch vor nicht allzu langer Zeit die Menschen in Angst und Schrecken versetzte, nehmen heute Sternfreunde weite Reisen und große Mühen in Kauf, um Finsternisse selbst zu erleben. In diesem Heft berichten wir ausführlich, welche Erkenntnisse sie der Forschung gebracht haben (Seite 8), unter welchen Bedingungen sie stattfinden (Seite 15), und wo die nächsten zu beobachten sind (Seite 32). Finsternisjäger berichten von ihren Reiseerlebnissen (ab Seite 59), geben Hinweise für gelungene Astrofotos (Seite 50) oder darauf, wie bei eher langweiligen ringförmigen Finsternissen spannende Phänomene zu sehen sind (Seite 54). Unter den vielen Experten, die für dieses Heft zu Kamera und Feder gegriffen haben, stechen zwei ausländische Autoren besonders heraus: Miroslav Druckmüller, dessen Titelbild und Artikel zeigen, dass er zurecht als derzeit bester Finsternisfotograf weltweit gilt (Seite 8) und Fred Espenak, in der Szene gemeinhin als »Mr Eclipse« tituliert (Seite 36).

Am 6.6.2012 werden wir Zeugen eines Ereignisses sein, das wohl kein heute lebender Mensch noch einmal zu sehen bekommt: Den Durchgang des Planeten Venus vor der Sonne. Diesem zu recht mit dem Prädikat »Jahrhundert-Ereignis« versehenem Transit sind in diesem Heft zahlreiche Beiträge gewidmet: Von der Erklärung der komplizierten Periodik, die zu seiner Entstehung führt (Seite 19) über einen Rückblick auf die historischen Beobachtungen im Jahr 1761, als ebenfalls am 6.6. ein Transit anstand (Seite 26) bis hin zu detaillierten Hinweisen für Beobachter, die in die Ferne schweifen (Seite 45) oder lieber von zu Hause aus das Ende des Ereignisses betrachten (Seite 48). Für letztere planen wir außerdem eine Live-Übertragung des in Mitteleuropa sichtbaren Teils – genaueres kann man in den Tagen zuvor auf www.interstellarum.de erfahren.

Zwei traurige Nachrichten müssen wir vermelden: Walter Schwarz, Astronomie-Urgestein aus Nürnberg, der u.a. den letzten Transit für interstellarum fotografierte, und Hilmar Duerbeck, Astronomie-Professor und Popularisator, verstarben während der Arbeiten an diesem Heft. Dass der Artikel zur Historie der Venustransite, eines der Herzensthemen von Hilmar Duerbeck, posthum erscheinen kann, verdanken wir dem Einsatz von Wolfgang Dick, dem wir an dieser Stelle herzlich danken möchten. Die Nachrufe auf die beiden für interstellarum in unterschiedlicher Weise tätigen Venustransit-Enthusiasten finden Sie auf Seite 73.

Clear skies am 6. Juni wünscht Ihnen

Ihr

Ronald Stoyan



36

Hintergrund

- 8 **Im Licht der Korona**
Das goldene Zeitalter der Sonnenfinsternisforschung
- 15 **Saros & Co**
Die Rhythmen der Finsternisse
- 21 **Vorhersagen und Karten**
Der Beginn der modernen Finsterniskartographie
- 26 **Dunstkreis und Tropfen**
Historische Beobachtungen des Venustransits von 1761

Beobachtungen

- 59 **Das Mondgesicht über der Osterinsel**
Eine Reise zur Dokumentation des Finsternismonds
- 63 **In Eis und Schnee**
Beobachtungsreise zur totalen Sonnenfinsternis vom 1.8.2008
- 68 **Fünf Mal Europa**
Ein Projekt mit Studenten zur partiellen Sonnenfinsternis vom 4.1.2011

Praxis

- 32 **Fünf Finsternis-Jahre**
Die besten totalen und ringförmigen Sonnenfinsternisse 2012–2017
- 36 **Mr Eclipse**
Ein Interview mit dem Finsternis-Experten Fred Espenak
- 41 **Wenn der Drache die Sonne verschlingt**
Berechnungen rund um Sonnenfinsternisse
- 45 **Die letzte Chance**
Wohin für den Venus-Durchgang 2012?

Service

- **Rezensionen**
- 72 **Totality**
- 72 **The Transit of Venus**
- 72 **Die Spur des Abendsterns**
- 72 **iPhone-App: EclipseCalc**
- **Nachrufe**
- 73 **Hilmar Duerbeck**
- 73 **Walter Schwarz**
- **Astro-Markt**
- 74 **Gewerbliche Anzeigen**
- 77 **Kleinanzeigen**

- 1 **fokussiert**
- 2 **Inhaltsverzeichnis**
- 80 **Vorschau, Impressum, Leserhinweise**



45

Die letzte Chance



50

Im Mondschatten



68

Fünf Mal Europa

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Im Licht der Korona

8

Das goldene Zeitalter der
Sonnenfinsternis-
forschung



Die Weiterverbreitung ist untersagt.

In Eis und Schnee

63

Beobachtungsreise zur totalen
Sonnenfinsternis vom 1.8.2008



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken.



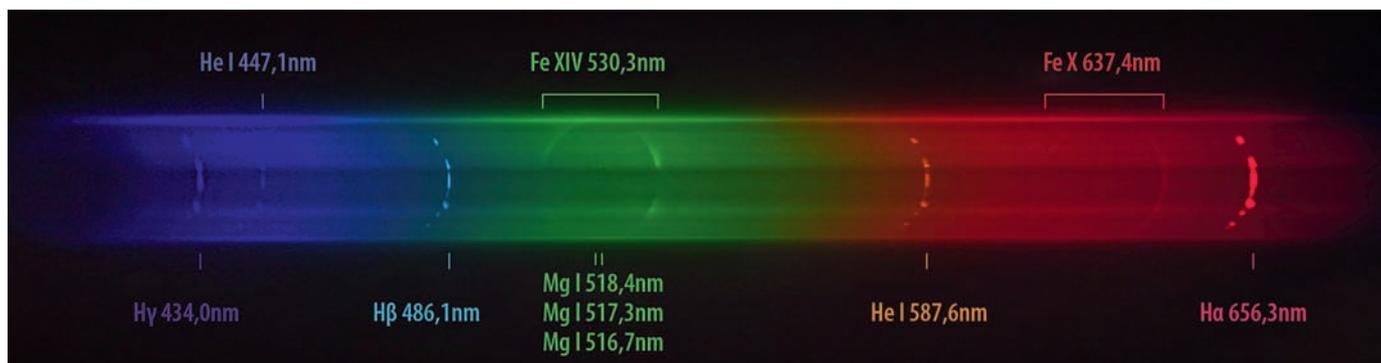
Im Licht der Korona

Das goldene Zeitalter der Sonnenfinsternis- forschung

VON MIROSLAV DRUCKMÜLLER

Der Sonnenaufgang am Morgen und der Sonnenuntergang am Abend gehören zu den wenigen Gewissheiten im menschlichen Leben. Das Verschwinden der Sonne am helllichten Tag muss deshalb für jeden Menschen ohne Kenntnisse über die himmelmekanischen Zusammenhänge bedrohlich sein, weshalb Sonnenfinsternisse in früheren Zeiten Angst und Schrecken verbreiteten. Die Situation änderte sich nur sehr langsam, obwohl die Astronomen das Phänomen bereits lange verstanden hatten. Während des 17. und 18. Jahrhunderts verloren Sonnenfinsternisse allmählich ihren negativen Ruf und in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts begann eine Epoche, die als das Goldene Zeitalter der totalen Sonnenfinsternisbeobachtung bezeichnet werden könnte. Totale Sonnenfinsternisse entwickelten sich nicht nur für gewöhnliche Menschen, sondern in erster Linie für Wissenschaftler zu einem faszinierenden Phänomen. Eine ganze Reihe von Entdeckungen wurde während totaler Sonnenfinsternisse gemacht und selbst heute, im Zeitalter von Raumsonden wie SOHO oder SDO, haben sie ihre wissenschaftliche Bedeutung nicht verloren.

◀ Abb. 1: **Totale Sonnenfinsternis** am 11. August 1999 in Ungarn. Zu Beginn der Totalität (links) erscheinen die Protuberanzen am östlichen, zum Ende der Totalität (rechts) am westlichen Rand.



▲ Abb. 2: **Spektrum der Korona**, aufgenommen mit einem Spektrografen ohne Spalt. Der Spektrograf bestand aus einer modifizierten Canon EOS 5D-Kamera (mit Baader IR-UV-Sperrfilter), einem Objektiv mit 300mm Brennweite und einem Transmissionsgitter (in zweiter Ordnung). Das Spektrum wurde während der totalen Sonnenfinsternis am 11. Juli 2010 auf dem Atoll Tatakoto, Französisch-Polynesien, aufgenommen.

Das Geheimnis der Protuberanzen gelöst

Das goldene Zeitalter der Sonnenfinsternisbeobachtung begann im Jahre 1860 in Spanien. Warren de la Rue und Angelo Secchi, Pioniere der Astrofotografie, verwendeten zum ersten Mal Fotografien, um ein wissenschaftliches Problem bezüglich der Sonne zu lösen. Protuberanzen kannte man seit langem als intensiv rot oder rosa leuchtende Objekte, die vor allem am östlichen Rand kurz nach Beginn und am westlichen Rand kurz vor Ende der Totalität zu sehen waren. Es war in dieser Zeit jedoch nicht bekannt, ob Protuberanzen zur Sonne gehören oder nicht. Es gab verschiedene Hypothesen, zwischen denen es zu entscheiden galt: Entweder waren Protuberanzen Wolken in der Mondatmosphäre, Protuberanzen gehörten zur Sonne oder Protuberanzen waren eine optische Täuschung, hervorgerufen durch die extreme Helligkeit des Sonnenrandes und existierten nicht in der Realität. Fotografien, die von zwei weit entfernten Orten

aus aufgenommen wurden, machten die Entscheidung sehr leicht: Auf den Fotos waren Protuberanzen zu erkennen und so gab keinen Zweifel mehr, dass sie real und keine Illusion waren. Außerdem wurde offensichtlich, dass sich der Mond unabhängig von den Protuberanzen bewegte und sie auf der einen Seite verdeckte, während er sie auf der gegenüberliegenden Seite freigab (Abb. 1).

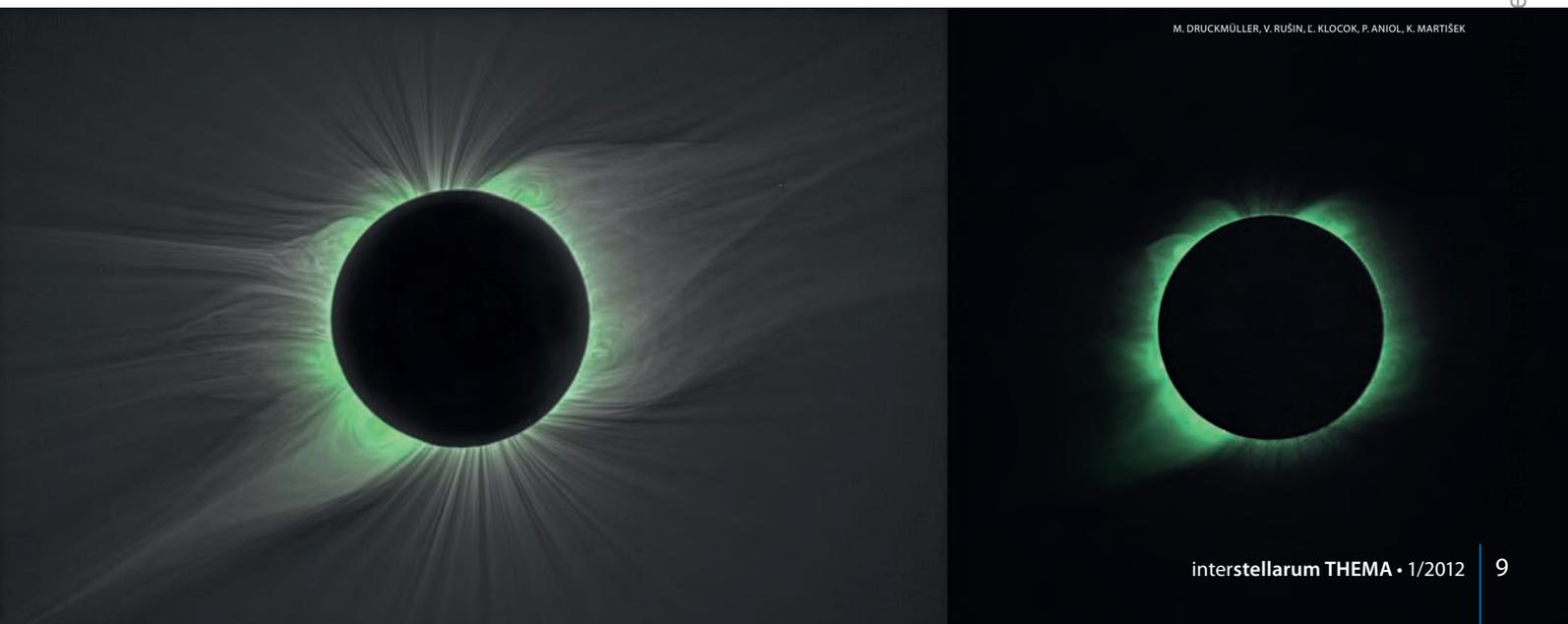
Das Mysterium des Koroniums

Ein langjähriges Rätsel nahm seinen Anfang bei der totalen Sonnenfinsternis von 1869. Charles Augustus Young und William Harkness entdeckten unabhängig voneinander eine Emissionslinie im grünen Bereich (503,3nm) des Koronaspektrums, zu deren korrekter Identifizierung man etwa 70 Jahre brauchte. Die vorläufige Idee von Charles Young, dass Eisen für diese Linie verantwortlich sei, wurde sehr bald auch von ihm selbst abgelehnt. Der Name Koronium für das hypothetische Element, das diese Linie erzeugen sollte,

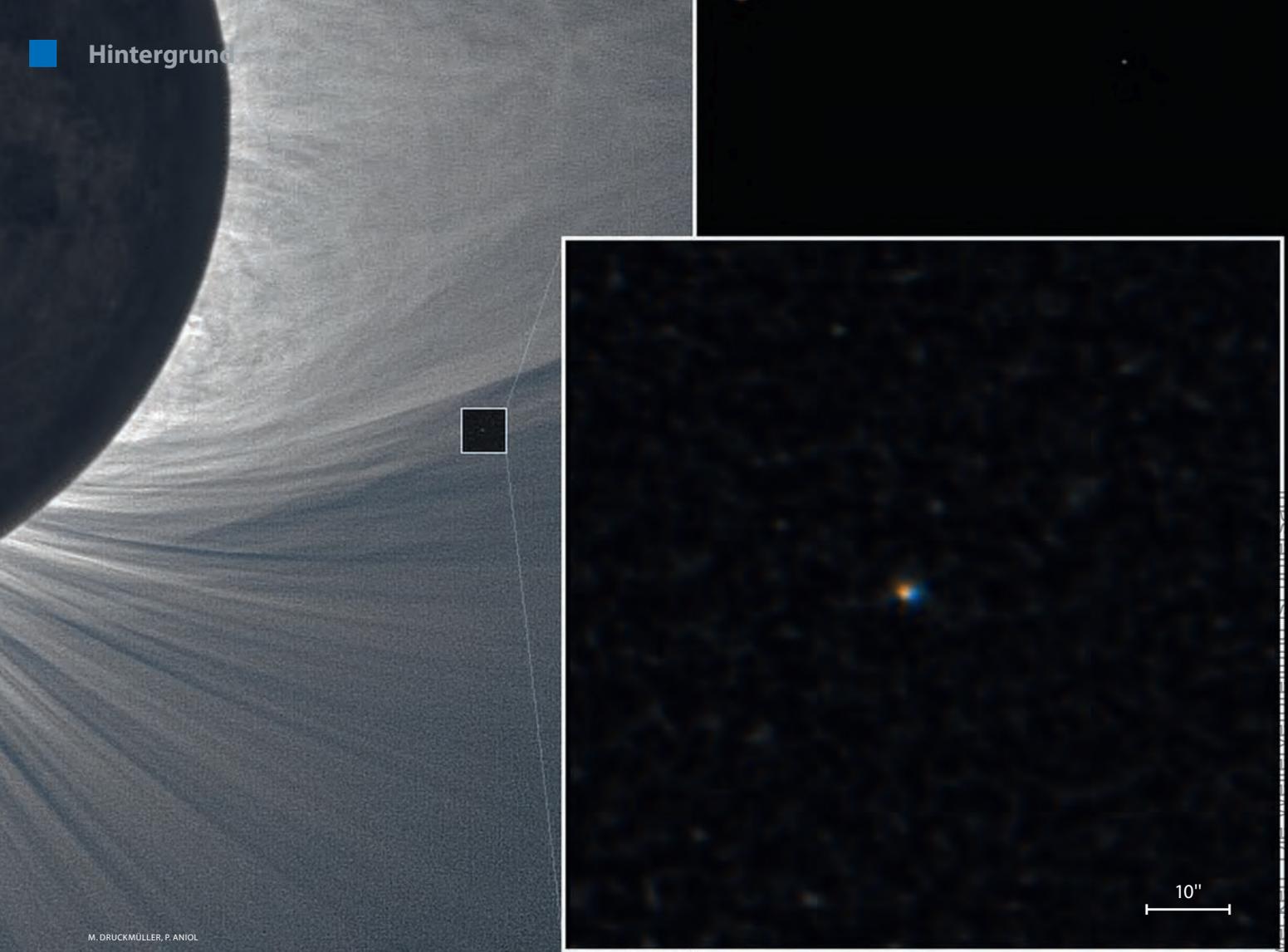
war Ausdruck von Hilflosigkeit und kein ernst gemeinter Name für ein neues Element ohne Platz im Periodensystem der Elemente. Der Name Koronium wurde durch das Element Helium inspiriert, das ebenfalls im Sonnenspektrum gefunden und später im Labor identifiziert wurde. In den 1930er Jahren wurde das Geheimnis um das Koronium schließlich von Walter Grotrian und Bengt Edlén gelöst. Allerdings warf die Identifikation als Linie des 13-fach ionisierten Eisens Fe XIV ein neues, noch größeres und länger anhaltendes Problem auf, als es das von Koronium selbst gewesen war. Zur Bildung von Fe XIV müssen Temperaturen von 1,8 Millionen Kelvin (im thermischen Gleichgewichtszustand) herrschen. Diese Zahl ist schockierend, vor allem wenn man bedenkt, dass die Temperatur der Photosphäre (Oberfläche der Sonne im sichtbaren Licht) etwa 6000K beträgt. Der Prozess der koronalen Heizung ist bis heute nicht vollständig verstanden.

Es ist relativ leicht, das »Koronium« während der totalen Phase einer

▼ Abb. 3: **Korona im Weißlicht** mit überhöhter Intensität der Fe XIV-Emission (links). Das Bild rechts zeigt nur die Fe XIV-Emission. Totale Sonnenfinsternis 2008 in der Wüste Gobi, Mongolei.



M. DRUCKMÜLLER, V. RUŠIN, E. KLOČOK, P. ANIOL, K. MARTIŠEK



▲ Abb. 4: **Verschiebung der Sternpositionen** im Gravitationsfeld der Sonne. In blau sind die Sternpositionen während, in orange diejenigen außerhalb der Sonnenfinsternis dargestellt. Totale Sonnenfinsternis vom 22. Juni 2009, Atoll Enewetak, Marshall-Inseln.

Sonnenfinsternis zu beobachten, man braucht dazu keine allzu komplizierte Ausrüstung. Man benötigt nur ein Prisma oder Beugungsgitter, das vor dem Kameraobjektiv befestigt wird. Dieser sehr einfache Spektrograf hat keinen Spalt, weshalb man viele Bilder der Korona an den Stellen im Spektrum bekommt, die den Wellenlängen der verschiedenen Spektrallinien entsprechen (Abb. 2). Das grüne Bild, das von der Fe XIV-Linie stammt, ist deutlich sichtbar. Wenn man das Spektrum sorgfältig studiert, findet man eine weitere Eisen-Linie im roten Teil des Spektrums: Fe X, das bei Temperaturen von »nur« etwa 0,9 Millionen Kelvin entsteht. Alle anderen Linien, die im Spektrum markiert sind, entstehen in der Chromosphäre und werden von neutralen (nicht ionisierten) Atomen erzeugt.

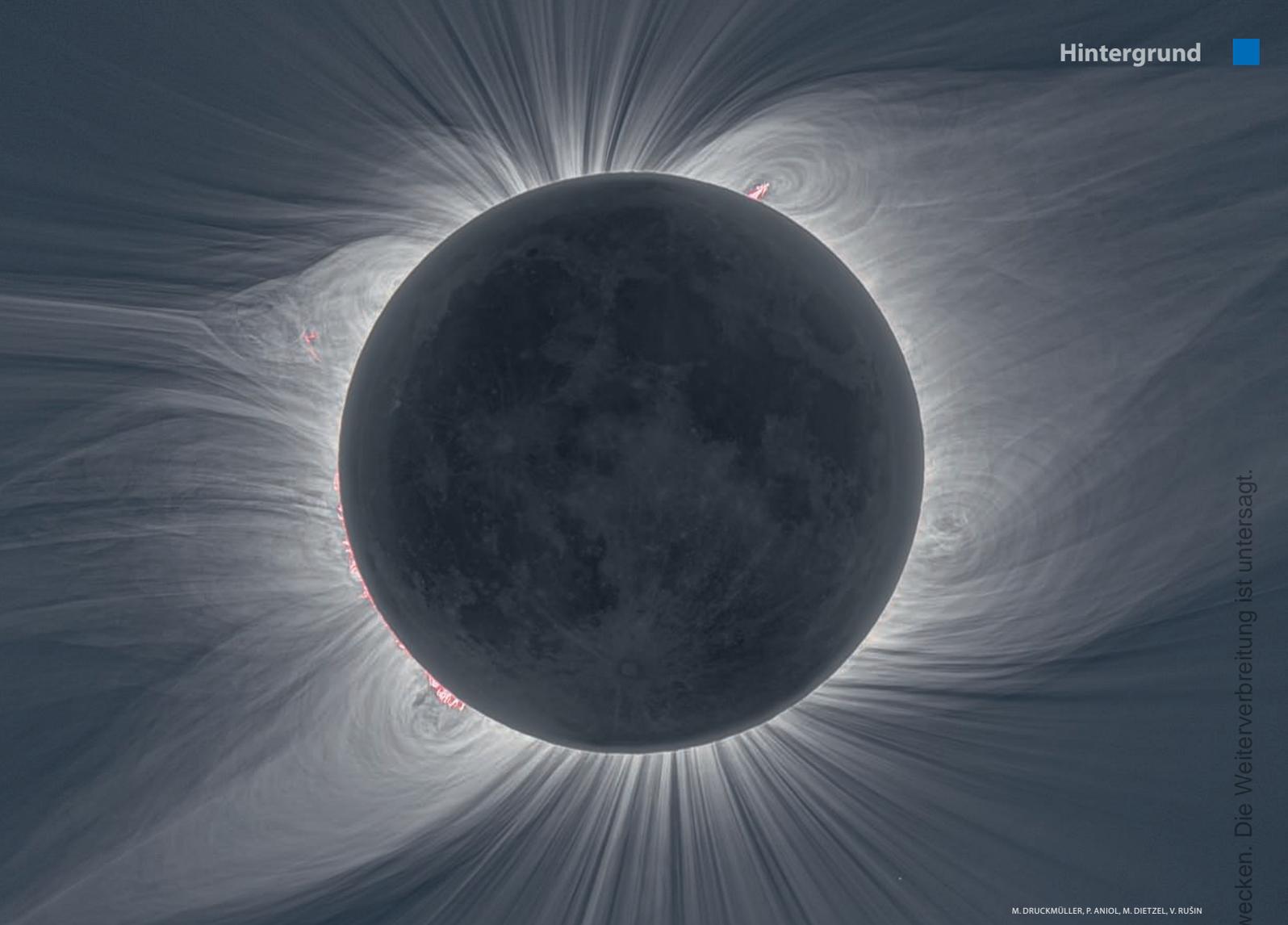
Schmalband-Filter ermöglichen es, die subtile Emission von Fe XIV von anderem koronalen Licht zu isolieren und so detaillierte Bilder zu erzeugen, die heißes Plasma in der inneren Korona zeigen (Abb. 3). Die Aufgabe ist nicht so einfach wie bei der Deep-Sky-Fotografie mit

schmalbandigen Filtern. Selbst ein sehr enger Schmalband-Filter ist nicht in der Lage, die Linie aus dem Licht des Kontinuums – weißes Licht der Photosphäre, das an freien Elektronen gestreut wird (s.u.) – zu isolieren. Deshalb werden zwei Aufnahmen benötigt: Eine Aufnahme wird bei der Wellenlänge der Emissionslinie und die zweite außerhalb der Linie gewonnen. Die endgültige Aufnahme erhält man, indem man die zweite Aufnahme von der ersten subtrahiert. Schließlich setzt man mehrere solcher Bilder mit unterschiedlichen Belichtungszeiten zusammen, um dem hohen Kontrast in der innersten Korona Rechnung zu tragen.

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie

Die allgemeine Relativitätstheorie, die von Albert Einstein im Jahre 1915 veröffentlicht wurde, war ein revolutionärer Schritt nach vorne in der Physik und wurde deshalb nicht einfach akzeptiert. Die Theorie konnte z.B. die Präzession des Perihels von Merkur erklären, aber

weitere Beobachtungen, die die Vorhersagen der Theorie untermauerten, waren notwendig, um die wissenschaftliche Gemeinschaft zu überzeugen. Die Behauptung der allgemeinen Relativitätstheorie, dass die Gravitation Licht beugt, führte zu der Idee, dass das Licht von Sternen, das an der Sonne vorbeigeht, von ihr abgelenkt würde: Die Sonne wirkt dabei wie eine große Lupe, die die Positionen der Sterne in Richtung vom Sonnenzentrum nach außen verschiebt. Änderungen in der scheinbaren Position von Sternen am Himmel, die man nahe der Sonne während einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet, könnten Einsteins Ideen bestätigen. Deshalb erwartete man die totale Sonnenfinsternis von 1919 mit großer Spannung. Das Prinzip der Beobachtung ist einfach, aber die nötige Präzision zu erreichen ist schwierig: Man muss während einer totalen Sonnenfinsternis Aufnahmen der Sterne nahe der Sonne gewinnen, dann mehrere Monate warten und Aufnahmen desselben Himmelsbereichs bei Nacht machen. Der Vergleich der Aufnahmen würde die Messung einer



M. DRUCKMÜLLER, P. ANIOL, M. DIETZEL, V. RUŠIN

▲ Abb. 5: **Diese Kompositaufnahme** der totalen Sonnenfinsternis von 2008 über der Wüste Gobi in der Mongolei zeigt besonders eindrucksvoll die feinen Strukturen in der Korona, die vom Magnetfeld verursacht werden.

Verschiebung der scheinbaren Sternpositionen durch das Gravitationsfeld der Sonne ermöglichen. Das Problem ist, dass die von Einstein vorhergesagte Verschiebung nur 1,75" für einen Stern in der Nähe des Sonnenrandes beträgt. Deshalb wurden Verschiebungen von 1" oder auch nur Bruchteilen einer Bogensekunde bei den Abständen erwartet, bei denen die Helligkeit der Sonnenkorona es erlaubt, Sterne zu beobachten. Die Beobachtungen, die im Jahre 1919 bei der totalen Sonnenfinsternis von Arthur Eddington und seinen Mitarbeitern durchgeführt wurden, waren erfolgreich und die gemessenen Verschiebungen bestätigten Einsteins Vorhersage. Die Bekanntgabe der Ergebnisse in London am 8. November 1919 machte Albert Einstein auf einen Schlag zum berühmtesten Wissenschaftler der Welt. Jetzt, mehr als 90 Jahre später gibt es viel mehr sehr präzise Daten, die die allgemeine Relativitätstheorie bestätigen, jedoch vom historischen Standpunkt aus gesehen war die Sonnenfinsternis von 1919 ausschlaggebend für die Akzeptanz von Einsteins Theorie, obwohl Diskussionen über die

Richtigkeit und Präzision von Eddingtons Beweis immer noch anhalten.

Es ist selbst mit heutiger Spitzentechnologie nicht leicht, Einsteins vorhergesagte Verschiebung der Sterne bei einer totalen Sonnenfinsternis zu messen. Der Grund dafür ist, dass das Seeing während des Tages in der Regel viel schlechter ist als in der Nacht und es deshalb ein großes Problem ist, Auflösungen im Subbogensekundenbereich zu erzielen. Abb. 4 demonstriert, wie groß, besser gesagt wie klein die Verschiebung ist. Die Aufnahme zeigt keine echte Wiederholung des Experiments von Eddington, da zur geometrischen Kalibrierung ein Sternkatalog mit sehr genauen Sternpositionen benutzt wurde. Die Daten der Aufnahme wurden mit 2m Brennweite und einer 37 Megapixel-Kamera mit einem 4,5cm × 6cm großen Chip gewonnen. In orange sind die Positionen der Sterne ohne Sonnenfinsternis dargestellt, in blau die Positionen während der Finsternis. Die Verschiebung ist so klein, dass es wie die chromatische Aberration der zur Aufnahme verwendeten Linse aussieht.

Ist es möglich, das Magnetfeld der Sonne zu sehen?

Natürlich ist die Antwort nein. Allerdings ist es möglich, das Magnetfeld mittels eines geeigneten Hilfsmittels sichtbar zu machen. In einem beliebigen Schulexperiment werden die Kraftlinien des Magnetfeldes mit Hilfe von Eisenfeilspänen erkennbar, die auf ein Blatt Papier gestreut werden unter dem ein Magnet liegt. Elektronen in der Sonnenkorona können zu demselben Zweck benutzt werden. Unsere Sonne besteht hauptsächlich aus Wasserstoff, der in der Sonnenkorona vorwiegend ionisiert ist in freie Protonen und Elektronen. Während einer totalen Sonnenfinsternis wird die Photosphäre, aus der das sichtbare Sonnenlicht stammt, vom Mond verdeckt. Deshalb muss jedes Photon des sichtbaren Teils des Spektrums, das während der totalen Sonnenfinsternis zu uns kommt, an einigen Teilchen in der Sonnenkorona gestreut werden. Diese Teilchen sind vor allem Elektronen, weil Protonen viel kleinere Wahrscheinlichkeit haben, Licht zu



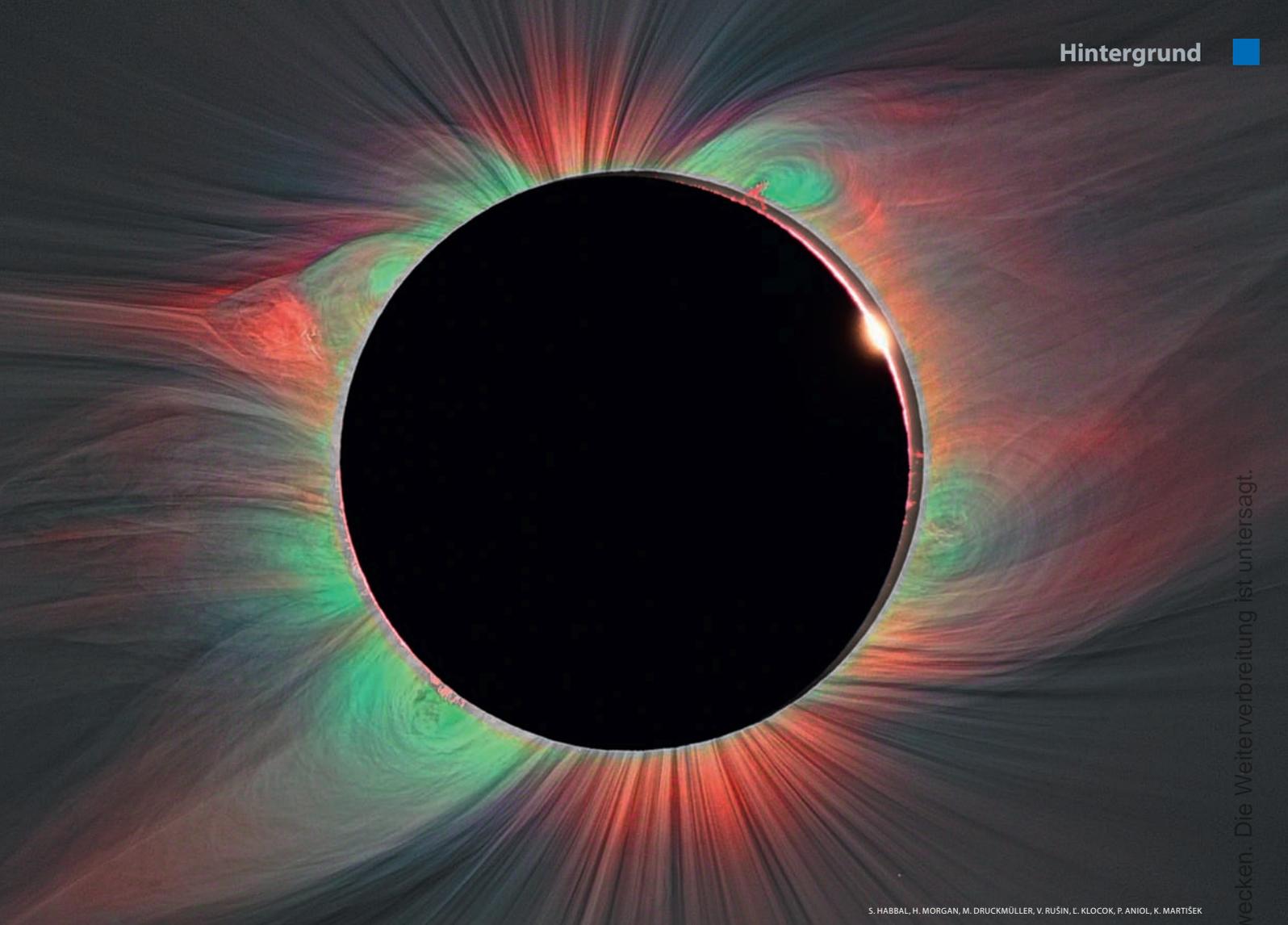
S. HABBAL, H. MORGAN, M. DRUCKMÜLLER

▲ Abb. 6: Die Emission des zehnfach ionisierten Eisens Fe XI, die für das menschliche Auge unsichtbar ist, erscheint in der Aufnahme der totalen Sonnenfinsternis von 2006 in Libyen in roter Farbe.

streuen: Der Streuquerschnitt eines Protons ist etwa 3,3 Millionen Mal kleiner als der eines Elektrons. Elektronen werden wie alle geladenen Teilchen gezwungen, sich auf schraubenförmigen Bahnen entlang der Magnetfeldlinien zu bewegen. Der typische Durchmesser der Bahnen reicht von einigen Zentimetern bis zu mehreren hundert Metern, was aber für einen Beobachter auf der Erde nicht messbar ist. Deshalb bewegen sich die Elektronen von der Erde aus gesehen genau entlang der Feldlinien und machen sie so sichtbar. Da das Licht, das uns von der Korona erreicht, aus der Photosphäre stammt und an den Elektronen der Korona gestreut wurde, stellt ein Bild der Korona, das man fotografiert oder beobachtet, ein Magnetfeldbild der Korona dar. Die Strukturen, die während einer totalen Sonnenfinsternis selbst mit den Augen erkennbar sind, kann man jedoch nicht so einfach in einem Foto festhalten. Der enorme radiale Helligkeitsgradient in der Sonnenkorona macht die Abbildung der Korona im weißen Licht zu einer sehr komplizierten Aufgabe. Abb. 5,

die während der Finsternis 2008 in der Wüste Gobi gemacht wurde, zeigt die feinen Strukturen, die durch das Magnetfeld der Sonne erzeugt wurden. 25 Aufnahmen der verfinsterten Sonne und mehrere Hundert Bilder für die Kalibration mit einer computer-gesteuerten DSLR waren nötig, um ein Bild zu erhalten, das (in der ursprünglichen elektronischen Version) Details mit einer Größe von nur 1000km zeigt. Der limitierende Faktor bei der Auflösung ist weder die Optik noch der Kamera-Chip, sondern das Seeing und die Zeit, die erforderlich ist, um genügend Daten aufzunehmen. Die erforderlichen Koronaaufnahmen (die Kalibrationsdaten werden vor und nach der Finsternis aufgenommen), um diese Aufnahme zu erstellen, wurden in etwa zwei Minuten gesammelt. Diese Zeitspanne ist bereits groß genug, um kleinste Details durch Änderungen in der Sonnenkorona zu verwischen. Falls man andererseits die Bilder in einem kürzeren Zeitintervall aufnimmt, steht eine kleinere Anzahl von Bildern zur Verarbeitung zur Verfügung, was dazu

führt, dass das resultierende Bild stärker verrauscht ist und man die Strukturen nicht so herausarbeiten kann wie in Abb. 5. Auch heute können Aufnahmen der inneren Korona in dieser hohen Auflösung und Bildqualität (wie Abb. 5) nicht ohne eine totale Sonnenfinsternis erreicht werden – sogar aus dem Weltraum nicht. Jeder Koronograph, der in Raumsonden wie SOHO oder STEREO eingesetzt wird, verwendet eine Blende, um das intensive Licht der Photosphäre, das mehr als eine Million Mal heller ist als das der Korona, abzublocken. Die Beugung des Lichtes an der Blende ruiniert jedoch das Bild des innersten und interessantesten Teils der Korona. Man bräuchte eine große Blende, die sehr weit vom Beobachter entfernt ist. Der Mond stellt bis jetzt die einzige derartige Möglichkeit dar. Leider ist die Mondbahn gegen die Ekliptik gekippt und es ereignet sich daher nicht zu jedem Neumond eine Sonnenfinsternis (s. S. 15). Man muss ein oder zwei Jahre oder sogar länger warten, um eine neue Chance zu bekommen. Da die Zone, in der die Sonne total verfinstert wird, nur



S. HABBAL, H. MORGAN, M. DRUCKMÜLLER, V. RUŠIN, L. KLOČOK, P. ANIOL, K. MARTIŠEK

▲ Abb. 7: **Strahlung von Fe-Ionen** in der Korona der Sonne. Die rote Farbe entspricht einer »eingefrorenen« Temperatur von etwa 1 Mio. Kelvin, die grüne einer von 1,8 Mio. Kelvin. Sonnenfinsternis von 2008 in der Wüste Gobi.

ein wenige hundert Kilometer breiter Streifen auf der Erdoberfläche ist, muss man die Ausrüstung oft an entlegene Orte transportieren und russisches Roulette mit dem Wetter spielen.

Das Geheimnis der Fe XI-Linie und seine Lösung

Außer der bereits erwähnten grünen Fe XIV- und der roten Fe X-Linie gibt es zwei weitere auffällige Linien des ionisierten Eisens, die nicht im sichtbaren Teil des Spektrums, sondern im nahen Infrarot liegen: die des Fe XI bei 789,2nm und des Fe XIII bei 1074,7nm. Die grüne Linie des Eisens bei 530nm stand lange Zeit im Mittelpunkt des Interesses, weil sie stark ist und in der Nähe der größten Empfindlichkeit des menschlichen Auges liegt, aber auch mit klassischem Film und digitalen Kameras gut registriert werden kann. Die totale Sonnenfinsternis von 2006 war ein Meilenstein in der Beobachtung der Emissionslinien des ionisierten Eisens während einer totalen Sonnenfinsternis. Shadia Habbal und

ihr Team vom Institut für Astronomie der Universität von Hawaii erhielten die ersten qualitativ hochwertigen Bilder der Sonnenkorona im Licht der Fe XI-Linie in der libyschen Wüste. Die Bilder von Fe XI zeigten etwas, mit dem zu diesem Zeitpunkt möglicherweise niemand gerechnet hatte: lokale Erhöhungen der Fe XI-Emission sehr weit von der Sonne entfernt. In Abb. 6 erscheint die Fe XI-Emission bei 789,2nm, die unsichtbar für Menschen ist, in roter Farbe.

Es scheint eine verrückte Idee zu sein, auf eine totale Sonnenfinsternis, die nur wenige Minuten dauert, zu warten, um die Emissionslinien der Eisen-Ionen zu beobachten. Seit 1995 nehmen Raumsonden wie SOHO, später TRACE und STEREO und heutzutage vor allem SDO und Proba 2 mehrere Gigabyte an Bildern täglich auf, die die innere Korona der Sonne in verschiedenen Linien des ionisierten Eisens zeigen. Diese Bilder sind via Internet für jedermann verfügbar. Keine Sonnenfinsternis ist erforderlich, da diese Bilder im fernen ultravioletten Spektralbereich bei etwa 17nm aufgenommen werden. In

diesem Teil des Spektrums erscheint die Photosphäre komplett schwarz, weshalb keine Blende erforderlich ist. Da die Temperatur der Photosphäre nur knapp 6000K beträgt, sendet sie bei 17nm praktisch keine Strahlung aus. Dies ist wichtig, um die Bedeutung der Entdeckung von Habbal zu verstehen.

Die Aufnahmen im fernen ultravioletten Spektralbereich zeigen die Strahlung der Ionen, die durch Kollisionen in einem dichten heißen Plasma angeregt werden, denn die Anregung von Eisenionen durch photosphärische Strahlung im fernen Ultraviolet ist unmöglich, weil in diesem Teil des Spektrums die Strahlung der Photosphäre vernachlässigbar ist. Habbal fand jedoch eine starke Emission von Fe XI bei 789,2nm in weit von der Sonne entfernten Bereichen, in denen die Dichte des koronalen Plasmas niedriger ist als die Dichte des besten auf der Erde im Labor erzeugten Vakuums und Kollisionen dementsprechend sehr selten sind – man spricht dann von einem stoßfreien Plasma. Deshalb wird die Anregung der Ionen zweifellos nicht durch Kollisionen verursacht,

sondern durch photosphärisches Licht, das bei einer Wellenlänge von 789,2nm sehr intensiv ist. Dies ist der Grund für den signifikanten Unterschied zu Bildern, die von Raumsonden gemacht werden. Auf den Bildern der Raumsonden sieht man das Licht von durch Stoß angeregten Ionen, während die Bilder von Habbal das Licht sowohl von durch Stoß als auch durch photosphärisches Licht angeregten Ionen zeigen.

Eine andere wichtige Eigenschaft der Fe XI-Linie bei 789,2nm und aller anderen starken Linien der Eisenionen im sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich ist, dass diese Linien verboten sind. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Lebensdauer des angeregten Zustandes sehr groß ist, nämlich zwischen 10^{-2} s und 10^{-3} s. Die durchschnittliche Lebensdauer von nicht verbotenen Linien im fernen ultravioletten Spektralbereich liegt zum Vergleich in der Größenordnung von 10^{-12} s. Als Folge der sehr langen Lebensdauer der angeregten Zustände der Ionen sind sie nicht imstande, in einem dichten Plasma Strahlung zu emittieren, da sie sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit durch Stoß abregen, bevor sie ein Photon aussenden können. Alle genannten Fakten machen die Linien der Eisenionen zu einem ausgezeichneten Instrument für die Untersuchung des koronalen Plasmas. Eines der wichtigsten Ergebnisse der Arbeit von Habbal ist, dass von einem Abstand von mehr als etwa 1,1 bis 2,0 Sonnenradien vom Zentrum der Sonne (abhängig von der Position in der Korona) das koronale Plasma als stoßfrei betrachtet werden kann und sich die Ladungszustände der Ionen nicht ändern können. Die Messungen der Raumsonde Ulysses, die die Sonne auf einer polaren Bahn zwischen Erde und Jupiter für über 18 Jahre umkreiste, zeigten, dass die Verteilung der Ladungszustände der Eisenionen nicht von der Entfernung von der Sonne abhängt. Sie ist die Gleiche in der Entfernung der Erde und des Jupiter. Die Beobachtungen von Sonnenfinsternissen von Habbal zeigten, dass sich das stoßfreie Plasma bis zu einem Abstand von etwa zwei Sonnenradien an die Sonne heran nachweisen lässt, was die Messungen von Ulysses wesentlich erweiterte.

Während der gesamten 18 Jahre andauernden Beobachtungszeit trat Fe XI als häufigstes Eisenion auf. Dies erklärt die hohe Intensität der Fe XI-Linie bei 789,2nm fern von der Sonne in Bereichen des stoßfreien Plasmas. Seit 2006 haben sich so durch die Beobachtung von Fe XI

bei 789,2nm neue Möglichkeiten der koronalen Forschung eröffnet.

Ist die Korona der Sonne wirklich heiß?

Die Eisenionen haben eine wichtige Rolle bei der Entdeckung der extrem hohen Temperatur in der Korona gespielt. Jedes dieser Ionen entsteht bei einer bestimmten Temperatur. Betrachtet man die Sequenz Fe X, Fe XI bis Fe XIV, so liegen die Temperaturen, bei denen sich diese Ionen bilden, zwischen 0,9 und 1,8 Millionen Kelvin. Die Beobachtung der Strahlung verschiedener Ionen ermöglicht es, herauszufinden, welches Ion einen bestimmten Teil der Korona dominiert, sowie die Temperatur in der Korona zu messen. Die Idee ist bestechend, aber es ist nicht so einfach.

Zunächst muss man sich über den Begriff der Temperatur und zu welchem Zweck er verwendet wird, Klarheit verschaffen. Dazu stellt man sich einen mit Luft gefüllten Raum vor, zum Beispiel ein Zimmer in einer Wohnung. In diesem Raum gibt es eine riesige Menge an Molekülen von Stickstoff, Sauerstoff und anderen Gasen. Es ist unmöglich, die Bewegung (Geschwindigkeit, Energie, ...) eines jeden Teilchens getrennt zu beschreiben, weil die Menge der Teilchen schlichtweg zu hoch ist. Deshalb vereinfacht man die Beschreibung mit Hilfe statistischer Eigenschaften und benutzt Begriffe wie Durchschnittsgeschwindigkeit oder mittlere Energie. Temperatur bedeutet Energie (multipliziert mit einer Konstanten) von Teilchen in einem idealen Gas. In diesem Fall ist die statistische Beschreibung sehr nützlich und ermöglicht es, das Verhalten der Luft im Raum sehr präzise zu beschreiben. Versucht man mit demselben Ansatz die Bewegung der Körper (Planeten, Asteroiden, Kometen, ...) im Sonnensystem zu beschreiben, stellt man fest, dass Begriffe wie Durchschnittsgeschwindigkeit oder mittlere kinetische Energie keinen Sinn ergeben. Die mathematische Modellierung der Luft im Raum auf der Basis einer statistischen Beschreibung wird durch die ständigen Wechselwirkungen zwischen den Teilchen gerechtfertigt, die zu »durchschnittlichen« Geschwindigkeiten und Energien führen. Deshalb hat die Temperatur als eine statistische Eigenschaft der Teilchenenergie im koronalen Plasma die Bedeutung, die man vom Alltag gewöhnt ist, nur im dichten koronalen Plasma, d.h. in unmittelbarer Sonnennähe.

Die Antwort auf die Frage, ob die Korona heiß ist, hängt also davon ab, was heiß bedeutet. Im Sinn der Alltagserfahrung jedenfalls ist sie nicht heiß. Abgesehen vom innersten Teil ist die Korona ein ziemlich leerer Bereich, in dem klassische Quecksilber- oder Ethanol-Thermometer einfrieren würden, wenn sie von direkter Sonneneinstrahlung abgeschirmt sind. Es gibt aber Teilchen, die sich mit recht hohen auch relativistischen Geschwindigkeiten bewegen. Aus dieser Beschreibung wird klar, dass die Anwesenheit der Fe XIV-Ionen, die bei Temperaturen von etwa 1,8 Mio. Kelvin entstehen, nichts mit der Temperatur im stoßfreien Teil der Korona zu tun hat, da die Ionen keine Chance haben, zu rekombinieren. Die Verteilung der Ionisationsstufen eines Elements hängt in dichten Plasmen von der Temperatur ab; aber sobald die Ionen die Grenze (welche natürlich nicht scharf ist) zum stoßfreien Plasma erreichen, »friert« die Verteilung der Ionisationsstufen ein. Man spricht von »eingefrorener« Temperatur als der Temperatur, die für die Entstehung des Ions notwendig war.

Abb. 7 zeigt die Verteilung von Eisenionen in der Korona der Sonne. Die rote Farbe steht für eine »eingefrorene« Temperatur von ca. 1 Mio. Kelvin, die grüne Farbe für rund 1,8 Mio. Kelvin. Eine normale Aufnahme einer Digitalkamera, die kurz nach dem Ende der Totalität gemacht wurde, ist überlagert, um Protuberanzen und die Chromosphäre sichtbar zu machen. In diesem Fall ist die rote Farbe natürlich und stammt von der H α -Linie des neutralen Wasserstoffs.

Die Sonne ist nicht nur eine weiße Kugel am Himmel

Unsere Sonne ist eine Kugel von etwa 1,4 Millionen Kilometern Durchmesser. Der Großteil ihrer Masse ist im Inneren der Kugel konzentriert. Ihre Plasmahülle – die Korona – ist äußerst subtil. Es scheint so, als würden alle wichtigen Prozesse im Inneren der Kugel stattfinden und alles, was sich außerhalb befindet, wäre unwichtig und unbedeutend. Dies ist definitiv nicht wahr. Prozesse in der Sonnenkorona haben starken Einfluss auf die Erde und unser Leben, wahrscheinlich viel größer als wir bereit sind, zuzugeben. Sonnenfinsternisse haben sicherlich auch im Zeitalter der Weltraumforschung das Potenzial, neue wichtige Mosaiksteinchen zu unserem Wissen über die Sonnenkorona hinzuzufügen.



P. WIENERROITHER

▲ Abb. 1: **Serienaufnahme einer partiellen Sonnenfinsternis.** Sonnen- und Mondfinsternisse entstehen, wenn sich der Mond in der Nähe seines Knotens aufhält und wiederholen sich in bestimmten Zyklen.

Saros & Co

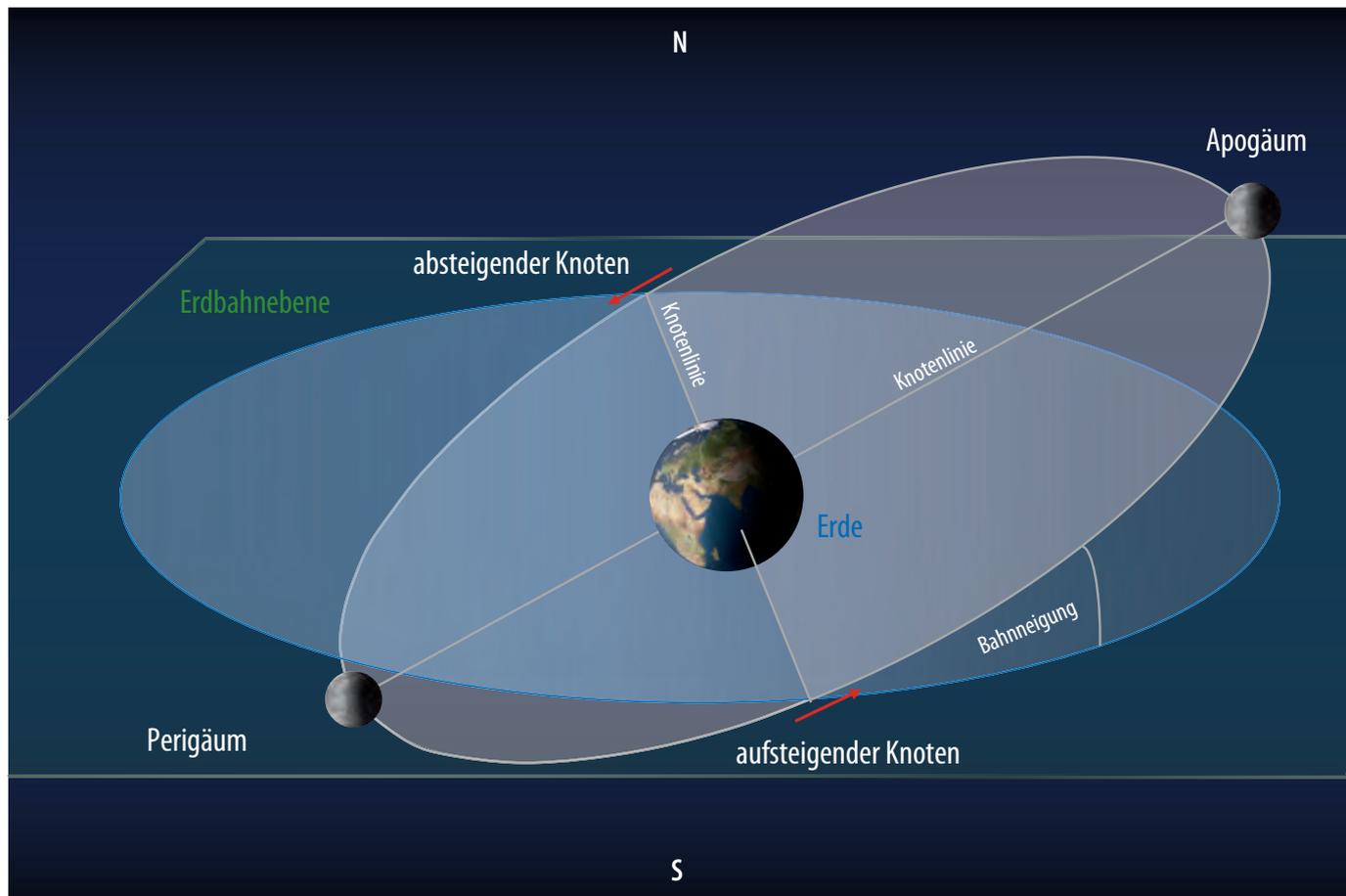
Die Rhythmen der Finsternisse

VON PETER UND SUSANNE FRIEDRICH

Sonnen- und Mondfinsternisse gehören seit jeher zu den Erfahrungen der Menschheit. Die Verdunklung des vertrauten Erdtrabanten oder gar das kurzfristige Verlöschen des Sonnenlichts haben in der Frühgeschichte wahrscheinlich gleichermaßen Erstaunen und Entsetzen hervorgerufen. Erst im Laufe der Jahrtausende ist es der Menschheit gelungen, eine Regelmäßigkeit hinter den scheinbar zufällig auftretenden Himmelsereignissen zu erkennen. Die Wissenden, die diese Regelmäßigkeiten kannten und auf Grund dieser Berechnungen und Vorhersagen machen konnten, dürften – zumindest im Fall erfolgreicher Vorhersagen – einen hohen Respekt, wenn nicht Macht gegenüber ihren Mitmenschen besessen haben. Mittlerweile ist die Astronomie entmystifiziert und Wissenschaft zu einer öffentlichen Angelegenheit geworden. Finsternisse sind mit höchster Präzision vorausberechenbar.

Finsternisse – Spiegel des kosmischen Räderwerks

Sonnen- und Mondfinsternisse üben auch heute auf viele Menschen eine große Faszination aus, vielleicht weil sie wie wenige Naturphänomene auf spektakuläre Weise das kosmische »Räderwerk« demonstrieren, in das sich die Erde samt Menschheit einordnet. Auch wenn die Bewegungen im Sonnensystem, insbesondere auch von Sonne, Erde und Mond, eigentlich nach einfachen, durchschaubaren Gesetzen ablaufen, scheint sich die Gesetzmäßigkeit hinter dem Auftreten von Finsternissen nicht unmittelbar zu erschließen. Sie unterscheiden sich von anderen gewohnten Himmelserscheinungen wie den Mondphasen oder Sonnenauf- und -untergängen dadurch, dass sie vergleichsweise selten beobachtet werden und scheinbar unregelmäßig auftreten. Aber gerade hinter dieser scheinbaren Unregelmäßigkeit verbergen sich äußerst regelmäßige, wenn auch



P. UND S. FRIEDRICH, INTERSTELLARUM

▲ Abb. 2: **Geometrie der Mondbahn** mit den wichtigsten Begriffen: Knoten, deren Verbindung als Knotenlinie bezeichnet wird, erdfernster und erdnächster Punkt Apogäum bzw. Perigäum und Neigung gegen die Erdbahnebene.

ebenso komplexe Bewegungsabläufe der beteiligten Gestirne.

Die Bewegungen der Planeten um die Sonne – wie auch die der Monde um ihre Planeten – werden durch die Gravitation bestimmt. Das Gleichgewicht zwischen Schwerkraft und Zentrifugalkraft hält die Planeten und die Monde auf ihren Bahnen. Dabei findet die Bewegung immer um den gemeinsamen Schwerpunkt statt. Die Bahnen sind meist annähernd kreisförmig, aber nicht exakt. Aus der Elliptizität der Umlaufbahnen ergibt sich, dass der Abstand zwischen Erde und Sonne und auch der Abstand zwischen Mond und Erde variieren. Auch die Lage der Ellipsenbahnen im Raum verändert sich mit der Zeit. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Bahn des Mondes um die Erde gegen die Ebene, in der die Erde die Sonne umkreist, um etwa 5° geneigt ist. Nur die genaue Kenntnis dieser Bahnen und ihrer Veränderungen im Laufe der Zeit ermöglicht die Vorhersage von Positionen der Himmelskörper und insbesondere der Konstellationen, bei denen sich Finsternisse unterschiedlicher Art ergeben.

Bei Mond- und Sonnenfinsternissen sind immer Sonne, Mond und Erde

beteiligt, nur ihre Stellung zueinander unterscheidet sich. So wird bei einer Sonnenfinsternis die Sonne vom Mond verdeckt, d.h. der Mond befindet sich zwischen Sonne und Erde. Von der Erde aus blickt man auf die unbeleuchtete Seite des Mondes, es ist also Neumond. Bei einer Mondfinsternis hingegen befindet sich die Erde zwischen Mond und Sonne und der Vollmond taucht in den Erdschatten ein (Abb. 3). Werden Sonne oder Mond vollständig verfinstert, spricht man von einer totalen Sonnen- oder Mondfinsternis, werden sie nur teilweise verfinstert, von einer partiellen Sonnen- oder Mondfinsternis. Eine ringförmige Sonnenfinsternis tritt auf, wenn die Mondscheibe zu klein ist, um die Sonne vollständig zu verdecken – ein gleißend heller Ring bleibt um den Mond herum von der Sonne sichtbar.

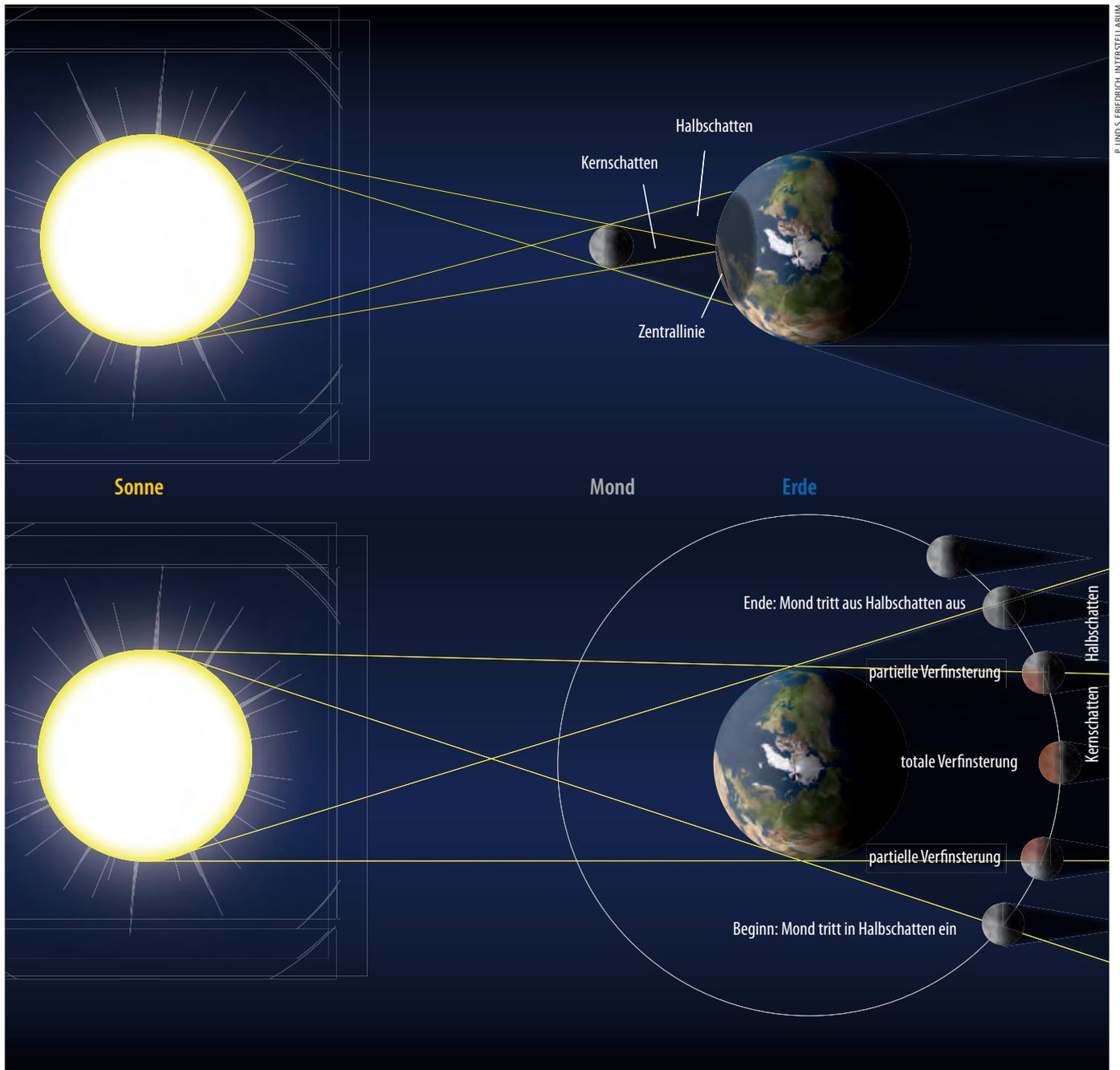
Die Rhythmen der Mondbahn

Zwei verschiedene Zyklen des Mondes bestimmen das Auftreten von Sonnen- und Mondfinsternissen: der bekannte monatliche Rhythmus der Mondphasen und die allmähliche, aber ebenfalls zyklische Veränderung der Orientierung der

Mondbahn relativ zur Erdbahn. Beide Perioden wirken beim Eintreten von Finsternissen zusammen.

Alle 29,53 Tage ist Neumond (synodischer Monat); der Mond steht dann zwischen Erde und Sonne; aber nicht jedes Mal ereignet sich dabei eine Sonnenfinsternis und ebenso kommt es nicht bei jedem Vollmond zur Mondfinsternis. Normalerweise verfehlt nämlich der Mondschaten die Erde bzw. der Erdschatten den Mond, weil die Mondbahn um etwa 5° gegen die Erdbahnebene geneigt ist und der Mond sich bis zu 40000km über oder unter der direkten Verbindungslinie Erde-Sonne aufhalten kann. Nur wenn sich der Mond während der Neumondphase in der Nähe der Schnittpunkte seiner Bahn mit der Erdbahnebene, den so genannten Knoten oder Drachenpunkten, befindet (Abb. 2), trifft sein Schatten die Erde und eine Sonnenfinsternis kann irgendwo auf der Erde beobachtet werden. Und nur wenn der Vollmond in Knotennähe auftritt, kommt es zu Mondfinsternis. Es gibt zwei Knoten: Im aufsteigenden Knoten durchquert der Mond die Ekliptik – wie die Erdbahnebene auch bezeichnet wird – von Süden nach Norden, während er sie im absteigenden Knoten von Norden nach Süden

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



P. UND S. FRIEDRICH, INTERSTELLARUM

▲ Abb. 3: Stellung von Sonne, Mond und Erde bei einer Sonnenfinsternis (oben) und einer Mondfinsternis (unten).

kreuzt. Die beiden Knoten sind durch eine gedachte Linie – die Knotenlinie – verbunden, die durch den Schwerpunkt des Systems Erde-Mond verläuft.

Bei einer Sonnenfinsternis ist immer genau Neumond, aber die Knotenlinie muss nicht ganz exakt auf die Sonne ausgerichtet sein, sondern kann fast 16° davon abweichen. Ist der Neumond nur weniger als 10° vom Knoten entfernt, tritt eine totale oder ringförmige Sonnenfinsternis ein, ansonsten kommt es zu einer partiellen Verfinsternis. Ein weiterer Aspekt muss für das Eintreten einer totalen Sonnenfinsternis erfüllt sein: Der Neumond darf nicht zu weit von der Erde entfernt sein. Sein Kernschatten erstreckt sich im Durchschnitt knapp 374000km in

den Raum. Dies entspricht fast exakt dem mittleren Abstand von rund 378000km des Mondes von der Erdoberfläche. Der Kernschatten ist allerdings etwas länger, wenn Erde und Mond überdurchschnittlich weit von der Sonne entfernt sind; am längsten wird der Schatten, wenn sich die Erde im Aphel ihrer Bahn befindet. Viel bedeutsamer ist jedoch der unterschiedliche Abstand des Mondes von der Erde, der sich aus der Elliptizität der Mondbahn ergibt. Im günstigsten Fall ist der Mondschaten rund 30000km länger als der Abstand zur Erdoberfläche, so dass ein Schattenfleck auf der Erde entsteht – dort wird die Sonne vollständig verfinstert. Der Durchmesser des Kernschattens des Mondes an der Erdoberfläche beträgt

maximal 269km, da er jedoch meist schräg auf die Oberfläche fällt, ergibt sich in der Projektion angenähert eine Ellipse, deren kleine Halbachse 269km misst. In anderen Fällen, in denen die Spitze des Mondschatens nicht bis zur Erdoberfläche reicht, bleibt unter dem Mondschaten ein schmaler Ring der Sonne unverfinstert – eine ringförmige Sonnenfinsternis. Außerhalb der Totalitätszone bzw. Zone der ringförmigen Verfinsternis ist unterdessen jeweils eine partielle Finsternis zu beobachten.

Für das Eintreten einer Mondfinsternis gelten ähnliche Bedingungen wie für das einer Sonnenfinsternis: Mondfinsternisse ereignen sich genau bei Vollmond; wenn dieser nicht weiter als etwa 9° von einem

Erdrotation, Mondumlauf und Finsternisse

1695 bemerkte Edmond Halley, dass Zeit- und Ortsangaben von historischen Finsternissen nicht mit den Ergebnissen seiner Berechnungen, die er mit den damals gültigen Zahlen für Erd- und Mondbahn durchgeführt hatte, übereinstimmten. Er folgerte daraus völlig korrekt, dass sich die Umlaufbahn des Mondes verändert haben muss. Heute weiß man, dass sich auf Grund der Gezeitenreibung die Erdrotation verlangsamt und sich gleichzeitig der Mond jedes Jahr um knapp 4cm von der Erde entfernt, da der Gesamtdrehimpuls im Erde-Mond-System erhalten bleiben muss (vgl. *Astrowissen, interstellarum* 79). Innerhalb von hundert Jahren müssen die Monate sich demnach um 0,04s verlängern. Rechnet man die akkumulierte Verlängerung der Tage für die letzten 2000 Jahre aus, so würde eine damals gestartete Uhr heute um etwa fünf Stunden vorgehen! Um die Änderungen der Erdrotation über so lange Zeiten zu untersuchen, kann man auf Finsternisbeobachtungen – auch Mondfinsternisse sind hierfür geeignet – aus der Antike und dem Mittelalter zurückgreifen. Die ältesten Aufzeichnungen stammen von babylonischen Astronomen aus dem Jahre 750 vor Christus. Der Vergleich dieser

historischen Beobachtungen mit heute berechneten Werten für Zeitpunkt und Ort gibt ein direktes Maß für die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Aus alten babylonischen Aufzeichnungen zwischen 500 vor Christus und 1000 nach Christus ergibt sich, dass die Tage mit jedem Jahrhundert um 2,4ms länger geworden sind. Entsprechende Berechnungen für Beobachtungen zwischen 829 und 1019 führen zu einem geringeren Wert von $1,37 \pm 0,07$ ms. Offensichtlich wirkten die Kräfte, die die Erdrotation bremsen, in den letzten Jahrtausenden nicht immer gleich.

Berechnungen zu Sonnenfinsternissen (und Mondfinsternissen) in historischer Zeit werden auch in der Archäologie benutzt, um absolute Zeitmarken zu setzen und Geschichtsdaten, die in verschiedenen unbekanntem Zeitrechnungen gegeben sind, in die heutige Zeitrechnung einzuordnen und so in eine chronologische Ordnung zu bringen. Unsicherheiten in der Länge der Erdrotation und bei der Position des Mondes ermöglichen allerdings nicht immer eine eindeutige Zuordnung. Sehr oft lassen sich Zeit und Ort nicht gleichzeitig mit den Geschichtsdaten in Einklang bringen.

Knoten der Mondbahn entfernt stattfindet, begegnet der Mond dem Kernschatten der Erde, der sich im Durchschnitt rund 1400000km in den Raum ausdehnt und in Mondentfernung immer noch rund zweieinhalb Monddurchmesser besitzt. Ist die Distanz zum Knoten sogar weniger als 4° , ereignet sich immer eine totale Mondfinsternis, bei der der Mond komplett in den Erdschatten eintritt; die Dauer der totalen Verfinsterung kann über eine Stunde betragen. Im Distanzbereich zwischen 4° und 9° taucht der Mond nicht komplett ein, so dass es zu einer partiellen Mondfinsternis kommt. Außerhalb des 9° -Abstands kommt der Mond zwar nicht mit dem Kernschatten der Erde in Berührung, kann aber den Halbschatten der Erde durchlaufen; eine solche Halbschattenfinsternis macht sich nur durch einen geringen Helligkeitsabfall des Mondes bemerkbar.

In einem Bereich von 32° um die exakte Ausrichtung eines Mondbahn-Knotens

auf die Sonne kann eine Sonnenfinsternis eintreten. Da sich von Neumond zu Neumond die Ausrichtung der Knotenlinie auf die Sonne um nur 26° verändert, tritt um die Zeit, wenn die Knotenlinie auf die Sonne weist, in jedem Fall eine Sonnenfinsternis ein, gelegentlich sind es sogar zwei. Demgegenüber wird wegen des kleineren »zulässigen« Bereichs von etwa 18° für Mondfinsternisse bei ausgerichteter Knotenlinie gelegentlich die Vollmondphase »verfehlt«, so dass es zu keiner Finsternis kommt. Da sowohl Sonnen- als auch Mondfinsternisse von der mehr oder weniger exakten Ausrichtung der Knotenlinie der Mondbahn auf die Sonne abhängen, treten beide Finsternisarten oft kurz hintereinander auf: partielle Sonnenfinsternis am 1. Juni 2011 (Neumond), totale Mondfinsternis am 15. Juni (Vollmond) und partielle Sonnenfinsternis am 1. Juli 2011 (Neumond).

Würden die Mondknoten ihre Position im Raum stets beibehalten, also relativ

zu den Sternen feststehen, würden sie in jedem Jahr zur selben Zeit zwischen Erde und Sonne zu liegen kommen, und Finsternisse würden sich im Halbjahresrhythmus ereignen. Die Mondbahn – nicht der Mond – führt jedoch eine Taumelbewegung aus, so dass sich die Mondknoten auf der Mondbahn verschieben, und zwar entgegen der Umlaufrichtung um die Erde. So vergehen nur ca. 346,6 Tage bis z.B. der aufsteigende Knoten erneut zwischen Erde und Sonne zu liegen kommt. Diese Bewegung der Mondknoten stellt neben dem Mondumlauf um die Erde den zweiten periodischen Vorgang dar, der den Rhythmus der Finsternisse bestimmt. Die Periode von 346,6 Tagen wird auch Finsternisjahr genannt.

Als Folge der Knotenbewegung verfrühen sich Finsternisse also jedes Jahr um durchschnittlich etwa 19 Tage. So folgte auf die Finsternis vom 22. Juli 2009 die Finsternis vom 11. Juli 2010 und darauf die Finsternis vom 1. Juli 2011.

Saros- und Inex-Zyklus

Bereits die Chaldäer, die ab 1000 vor Christus in Babylonien lebten, wussten aufgrund ihrer langjährigen Himmelsbeobachtungen, dass sich Sonnen- und Mondfinsternisse regelmäßig wiederholen. Sie waren dadurch schon sehr früh in der Lage Finsternisse vorauszuberechnen.

Angenommen, ein Vielfaches des Zeitraums zwischen zwei Neumondphasen (synodischer Monat) – entspräche genau der Länge eines Finsternisjahres von 346,6 Tagen; dann würden sich dieselben Verhältnisse für eine Sonnenfinsternis nach genau diesen 346,6 Tagen wieder einstellen. Tatsächlich entspricht ein Finsternisjahr jedoch nicht einem Vielfachen eines synodischen Monats: So ergeben elf synodische Monate 324,83 Tage und zwölf synodische Monate 354,36 Tage. Man muss also nach einer größeren Periode suchen, die das kleinste gemeinsame Vielfache beider Perioden ist. In der Physik nennt man so etwas eine Resonanz.

Diese Periode, die abgeleitet aus dem semitischen Wort für Wiederholung als Saros, Saros-Periode oder Saros-Zyklus bezeichnet wird, dauert 223 synodische Monate oder 18 Jahre und 11 $\frac{1}{3}$ Tage (oder 18 Jahre und 10 $\frac{1}{3}$ Tage, falls in diesem Zeitraum fünfmal statt viermal ein Schaltjahr vorkommt). Der Saros stimmt fast exakt mit 19 Finsternisjahren überein (Tab. 1).

Alle 18 Jahre und 10 oder 11 Tage wiederholen sich also die Finsternisse unter

Die Zyklen der Transite

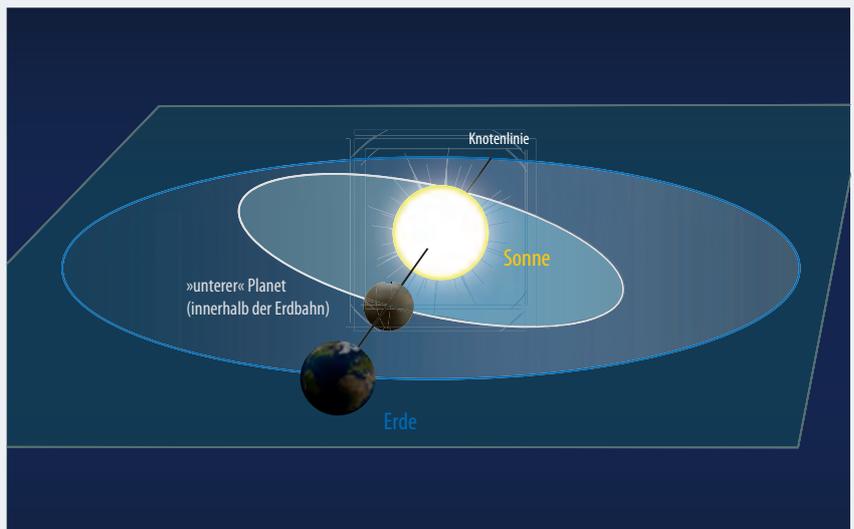
Eine besondere Art der Sonnenfinsternisse sind die Transite oder Durchgänge. Nur die innerhalb der Erdbahn die Sonne umlaufenden Planeten Merkur und Venus können aus der Erdperspektive genau vor der Sonne vorbeiziehen. Damit es zu einem solchen Venus- oder Merkurtransit kommen kann, muss der Planet in Unterer Konjunktion zur Sonne und in der Nähe eines seiner beiden Bahnknoten, also den Schnittpunkten der Planetenbahn mit der Erdbahnebene, stehen. Wegen der Neigungen der Venus- bzw. Merkurbahn von $3,4^\circ$ bzw. 7° gegen die Erdbahnebene zieht der Planet bei den meisten unteren Konjunktionen nördlich oder südlich der Sonnenscheibe vorbei.

Möchte man das Auftreten von Transiten berechnen, muss man also nach gemeinsamen Vielfachen aus synodischer und halber siderischer Planetenumlaufzeit suchen. Bei langfristigen Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass sich die Bahnknoten selbst langsam verlagern.

Zyklus der Merkurtransite

Am 8./9. Mai und am 10./11. November befinden sich der absteigende bzw. aufsteigende Knoten von der Erde aus betrachtet vor der Sonnenscheibe. Kommt es in einem Zeitraum von ± 2 Tagen um diese Termine zu einer Unteren Konjunktion, ereignet sich ein Merkurtransit. Da der absteigende Knoten nur etwa 30° vom Merkur-Aphel entfernt ist, kann das Merkurscheibchen vor der Sonne bei Transiten im Mai günstigstenfalls $12,3''$ groß werden. Bei Transiten im November hingegen erreicht das Merkurscheibchen nur Durchmesser um $10,2''$. Da die Bahngeschwindigkeit in der Nähe des Perihels deutlich größer ist als im Aphel, dauern zentrale Transite im Mai 7,9 Stunden, solche im November nur 5,5 Stunden. November-Transite treten häufiger auf, da sich Merkur dann näher der Sonne befindet: Zwischen den Jahren 1600 und 2300 ereignen sich insgesamt 94 Merkur-Transite – 13 bis 14 pro Jahrhundert –, davon 63 im November und 31 im Mai.

Auf Grund Merkurs ausgeprägt elliptischer Umlaufbahn wiederholen sich Merkurtransite nach einem komplexen Schema. Sie folgen entweder in 3,5, 7, 9,5, 10 oder 13 Jahren aufeinander. Die Periode von 13 Jahren entspricht fast 54 Merkurorbits (bis auf 2,01 Tage),



▲ Stellung von Sonne, Erde und Merkur oder Venus während eines Transits.

während sich die kürzeren Perioden aus anderen Resonanzen zwischen Erd- und Merkurumlaufzeit ergeben. Eine weitere Periode von 33 Jahren, die sich aus den kürzeren Perioden von 10 Jahren plus 10 Jahren plus 13 Jahren zusammensetzen lässt, entspricht bis auf 1,67 Tage genau 137 Merkurumläufen. Nach 46 Jahren bzw. 191 Umläufen ergibt sich sogar nur eine Differenz von 0,34 Tagen.

Zyklus der Venustransite

Der aufsteigende Knoten befindet sich zurzeit von der Erde aus gesehen am 8. Dezember vor der Sonne und der absteigende Knoten am 7. Juni. Da fünf synodischen Umläufen der Venus fast genau acht Erdumläufe entsprechen – der Unterschied beträgt lediglich knapp zweieinhalb Tage – befinden sich nach acht Jahren Venus, Erde und Sonne also fast wieder in derselben Stellung zueinander. Allerdings ändert sich die Lage des Durchgangs auf der Sonnenscheibe, da die Venus gegenüber ihrer Position beim ersten Transit knapp anderthalb Tage auf ihrer Bahn zurück ist und ihren Bahnknoten noch nicht passiert hat. Nach weiteren acht Jahren verfehlt die Venus die Sonnenscheibe, da sie dann zur unteren Konjunktion bereits zu weit vom Bahnknoten entfernt ist. Findet jedoch der erste Transit statt, wenn sich die Venus genau im Bahnknoten aufhält, so steht sie acht Jahre später zur unteren Konjunktion von der Erde aus betrachtet bereits $22'$ jenseits der Ekliptik und verfehlt die Sonnenscheibe,

deren scheinbarer Radius nur $16'$ beträgt. Man spricht dann von einem isolierten Transit, der letztmals 1396 stattfand; der nächste ereignet sich 3089. Damit es also zu zwei Transiten innerhalb von acht Jahren kommt, muss der erste eine gewisse Zeit nach dem Passieren des Bahnknotens stattfinden.

Es dauert 105,5 Jahre, bis sich die Position, in der die Venus ihre untere Konjunktion erreicht, vom absteigenden zum aufsteigenden Knoten verlagert hat und wieder ein Transit möglich wird. Anschließend vergehen allerdings 121,5 Jahre, bis sich Transite wieder im Juni ereignen, so dass sich insgesamt eine Periode der Venustransite von 243 Jahren ergibt. Die unterschiedlichen Zeitspannen von 105,5 bzw. 121,5 Jahren resultieren daraus, dass sich Erde und Venus auf Ellipsenbahnen um die Sonne bewegen und ihre Bahngeschwindigkeit in Sonnenferne kleiner ist als in Sonnennähe. Die Exzentrizität der Venusbahn ist allerdings sehr gering und macht sich kaum bemerkbar.

Die retrograde Drehung der Knotenlinie um $20,5''$ pro Jahr im Raum bewirkt auf lange Sicht eine Verschiebung der Transittermine. Da sich zudem unser Kalender am Frühlingspunkt orientiert und sich dieser selbst wegen der Präzession der Erdachse mit $50,3''$ pro Jahr retrograd in der Ekliptik verschiebt, resultiert, bezogen auf den Frühlingspunkt, eine prograde Knotenliniendrehung von knapp $30''$ pro Jahr, die sich nach einer vollen Periode von 243 Jahren als »Verspätung« der Venustransite um rund zwei Tage bemerkbar macht.

P. UND S. FRIEDRICH, INTERSTELLARUM

Tab. 1: Die zwei wichtigsten Finsterniszyklen

Name	Dauer	
Saros	223 synodische Monate à 29,5306 Tage	= 6585,3211 Tage
	19 Finsternisjahre à 346,6200 Tage	= 6585,7806 Tage
	242 drakonitische Monate à 27,2122 Tage	= 6585,3572 Tage
	239 anomalistische Monate à 27,5546 Tage	= 6585,5375 Tage
Inex	358 synodische Monate à 29,5306 Tage	= 10571,9505 Tage
	388,5 drakonitische Monate à 27,2122 Tage	= 10571,9475 Tage
	30,5 Finsternisjahre à 346,6200 Tage	= 10571,9109 Tage

fast identischen Bedingungen. Hinzu kommt nämlich noch, dass die Distanz Erde-Mond, die bestimmt, ob eine Sonnenfinsternis total oder ringförmig ausfällt, nach einer Saros-Periode auch wieder fast dieselbe ist, weil der Saros auch fast genau 239 anomalistischen Monaten, also der Zeitspanne zwischen zwei Perigäumsdurchgängen des Mondes, entspricht.

Die knapp acht Stunden, die der Saros länger ist als volle 6585 Tage, bewirken, dass die Erde nach 18 Jahren 11 Tagen, wenn die Finsternis sich wiederholt, Sonne und Mond nicht dieselbe Seite zuwendet. Sie hat sich während dieses Dritteltages weiter nach Osten gedreht, so dass die Finsternis (knapp) 120° weiter westlich stattfindet. Die Differenz von 0,46 Tagen zwischen 223 synodischen Monaten und 19 Finsternisjahren führt dagegen dazu, dass die Saros-Serie schließlich abbricht, weil die Finsterniszonen im Laufe der Zeit über die Polargebiete im Norden oder Süden hinauswandern. So beginnt jede Saros-Serie mit einer Reihe von partiellen Finsternissen in einem der Polgebiete, da der Mondschatten die Erde noch nicht vollständig trifft. Danach entwickelt sich eine Folge von totalen oder ringförmigen Finsternissen, die sich um zwei bis drei Grad je Finsternis in Richtung Süden bzw. Norden verlagern, wo die Serie schließlich wieder mit einer Reihe partieller Finsternisse zu Ende geht. Auf Grund der Elliptizität der Erd- und Mondbahn sind die

Dauer und die Anzahl der Finsternisse einer Saros-Serie nicht konstant. Sie kann zwischen 1226 und 1550 Jahre dauern, währenddessen sich 69 bis 87 Finsternisse ereignen, von denen 40 bis 60 total oder ringförmig sind.

Zwischen aufeinander folgenden Sonnenfinsternissen einer bestimmten Saros-Serie finden viele statt, die zu anderen Serien gehören. Anfang des 21. Jahrhunderts erzeugten 17 verschiedene Serien totale oder ringförmige Sonnenfinsternisse. Daneben sorgten acht weitere Serien für partielle Finsternisse. Die in Deutschland sichtbare totale Sonnenfinsternis vom 11. August 1999 war die 21. Finsternis der Saros-Serie 145, der insgesamt 77 Finsternisse angehören. Sie begann am 4. Januar 1639 im hohen Norden und wird am 17. April 3009 in der Südpolargegend enden. Die Nachfolgerin wird am 21. August 2017 in den USA zu beobachten sein (s. S. 32).

Eine weitere bekannte Periode ist der Inex. Er beruht auf der Gleichheit von 358 synodischen Monaten zu 388,50011 drakonitischen Monaten, also der Zeit, die zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch denselben Mondknoten vergeht. Der dabei auftretende Nachkommateil von 0,5 führt dazu, dass zwischen auf- und absteigendem Knotenbereich gewechselt wird. Bemerkenswert beim Inex ist die äußerst geringe Abweichung der 358 synodischen Monate zu 388,5 drakonischen Monaten, nämlich weniger als fünf Minuten! Die Änderungen des

Finsternistyps vollziehen sich daher in einer Inex-Serie wesentlich langsamer als in einer Saros-Serie: Eine Inex-Serie startet mit 140 partiellen Sonnenfinsternissen, gefolgt von 500 totalen oder ringförmigen. Sie endet auch wieder mit 140 partiellen Ereignissen. Jede Inex-Serie dauert ca. 23000 Jahre.

Weil der Inex kein Vielfaches des Saros ist, lassen sich die Termine von Sonnen- wie auch Mondfinsternissen immer als Kombination von Vielfachen des Saros plus Vielfachen des Inex darstellen. G. van den Bergh gibt daher an, dass die Zeit T zwischen zwei Finsternissen immer auf folgende Weise ausgedrückt werden kann [2]:

$$T = a \cdot I + b \cdot S;$$

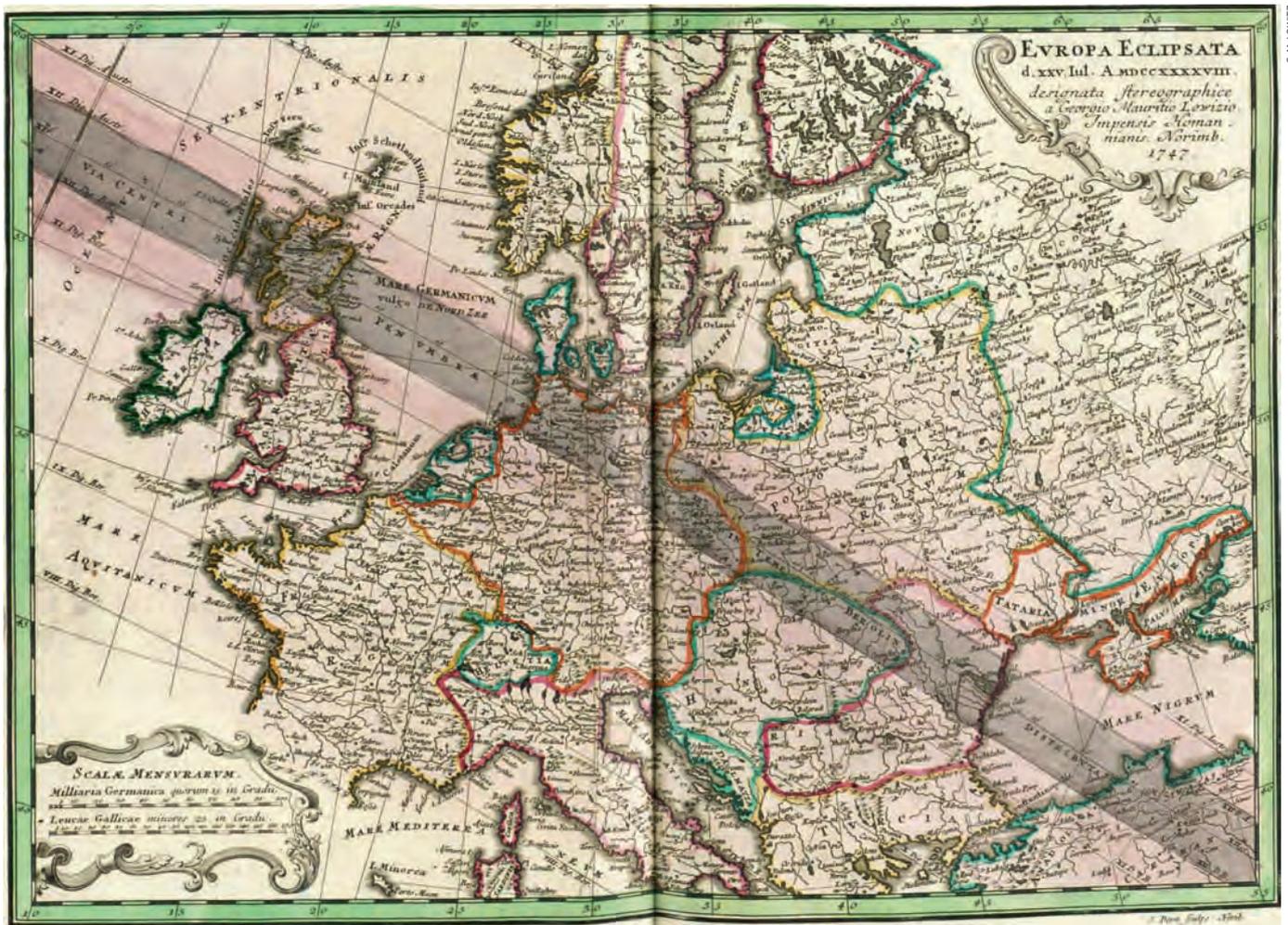
dabei sind I und S die Perioden von Inex bzw. Saros in synodischen Monaten, während für a und b ganze Zahlen (auch negative) eingesetzt werden. Außer dem Saros und dem Inex gibt es noch zahlreiche weitere Perioden, deren Bedeutung jedoch gering ist, da sie entweder sehr lang sind oder auf Saros und Inex zurückgeführt werden können. Einige der bekannteren sind in Tab. 2 aufgeführt.

Im Prinzip kann man aus obiger Formel beliebig viele Perioden ableiten. Da aber weder eine Saros- noch eine Inex-Serie unendlich lange andauern, müssen für den praktischen Gebrauch a und b klein gewählt werden.

- [1] Friedrich, S., Friedrich, P.: Finsternisse – verstehen, beobachten und fotografieren, Oculum-Verlag, Erlangen (2005)
- [2] van den Bergh, G.: Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses, Tjeenk Willink and Haarlem, Netherlands (1955)
- [3] Meeus, J.: Mathematical Astronomy Morsels, Willmann-Bell Inc, Richmond (1997)

Tab. 2: Einige der bekannteren Perioden, die sich aus Saros und Inex ergeben [3]

Periode	Länge	synodische Monate	Name
$5 \times \text{Inex} - 8 \times \text{Saros}$	177,19 Tage	6	Semester
$-3 \times \text{Inex} + 5 \times \text{Saros}$	1210,75 Tage	41	Hepton
$2 \times \text{Inex} - 3 \times \text{Saros}$	1387,94 Tage	47	Octon
$1 \times \text{Inex} - 1 \times \text{Saros}$	3986,63 Tage	135	Tritos
$0 \times \text{Inex} + 1 \times \text{Saros}$	6585,32 Tage	223	Saros
$10 \times \text{Inex} - 15 \times \text{Saros}$	6939,70 Tage	235	Metons Zyklus
$1 \times \text{Inex} + 0 \times \text{Saros}$	10571,95 Tage	358	Inex
$3 \times \text{Inex} - 3 \times \text{Saros}$	11959,89 Tage	405	Maya



▲ Abb. 1: Karte von Georg Moritz Lowitz zur Sonnenfinsternis vom 25. Juli 1748. Sie zeigt den Finsternisverlauf über Europa. Erst im 18. Jahrhundert wurden solche Darstellungen möglich.

Vorhersagen und Karten

Der Beginn der modernen Finsterniskartografie

VON HANS GAAB

»Am Mittwoch nach Sankt Beitztag war die Sonne so finster, dass man nicht lesen oder schreiben konnte, das geschah um die dritte Tagesstunde.« Der »Mittwoch nach Sankt Beitztag«, von dem hier in einer Nürnberger Papierhandschrift aus dem 15. Jahrhundert die Rede ist, war der 16. Juni 1406. Dies ist der älteste bekannte Nachweis, dass in dieser Stadt, auf der auf Grund der guten Quellenlage der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt, eine Sonnenfinsternis beobachtet wurde.

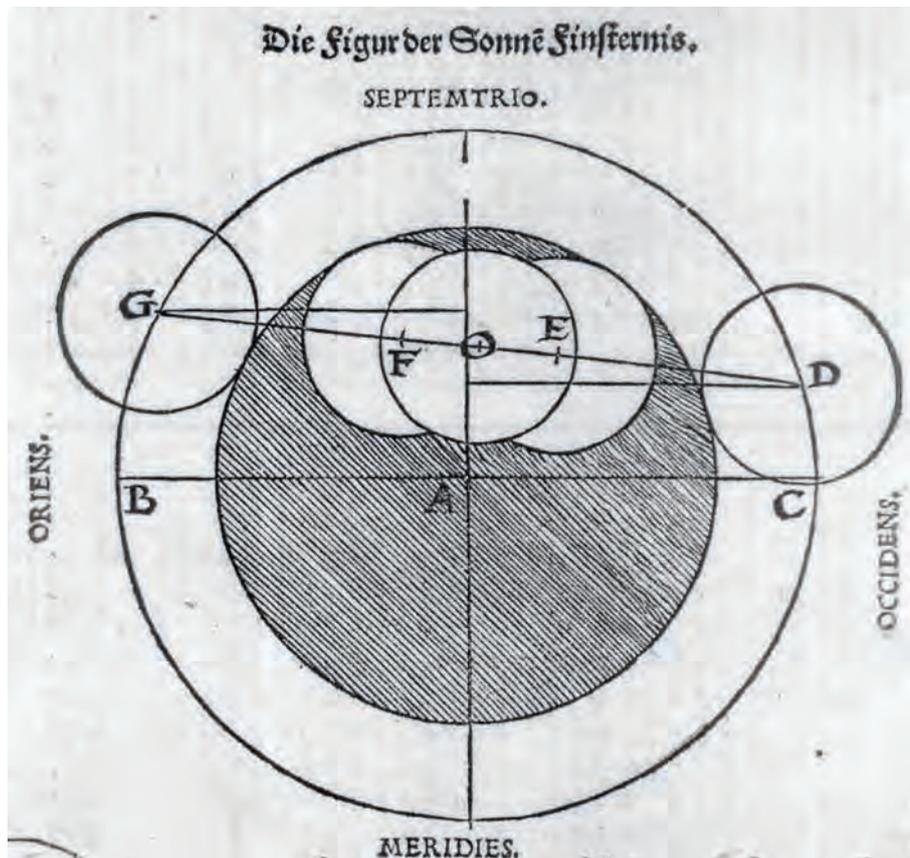
Nach modernen Berechnungen begann sie um 6:09:38,8 und endete um 8:05:56,2, das Maximum der Bedeckung wurde um 7:05:37,3 (jeweils MEZ) erreicht. Die Größe betrug 0,96495, womit glaubhaft wird, dass Lesen und Schreiben nicht möglich war. Am 16. Juni, nahe der Sonnenwende, ist der Tag 16 Stunden lang, d.h. die Sonne geht gegen vier Uhr morgens auf, um sechs Uhr bricht damit die dritte Tagesstunde an, von der im Text die Rede ist. [1]

Sonnenfinsternisse und Astrologie

An der beginnenden Neuzeit waren Sonnenfinsternisse noch vielfach angstbesetzte Ereignisse. Dass ihr Zustandekommen erklärt werden konnte und dass ihr Eintritt vorausberechenbar war, änderte daran lange Zeit wenig. Verbreitet war die Meinung: Im Schatten des Fichtenbaums wächst kein Gras, Dunkelheit kann also durchaus Schäden anrichten. Hielt man

dagegen, dass das unter Laubbäumen anders aussieht, wurde man an die Gefährlichkeit der Nacht erinnert, da dann erfahrungsgemäß die Schwachheit bei Kranken zunahm. Zudem hielt sich hartnäckig die Annahme, dass bei einer Sonnenfinsternis die Luft vergiftet werde [2].

Für deutschlandweite Aufregung sorgte die große Sonnenfinsternis vom 12. August 1654 (gregorianischer Kalender), die Erste nach dem Ende des 30-jährigen Krieges, in der viele die Ankündigung des jüngsten



▲ Abb. 2: Eine der ersten Darstellungen des Verlaufs einer Sonnenfinsternis: Für die Sonnenfinsternis vom 14. Januar 1534 wendete Johannes Schöner erstmals eine Form an, die sich bis heute erhalten hat. Irritierend ist dabei allerdings die Größe des Mondes: Der Punkt O oberhalb der Sonnenmitte gibt den kleinsten Abstand des Mondmittelpunktes zum Sonnenmittelpunkt an, dann war ca. ein Drittel der Sonnenscheibe verdunkelt. Der eingezeichnete Kreis um O gibt aber selbstverständlich nicht die Größe der Bedeckung an, ein guter optischer Eindruck wurde darüber nicht erreicht. Mit freundlicher Genehmigung der Universitätsbibliothek Tübingen.

Gerichts sahen. Und sollte die Welt nicht untergehen, war zumindest Fürchterliches zu erwarten. »Jedermann nicht nur hier, sonder auch im ganzen Lande« habe sich vor diesem Tag gefürchtet, schrieb Johann Jacob Vogel in seinen Annalen der Stadt Leipzig.

Überall waren die Straßen leergefegt. In Kopenhagen erwartete man, dass die Stadt über der Verfinsternis zu Grunde gehen werde, weshalb die Bewohner massenhaft aufs Land flüchteten. Zur Vorbereitung auf das Ereignis gab es im oberfränkischen Marktredwitz Bußpredigten. Am Tag des Ereignisses sollte sich weder Mensch noch Vieh im Freien aufhalten, auch sollte man möglichst vermeiden zum Fenster hinaus zu schauen und sich des Essens und Trinkens enthalten. In Nürnberg legten 2285 Menschen aus Furcht vor dem Sterben die Beichte ab. Auf dem Markt wurde nichts verkauft, das Vieh wurde nicht auf die Weide getrieben und alle Brunnen zugedeckt, damit sie nicht vergiftet würden. Noch Jahre hinaus hielten sich Gerüchte, dass damals viele Leute wahnsinnig geworden seien [3].

Der Jesuit Jakob Balde, ein erklärter Gegner aller Astrologie, hatte das Ereignis in Amberg miterlebt und satirisch festgehalten, was tatsächlich passiert war: Wie andernorts seien die Straßen leergefegt gewesen, nur im Jesuitenkolleg herrschte rege Tätigkeit: Man schleppte große Teleskope heran und versorgte sich mit Klassikern der Astronomie. Ein Doktor hatte wohlweislich Zitronen mitgebracht, um sich durch deren Aroma vor der schädlichen Luft der Eklipse zu schützen. Die Erwartung stieg, doch blieb der Himmel bedeckt. Als er dann endlich aufbrach, trat das Bild der Sonne klar zu Tage. Mit langen Gesichtern sah man sich an – die Finsternis war vorbei, gespürt hatte davon niemand etwas [4].

Die Diskussion um die Sonnenfinsternis von 1654

Auslöser für die damaligen Ängste war vor allem ein junger Kalenderschreiber namens Israel Hiebner gewesen. Geboren in Schneeberg südöstlich von Zwickau, stand ihm nach eigener Aussage ins

Geburtsoroskop geschrieben »verborgene Geheimnisse zu erfahren«. Bereits in seinem ersten Kalender, verfasst für das Jahr 1646, war ihm die Sonnenfinsternis ein unzweifelhafter Vorbote des Jüngsten Tages. Theologen, die von der Astronomie auch nur ein Weniges verstünden, würden über der Betrachtung der Himmelsgestalt am Tag der Finsternis seine Ansichten bestätigen. In seinen folgenden Kalendern und Schriften wiederholte er diese und ähnliche Behauptungen.

Zahlreiche namhafte Kalenderschreiber und Astronomen nahmen sich des Themas an und versuchten die Diskussion zu versachlichen. Am heftigsten fiel dabei der Streit Hiebners mit Abdias Trew aus: Seit 1636 Professor für Mathematik in Altdorf, stand er der Astrologie durchaus offen gegenüber, warnte aber vehement vor marktschreierischen Behauptungen. Hiebner sei ein junger Lump und sonst nicht viel, der »noch übrige Kunst gehabt, die ihm Bauch und Kopf aufreissen wollen (wäre schade für das herrliche Grillenfass gewesen)«. Der so Angegriffene stand dem in nichts nach: Ein alter Professor sei nachts auf einen Turm gestiegen, weil er von da aus eine Sonnenfinsternis beobachten wollte – Trew hatte sich bereits 1638 auf einem Turm der nördlichen Altdorfer Stadtmauer ein kleines Observatorium eingerichtet. Man ging also nicht gerade zimperlich miteinander um. Wie oben angeführt, nützten die Warnungen vor Hiebners großspurigen Prophezeiungen freilich wenig [5].

Die Folgen der Sonnenfinsternis von 1654

Hiebner selbst hielt sich zur Zeit der Finsternis in Leipzig auf. Wie der Mathematikprofessor Erhard Weigel aus Jena später erzählte, versammelten sich nach dem Ereignis die dortigen Studenten, um dem verruchten Kalendermacher bei lichtem Tag mit angezündeten Fackeln nach Hause zu leuchten, um ihm da, statt der vorhergesagten, wegen der dicken finsternen Luft tot herabfallenden Vögel, ein ganz anderes Frühstück zu bereiten [6]. Hiebner konnte sich im Folgenden in Deutschland nicht mehr halten und wanderte nach Osteuropa ab.

Die wirren Prophezeiungen hatten allerdings auch ihre guten Seiten: Mit dem Ende des 30-jährigen Krieges war in Deutschland eine Neuorientierung bzw. ein Neuaufbau angesagt. In diesem Klima war das Ereignis für viele eine Art Experimentum crucis, dessen Ausgang astrologische Spekulationen widerlegte. Tatsächlich verlor

die Astrologie in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts an Einfluss und wurde aus den Universitäten verdrängt. Trotzdem blieben die alten Ängste lange in Erinnerung, und so klingen sie auch noch im 1731 von Johann Gottfried Schnabel veröffentlichten ersten Teil seines umfangreichen Romans »Insel Felsenburg« an, der mit der Vorstellung des Ich-Erzählers begann: »Ob denjenigen Kindern, welche um die Zeit gebohren werden, da sich Sonnen- oder Mond-Finsternissen am Firmamente praesentiren, mit Recht besondere Fatalitäten zu prognosticiren seyn? Diese Frage will ich den gelehrten Natur-Kündigern zur Erörterung überlassen, [...] wenn ich dem Geneigten Leser als etwas merckliches vermelde: daß ich Eberhard Julius den 12. May 1706 eben in der Stunde das Licht dieser Welt erblickt, da die bekandte grosse Sonnen-Finsterniß ihren höchsten und fürchterlichsten grad erreicht hatte.« [7].

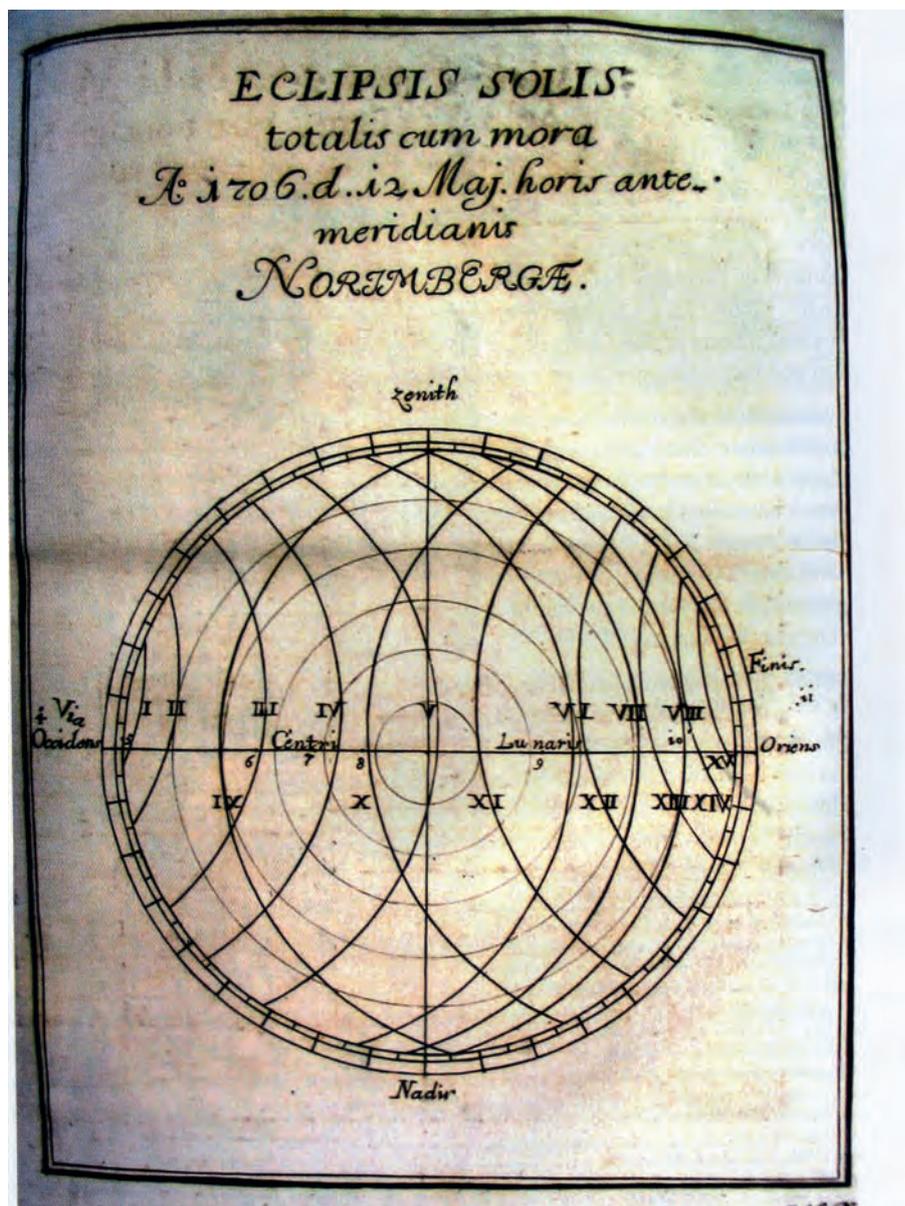
Gelegentlich kochte auch in neuerer Zeit der alte Aberglaube wieder hoch: So glaubte man noch am 28. Juli 1851 in München anlässlich der damaligen Sonnenfinsternis an den Weltuntergang. Der Wallersee in der Nähe von Salzburg werde durchbrechen, was eine Sintflut zur Folge hätte [8].

Grafische Darstellung von Finsternisverläufen

Einen großen Pluspunkt muss man Hiebner freilich zuschreiben: Nach den meisten publizierten Kalendern verlief 1654 die Totalitätszone durch Konstantinopel und das Schwarze Meer. Hiebner war einer der wenigen, die richtig stellten, dass es in Konstantinopel keine totale Finsternis geben und das Schwarze Meer nur im nordöstlichen Teil von der Totalitätszone berührt würde. Immerhin bemühten sich deshalb in der Folgezeit die Kalenderschreiber um genauere Berechnungen.

Die ersten gedruckten Darstellungen von Finsternissen mit weiter Verbreitung finden sich in dem Kalender von Regiomontanus, den er erstmalig 1474 in Nürnberg herausbrachte und der für mehrere Jahre galt. Darin hatte er die anfallenden Mond- und Sonnenfinsternisse vorausberechnet, wobei der Zeitpunkt der größten Bedeckung grafisch dargestellt war. Doch ging dies über grobe Skizzen kaum hinaus [9].

Der aus Karlstadt am Main stammende Johannes Schöner war seit 1526 Professor für Mathematik am neu gegründeten Nürnberger Egidien-Gymnasium und gab in dieser Eigenschaft auch Kalender heraus. Bei der Beobachtung der partiellen Sonnenfinsternis vom 14. Januar 1534



▲ Abb. 3: Darstellung der Sonnenfinsternis vom 12. Mai 1706 durch Johann Heinrich Müller, dem damaligen Direktor der Nürnberger Sternwarte. Diese Art der Darstellung hat in Deutschland Hevelius bekannt gemacht. Mit freundlicher Genehmigung der Stadtbibliothek Nürnberg.

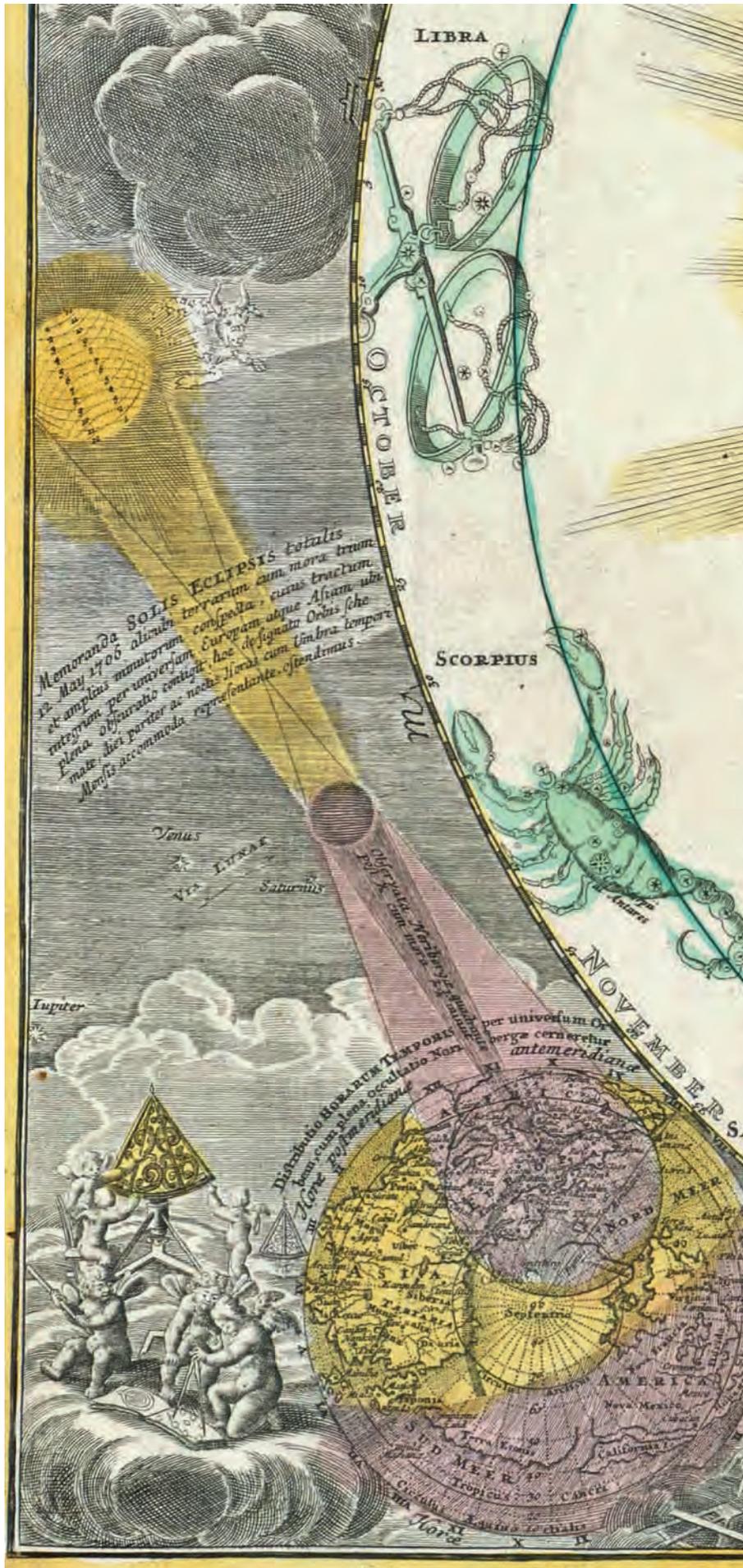
bemerkte er, dass die Angaben in seinem Kalender, worin er Planetentafeln von Johannes Stöffler verwendet hatte, um ca. eine Stunde daneben lagen. Zur Korrektur brachte er eine kleine Schrift heraus, die seine Beobachtungen veranschaulichen sollte – die erste Druckschrift, die ausschließlich diesem Thema gewidmet war. Hier ging er über Regiomontanus hinaus, indem er den Ablauf der Finsternis grafisch deutlicher darstellte [10].

Die Beobachtungen von Hevelius und die Folgen

Einen großen Fortschritt bei der Beobachtung von Sonnenfinsternissen brachte die Erfindung des Teleskops. Eine neue Art den Verlauf grafisch festzuhalten, machte in Europa vor allem der Danziger

Bürgermeister und Bierbrauer Hevelius bekannt, der sich auf den Dächern seiner Häuser eine große Sternwarte eingerichtet hatte. 1647 brachte er seine Selenographia oder Mondbeschreibung heraus, in der sich für die damalige Zeit recht genaue Mondkarten finden. Darin stellte er auch seine Art Finsternisse zu beobachten vor: Abbildungen zeigen eine Camera obscura, wobei in dem Loch, das das Licht hereinließ, ein Teleskop angebracht war, womit das Bild der Sonne auf ein gegenüber liegendes weißes Papier projiziert wurde. Wie schon vor ihm bekannt war, konnte man so die Sonnenscheibe gefahrlos für das Augenlicht beobachten.

Auf diesem Papier konnte man auch die einzelnen Phasen der Sonnenfinsternis einzeichnen, was Hevelius exemplarisch an der Sonnenfinsternis vom 21. August



▲ Abb. 4: Die Skizze zeigt den Verlauf der Totalitätszone der Sonnenfinsternis vom 12. Mai 1706. Ausschnitt aus einer Karte aus Doppelmayrs Neuem Himmelsatlas von 1742.

1645 vorführte. Für viele deutsche Astronomen war er ein leuchtendes Vorbild und insbesondere setzte sich seine Art der Finsternisaufzeichnung deutschlandweit durch [11].

Darstellungen des Verlaufs der Totalitätszone

Erst nach Ablauf der großen Sonnenfinsternis vom 12. Mai 1706 kam Johann Gabriel Doppelmayr, damals Professor für Mathematik am Nürnberger Egidien-Gymnasium, auf die Idee, den Verlauf der Totalitätszone quer durch Europa auf einer Landkarte festzuhalten, eine Darstellung, die sehr bekannt wurde. Eine vergleichbare Abbildung findet sich auch in Doppelmayrs bekanntem Neuen Himmelsatlas, den er 1742 herausbrachte.

Gelegentlich wurde diese Karte für die erste gehalten, die so den Finsternisverlauf festhielt. Robert von Gent aus Utrecht konnte jedoch zeigen, dass bereits Cassini eine derartige Karte herausbrachte, die allerdings wenig bekannt wurde [12]. Die Kalenderforschungen von Klaus Dieter Herbst aus Jena brachten noch ältere Darstellungen zu Tage: Tatsächlich veröffentlichte Erhard Weigel aus Jena bereits vor der Sonnenfinsternis vom 12. August 1654 eine derartige Verlaufskarte. Sein Schüler Johann Christoph Sturm brachte zwei Karten zu Sonnenfinsternissen von 1676 heraus, beide Darstellungen sind also deutlich älter als die von Doppelmayr oder Cassini.

Die Finsterniskarten von Georg Moritz Lowitz

Erwähnenswert scheinen die beiden Karten, die Georg Moritz Lowitz im Dezember 1747 zur Sonnenfinsternis vom 25. Juli 1748 herausbrachte. Lowitz war ein Autodidakt aus Nürnbergs Nachbarstadt Fürth, der damals eine Anstellung im berühmten Homannschen Landkartenoffizin gefunden hatte. Das erste Blatt zeigte den Verlauf der Finsternis auf dem Erdglobus, das zweite zeigte den Verlauf quer durch Europa, wobei in zusätzlichen Figuren gezeigt wurde, was in Berlin, Nürnberg, St. Petersburg und Paris zu sehen war.

Um möglichst exakte Beobachtungsergebnisse zu erhalten, sollten auch die Karten möglichst exakt sein. Lowitz verwendete deshalb die neuen Mond- und Sonnentafeln, die Leonhard Euler 1746 herausgebracht hatte und die ihm wohl vom Autor selbst übersandt worden waren. Vor allem wurde Lowitz aber dafür

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

gelobt, dass er bei seinen Darstellungen statt der bislang üblichen orthografischen Projektion, bei der die Projektionsstrahlen senkrecht auf der Bildebene stehen, die stereografische Projektion verwendete, die winkeltreu ist.

Die Bedeutung seiner Karten erläuterte Lowitz in einer kleinen beigefügten Schrift. Darin kritisierte er – wie schon andere vor ihm – das Wort »Sonnenfinsternis«: Bei einer Mondfinsternis wird der Mond durch den Schatten der Erde verdunkelt, bei einer Sonnenfinsternis wird dagegen nicht die Sonne verfinstert, vielmehr verdunkelt der Schatten des Mondes Teile der Erde. Er sprach deshalb von einer »Erdfinsternis«, eine Wortwahl, mit der er sich freilich nicht durchsetzen konnte. Ansonsten wies er darauf hin, dass es sich um eine ringförmige Sonnenfinsternis handle, wodurch sie sich von den Finsternissen von 1706, 1715, 1724 und 1733 unterscheidet.

Lowitz will die Finsternis auch nach einer Art observiert haben, die »von allen anderen sehr unterschieden« war. Leider hat er darüber nichts veröffentlicht, so dass ungeklärt bleiben muss, wie er vorging [13].

Verwendung der Finsternisdaten

Die Beobachtung einer totalen Sonnenfinsternis ist ein beeindruckendes Ereignis, was für die partiellen Sonnenfinsternisse in aller Regel nicht gilt. Dass sie trotzdem die Aufmerksamkeit zahlreicher Astronomen der vergangenen Jahrhundert fanden, liegt daran, dass man sie für geographische Berechnungen verwenden kann: Eine Finsternis beginnt etwa in Berlin zu einem anderen Zeitpunkt als in Stuttgart, die Astronomen verstanden es sehr früh, aus diesen Zeitdifferenzen auf geographische Entfernungen zu schließen.

Dass man dabei auch deutlich daneben liegen kann, zeigt das Beispiel von Johannes Werner. Er war Pfarrer in Nürnberger Vorstädten, interessierte sich aber lebhaft für geographische und astronomische Probleme. 1514 brachte er einen Sammelband mit einigen seiner Arbeiten heraus, worin er u.a. erklärte, wie geographische Längen und Breiten ermittelt werden können. Wohl als erster Astronom bestimmte er darin die Polhöhen mittels der oberen und unteren Kulmination eines Zirkumpolarsterns: Nimmt ein Stern seine größte oder kleinste Höhe am Himmel ein, befindet er sich auf dem Meridian, also der Mittagslinie des entsprechenden Ortes. Nur bei Zirkumpolarsternen können beide Kulminationen beobachtet werden. Genau in der

Mitte befindet sich der Himmelsnordpol, über den dann die geographische Breite festgelegt wird. Diese Methode war weit weniger fehleranfällig als die bis dahin übliche, die Polhöhe mittels Messungen von Sonnenpositionen festzustellen.

Deutlich schwieriger ist die Bestimmung der geographischen Längen. Hier führte Werner seine eigene Beobachtung der Mondfinsternis vom 18. Januar 1497 an, deren Anfang er bei seinem damaligen Aufenthalt in Rom um 5:24 Uhr beobachtet hatte. In Nürnberg sei der Beginn um 4:52 Uhr gewesen, damit fast so, wie es Regiomontanus in seinen Ephemeriden angegeben habe. Das machte einen Zeitunterschied von 32 Minuten, was 8° Unterschied in der geographischen Länge bedeute. Die Polhöhe zu Rom gab er zu 41° 50' an, die zu Nürnberg mit 49° 24', was eine Differenz von 7° 34' ausmacht. Nach heutigen Angaben sind die Koordinaten von Nürnberg 49° 27' Nord und 11° 5' Ost, die von Rom 41° 54' Nord und 12° 29' Ost, was einen Unterschied in der Länge von 1° 24', in der Breite von 7° 33' ausmacht. Die Breitenbestimmung lieferte also recht gute Werte, während die wesentlich schwieriger zu bestimmende Längendifferenz fast um den Faktor sechs daneben lag. Zur Entschuldigung Werners ist allerdings anzufügen, dass auf den damals noch verwendeten Karten von Ptolemäus der italienische Stiefel viel zu weit nach Osten hin gezeichnet war, Werners Ergebnisse somit mit damaligem Kartenmaterial übereinkamen [14].

Sonnenfinsternisse und Landkarten

Werner gehörte den humanistischen Zirkeln an und gerade die Humanisten wollten die Welt kennen lernen sowie auf Reisen Erfahrungen sammeln. Dazu brauchte man möglichst gute Landkarten und begann darüber sich für die zugehörigen Probleme zu interessieren. Um 1700 waren die Methoden deutlich verbessert worden, die Motivation war allerdings eine andere: Man brauchte Karten für den Handel und für das Militär, auch wollten die absolutistischen Herrscher möglichst genau über ihr Gebiet Bescheid wissen. Die möglichst genaue Beobachtung von Finsternissen erfuhr dadurch einen enormen Aufschwung.

Das wird besonders deutlich an der Sonnenfinsternis vom 12. Mai 1706, die bei prächtigem Wetter quer durch Europa gut zu beobachten war. Fast alle namhaften Wissenschaftler der damaligen Zeit haben sie beobachtet. Zu nennen sind

beispielsweise Giovanni Domenico Cassini, Direktor der Pariser Sternwarte und John Flamsteed, Direktor in Greenwich. An beiden Orten war die Finsternis nur eine partielle. Berichte aus der Totalitätszone lieferte Johann Jacob Scheuchzer in Zürich, der heute als Begründer der Wissenschaft von den Alpen gilt. Aus Deutschland sei Christian Wolff aufgeführt, der von Leipzig aus beobachtete [15].

- [1] Historische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften: Die Chroniken der fränkischen Städte, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München 1, 335 (1862)
- [2] Gaab, H.: Der Altdorfer Mathematik- und Physikozyent Abdias Trew (1597–1669), Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 289 (2011)
- [3] Heinrich, S.: Die Sonnenfinsternis am 12. August 1654. Beobachtet in Hof an der Saale und in Marktredwitz im Fichtelgebirge, Verlag Heinrichs Heftchenecke, Selb (2008)
- [4] Gaab, H.: Der Altdorfer Mathematik- und Physikozyent Abdias Trew (1597–1669), Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 397 (2011)
- [5] Gaab, H.: Das Leben des zwielichtigen Kalenderschreibers Israel Hiebner (1619–1668), in: HeBelmann, P. Grimmelshausen als Kalenderschriftsteller und die zeitgenössische Kalenderliteratur, Beihefte zu *Simpliciana*, Beiheft 5, Bern, 307 (2011)
- [6] Weigel, E.: *Speculum Temporis Civilis*, Krebs, Jena, 90 (1664)
- [7] Schnabel, J. G.: *Insel Felsenburg*, Reclam, Stuttgart, 15 (1979)
- [8] Bächtold-Stäubli, H. (Hrsg.): *Handwörterbuch des deutschen Aberglaubens*, de Gruyter, Berlin 2, Sp. 1516 (1987)
- [9] Zinner, E.: *Der deutsche Kalender des Johannes Regiomontanus, Nürnberg, um 1474*, Faksimiledruck, Harrassowitz, Leipzig (1937)
- [10] Schöner, J.: *Eigentliche anzaigung rechter zeytte, der Sunnen Finsternus dises M.D.XXXVIII. jars am 14. tage Januarij geschehen sambt derselben Würckung anfang und art*, Peypus, Nürnberg (1534)
- [11] Hevelius, J.: *Selenographia sive Lunae descriptio*, Huenefeld, Danzig (1647)
- [12] van Gent, R. H.: *Mapping the lunar shadow – the earliest solar eclipse maps*, in: Wittmann, A. D., Wolf-schmidt, G., Duerbeck, H.: *Entwicklung der Sonnenforschung*, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a.M., 103 (2005)
- [13] Lowitz, G. M.: *Vorstellung der Sonnen- oder Erd-Finsternis den 25. Iul. 1748*, Archiv-Verlag, Braunschweig (2007)
- [14] Günther, S.: *Johann Werner aus Nürnberg und seine Beziehungen zur mathematischen und physischen Erdkunde. Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie*, Nebert, Halle a.d.S., 277 (1878)
- [15] Gaab, H.: *12. Mai 1706: Vor 300 Jahren war die bislang letzte totale Sonnenfinsternis in Nürnberg, Regiomontanusbote 19/2, 6 (2007)*

Dunstkreis und Tropfen

Historische Beobachtungen des Venus-transits von 1761

VON HILMAR W. DUERBECK †

Auf den Tag genau 251 Jahre vor dem diesjährigen Venusdurchgang fand der für die Wissenschaft bedeutsame Transit vom 6.6.1761 statt. Dabei wurde das Vorhandensein einer Venusatmosphäre festgestellt, und oft wird der russische Universalgelehrte Michail Lomonossow als ihr Entdecker genannt. Es gab jedoch viele Beobachter, die 1761 ihre Fernrohre auf die Sonne richteten, unerwartete Phänomene sahen oder zu sehen glaubten, und Mutmaßungen darüber anstellten.

von Beobachtern, die sich wohl praktisch gleichzeitig Gedanken über die Erklärung der beobachteten Phänomene – Bögen, Tropfen und Aureolen – gemacht haben [3–7].

Venusdurchgang 1761: Lomonossow

Ein Text, der oft als »Entdeckungsbericht« der Venusatmosphäre angesehen wird und den »Lomonossow-Effekt« beschreibt, findet sich in einer seltenen Druckschrift, die im Juli und August des Jahres 1761 auf Russisch und Deutsch erschien. Lomonossow hatte in Marburg studiert, die Tochter seiner Zimmerwirtin geheiratet und war Schüler des Philosophen Christian Wolff gewesen, so dass man annehmen kann, dass die deutsche Fassung ebenfalls aus der Feder dieses russischen Wissenschaftlers stammt. Lomonossow schreibt zum 1. Kontakt [8]: »Indem derselbe [= Lomonossow] auf den Eintritt der Venus in die Sonne bey vierzig Minuten [...] gewartet hatte, kam ihm der Sonnen-Rand, an welchem der Eintritt erfolgen sollte, nicht mehr so helle, als vorher, sondern gleichsam etwas trübe

▲ Abb. 1: Die Bestimmung des genauen Zeitpunkts der inneren Kontakte des Venustransits stellte die Beobachter 1761 vor Probleme, denn verschiedene optische Effekte erschwerten die Zeitnahme. Zu einem der beobachteten Effekte gehörte der »Schwarze Tropfen«, hier angedeutet auf einem Foto aus dem Jahr 2004.

Schon bald nach der Erfindung des Teleskops wurden Versuche unternommen, die seltenen Vorübergänge der Venus vor der Sonne zu beobachten. Vergeblich suchte man den Durchgang von 1631 zu beobachten – er war nur von Nordamerika aus zu sehen. 1639 sahen die englischen Privatgelehrten Jeremiah Horrocks und William Crabtree als einzige die Venus vor der Sonnenscheibe. 1761 und 1769 richteten die großen Nationen Frankreich und England Expeditionen aus, um Beobachter in weit entfernte Weltgegenden zu bringen und so die Entfernung Sonne-Erde genau bestimmen zu können [1, 2].

Vor genau 251 Jahren

Wenn die Venus am 5./6. Juni 2012 über die Sonnenscheibe zieht, wird es das letzte derartige Ereignis im 21. Jahrhundert sein. Man weiß heute, dass Venus ein heißer und unwirtlicher Planet mit einer dichten, undurchsichtigen und lebensfeindlichen Atmosphäre ist. Vor 251 Jahren, beim Durchgang von 1761, war die Situation eine andere. Zwar hatte man erkannt, dass die Venus ein der Erde vergleichbarer Planet ist – trotz nur ungenau bekannter

Sonnenparallaxe war es klar, dass Venus etwa Erdgröße besitzt. Das kopernikanische Weltsystem hatte sich allgemein durchgesetzt, und in populären Werken wie Bernard de Fontenelles Dialogen von der Mehrheit der Welten, zuerst erschienen 1686, wurden nicht nur Eigenschaften der Planeten beschrieben, sondern auch Mutmaßungen über die Existenz von Planetenbewohnern angestellt. Und wenn es solche gäbe, müsste natürlich auch irgendeine Art von Luft zum Atmen vorhanden sein.

Fontenelles Bestseller kam 1698 in deutscher Sprache heraus. 1726 erschien eine verbesserte Neuauflage, übersetzt durch den erst 26-jährigen Schriftsteller, Redakteur, Universitätsprofessor und Herausgeber Johann Christoph Gottsched. Während Halley in seinen Aufrufen zur Beobachtung der Venusdurchgänge annahm, dass Ein- und Austrittszeiten der Venus vor der Sonnenscheibe mit Sekundenauigkeit würden gemessen werden können, hatten die Beobachter des Durchgangs von 1761 unerwartete Probleme, da die Zeiten der äußeren und inneren Kontakte beim Ein- und Austritt nicht gut definiert waren. So gab es eine stattliche Zahl

S. VOLTMER

vor; denn vorher war er ganz rein und klar, weil aber noch keine wirkliche Schwärze zu sehen war, so schloß er, es müste sein ermüdetes Auge hieran schuld seyn, und zog also das Auge vom Tubo ab. Einige Sekunden darauf that er wieder einen Blick in den Tubum und wurde gewahr, daß an derjenigen Stelle, welche ihm kurz zuvor so trübe erschienen, jetzt wirkklich ein kleiner doch ganz deutlicher schwarzer Bogen von der eintretenden Venus war.«

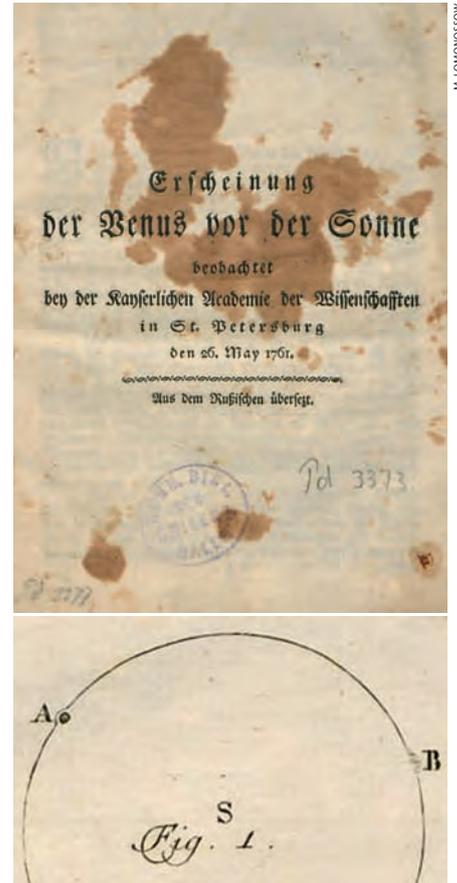
Den 2. Kontakt beschreibt Lomonossow wie folgt: »Er beobachtete hierauf mit großem Fleiß den Eintritt des hintern Randes der Venus; dieser hatte, dem Ansehen nach, den Sonnenrand noch nicht berührt, sondern schien, als wäre ein kleiner Theil der Venus noch außerhalb dem Rande der Sonnen. Auf einmahl aber entstund zwischen dem hintern Rande der Venus und dem Sonnen-Rande ein ganz helles Licht, wie ein Haar breit, welches die Venus vom Rande der Sonnen absonderte, so daß beydes in Zeit von nicht mehr als einer Secunde geschahe.«

3. Kontakt: »Da die Venus vor dem Austritt aus der Sonnen, sich dem Sonnen=Rande näherte, und nach bloßem Augenmaß zu schätzen, etwa noch den zehnten Theil von ihrem Durchmesser vom Rande der Sonnen entfernt war, zeigte sich an dem Rande der Sonnen eine Erhöhung, welche immer deutlicher wurde, je näher die Venus ihrem Austritte kam. [...] In einem Augenblick verlohr sich dieser scheinbare Hügel und der Venus fehlte sogleich ein zwar nur kleiner, doch aber [...] ganz deutlicher Theil von ihrem Rande.«

4. Kontakt: »Bey dem gänzlichen Austritt dieses Planeten aus der Sonnen, oder bey deßen äußern Berührung an den Sonnen=Rand wurde dieser Rand auch in etwas undeutlich und trübe.«

Seine Folgerung: »Nach diesen Beobachtungen urtheilt der Herr Rath Lomonossow, dass der Planet Venus mit einem merklichen Dunstkreise [= damals übliche Verdeutschung des Wortes Atmosphäre; vgl. auch den heutigen niederländischen Ausdruck Dampkring] umgeben, der, wo nicht größer, doch eben so groß, als unsere Erd=Atmosphäre ist. Denn es zeigt die Abnahme der Klarheit am hellen Sonnen-Rande B noch vor dem wirkklichen Eintritt der Venus anfänglich den Eintritt der Atmosphäre der Venus in die Sonne. [...] Bey dem Austritt des Planeten aus der Sonne erhob sich außerhalb am Sonnenrande eine Erhöhung. Dieses kann nichts anders anzeigen, als daß sich die Sonnenstrahlen in dem Dunstkreise der Venus gebrochen haben.«

Hat Lomonossow reelle Dinge beobachtet? Vom heutigen Standpunkt aus gesehen: mit großer Sicherheit zumeist nicht. Die Venusatmosphäre hat, von der Erde aus gesehen, eine Höhe von 0,02". Der Eintritt der Atmosphäre dauert etwa eine halbe Sekunde, so dass ein solcher »Trübungseffekt« kaum wahrzunehmen ist. Die Strahlenbrechung des Sonnenlichts in der oberen Atmosphäre, d.h. oberhalb der Wolkenschicht, die die Venus umgibt, bewirkt in der Tat eine Aufhellung des Venusrandes, die vor dem zweiten und nach dem dritten Kontakt merklich ist, und Lomonossow könnte erstere gesehen haben. Besonders deutlich erkennt man diesen Effekt an Beobachtungen des Venusdurchgangs mit dem TRACE-Satelliten (Abb. 3), aber auch bei historischen Beobachtungen, vor allem von australischen Beobachtern [9]. Dass Lomonossow allerdings schon einige Minuten vor dem 3. Kontakt einen solchen Kranz oder Buckel gesehen haben will, erscheint kaum glaubhaft.

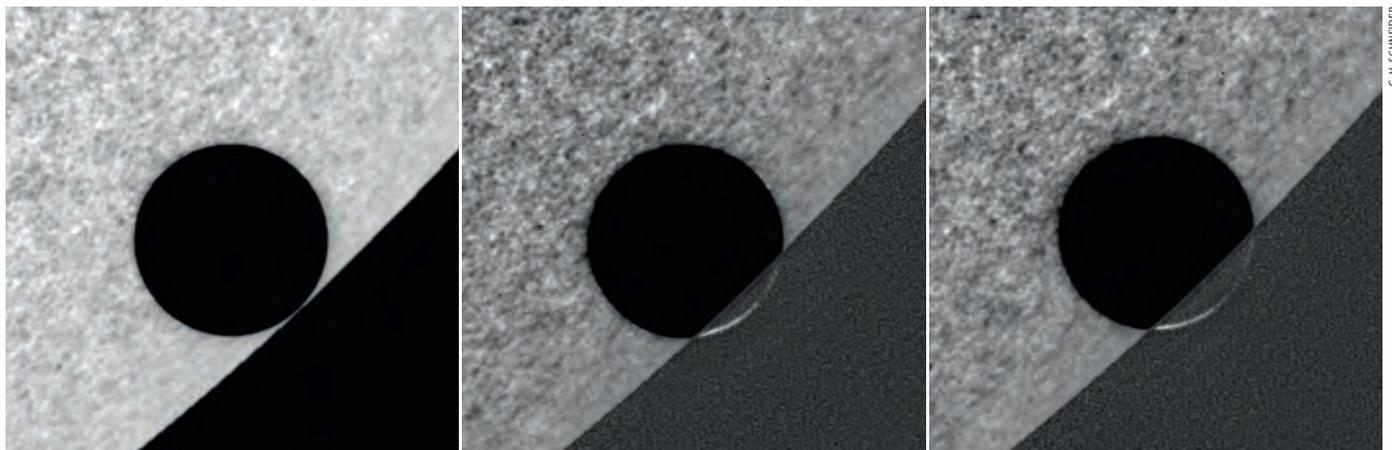


▲ Abb. 2: Titelseite der Schrift von M. Lomonossow (oben) und Tafelausschnitt (unten). Der Augenblick vor dem Eintritt der Venus ist rechts (B) illustriert, der Austritt links (A).

Interessante deutsche Beobachtungen 1761

War die vermeintliche Entdeckung einer Venusatmosphäre eine Überraschung? Eigentlich nicht. In Deutschland, wo beim Sonnenaufgang die Venus schon vor der Sonnenscheibe stand und man nur einen Teil des Durchgangs und den 3. und 4. Kontakt sehen konnte, beobachtete der

▼ Abb. 3: Drei TRACE-Satellitenbeobachtungen des Venusdurchgangs von 2004; dritter Kontakt ohne Tropfenphänomen, zwei Phasen der Venus mit Bogen beim Austritt. Der Transition Region And Coronal Explorer (TRACE) ist ein Erdsatellit (1998–2010) mit einem 300mm-Cassegrain-UV-Teleskop, das der Untersuchung der Sonnenatmosphäre dient.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 4: Das Titelblatt des Juniheftes 1761 des »Neuesten aus der anmuthigen Gelehrsamkeit« (links) und die Berichte aus Halberstadt (mit Fußnote) und Magdeburg (rechts).

Konrektor der Klosterschule Ilfeld zusammen mit seinen Schülern [10]: »Was wir sonst noch beobachteten, war ohngefähr dieses: daß sich um die Venus, auf dem Bilde der Sonne, einige Farben gelb und blau zeigten; ob diese eine Wirkung des Dunstkreises der Venus sind, und ob man daraus mit Zulässigkeit auf die Wirklichkeit desselben schliessen könnte, kan ich nicht entscheiden, vielleicht kan es eine Wirkung meines Fernglases gewesen seyn [...] ich will also nichts daraus schliessen, sondern begnüge mich, Ihnen nur zu erzählen, was wir gesehen haben.«

Man sieht auch hier, dass ein – zwar offenkundig auf instrumentellen Unzulänglichkeiten beruhender – Effekt gleich mit dem Einfluss einer Venusatmosphäre erklärt wurde. Im Juniheft der von Johann Christoph Gottsched in Leipzig herausgegebenen Zeitschrift »Das Neueste aus der anmuthigen Gelehrsamkeit« [11] berichtete Friedrich Wilhelm Eichholz aus Halberstadt über den Austritt der Venus: »Gerade um 9 Uhr stand Venus am Rande der Sonne, nicht weit von dem horizontalen Durchmesser derselben; und wie sie anfang, sich mit dem Sonnenrande zu vereinigen, da warf sie von ihrem Umkreise einen silberfarbenen Schein in dem Sonnenrande, bis sie 17 Minuten nach 9 Uhr völlig aus der Sonne verschwand.« Vor dem letzten Komma hat offenbar ein Redakteur die Fußnote angefügt: »Dieser silberfarbene Rand scheint die Dunstkugel um die Venus zu bestätigen; und folglich ihre Bewohnbarkeit darzuthun.«

sich der Himmel auf einmal. Gerade um 9 Uhr stand Venus am Rande der Sonne, nicht weit von dem horizontalen Durchmesser derselben; und wie sie anfang, sich mit dem Sonnenrande zu vereinigen, da warf sie von ihrem Umkreise einen silberfarbenen Schein in dem Sonnenrande *), bis sie 17 Minuten nach 9 Uhr völlig aus der Sonne verschwand.

Uebrigens wird durch diese ganze Erscheinung vornehmlich die genaue Richtigkeit der berliener Berechnung bewähret und gerechtfertiget.

2) Magdeburg.

Die Erscheinung der Venus in der Sonne ist bey dieser Stadt zu Kloster Bebenhausen, von dem Hrn. Conventual Silberschlag, in hoher Gegenwart Sr. königl. Hoheit, des Herrn Markgrafen Heinrichs, und anderer Freunde der Wissenschaften, aufs sorgfältigste bemerket worden. Hr. Silberschlag liefert uns nur die Zeit des Austritts, als worauf es hauptsächlich angekommen; weil

*) Dieser silberfarbene Rand scheint die Dunstkugel um die Venus zu bestätigen; und folglich ihre Bewohnbarkeit darzuthun,

Beobachtungen in Magdeburg

Ein weiterer interessanter Bericht stammt von Georg Ludwig Christoph Silberschlag bei Magdeburg [11]: »Noch ist zu bemerken, daß als die Venus im Begriffe war, den Rand der Sonne von innen zu berühren, derselbe über seine zirkelförmige Rundung in einen solchen Bogen austrat, der vollkommen mit dem Rande der Venus parallel war. [...] Kenner werden dieß Phänomenon einmüthig für eine Atmosphäre der Venus halten; in welcher gewiß eine starke Brechung der Lichtstralen statt finden muß. Merkwürdiger Umstand! denn nun ist das Daseyn der Atmosphäre der Venus, welches bisher nur analogisch hat behauptet werden können, durch die Observation vollkommen bestätigt; und die Venus ist also ganz gewiß eben ein solcher Weltkörper, als unsere Erde ist: zumal da große Berge in derselben schon vom Cassini beobachtet worden.«

Während Mühlpfordt [5–7] durch stilistische Vergleiche die Fußnote des Halberstädter und den zweiten Teil des Magdeburger Berichts der redaktionellen Bearbeitung in Leipzig und hier vermutlich dem dort lebenden Mathematiker und Optiker Samuel Gottlieb Hoffmann zuschreibt, findet sich ein weiterer Druck der beiden »eingesandten Berichte« in Georg Friederich Kordenbuschs Buch »Die Bestimmung der denkwürdigen Durchgänge der Venus durch die Sonne«. Hier fehlt die Halberstädter Fußnote,

ansonsten sind die Texte, von wenigen stilistischen Veränderungen abgesehen, dem in der Zeitschrift gleich, so dass man annehmen kann, dass Kordenbusch sie daraus kopiert und nicht von den Autoren selbst erhalten hat. Die Zuschreibung des Magdeburger Berichts bleibt also unsicher, und damit auch der Name des deutschen »Entdeckers der Venusatmosphäre«.

Diese beiden Berichte scheinen also das gleiche zu beschreiben, was in den modernen TRACE-Beobachtungen zu sehen ist: eine durch Strahlenbrechung des Sonnenlichts in der Venusatmosphäre hervorgerufene helle Sichel am Rand der in die Sonne ein- bzw. aus ihr austretenden Venus.

Weitere Beobachtungen: Tropfen, Bögen, Halos

Neben Lomonossow gab es weitere akademische Beobachter, deren teilweise illustrierte Berichte etwas später erschienen. Der in Selenginsk nahe dem Baikalsee beobachtende Stepan Rumowsky beschrieb nicht nur den schwarzen Tropfen (»guttula nigra«, nebst einer Fußnote, wie man ihn durch die Betrachtung zweier einander berührender Finger vor einer Lichtquelle simulieren kann), sondern auch den Halo [12]: »Die Sonne schien für einige Minuten mit voller Kraft, und dann schien mir der vorausgehende Rand der Venus, der über die Sonne herausragte, von einem leuchtenden Ring umgeben. Es war nicht möglich, dieses Phänomen genauer zu betrachten, da die Sonne plötzlich durch eine dazwischen tretende Wolke aus dem Blick verschwand.«

In Schweden war der gesamte Durchgang zu beobachten [13]. In Uppsala beschrieben Strömer, Bergman und Mallet das Tropfenphänomen (»da schien die schwarze Venus länglicher an Gestalt wie ein Wassertropfen, bis an den Sonnenrand. [...] Die Venus schien ein Stück in die Sonne hinein zu gehen, ohne den Rand zu verlassen, an welchen von der Venus wie ein schwarzes Band gieng.«). Herr Strömer »urtheilte [...], Venus sey vermutlich von einer Atmosphäre umgeben, die durch eine sehr starke Brechung der Sonnenstrahlen, diese unerwartete Erscheinung so merklich gemacht habe.«

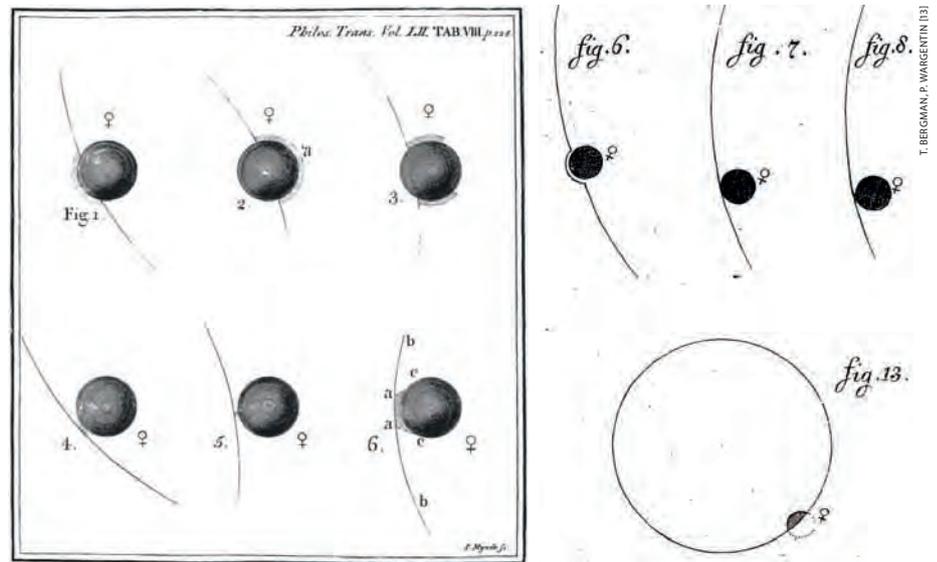
Dann erfolgte der dritte Kontakt: »Der Rand der Sonne ward schwarz, und zertheilte sich in Hörner. Indessen daß Venus aus der Sonne zu gehen fortfuhr, schien anfangs der ganze herausgekommene Theil mit einem schmalen und schwachen Glanz umgeben, nachgehends wie

der herausgetretene Theil größer ward, erstreckte sich der Glanz nur auf einen Theil der Venus. Verschiedene Beobachter sahen die Größe dieses Scheins von verschiedener Größe.« Bergman hat eine ganze Serie solcher Ränderbeobachtungen gezeichnet.

Schließlich ist von der Stockholmer Sternwarte noch ein interessanter Bericht zu lesen: »Nachdem man den Anfang des Austritts so glücklich beobachtet hatte, so wollte Herr Wargentin sein Auge einige Zeit ruhen lassen, um das Ende desto schärfer zu sehen. Er hielt es wieder an das Fernrohr, da Venus bereits bis auf ein Viertel herausgegangen war, und da kam es ihm so vor, als sähe er einen solchen matten Glanz, wie beym Eintritte um den Rand der Venus, der schon aus der Sonne heraus war. Es sah wie ein schmaler Ring außerhalb der Sonne aus, welcher völlig zu dem Theile der Venus, der sich noch in der Sonne befand, paßte, und solche gleichsam ergänzte (Abb. 7). [...] Wie wohl er nicht vollkommen gewiß war, ob man solchen Ring für was wirkliches anzusehen hätte oder nicht, zumal da Herr Klingenstierna auf Befragen meldete, er sehe nichts dergleichen, so fiel ihm doch ein, dieser Ring könnte eine Aehnlichkeit mit demjenigen haben, den man bey gänzlichen Verfinsterungen der Sonne, um den Mond sieht. Aber nach fernerer Ueberlegung ist ihm wahrscheinlicher, dieser Ring zeige eine Atmosphäre um die Venus an.«

Die Venusatmosphäre

Festzuhalten bleibt, dass eine Venusatmosphäre für eine Reihe von Phänomenen von den Beobachtern zur Erklärung herangezogen wurde. Beobachtete Trübungen sind wohl auf die oft ungünstigen Sichtbedingungen bei Horizontnähe und bei instabiler Luft zurückzuführen. Der hier erstmals beschriebene schwarze Tropfen (Rumovsky war möglicherweise der erste, der diesen Ausdruck verwendete) hängt zusätzlich von der Qualität des verwendeten Fernrohrs ab. Der öfters beschriebene, aber hier nicht mit Zitate belegte helle Ring oder Halo um die über die Sonnenscheibe ziehende Venus ist ein im Auge auftretendes Kontrastphänomen. Allein der helle, anfangs vollständige und später fragmentierte Bogen um den Rand der aus der Sonnenscheibe ausgetretenen Venus ist ein Beweis für das Vorhandensein der Venusatmosphäre, und zwar des durchsichtigen Bereichs über der die Venusoberfläche verhüllenden Wolkenschicht.



▲ Abb. 5: **Beobachtungen um die Zeiten der Kontakte** von T. Bergman (links). Sowohl vollständige wie teilweise Bögen, als auch das Tropfenphänomen sind zu erkennen. Beobachtungen der Gruppe in Uppsala (rechts oben), die Beule (Fig. 6) und Tropfen (Fig. 8) zeigen, sowie von Wargentin in Stockholm beobachteter halber Ring (rechts unten).

Johann Hieronymus Schröter und Wilhelm Herschel fanden im letzten Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts weitere Evidenz für das Vorhandensein der Venusatmosphäre, und zwar durch die Beobachtung, dass die Spitzen der Venussichel nahe der Unteren Konjunktion, d.h. wenn die Venus als große Sichel in Sonnennähe am Himmel steht, einen Öffnungswinkel von mehr als 180° zeigen (und in günstigen Fällen sogar einen Vollkreis von 360° bilden). Man kann zeigen, dass dies nicht durch die eben erwähnte Lichtbrechung, sondern durch Lichtstreuung in den obersten Wolken- bzw. Nebelschichten der Venusatmosphäre zustande kommt. Auch die von manchen Beobachtern behauptete Sichtbarkeit der Venus als schwach leuchtende Scheibe kurz nach dem Durchgang mag durch den Effekt der Lichtstreuung erklärt werden. Am 6.6.2012 bietet sich die für lange Zeit letzte Gelegenheit, auf den Spuren der historischen visuellen Beobachter selbst den Venusdurchgang zu beobachten.

- [1] Bersinger, W.: Für Venus um die halbe Welt, *interstellarum* 34, 50 (2004)
- [2] Bucher, G.: Die Spur des Abendsterns: die abenteuerliche Erforschung des Venustransits, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (2011)
- [3] Pasachoff, J. M., Sheehan, W.: Lomonosov, the discovery of Venus's atmosphere, and eighteenth-century transits of Venus, *Journal for Astronomical History and Heritage*, im Druck (2012)
- [4] Meadows, A. J.: The discovery of an atmosphere on Venus, *Annals of Science* 22, 117 (1966)
- [5] Mühlpfordt, G.: Der früheste Nachweis der Atmosphäre des Planeten Venus. Eine vergessene Entdeckung im

Spiegel der Leipziger Aufklärung, *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig* 16, 639 (1967)

- [6] Mühlpfordt, G.: Die Entdeckung der Venusatmosphäre durch Magdeburger Astronomen, *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke Magdeburg* 11, 737 (1967)
- [7] Mühlpfordt, G.: Die Entdeckung der Venusatmosphäre durch Magdeburger Astronomen, *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke Magdeburg* 12, 169 (1968)
- [8] Anonym: Erscheinung der Venus vor der Sonne, beobachtet bey der Kayserlichen Academie der Wissenschaften in St. Petersburg den 26. May 1761
- [9] Stoyan, R.: Ringe, Schatten und Tropfen, *Besondere Phänomene bei Venustransiten*, *interstellarum* 34, 36 (2004)
- [10] Meißner, C. F.: Nachricht, wie man zu Ilfeld den Durchgang der Venus durch die Sonnenscheibe beobachtet, *Hannoversche Beyträge zum Nutzen und Vergnügen*, 52tes Stück, Montag, den 29ten Junius 1761, (1761)
- [11] Anonym: Noch einige auswärtige Beobachtungen der Venus in der Sonne, in: *Das Neueste aus der anmuthigen Gelehrsamkeit, Brachmond* 1761. Nr. VI, Leipzig, 421 (1761)
- [12] Rumovsky, S.: *Brevis Expositio Observationum Occasione Transitus Veneris per Solem in Urbe Selenginsk An. 1761 institutarum, Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae Tom XI pro Anno MDCLXXV*, Petersburg, 443 (1767)
- [13] Beobachtungen des Durchganges der Venus durch die Sonne, in: *Der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften neue Abhandlungen aus der Naturlehre ... auf das Jahr 1761, Drei und zwanzigster Band*, Hamburg und Leipzig, 142 (1764)

20./21.5.2012

13./14.11.2012

F. ESPENAK, INTERSTELLARUM

▲ Abb. 1: Die beiden Finsternisse 2012 sind für fünf Jahre die besten derartigen beobachtbaren Ereignisse – dies gilt für die ringförmige Finsternis vom 20./21.5. genauso wie die totale Sonnenfinsternis vom 13./14.11.

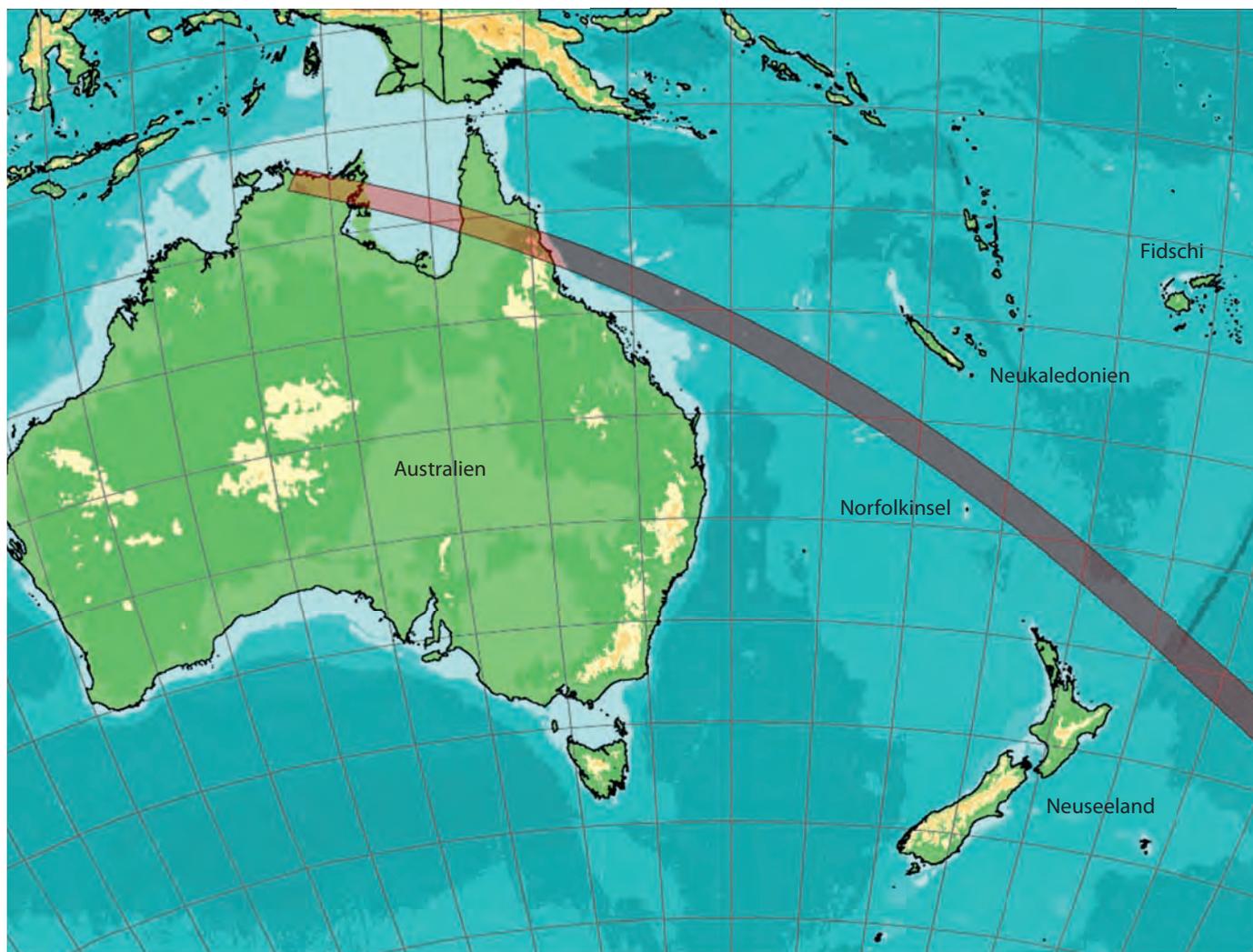
Fünf Finsternis-Jahre

Die besten totalen und ringförmigen Sonnenfinsternisse 2012–2017

VON DANIEL FISCHER

Spanien 2005, Türkei/Libyen 2006, Russland/Mongolei 2008, China 2009, Indien 2010 – die vergangenen Jahre brachten zahlreiche ringförmige und totale Sonnenfinsternisse, die viele Finsternisjäger anzogen. Der Blick auf die kommenden Jahre zeigt nicht ganz so spektakuläre Finsternisse. Doch einige interessante Erscheinungen sind dabei und auch Europa kommt wieder in den Genuss des Mondschattens, bevor 2017 die USA der Schauplatz des nächsten Sonnenfinsternis-Massenspektakels sein werden.

Schon 2012 wird das von totalen Finsternissen freie 2011 gleich doppelt nachgeholt: Im Mai kann eine ringförmige Sonnenfinsternis in Ostasien, dem Nordpazifik und den Vereinigten Staaten beobachtet werden (vgl. ausführlich in interstellarum 80), im November dann eine totale – wenn auch kurze – in Nordaustralien und dem Südpazifik. Die doppelte Erwähnung des größten Ozeans deutet schon an, dass sich die Landberührung beider Finsternisse in Grenzen hält – was andererseits den »Vorteil« hat, dass die Auswahl der Beobachtungsorte auf festem Land überschaubar bleibt. Zusammen mit der langjährigen Klimastatistik fällt die Empfehlung für die ringförmige Finsternis dabei klar auf das Ende der Annularitätszone in den USA, während bei der totalen die Ostküste von Queensland und das direkt anschließende Inland die besten Aussichten versprechen – oder Kreuzfahrtschiffe vor der Küste. Die nächsten Jahre folgen dann eine Reihe »schwieriger« Finsternisse.



J. ANDERSON, INTERSTELLARUM

▲ Abb. 2: **Der Beginn des Finsternisverlaufs am 14. November:** Nachdem der Kernschatten zweimal Australien – das Northern Territory bzw. Queensland – getroffen hat, wird kein Festland mehr berührt.

Mai 2012: Sonnenring über dem Pazifik

Die Zone, in der die Finsternis vom – je nach Zeitzone – 20. oder 21. Mai 2012 als geschlossener Ring erscheinen wird, beginnt bei Sonnenaufgang im Südosten Chinas, schließt einen größeren Teil Japans ein, überquert dann den nördlichen Pazifik, verfehlt knapp Alaska und trifft schließlich die nordamerikanische Westküste, um im »Wilden Westen« bei Sonnenuntergang zu enden. Der Mai ist eine schlechte Zeit für astronomische Reisen in Ostasien, aber eine gute für den Westen der USA: Während in Asien bereits der wolken- und regenreiche Monsun herrscht, hat der gewittrige amerikanische Sommer-Monsun noch nicht begonnen. In China ist nicht nur die Bewölkungswahrscheinlichkeit hoch, morgens ist es auch oft dunstig. Etwas besser sind die Aussichten an der Küste, namentlich in Hongkong, wo es aber andererseits oft morgendliche Gewitter gibt, und auch in Japan ist die Statistik kaum besser. Völlig anders liegen

die Dinge aber auf der anderen Seite des Pazifiks: Bedingt durch die regionale Topografie schwankt die durchschnittliche Bewölkung von Ort zu Ort zwar deutlich, aber die Annularitätszone durchquert in den westlichen USA tatsächlich Gebiete mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% für klaren Himmel; in interstellarum 80 wurde dies schon ausgeführt.

Mit etwas Planung und Flexibilität dürfte eine erfolgreiche Beobachtung der Ringphase in den USA nahezu garantiert sein. Eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen dabei Gebirge: Zum einen zwingen sie anströmende Luft in die Höhe, und Feuchtigkeit kondensiert aus – auf der anderen Seite der Berge werden Beobachter dann kilometerweit von Wolken geplagt. Und da die Finsternis erst am späten Nachmittag eintritt, können sich kahle Bergänge den Tag über stark aufheizen, was zu Konvektionsbewölkung führen kann. Je weiter man sich vom Pazifik entfernt, desto besser wird die Wolkenstatistik, dafür steht die spätnachmittägliche Sonne allerdings auch immer tiefer. Generell dürfte

der beste Standort ein niedrig gelegenes flaches Tal oder eine Tiefebene sein, mit Bergen allenfalls flach im Westen. Direkt im Untergang kann der Sonnenring nur in Texas beobachtet werden: Hier nimmt allerdings durch den Einfluss des Golfs von Mexiko die Wahrscheinlichkeit für Gewitter – speziell im Mai! – deutlich zu, so dass man bereit sein muss, kurz entschlossen den Standort zu wechseln.

November 2012: Vereint an einem Küstenstreifen

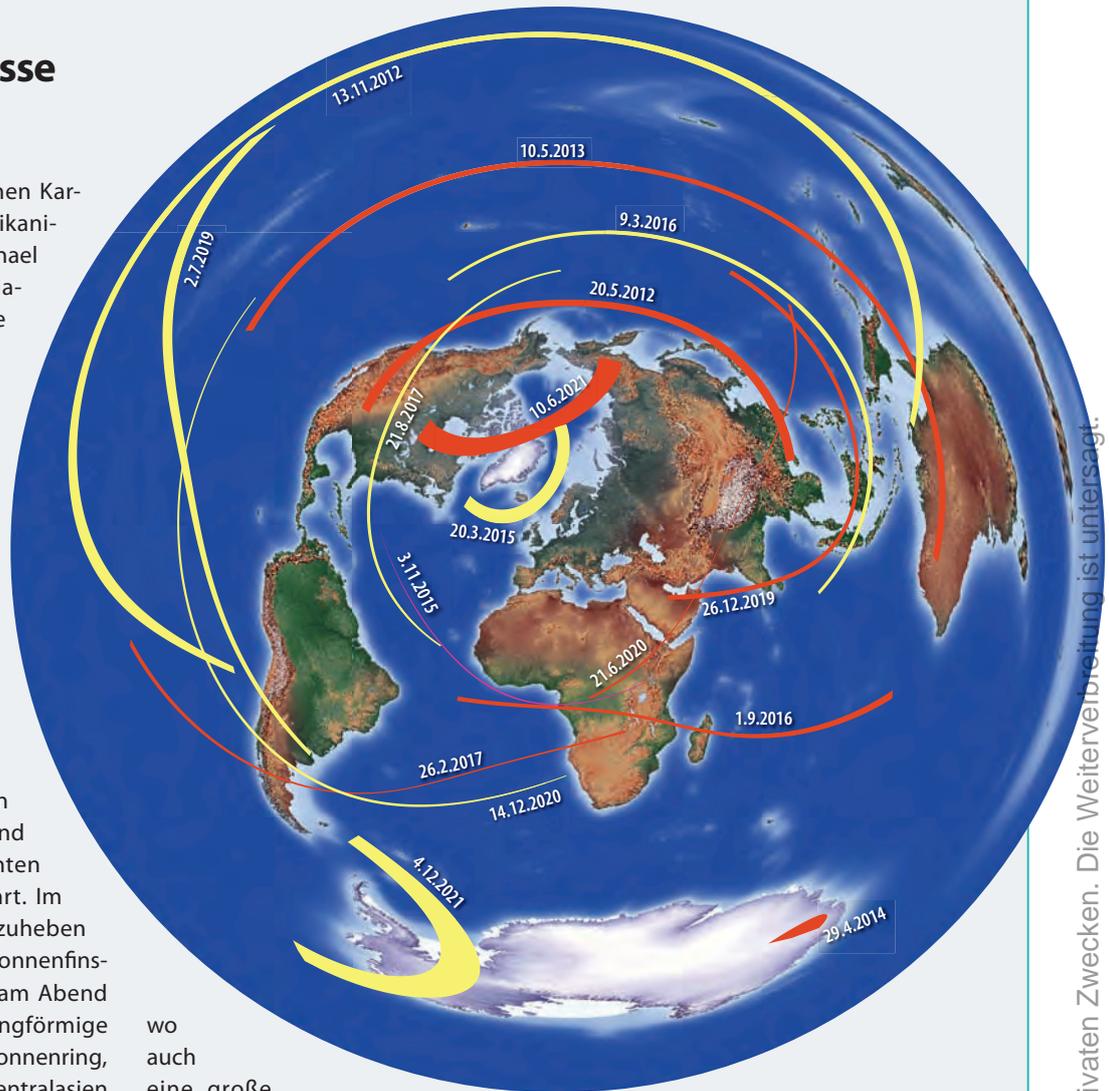
So rosig wie für Teile der USA bei der ringförmigen Finsternis ist die Klimastatistik für Nordostaustralien ein halbes Jahr später leider nicht – und es gibt fast keine Alternativen, sofern man nicht mit einem Kreuzfahrtschiff östlich von Australien gezielt Schönwetterzonen aufsuchen kann. Allein schon aus logistischen Gründen werden sich Sonnenfinsternisfreunde aus aller Welt auf eine überschaubare Region zwischen den Küstenstädten Cairns und Port Douglas in Queensland

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Ein Jahrzehnt Sonnenfinsternisse 2012–2021

In einer außergewöhnlichen Kartenprojektion hat der amerikanische Finsterniskartograf Michael Zeiler exklusiv für interstellarum alle Sonnenfinsternisse der kommenden zehn Jahre dargestellt: Die Karte ist auf Mitteleuropa zentriert, und die Abstände vom Zentrum sind linear, d.h. die räumliche Nähe einer Finsterniszone zu Mitteleuropa kann direkt abgeschätzt werden. Mit Ausnahme der aus geometrischen und Klimagründen schwer zu beobachtenden Finsternis von 2015 machen alle totalen Sonnenfinsternisse einen großen Bogen um Europa, und auch auf anderen Kontinenten wird nur wenig Land berührt. Im Zeitraum 2019–2021 hervorzuheben wären immerhin die totale Sonnenfinsternis vom 2. Juli 2019, die am Abend Südamerika erreicht, eine ringförmige Finsternis mit sehr dünnem Sonnenring, die am 21. Juni 2020 durch Zentralasien zieht, und die totale Finsternis vom 14. Dezember 2020, die Südamerika im Sommer trifft. Unzählige zukünftige, aktuelle und historische Finsterniskarten sind auf Zeilers Webseite zu finden,

wo auch eine große Wandkarte der Finsternisse der kommenden 50 Jahre bestellt werden kann, deren Verkauf dieses ungewöhnliche Kartografieprojekt unterstützt.



▲ Die Sonnenfinsternisse 2012 bis 2021. Markiert sind die totalen (gelb), hybriden (lila) und ringförmigen (orange) Finsternisse.

konzentrieren, dazu auf einige ausgewiesene Finsterniscamps im Landesinneren. Zwar beginnt der Totalitätsstreifen im Northern Territory in der Nähe von Darwin, aber dort ist die Wolkenstatistik noch schlechter, und der 140km breite Kernschatten wandert zunächst wieder über Wasser. Es folgt Arnhemland, eine kaum erschlossene Wildnis, die überdies größtenteils als Land der Ureinwohner ausgewiesen ist und ohne Spezialgenehmigung nicht einmal betreten werden kann. Der Kernschatten trifft danach auf riesige Farmen und anderes privates Land, und die wenigen Straßen der Region bieten kaum geeignete Haltepunkte, zumal Vegetation die noch immer sehr tief stehende Sonne leicht verdecken kann.

Geeignete öffentliche Beobachtungsplätze sind mithin praktisch nur direkt

an der Küste zu finden, die dank des vorgelagerten Great Barrier Reef touristisch bestens erschlossen ist: Weil der Totalitätsstreifen schräg auf die Küstenlinie trifft, steht im Prinzip ein 200km langer Bereich zur Verfügung. Hier sind aber wieder andere Faktoren zu berücksichtigen, die von starken Gezeiten über Halbinseln, die den Blick auf die aufgehende Sonne versperren können, bis zu einem in Port Douglas während der Sonnenfinsternis geplanten großen Marathonlauf reichen. Und die Wolkenstatistik ist auch hier nicht berauschend, trotz positiver Erfahrungen etwa im Jahre 2009, als die Finsternis rund um den Termin fast jeden Tag sichtbar gewesen wäre – 2010 zum Beispiel war das Wetter »durchwachsen«. Im langfristigen Durchschnitt dürfte die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Beobachtung in

Cairns gleichwohl bei knapp 70% liegen, doppelt so hoch wie in Mitteleuropa bei der berühmt-berüchtigten Sonnenfinsternis von 1999.

Ist die Großwetterlage eher durchschnittlich und die Feuchtigkeit vergleichsweise gering, wird man direkt an der Küste oder maximal 1km bis 2km von ihr entfernt die besten Bedingungen zur Finsterniszeit finden, ist das Wetter insgesamt aber eher schlecht, dürfte es auf der Inlandsseite der Dividing Range etwas besser ausfallen. Der Finsternismorgen wird jedenfalls ziemlich sicher mit einigem Stress für den Beobachter, sorgenvollen Blicken auf ziehende Wolkenmuster und der nagenden Frage verbunden sein, ob man nicht doch noch den Standort wechseln sollte. Die führenden Wetterdienste (Ost-)Australiens sind von den ansässigen

Amateurastronomen bereits aufgefordert worden, spezielle Voraussagen anzubieten: Das kann der Schlüssel zum Erfolg sein, wie 2002 in Südafrika. Auch wenn die Anreise für viele weit und teuer ist, die Finsternis selbst auf der Zentrallinie kaum länger als 2 Minuten dauert und ein gewichtiges Wolkenrisiko bleibt: Die totalen Sonnenfinsternisse der folgenden Jahre weisen zumindest auf dem Festland noch geringere Erfolgswahrscheinlichkeiten aus.

2013–2016: Die große Durststrecke

Manchmal folgen mehrere »gute« Sonnenfinsternisse mit leichter Erreichbarkeit der Zone dicht auf einander, dann wieder kann man mehrere Jahre lang fast verzweifeln: Solch ein Intervall liegt zwischen den totalen Finsternissen von November 2012 und August 2017, denn erst dann sieht es wieder gut aus, wenn abermals der Westen der USA an der Reihe ist. Genau ein Jahr nach der australischen Finsternis zieht der Kernschatten des Mondes am **3. November 2013** bei fürchterlicher Wetterstatistik

durch das zentrale Afrika, bis die Sonnenfinsternis mit wenigen Sekunden Totalitätsdauer kurz vor Sonnenuntergang Kenia erreicht. Die nächste totale Sonnenfinsternis am **20. März 2015** kommt zwar im Prinzip nach Europa, doch der Kernschatten trifft nur die schroffen Färöer und den Svalbard-Archipel, wo noch tiefster Winter herrscht: Hier bietet sich eher eine Beobachtung aus dem Flugzeug an; Vorbereitungen laufen schon. Auch die nächste totale Finsternis am **9. März 2016** macht es nicht leicht: Nur am Morgen im tropisch-wolkigen Indonesien wird mehrmals Land berührt.

Am **21. August 2017** steht die Erde dann endlich wieder »richtig«, wenn der Schattenkegel des Mondes quer über die gesamten Vereinigten Staaten hinweg zieht und vor allem im Westen des Landes Regionen mit guter Wetterstatistik passiert. Der relativ schmale Streifen der Totalität zieht von Oregon über Idaho, Wyoming, Nebraska und Missouri in den Südosten, um in South Carolina den Kontinent zu verlassen – und verfehlt dabei alle großen Städte. Trotzdem ist der Saros-Nachfolger der Finsternis von

1999 so gut erreichbar wie es eine Sonnenfinsternis überhaupt nur sein kann. Für die ringförmigen Finsternisse der nächsten Zeit gilt das leider nicht: Am **10. Mai 2013** wird nur Australien getroffen, am **29. April 2014** ein winziges Stück Antarktis, am **1. September 2016** Zentralafrika und am **26. Februar 2017** die Südspitze Südamerikas und bei Sonnenuntergang abermals Zentralafrika (vgl. Kasten).

Surftipps

Alle Finsternisse 2011–2020:

eclipse.gsfc.nasa.gov/SEdecade/SEdecade2011.html

Details zu allen Finsternissen 2012:

eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/OH2012.html

Klimainformationen:

www.eclipser.ca

Finsterniskarten jeder Art von Michael Zeiler:

www.eclipse-maps.com

Sonnenfinsternis in den USA 2017:

www.eclipse2017.org



Mr Eclipse

Ein Interview mit dem Finsternis-Experten Fred Espenak

VON DANIEL FISCHER

Er gilt als der Finsternisexperte weltweit: Seit über 30 Jahren erstellt der Amerikaner Fred Espenak Vorhersagen für Sonnenfinsternisse. Diese Daten und Karten, seit 1994 im Dienst der NASA als »Eclipse Bulletin« veröffentlicht, sind die Informationsquelle für Finsternisbeobachter schlechthin. Espenaks Interesse an Finsternissen ist jedoch nicht nur akademisch: Mit 23 beobachteten totalen Sonnenfinsternissen zählt er außerdem zu den aktivsten Finsternisjägern der Gegenwart.

◀ Abb. 1: **Mr Eclipse im Einsatz**, hier im westaustralischen Greenough bei der ringförmigen Sonnenfinsternis vom 16. Februar 1999: der Sonnenring war außerordentlich schmal, fast schon ein Grenzfall zu einer totalen Finsternis.

interstellarum: Wann und wie ist denn Ihr Interesse an Sonnenfinsternissen geweckt worden – und wie viele haben Sie insgesamt beobachtet?

Fred Espenak: Schon als Kind hat mich die Natur gereizt, alles von Astronomie bis Reptilien, ich sammelte Steine, interessierte mich für Dinosaurier. Irgendwann auf der Highschool war ich auf der Suche nach meiner späteren Laufbahn, und Astronomie sah interessant aus. Ich war in meinem Abschlussjahr an der Highschool, als die totale Sonnenfinsternis von 1970 in den USA kam: Von der wusste ich schon ein halbes Dutzend Jahre und hatte darauf gelauert – da dachte ich noch, so was sieht man ein-, zweimal im Leben. Ich hatte gerade meinen Führerschein

gemacht und fuhr 1000km in die Totalitätszone nach North Carolina – sogar ein paar Fotos glückten.

Danach hielt ich natürlich nach anderen Sonnenfinsternissen Ausschau, und 1972 kam die nächste, in Ostkanada – aber die blieb hinter Wolken verborgen: meine erste Erfahrung, dass Dinge nicht immer so ausgehen, wie man sich das denkt. Aber jetzt war ich entschlossen, so viele Sonnenfinsternisse zu sehen wie möglich. Zunächst gab es da größere Lücken, als Student hat man wenig Zeit. Aber 1977, 1979 ging es wieder los – und die Finsternis vom Juli 2010 war meine 23. totale. Dazu kommen noch neun ringförmige, die meisten im letzten Jahrzehnt. Zu nur partiellen Sonnenfinsternissen reise ich eher nicht, außer sie ereignen sich bei Sonnenauf- oder

-untergang oder an exotischen Schauplätzen. Oder beides: Eine partielle SoFi bei Sonnenuntergang auf Hawaii im Oktober 2004 war meine letzte.

interstellarum: Was war denn Ihre schönste Sonnenfinsternis – und was die aufregendste Erfahrung?

Fred Espenak: Die totale Finsternis von 1991 ragt schon heraus: In Mexiko über Baja California war sie fast sieben Minuten lang, und in der Korona war – in der Nähe des Sonnenmaximums – eine Menge los. Und obwohl der scheinbare Mond Durchmesser bei so einer langen Finsternis deutlich größer als der der Sonne ist und das normalerweise der Sichtbarkeit von Protuberanzen schadet, gab es zwei besonders



▲ Abb. 2: **Fred Espenak hat bereits 23 totale Sonnenfinsternisse gesehen.** Das Bild zeigt die Totalität über der Libyschen Wüste am 29. März 2006 in einer Fischaugen-Aufnahme.

große, die lange beim Beginn bzw. Ende der Totalität gesehen werden konnten. Außerdem standen drei oder vier mit bloßem Auge sichtbare Planeten am Himmel – und es gab ausgeprägte Fliegende Schatten. Da war einfach alles da, was dazu gehört.

Eine der aufregendsten Finsternisse war sicher die von 1980 in Kenia. Wir hatten uns auf einer Sisal-Plantage eingerichtet und bis eine Stunde von der Totalität war der Himmel kristallklar. Aber dann zog es sich rasch zu, bis die Bewölkung 95% betrug, nur noch hier und da eine Lücke, durch die Sonnenlicht fiel. Wir mussten uns entscheiden: bleiben oder die Flucht ergreifen? Wir sprangen ins Auto und rasten über die Plantage – und erreichten genau zum zweiten Kontakt ein Wolkenloch! Noch hundert Meter weiter gefahren, und wir konnten die Totalität gut beobachten. Aber 30 Sekunden vor dem 3. Kontakt hatte uns der Rand der Wolkenlücke doch wieder eingeholt. Die Wolken bewegten sich jedoch so langsam, dass ich zu Fuß dem Rand der Lücke folgen konnte und so

auch noch das Ende der Totalität mitbekam. Aufregender geht's wohl kaum.

interstellarum: *Die meisten Finsternis-Fans kennen Sie wohl durch die Eclipse Bulletins der NASA – wie ist es dazu gekommen?*

Fred Espenak: Schon in den 1970er Jahren machte ich meine eigenen Voraussagen für Finsternisse und in den 80ern veröffentlichte ich einige Artikel. Anfang der 90er wurde ich dann vom US Naval Observatory kontaktiert, das viele Jahre lang detaillierte Broschüren zu kommenden Sonnenfinsternissen veröffentlicht hatte, nun aber in finanzielle Schwierigkeiten geraten war. Nun suchten sie einen Freiwilligen, der diesen Job übernehmen konnte. Ich war zu der Zeit ja Infrarot-Astronom bei der NASA, aber mein Vorgesetzter hatte nichts dagegen. Von Anfang an holte ich auch den kanadischen Meteorologen Jay Anderson mit ins Boot, der bereits das USNO bei seinen SoFi-Zirkularen mit

detaillierten Klimaanalysen unterstützt hatte – jetzt machte ich ihn zum Koautor.

interstellarum: *Mit Ihrem Ruhestand sind leider auch die NASA Eclipse Bulletins zu ihrem Ende gekommen – und viele fragen sich nun, ob es wohl zu einer zweiten Wiedergeburt kommen wird.*

Fred Espenak: Jay und ich denken darüber schon eine Weile nach. Zuerst schauten wir uns nach einer neuen Quelle von Regierungsgeld um, nachdem ja schon die Navy und die NASA Herausgeber der Zirkulare gewesen waren. Aber so etwas ist mit unheimlichem Papierkrieg verbunden, wie er mich auch meine gesamte professionelle Laufbahn begleitet hatte, und genau das wollte ich im Ruhestand eigentlich loswerden. Was wir jetzt planen, ist ein selbst herausgebrachtes Book on Demand, das man sich für 10 bis 15 US-Dollar ausdrucken lassen kann: Schon für die ringförmige SoFi im Mai möchten wir das erste anbieten können.



▲ Abb. 3: **Totalität der Sonnenfinsternis vom 11. August 1999** über der türkischen Stadt Elazığ – aufgenommen von einer vorprogrammierten Kamera, während sich »Mr Eclipse« selbst 30km entfernt aufhielt.

Die Frage ist natürlich: Werden die Leute das annehmen?

Man war es ja gewohnt, die Zirkulare gratis zugeschickt zu bekommen bzw. vom Web herunterladen zu können. Außerdem gibt es heute Software, mit der man all die Berechnungen eigentlich selber machen kann. Wir werden es also erstmal für ein, zwei Finsternisse ausprobieren. Zunächst wird der Inhalt derselbe wie bei den NASA-Zirkularen sein, aber wenn es gut läuft, könnten wir natürlich auch auf Farbe umstellen und Fotos benutzen, was die Sache aber wieder teurer machen würde: Da müssen wir noch die richtige Balance finden. Eine gute Sache ist auf jeden Fall, dass

die Broschüren nicht mehr auf 120 Seiten beschränkt sind: Das war schlicht durch die Größe der NASA-Briefumschläge bedingt, die ich dankenswerter Weise für den Versand benutzen durfte. Bei Print on Demand fällt das natürlich weg: Wir können leicht auf 150, 170 Seiten gehen und endlich all die Karten und Tabellen bringen, die wir zeigen möchten.

interstellarum: *Die andere Publikation, durch die Sie sehr bekannt geworden sind, ist der Five Millennium Canon of Solar Eclipses, den Sie zusammen mit dem belgischen Mathematiker Jean Meeus herausgegeben haben – wie ist dieses Projekt*

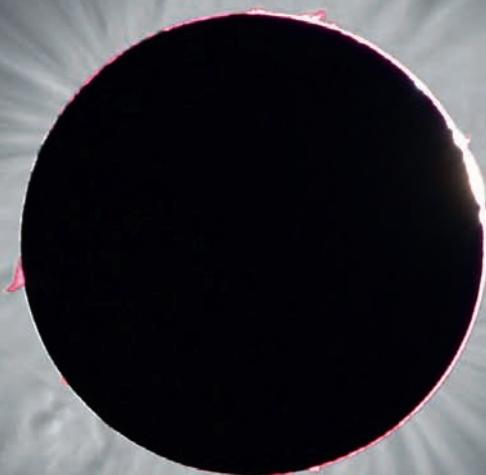
zustande gekommen, und warum war es eigentlich nötig?

Fred Espenak: Die astronomischen Berechnungen von Jean Meeus waren schon immer meine Bibel und seinen 1966er Finsternis-Kanon hatte ich schon eine lange Zeit benutzt. Er umfasste nur einen vergleichsweise kurzen Zeitraum und überwiegend kommende Finsternisse. Sein 1983er Kanon, den er zusammen mit Hermann Mucke aus Wien herausgab, war schon wesentlich anspruchsvoller und umfasste mehrere tausend Jahre. Auch gab es jetzt für jede einzelne Sonnenfinsternis ein kleines Bild der Erde aus Sonnensicht, so dass man auch den Verlauf der partiellen Zone abschätzen konnte. Aber da waren immer noch reichlich Vereinfachungen im Spiel, etwa dass der Verlauf der Totalität immer als gerader Strich dargestellt wurde. Das Buch war mehr von historischem Interesse, um schnell zu sehen, welcher Teil der Welt wohl getroffen wurde oder werden würde.

Wir stellten uns eine neue Generation von Finsterniskanon vor, im Stil der Ausgabe von 1983, aber größer, mit erstmals genauen Grenzen auch für die Sichtbarkeit der partiellen Finsternis und mit erkennbaren Ländergrenzen. Außerdem sollte ein größerer Zeitbereich überdeckt und mit einer moderneren Theorie für die Mond- und Erdbahn gerechnet werden. Und vor allem wollte ich das Werk zusammen mit Meeus herausbringen, meinem Mentor für Jahrzehnte – ich hatte schon immer von einem gemeinsamen Projekt geträumt. Im ersten, schon sehr dicken Band war nur Platz für die Kärtchen, aber nicht mehr für Tabellen, die später in einem zweiten kamen, dem wiederum ein Kanon der Mondfinsternisse folgte. Alle drei Bücher sind übrigens kostenlos als PDF im Web verfügbar über die Finsternisseiten der NASA.

interstellarum: *Wieviel der Arbeit am Kanon lief automatisch ab, und wie viel Handarbeit war erforderlich?*

Fred Espenak: Die Software um die Karten zu produzieren musste ich komplett selber schreiben, was viel Arbeit war, und es erforderte auch eine Menge Versuche herauszufinden, wie man sie optimal auf die Seiten verteilen konnte, damit sie noch lesbar waren. 20 Karten pro Seite erwiesen sich als beste Lösung. Handarbeit war danach noch bei einigen Extremfällen nötig: Wenn eine Sonnenfinsternis ungewöhnliche Umstände hat, z.B. nahe an den Polen liegt, macht die Software mitunter Probleme, und dann musste ein



F. ESPENAK

▲ Abb. 4: **Komposit der Korona vom 8. April 2005** aus Aufnahmen mit 1/15s bis 1/2000s Belichtungszeit. Espenak befand sich auf einem kleinen Schiff mitten im Pazifik, das um bis zu 15° schwankte – selbst das stabilisierte Teleobjektiv hatte große Mühe, die Sonne im Bildfeld zu halten.

neues Unterprogramm her, um mit der Situation fertig zu werden.

interstellarum: *Sie sind auch bekannt als Spezialist für hochqualitative Fotos von Sonnen- und Mondfinsternissen – hätten sie ein paar Tipps für Anfänger wie Fortgeschrittene?*

Fred Espenak: Eine Sache, um die sich oft zu wenig gekümmert wird, ist das ordentliche Zentrieren der Sonne im Bildfeld – bei parallaktisch nachführenden Montierungen ist das ja im Idealfall nur einmal notwendig, aber bei Fotostativen, vor allem zu leichten, geht das oft schief. Die beste Lösung sind da so genannte Mikro-Getriebeneiger. Mit einem solchen Stativ – inklusive Kopf nur 3kg bis 4kg – ist man auf der sicheren Seite.

Anfänger sollten auch darauf achten, nicht die ganze Zeit nur an Kameras herumzufummeln, sondern auch mal hinzuschauen. Auch empfiehlt es sich, die Technik schon vor der Finsternis an der

Sonne – natürlich gefiltert – bzw. dem Mond auszuprobieren. Fortgeschrittenen Astrofotografen möchte ich die vorprogrammierte Steuerung ihrer Kameras durch ein Netbook nahelegen: Die heute für Windows und Mac verfügbare Software leistet fantastische Arbeit.

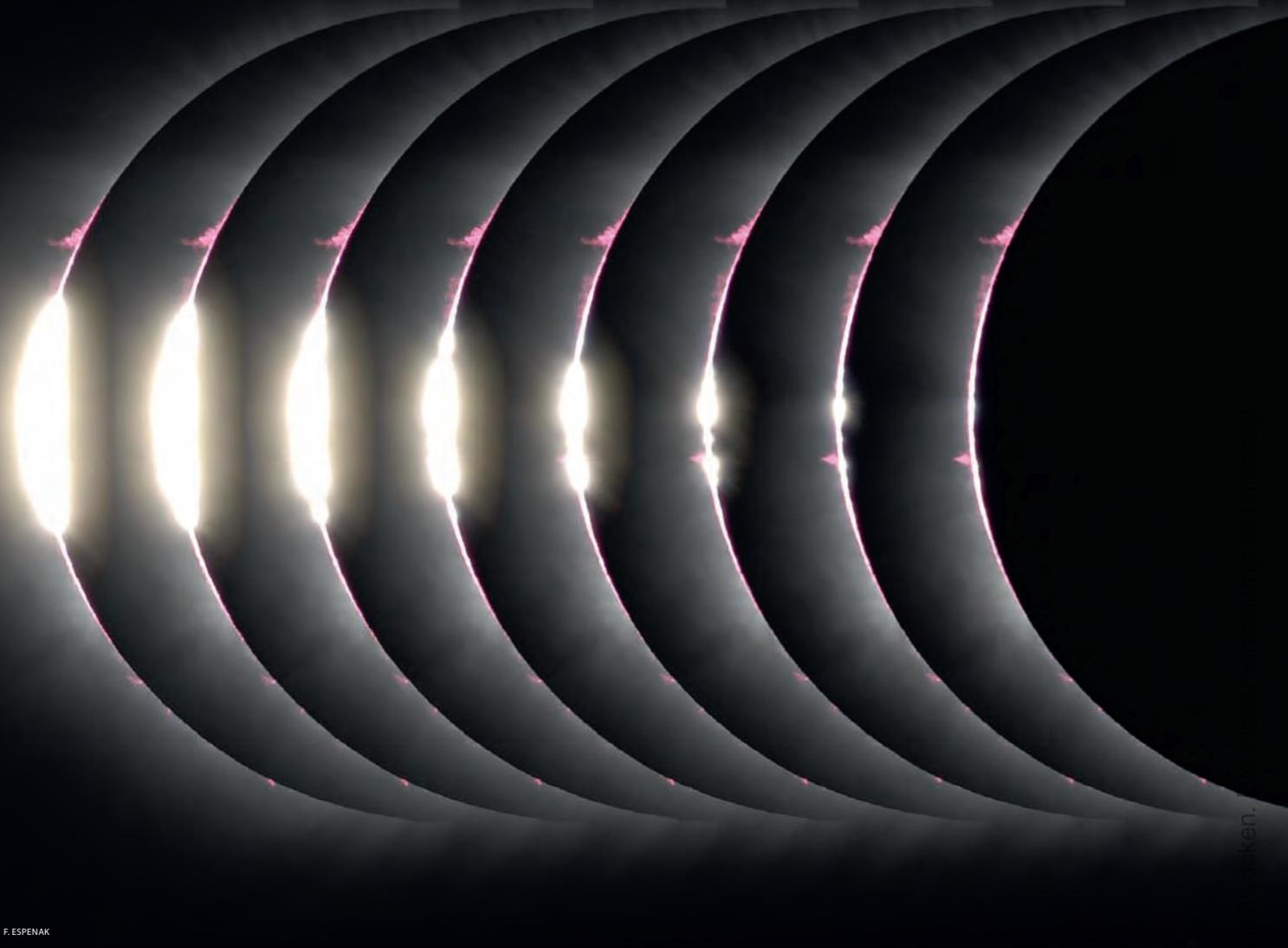
interstellarum: *Wie sieht es aus mit digitaler gegenüber chemischer Fotografie? Mancher SoFi-Fotograf hat ja noch lange auf letztere geschworen, weil chemischer (Negativ-)Film einen größeren Dynamikbereich als ein CCD-Chip hat.*

Fred Espenak: Für mich kam der Übergang zwischen chemisch und digital um 2005: entscheidend war, dass die Pixelzahl allmählich mit gutem Film mithalten konnte. 2006 habe ich hochauflösende Aufnahmen schon nur noch digital gemacht und lediglich Weitwinkelbilder chemisch, danach habe ich letzteres ganz aufgegeben. Am kritischsten bleiben natürlich Aufnahmen vom Diamantring

beim 2. und 3. Kontakt mit ihren gewaltigen Kontrasten – aber da helfen moderne Computertricks für HDR-Bilder. Wenn die Kamera 2 bis 3 Bilder pro Sekunde mit verschiedenen Belichtungen macht, dann ändert sich der Anblick des Diamantrings von Aufnahme zu Aufnahme kaum, aber der Computer kann später ein dynamikreiches Bild zusammenfügen.

interstellarum: *In den gut 40 Jahren, die Sie sich schon mit Sonnenfinsternissen beschäftigen, als Beobachter, Autor und auch Reiseleiter – was hat sich seitdem für Finsternisjäger geändert?*

Fred Espenak: Eine der großen Veränderungen zum Positiven ist das Erscheinen kleiner tragbarer Computer, die man mitnehmen kann. Bei meinen ersten SoFis hatte ich schon mal 10cm hohe Stöße von Computerausdrucken dabei, mit Berechnungen für hunderte verschiedener Koordinaten, zu denen ich meinen Standort eventuell würde verlagern müssen, eine regelrechte Matrix



▲ Abb. 5: Der zweite Kontakt der Finsternis vom 29. März 2006 im libyschen Jalu in sieben Bildern: Die letzten Baily's Beads verschwinden.

von Positionen. Heute nimmt man einfach einen Laptop oder gar nur ein Smartphone mit und rechnet einfach vor Ort neu. Auch genial: die Verfügbarkeit von GPS-Empfängern, um ganz exakt zu wissen, wo man ist. Früher musste man aufwändig präzise topografische Karten besorgen, so es sie überhaupt gab, und interpolieren.

Diese Fortschritte sind alle fantastisch. Wenn es eine negative Seite gibt, dann wohl, dass in jüngerer Zeit Regierungen und die Tourismusbranche auf die Reisenden in Sachen SoFis aufmerksam geworden sind. Die Folge sind – vor allem, wenn die Finsternis nur in sehr begrenzten und entlegenen Gegenden zu sehen ist – mitunter krasse Wucherpreise. Das war zum Beispiel 2010 auf der Osterinsel so, die sich viele zur SoFi-Zeit schlicht nicht mehr leisten konnten. Ich war ein halbes Jahr vorher dort: Alles kostete typischerweise ein Viertel so viel! Insofern sehe ich entspannt der SoFi von 2017 entgegen, deren Totalitätszone sich quer durch die USA zieht: Da ist so viel Platz, da kann keiner mit Wucherpreisen durchkommen...

interstellarum: *Und wo sehen Sie die Sonnenfinsternis-Beobachtungen in den nächsten 40 Jahren?*

Fred Espenak: Die Technik wird natürlich noch besser werden. Da wird sicher ein Punkt kommen, wo die automatische Kamerasteuerung für Sonnenfinsternisse nur einfach per Chip eingesteckt zu werden braucht. Außerdem werden die Kameras immer ausgereifter und die Grenze zwischen Standbildfotografie und Video verschwindet: Man wird sich vorher gar nicht mehr entscheiden müssen, ob man das eine oder das andere will.

interstellarum: *Zum Schluss: Was sind Ihre persönlichen Pläne für das Jahr 2012 und darüber hinaus?*

Fred Espenak: Zu der ringförmigen SoFi im Mai wird es für mich nur eine Tagesreise mit dem Auto sein: Ich werde einfach am Tag zuvor in die Annularitätszone fahren und das Wetter beobachten. Vielleicht schaue ich mir den Feuerring in Texas beim

Sonnenuntergang an – oder in New Mexico in ein paar Grad Höhe, mit anschließendem Untergang einer schmalen Sichel. Im November werde ich – wie wohl 95% aller ernsthaften SoFi-Fans – in Queensland sein und auf gutes Wetter hoffen. Und ein Jahr später wird es mich nach Ostafrika ziehen: Hier wird es eine sehr kurze SoFi geben, mit dem Mond kaum größer als der Sonne, die Chromosphäre und die Perlschnur dürften spektakulär werden. Und die Totalität dauert – im Norden Kenias – gerade einmal zehn Sekunden.

interstellarum: *Herzlichen Dank für das Interview!*

Surftipps

Espenaks neue Homepage:

astropixels.com

Finsternisfotos:

www.mreclipse.com

Finsternisseite der NASA:

eclipse.gsfc.nasa.gov

Wenn der Drache die Sonne verschlingt

Berechnungen rund um Sonnenfinsternisse

VON ERNST SZABO

Sonnenfinsternisse sind immer spektakuläre Ereignisse. Sie werden nicht nur visuell beobachtet, viele Amateure dokumentieren diese auch durch eine Vielzahl von Fotografien. Bei der Betrachtung der einzelnen Fotografien stellt sich vor allem bei partiellen Sonnenfinsternissen im Nachhinein immer wieder die Frage, wie groß der Bedeckungsgrad der Sonne durch den Mond zum Zeitpunkt der Aufnahme war, beziehungsweise wurde die Aufnahme auch wirklich im Maximum der Sonnenfinsternis durchgeführt.

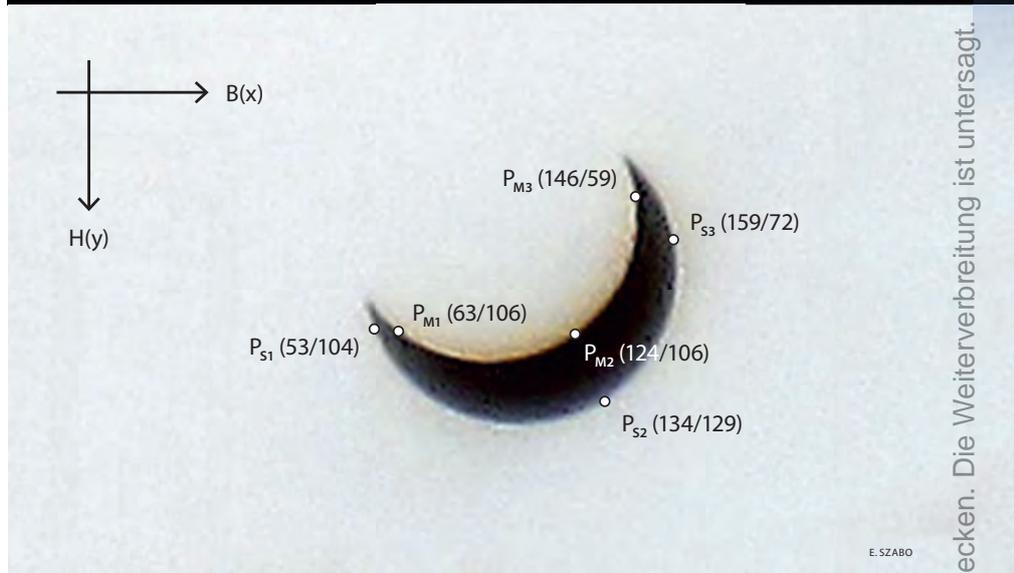
Die Bestimmung der Größe oder des Bedeckungsgrads bei einer partiellen Sonnenfinsternis kann in Zeiten von digitalen Aufnahmen natürlich auch durch computerunterstützte fotografometrische Auswertungen der Aufnahmen erfolgen. Von einer Aufnahme einer partiellen Sonnenfinsternis lassen sich durch einfache Bestimmung einzelner Punkte der Sonnenbegrenzungslinien, die Größe und der Bedeckungsgrad der Sonnenfinsternis rechnerisch ermitteln.

Finsternistypen

Sonnenfinsternissen können in vier verschiedene Arten eingeteilt werden:

- partielle Sonnenfinsternisse
- ringförmige Sonnenfinsternisse
- totale Sonnenfinsternisse
- hybride (ringförmig-totale) Sonnenfinsternisse

Die Klassifizierung einer Sonnenfinsternis erfolgt entsprechend der



▲ Abb. 1: Die partielle Sonnenfinsternis vom 4.1.2011, die in Wien um 9:24 MEZ aufgenommen wurde. Durch die Berechnung der Fläche der Sonnensichel lässt sich die Größe der Bedeckung bestimmen. Eingezeichnet sind die Punkte, die zur Bestimmung der Bedeckung verwendet wurden.

größtmöglichen, auf der Erde beobachtbaren Finsternis unabhängig vom Standort eines individuellen Beobachters. Lokal ist der Grad der beobachteten Bedeckung allerdings von der geographischen Lage des Beobachters und vom Zeitpunkt abhängig, wodurch auch totale Sonnenfinsternisse von Beobachtern, die sich außerhalb der Kernzone einer Sonnenfinsternis befinden, nur als »partielle« Finsternis wahrgenommen werden. Dieser Umstand kann im normalen Sprachgebrauch im Zusammenhang mit der Klassifikation einer Sonnenfinsternis zu einiger Verwirrung führen.

Partielle Sonnenfinsternis

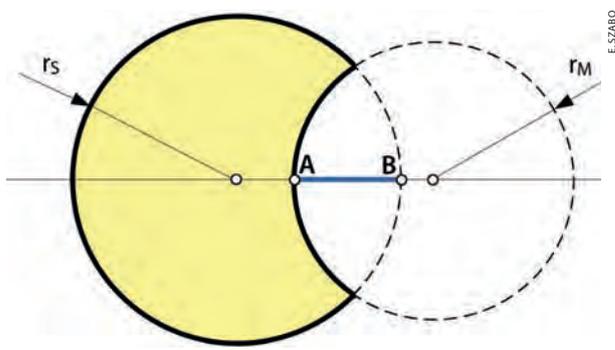
Bei einer partiellen Sonnenfinsternis quert der Halbschatten des Mondes die Erde, während der Kernschatten diese verfehlt. Die Größe M (engl. Magnitude) ist definiert als der Teil des Sonnendurchmessers, der vom Mond verdeckt wird, in Einheiten des Sonnendurchmessers. Bei einer partiellen Sonnenfinsternis ist M immer

kleiner als 1 (Abb. 2). Der Bedeckungsgrad hingegen gibt das Verhältnis der Fläche der Sonne, die durch den Mond bedeckt wird, zur gesamten Sonnenfläche an. Die Angabe erfolgt in Prozent und ist bei einer partiellen Finsternis kleiner als 100%.

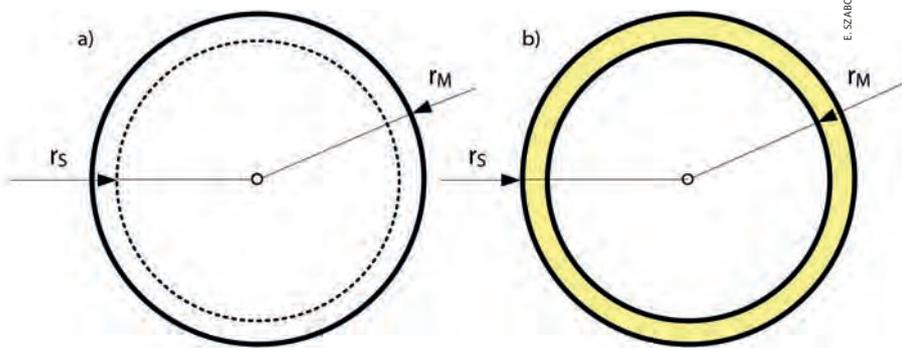
Totale und ringförmige Sonnenfinsternis

Bei einer totalen Sonnenfinsternis wird die Sonne vollständig vom Mond verdeckt. Dies bedeutet, dass der Durchmesser des Mondes gleich oder größer ist als der Durchmesser der Sonne. Bei einer ringförmigen Sonnenfinsternis schiebt sich der Mond zur Gänze vor die Sonne, sein Durchmesser ist aber kleiner als der der Sonne, wodurch ein leuchtender Ring zu sehen bleibt. Die Größe M ist bei einer totalen Finsternis deshalb größer als 1 und bei einer ringförmigen kleiner als 1 (Abb. 3).

Auch bei einer totalen oder ringförmigen Sonnenfinsternis entspricht der Bedeckungsgrad dem Verhältnis der durch den Mond bedeckten Fläche zur Sonnenfläche.



▲ Abb. 2: Die Größe einer Sonnenfinsternis wird definiert durch den Teil des Sonnendurchmessers, der vom Mond verdeckt wird, in Einheiten des Sonnendurchmessers, also $\overline{AB}/(2 \cdot r_s)$. Der Bedeckungsgrad hingegen beschreibt das Verhältnis der vom Mond bedeckten Fläche zur Sonnenfläche.



▲ Abb. 3: Größe und Bedeckungsgrad einer totalen bzw. ringförmigen Sonnenfinsternis sind genauso wie bei einer partiellen Finsternis definiert. a) zeigt die Verhältnisse bei einer totalen Sonnenfinsternis, b) zeigt die Verhältnisse bei einer ringförmigen Sonnenfinsternis. Die Größe M ist dann das Verhältnis von r_M zu r_s .

Bei einer totalen Finsternis ist der maximale Bedeckungsgrad gleich 100%, bei einer ringförmigen kleiner als 100%.

Hybride Sonnenfinsternis

Bei einer hybriden Sonnenfinsternis erreicht der Kernschatten des Mondes nur zeitweilig die Erdoberfläche. Das heißt, dass eine hybride Sonnenfinsternis als ringförmige Sonnenfinsternis beginnen kann, dann eine Phase durchläuft, in der sie eine totale Sonnenfinsternis ist, und dann als ringförmige Sonnenfinsternis wieder endet.

Ermittlung der Größe und des Bedeckungsgrads

Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Verlauf einer Sonnenfinsternis für verschiedene Größen M. Da man annehmen kann, dass sich der Mond dabei mit konstanter Geschwindigkeit auf einer geraden Bahn über die Sonne bewegt, verändern sich auch der Abstand von Sonnen- zu Mondmittelpunkt und die bedeckte Fläche gleichmäßig. Mit Hilfe von etwas

Mathematik und eines Taschenrechners oder Tabellenkalkulationsprogramms lassen sich Größe und Bedeckungsgrad einer Sonnenfinsternis und so ihr Verlauf berechnen (Formeln s. Kasten). Abbildung 5 zeigt den Bedeckungsgrad für verschiedene Größen einer Finsternis in Abhängigkeit des horizontalen Abstandes (hier Abstand ζ) der Mittelpunkte von Sonne und Mond.

Bestimmung der leuchtenden Fläche

Sonne und Mond stellen in guter Näherung Kreise mit den Radien r_s und r_M dar. Für einen Kreis können der Mittelpunkt und der Radius bei Kenntnis von drei Punkten, die auf der Kreislinie liegen, bestimmt werden. In der Praxis können die Koordinaten von drei Punkten leicht aus einer Digitalfotografie mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms bestimmt werden, wobei es egal ist, in welchen Maßeinheiten (z.B. Pixel, mm) diese Koordinaten angegeben werden.

Für jeden der drei Punkte P_1 , P_2 und P_3 , die für die Bestimmung des Mittelpunkts

und des Radius von Sonne und Mond verwendet werden, müssen die x- und y-Koordinate bekannt sein und es gilt für jeden dieser Punkte die Kreisgleichung. Damit können jeweils die Koordinaten des Mittelpunkts x_m , y_m und der Radius r bestimmt werden (Abb. 6).

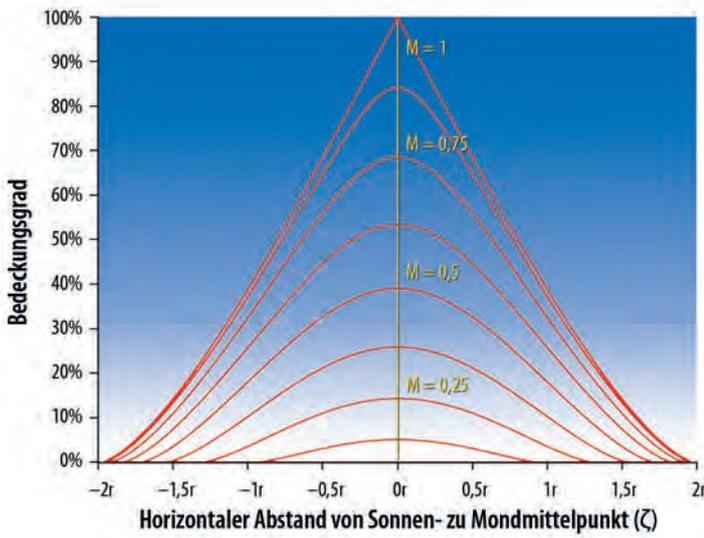
Während einer Finsternis ist ein Teil der Sonnenscheibe von Mond bedeckt. Es zeigt sich, dass man über die Berechnung der Fläche zweier Kreissegmente Bedeckungsgrad und Größe einer Finsternis bestimmen kann. Dazu wird angenommen, dass der Mittelpunkt des »Sonnenkreises«, der einen Teil der Begrenzungslinie des Kreissegments bestimmt, im Ursprung des x-y-Koordinatensystems liegt und dass die Begrenzungsgerade des Kreissegments (Strecke) senkrecht zur x-Achse steht (Abb. 7). Die Berechnung der Fläche dieses Kreissegments kann mittels Integration der Kreissegmentfläche zwischen den Grenzen $-r$ und x_0 durchgeführt werden.

Die leuchtende Fläche bei einer Sonnenfinsternis bestimmt sich durch die Kreisfläche der Sonne, die von der Mondscheibe

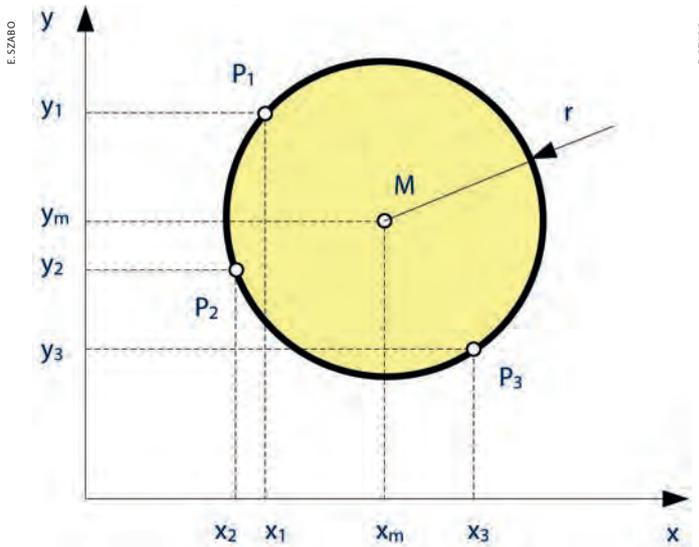
▼ Abb. 4: Prinzipielle Verläufe einer Sonnenfinsternis in Abhängigkeit der Größe M.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 5: **Der Bedeckungsgrad** nimmt in Abhängigkeit des horizontalen Abstandes von Sonnen- und Mondmittelpunkt und in Abhängigkeit der Größe M der Sonnenfinsternis zu. Die Radien von Sonne und Mond wurden hier als gleich groß angenommen.



▲ Abb. 6: **Bestimmung von Kreismittelpunkt M und -radius r** mit Hilfe von drei Punkten, die auf der Kreislinie liegen.

teilweise verdeckt wird. Sie setzt sich während der Bedeckung somit aus zwei Kreissegmenten zusammen, die sich in beiden Punkten S_1 und S_2 berühren (Abb. 8). Die Verbindungslinie zwischen diesen beiden Punkten steht senkrecht auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte M_s und M_M von Sonne und Mond und begrenzt die Flächen der beiden Kreissegmente, wobei die zugehörigen Kreise von Sonne und Mond üblicherweise geringfügig unterschiedliche Radien haben.

Somit berechnet sich die Gesamtfläche der leuchtenden Fläche aus der Differenz der beiden Kreissegmente A_s und A_M , wobei A_s durch die Kreisfläche der Sonne und A_M durch die Kreisfläche des Mondes, jeweils begrenzt durch die Strecke $\overline{S_1S_2}$,

bestimmt ist. Mit diesen Vorüberlegungen können nun die Größe M und der Grad der Bedeckung berechnet werden.

Berechnung des Bedeckungsgrades und der Größe einer Sonnenfinsternis

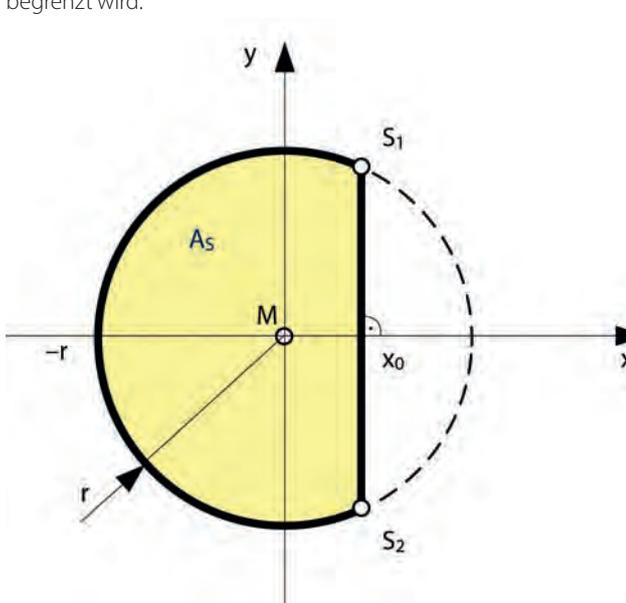
Für die Berechnung der Größe M und des Bedeckungsgrades ist die Kenntnis der beiden Kreisradien r_s und r_M von Sonne und Mond sowie der beiden Abstände x_{s0} und x_{M0} notwendig. Die Summe dieser beiden Abstände ergibt den Abstand von Sonnen- und Mondmittelpunkt.

Unter der Annahme, dass der Abstand der Mittelpunkte von Sonne und Mond kleiner ist als die Summe ihrer beiden Radien – was bei einer Bedeckung immer der

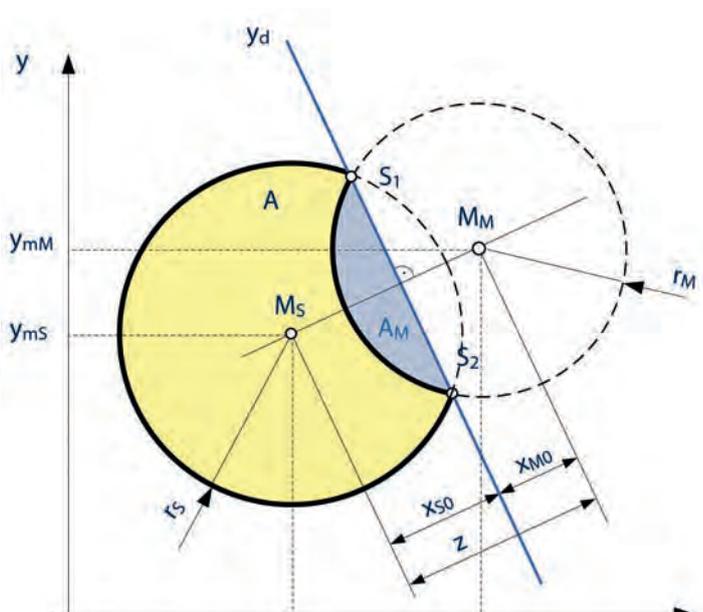
Fall ist –, kann die Gleichung einer Geraden, die durch die beiden Schnittpunkte S_1 und S_2 geht (Theorem 3.13 in [1]), bestimmt werden. Für die Mittelpunkte der beiden Kreise für Sonne und Mond kann dadurch auch der Abstand von dieser Gerade bestimmt werden, wodurch die beiden Größen x_{s0} und x_{M0} bestimmt werden können, welche für die Bestimmung der leuchtenden Fläche bzw. des Bedeckungsgrades oder der Größe notwendig sind.

Nun kann – ausgehend von jeweils drei Punkten auf dem Sonnen- bzw. Mondrand – exakt die Größe bzw. der Bedeckungsgrad einer partiellen Sonnenfinsternis berechnet werden. Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt lediglich von der Genauigkeit der Bestimmung der Punkte ab.

▼ Abb. 7: **Die Fläche des Kreissegments** ergibt sich aus der Fläche eines Kreises, der auf einer Seite durch die Strecke zwischen S_1 und S_2 begrenzt wird.



▼ Abb. 8: **Die resultierende leuchtende Fläche** ergibt sich aus der Differenz der Kreissegmente A_s (s. Abb. 7) und A_M .



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Vergleich mit der Beobachtung

Die partielle Sonnenfinsternis vom 4.1.2011, die in Wien komplett zu sehen war, bot die Gelegenheit, die hier angestellten Überlegungen in die Praxis umzusetzen. Dazu wurden auf einer Aufnahme auf dem Sonnen- und Mondrand jeweils drei Punkte ausgewählt (Abb. 1 unten), wobei es für die Genauigkeit des Ergebnisses vorteilhaft ist, wenn die drei Punkte möglichst gleich weit voneinander entfernt sind. Aus den gewählten Punkten können die Mittelpunkte M_S und M_M des Sonnen- und Mondkreises und die zugehörigen Radien r_S und r_M aus den Gleichungen (2), (3) und (4) berechnet werden.

Ergebnisse der Berechnungen für die Sonnenfinsternis am 4.1.2011						
	Kreismittelpunkt		Radius	Abstand	Bedeckungsgrad	Größe
Sonnenkreis (k_S)	$x_{mS} = 104,1$	$y_{mS} = 81,9$	$r_S = 55,7$	$x_{s0} = +18,50$	70,5%	0,779
Mondkreis (k_M)	$x_{mM} = 93,5$	$y_{mM} = 63,1$	$r_M = 52,7$	$x_{m0} = -3,17$		

Nach der Berechnung von x_{s0} und x_{m0} mit Gleichung (16) und (17) können dann der Bedeckungsgrad und die Größe ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle zusammengefasst. Die in Abb. 1 gezeigte Aufnahme wurde um 9:24 MEZ gewonnen; zu diesem Zeitpunkt werden für Wien ein Bedeckungsgrad von 70,6% und eine Größe von 0,779 [4] angeben – in exzellenter Übereinstimmung mit den Berechnungen.

[1] Wilson, R. S.: Analytic Foundation of Geometry: Equations of Circles, www.sonoma.edu/users/w/wilsonst/papers/geometry/circles/#13
 [2] Bartsch, H.-J.: Taschenbuch mathematischer Formeln, Hanser, München (2007)
 [3] Espenak, F., Meeus, J.: Five Millennium Catalog of Solar Eclipses – Revised, NASA/TP-2009-214174, eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/5MCSE.html (2009)
 [4] Comins, N. F.: Astronomie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (2011)

Berechnung der Größe und des Bedeckungsgrades

1. Schritt: Berechnung von Sonnen-/Mondmittelpunkt und -radius mit der Kreisgleichung:

$$(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 = r^2 \text{ für } i=1\dots3 \quad (1)$$

Ergebnisse:

- Koordinaten des Kreismittelpunkts

$$x_m = \frac{(a_1 - a_3)(y_2 - y_3) - (a_2 - a_3)(y_1 - y_3)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)} \quad (2)$$

$$y_m = \frac{(a_1 - a_3)(x_2 - x_3) - (a_2 - a_3)(x_1 - x_3)}{(y_1 - y_3)(x_2 - x_3) - (y_2 - y_3)(x_1 - x_3)} \quad (3)$$

- Kreisradius

$$r = \sqrt{x_m^2 + y_m^2 - 2\zeta} \quad (4)$$

$$\text{mit } a_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \text{ für } i=1\dots3 \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{(x_1 y_2 - x_2 y_1)(x_1 a_3 - x_3 a_1) - (x_1 y_3 - x_3 y_1)(x_1 a_2 - x_2 a_1)}{(x_3 - x_1)(x_1 y_2 - x_2 y_1) - (x_2 - x_1)(x_1 y_3 - x_3 y_1)} \quad (6)$$

2. Schritt: Berechnung der Fläche eines Kreissegments

$$A(r, x_0) = \int_{-r}^{x_0} \sqrt{r^2 - x^2} dx = r^2 \left(\frac{x_0}{r} \sqrt{1 - \frac{x_0^2}{r^2}} + \arcsin \frac{x_0}{r} + \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

dabei gilt: $-r \leq x_0 \leq +r$

3. Schritt: Berechnung der leuchtenden Fläche

$$A = A_S - A_M \quad (9)$$

$$A = x_{s0} \sqrt{r_S^2 - x_{s0}^2} - x_{m0} \sqrt{r_M^2 - x_{m0}^2} + r_S^2 \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{x_{s0}}{r_S} \right) - r_M^2 \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{x_{m0}}{r_M} \right) \quad (10)$$

4. Schritt: Berechnung der das Kreissegment begrenzenden Strecke mit Hilfe der allgemeine Geradengleichung

$$y_d = kx + D \quad (11)$$

mit der Steigung k der Geraden, die mit Hilfe der Steigung der die Mittelpunkte von Sonne und Mond verbindenden Gerade und der Beziehung der Steigung zueinander senkrechter Geraden,

$$k = -\frac{x_{mS} - x_{mM}}{y_{mS} - y_{mM}} \quad (12)$$

und dem Achsenabschnitt D bestimmt wird:

$$D = \frac{x_{mS}^2 - x_{mM}^2 + y_{mS}^2 - y_{mM}^2 - r_S^2 - r_M^2}{2(y_{mS} - y_{mM})} \quad (13)$$

5. Schritt: Berechnung des Abstands des Mittelpunkts von Sonne M_S bzw. Mond M_M zur Geraden y_d ([2]):

$$x_{s0} = \frac{kx_{mS} - y_{mS} + D}{\sqrt{1+k^2}} \quad (14)$$

$$x_{m0} = \frac{kx_{mM} - y_{mM} + D}{\sqrt{1+k^2}} \quad (15)$$

Elimination der Koeffizienten der Geradengleichung:

$$x_{s0} = +\frac{z}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_S^2 - r_M^2}{z^2} \right) \quad (16)$$

$$x_{m0} = -\frac{z}{2} \cdot \left(1 - \frac{r_S^2 - r_M^2}{z^2} \right) \quad (17)$$

$$\text{mit } z = \sqrt{(x_{mS} - x_{mM})^2 + (y_{mS} - y_{mM})^2} \quad (18)$$

6. Schritt: Berechnung der Größe (Magnitude)

$$M = \frac{r_S + r_M - x_{s0} + x_{m0}}{2r_S} \quad (19)$$

und Berechnung des Bedeckungsgrads

$$\epsilon = \frac{A}{r_S^2 \pi} \quad (20)$$

Die letzte Chance

Wohin für den Venus-Durchgang am 5./6.6.?

VON DANIEL FISCHER

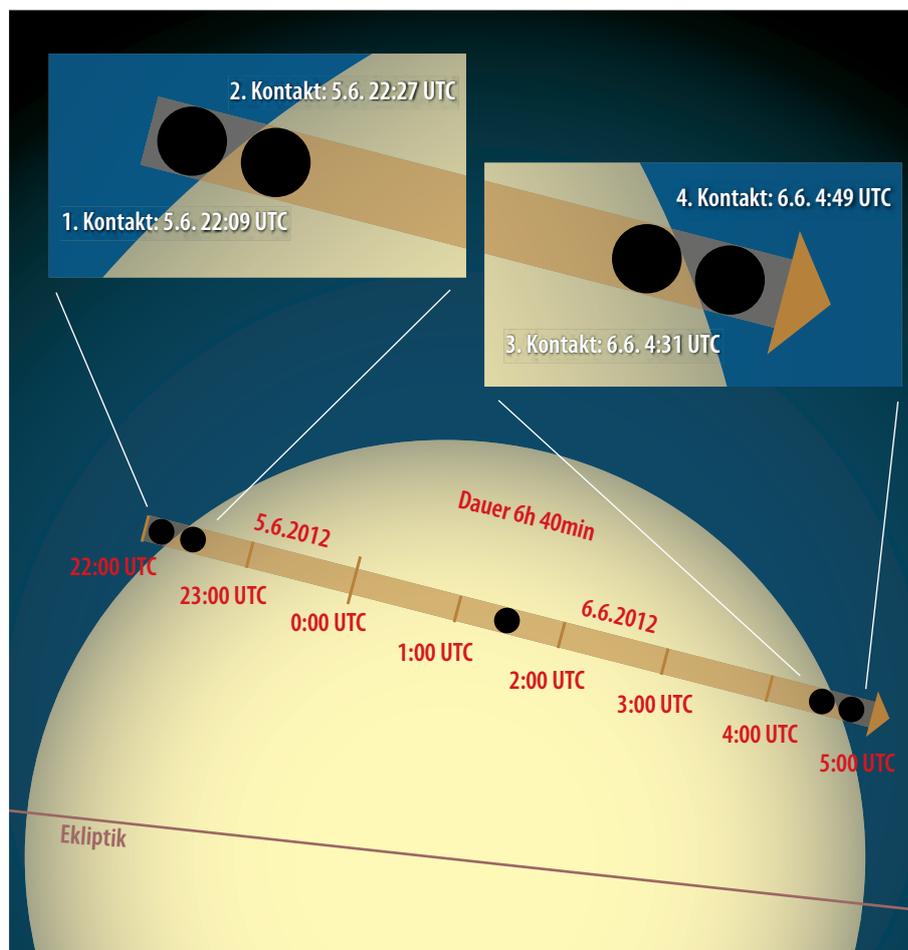
Für jeden heute lebenden Menschen ist es der letzte Durchgang des Planeten Venus vor der Sonnenscheibe, denn den nächsten wird es erst wieder im Jahr 2117 geben: der Venustransit am 5./6.6.2012 (vgl. ausführlichen Vorbericht in interstellarum 77). Wer den vorangegangenen Venusdurchgang vor acht Jahren verpasst hat oder das Schauspiel noch einmal erleben will, hat es diesmal nicht so leicht wie im Juni 2004, als der komplette Durchgang von Mitteleuropa aus sichtbar war – denn nun bekommen wir nur das Ende der sechseinhalbstündigen Wanderung der Venus vor der Sonne mit.

Die Sonne wird bei ihrem Austritt erst rund 10° Höhe erreicht haben. Der Venusdurchgang dauert nämlich – vom Zentrum der Erde aus gesehen – von 22:09 UTC am 5. bis 4:50 UTC am 6. Juni 2012, wobei die Zeiten je nach Standort auf der Erdoberfläche um bis zu 7 Minuten abweichen können. Die Venus ist der Erde in ihrer Unteren Konjunktion so nahe, dass sie sich je nach Ort um bis zu 30" relativ zur Sonne verschieben kann.

Norden und Osten vorn

Eine komplette Sichtbarkeit wird diesmal nur in Ostasien, Ostaustralien und Neuseeland geboten – und weiten Teilen der Arktis. Denn der Venusdurchgang ereignet sich so nahe an der Sommersonnenwende, dass es fast egal ist, ob man ihn in hoher Nordbreite zu Mittag oder zu Mitternacht beobachtet, wenn die Sonne nur kurz oder gar nicht unter geht. Nördlich des Polarkreises lässt sich der Venustransit somit in voller Länge sehen – egal auf welchem Kontinent man sich befindet.

Ganz anders auf dem Globus verteilt als diese idealen Sichtbarkeitszonen sind freilich die Gebiete mit statistisch gesehen



▲ Abb. 1: **Der Verlauf des Venusdurchgangs von 2012:** Wegen des großen Durchmessers des Venusscheibchens dauern Eintritt und Austritt jeweils 18 Minuten.

hoher Wahrscheinlichkeit für klaren Himmel, von denen es nur eine Handvoll regional recht begrenzter Bereiche gibt: Von all den Zonen mit der besten Wetterstatistik fallen lediglich das praktisch unerreichbare Innere Grönlands, das nördliche Zentrum Australiens und Teile von Hawaii mit Weltregionen zusammen, wo Anfang und Ende des Durchgangs zu sehen sein werden. Die jeweils 18 Minuten währenden Phasen zwischen 1. und 2. sowie 3. und 4. Kontakt sind die mit Abstand interessantesten, denn dann macht sich die Atmosphäre der Venus bemerkbar, wenn sie das Sonnenlicht bricht und als Ringbogen sichtbar wird. Auch möchte man möglichst Ein- und Austritt sehen, wenn man an einem der zahlreichen geplanten Projekte zur Bestimmung der Entfernung zwischen Erde und Sonne teilnehmen möchte, die auch diesmal wieder dieses große Projekt der Astronomiegeschichte nachvollziehen werden.

Vor- und Nachteile einiger Reiseziele

In Mitteleuropa ist das Wetterrisiko erfahrungsgemäß hoch und die Chance auf

klaren Himmel liegt vielleicht bei 1:3. Der Eintritt bleibt unsichtbar, und der Austritt erfolgt nur in rund 10° Höhe: Selbst bei klarem Wetter könnte die Luftunruhe Beobachtungen der interessanten Effekte der Venusatmosphäre vereiteln. Auf jeden Fall ist ein freier Blick nach Nordosten entscheidend, ggf. ist ein Fenster in einem oberen Stockwerk die beste Lösung.

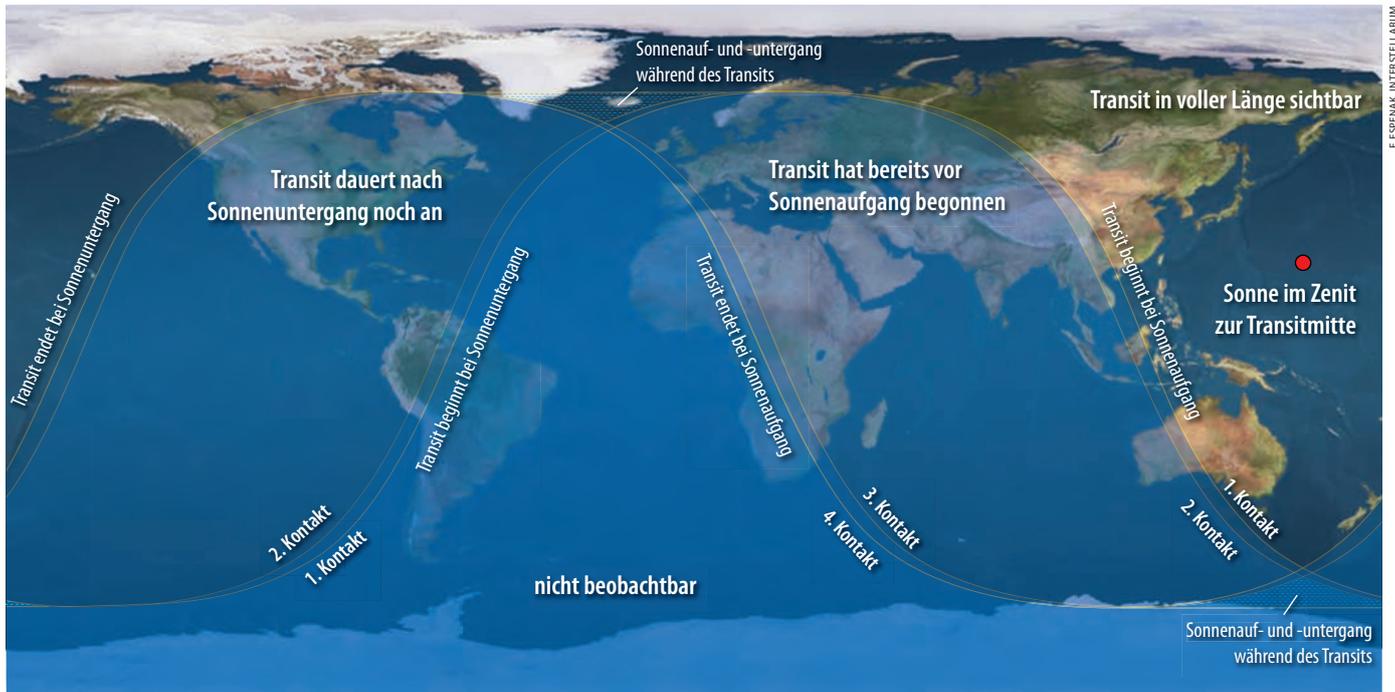
Bei einer Reise in die europäische Arktis sind Eintritt wie Austritt zu beobachten, letzterer weit im Osten (Norwegen und Finnland) bis zu 25° hoch. An bestimmten Stellen auf Island ließe sich auch das kuriose Phänomen beobachten, dass der Eintritt wie der Austritt (in geringer Höhe) über dem Horizont erfolgen, die Sonne aber während des Venusdurchgangs unter- und wieder aufgeht. Hier ist das Wetterrisiko jedoch sehr hoch. Skandinavien-Kenner sprechen von generell weniger Bewölkung östlich der Skanden, was z.B. dem schwedischen Kiruna gegenüber der norwegischen Küste einen leichten Vorteil – und ähnliche Wetterchancen wie in Deutschland – verschafft.

Im östlichen Mittelmeer oder im arabischen Raum sind die Chancen auf klaren Himmel exzellent, der Eintritt wird zwar verpasst, dafür erfolgt aber der Austritt in

F. ESPENAK, INTERSTELLARUM

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Praxis



F. ESPENAK, INTERSTELLARUM

▲ Abb. 2: **Die Sichtbarkeitszone des Venusdurchgangs:** Nur ein kleiner Anteil des Festlands wird diesmal das komplette Schauspiel sehen können: Ostasien, Westozeanien und die Arktis. Bemerkenswert sind die Regionen, wo Anfang und Ende, aber nicht die Mitte bzw. nur die Mitte des Transits ohne Anfang und Ende zu sehen sind – just in einer solchen Region liegt Island.

20° bis 25° Höhe und dürfte weniger von Luftunruhe beeinträchtigt sein als in Mitteleuropa. Am richtigen Standort, z.B. der ägyptischen Küste des Roten Meeres, könnte der Aufstieg der Sonne aus dem Meer mit der Venus davor beobachtet werden.

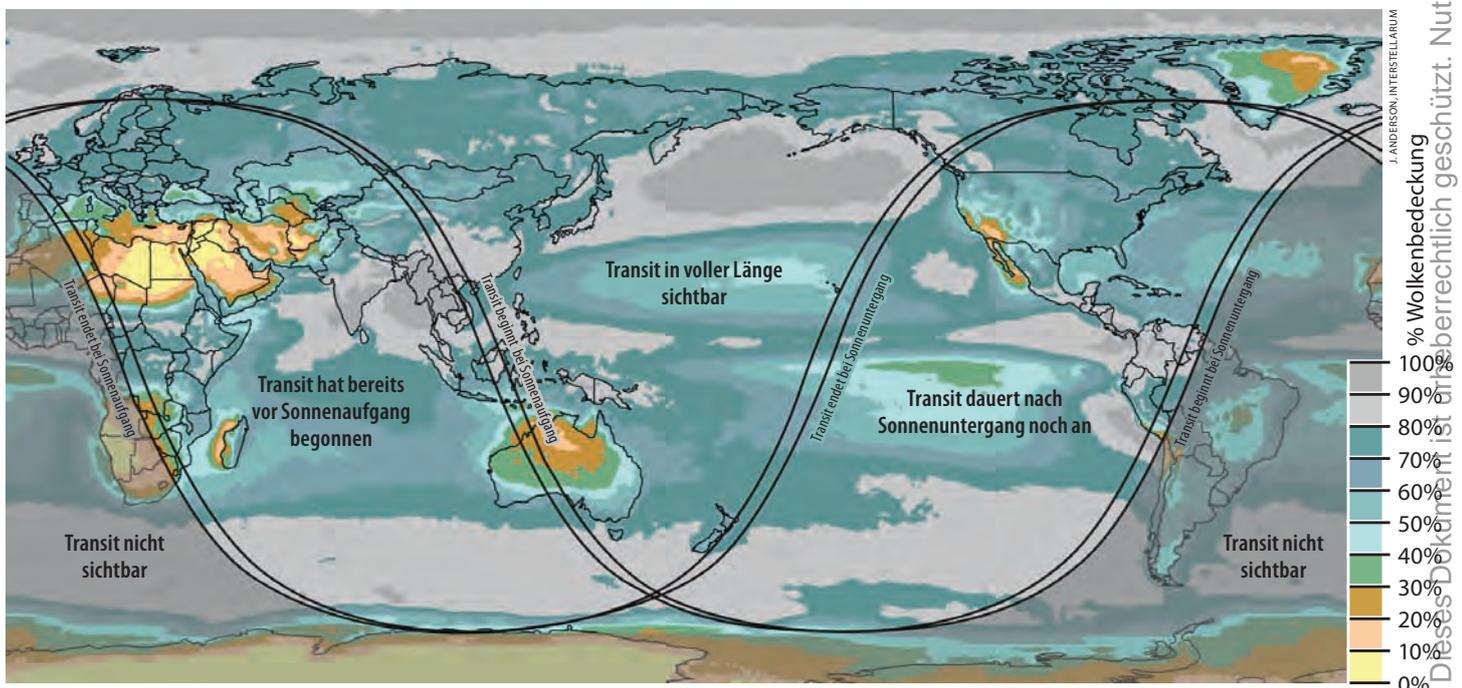
Im Norden Australiens sind die Wetteraussichten sehr gut und der gesamte Durchgang kann beobachtet werden, dafür sind aber die Kosten einer solchen Reise

erheblich – und im selben Jahr locken ja auch noch zwei zentrale Sonnenfinsternisse in die USA bzw. wiederum nach Australien. Einen Kompromiss aus geringeren Reisekosten und moderat schlechteren Wetterchancen bei gleichzeitig komplettem Transit könnte hingegen Zentralasien darstellen.

Auf Hawaii sind die Wetteraussichten – an bestimmten Standorten – gut und der gesamte Durchgang ist zu sehen, allerdings

mit extremer Geometrie: Eintritt im Zenit, Austritt kurz vor Sonnenuntergang. Das ideale Reiseziel für Amerikaner, die den gesamten Transit sehen wollen, für Europäer indes ähnlich teuer wie Australien. Das gilt auch für Tahiti, das als Schauplatz der ersten großen Venustransit-Expedition von Captain Cook einen Reiz hätte – aber die Klimastatistik ist schlechter, und der Austritt würde verpasst.

▼ Abb. 3: **Globale mittlere Bewölkung** an einem Juni-Nachmittag in Prozent, ermittelt aus Satellitenbildern von 1982–2007: Die absolute Skala (rechts) ist dabei weniger interessant als der relative Bewölkungsgrad in verschiedenen Weltregionen. Die wirklich wettersicheren Klimazonen sind jeweils recht begrenzt – und nur die australische fällt mit einem Gebiet zusammen, wo der komplette Transit zu sehen ist.



J. ANDERSON, INTERSTELLARUM

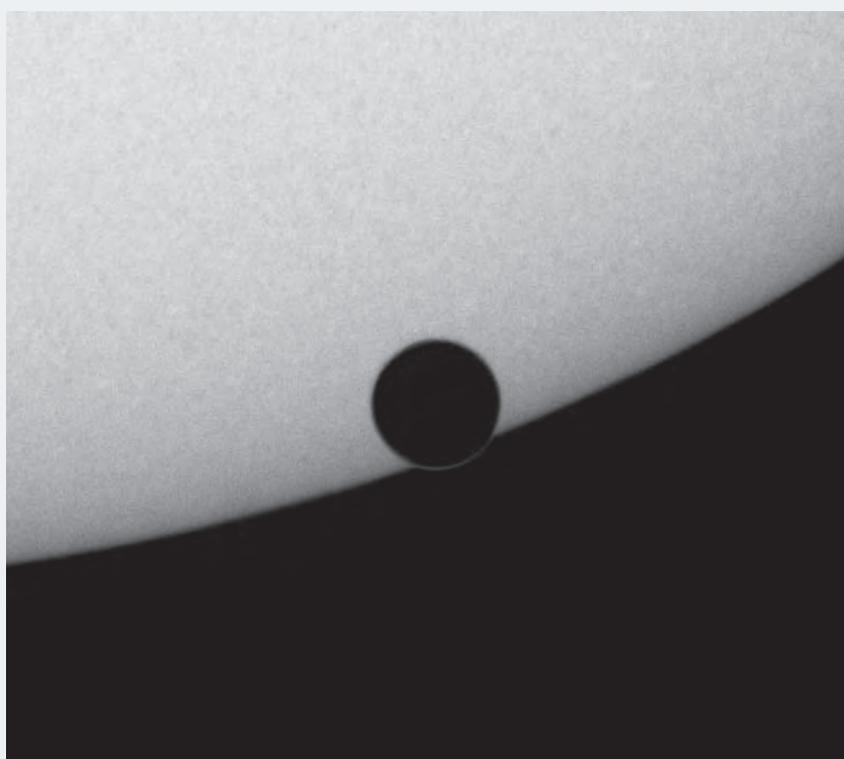
Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Sichtbedingungen des Venus-Durchgangs			
Ort	Sonnenhöhe Eintritt	Sonnenhöhe Austritt	Klimastatistik
Köln, Deutschland	unsichtbar	8° – 11° (steigend)	mäßig
Mitte von Island	4° – 3° (sinkend)	6° – 7° (steigend)	schlecht
Tromsø, Norwegen	2° (steigend)	22° – 23° (steigend)	schlecht
Antalya, Türkei	unsichtbar	20° – 24° (steigend)	gut
Hurghada, Ägypten	unsichtbar	20° – 24° (steigend)	sehr gut
Baikalsee, Russland	12° – 14° (steigend)	59° (kulminierend)	mäßig
Katherine, Australien	8° – 12° (steigend)	50° – 45° (sinkend)	sehr gut
Honolulu, Hawaii	85° – 89° (kulminierend)	8° – 4° (sinkend)	partiell gut
Point Venus, Tahiti	50° – 40° (sinkend)	unsichtbar	mäßig

Beobachtungstipps

Die visuelle Beobachtung eines Venusdurchgangs unterscheidet sich in keiner Weise von der Beobachtung von Sonnenflecken: Zwar ist der Kontrast zwischen dem Planetenscheibchen und der Photosphäre höher als bei jedem Sonnenfleck, dafür ist die Venus mit nur 1' Durchmesser aber immer noch kleiner als viele Fleckengruppen. Trotzdem kann sie meist auch mit dem bloßen – und natürlich durch einen sicheren Sonnenfilter wie eine Sonnenfinsternis-Brille geschützten – Auge gerade eben noch auf dem Sonnenscheibchen erkannt werden: 2004 gelang dies etwa 4 von 5 Beobachtern sicher, im Einklang auch mit Versuchsreihen im Vorfeld. Weniger anstrengend ist die Projektion des Sonnenbildes mit einer Lochkamera – oder einem Fernglas, was bereits ein klar aufgelöstes Bild des Venusscheibchens auf der einige Zentimeter großen Sonne liefert. Eine Projektion von Sonne und Venus mit einem Teleskop erlaubt bereits Sonnengrößen von mehreren Dezimetern, was für die Beobachtung in Gruppen ideal ist. Besonders den Ein- und Austritt – letzterer ja auch in Mitteleuropa zu sehen – zu verfolgen, ist ein schönes Gemeinschaftserlebnis. Wer allerdings die historischen Beobachtungen der Kontakte von Venus- und Sonnenrand nachvollziehen möchte, wird dies am Okular eines sicher gefilterten Refraktors tun und versuchen, den Augenblick der Berührung zu erfassen und die Zeit zu nehmen.

Auch für die Foto- und Videografie der Venus mitten auf der Sonnenscheibe gelten dieselben Regeln wie bei der Aufnahme von Sonnenflecken: Es muss so stark gefiltert werden, dass die Photosphäre nicht überbelichtet wird und bei

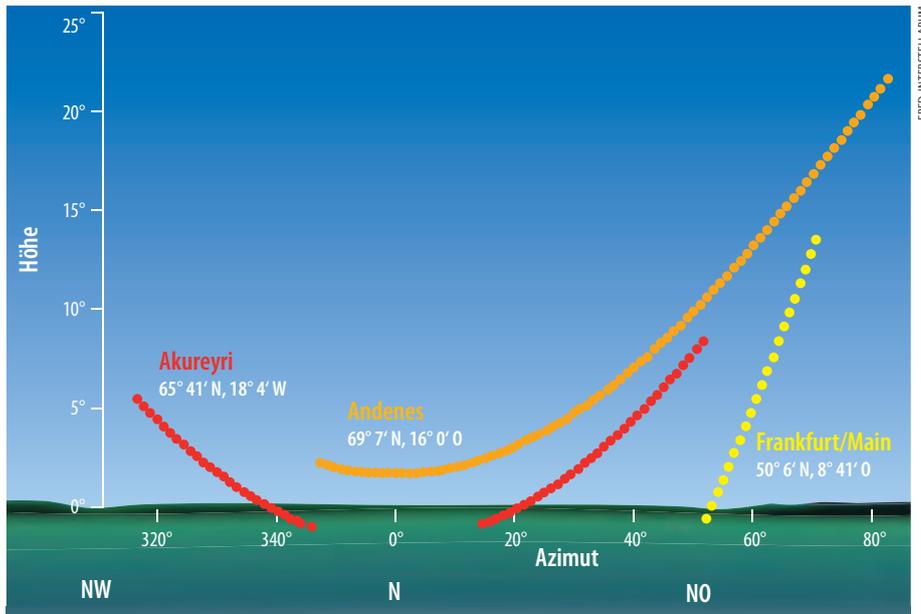


▲ **Besonderes Augenmerk** bei der Beobachtung des Venustransits gilt dem Lichtring, der sich sowohl beim Ein- als auch Austritt bilden kann.

guten Bedingungen die Granulation zu erkennen ist. Anders ist dies jedoch in den Minuten, bevor die Venus ganz vor der Scheibe sitzt bzw. wenn sie bereits ein wenig über den Sonnenrand hinaus getreten ist: Dann bricht die obere Venusatmosphäre das Sonnenlicht etwas um den Planeten herum, so dass am Venusrand jenseits der Sonnenscheibe ein feiner leuchtender Ring erscheint, der in der Literatur als Aureole oder (nach seinem mutmaßlichen Entdecker) Lomonossow-Ring bezeichnet wird. Um dieses faszinierende Phänomen aufzunehmen, muss die Belichtung gegenüber Aufnahmen der Sonne selbst

um ein Mehrfaches verlängert werden, bis hin zu einem Faktor 10. Der Ringbogen, der dann erscheinen wird, ist keineswegs immer vollständig: Die komplexen optischen Eigenschaften der Venusatmosphäre lassen ihn – so 2004 geschehen – mitunter auf ein kurzes, aber helles Segment schrumpfen. Mit guten Aufnahmeserien lässt sich dann sogar die Venusatmosphäre erforschen; Spezialisten können durch eine Koronografenblende, die die Sonne weitgehend abdeckt, noch den Kontrast der Aureole erhöhen.

■ Daniel Fischer



◀ Abb. 4: Der Venustransit vom 6. Juni aus europäischer Sicht in drei verschiedenen geographischen Breiten: Im norwegischen Andenes auf 69° Nord ist das Phänomen rund um Mitternacht komplett zu sehen (orange), im isländischen Akureyri (rot) sind Ein- und Austritt zu verfolgen, aber die Sonne geht während des Transits unter und wieder auf – in Deutschland ist dagegen nur das Ende des Transits zu verfolgen (gelb).

Schwierige Entscheidung

Im Gegensatz zu zentralen Sonnenfinsternissen, die nur in einem schmalen Streifen zu sehen sind, der sich einige tausend Kilometer irgendwo über den Globus zieht, bieten Venusdurchgänge also weit mehr – und auch weiter voneinander entfernte – potenzielle Beobachtungsorte: Welches andere astronomische Ereignis kann schon (zumindest geometrisch gesehen) genau so gut am Nordkap, in Hongkong, auf Hawaii, in Alaska und

in Australien bewundert werden? Die Entscheidung muss jeder selbst treffen: Wieviel ist man bereit auszugeben, wird Wert auf eine hoch stehende Sonne oder lieber eine Sonne mit der Venus davor im Auf- oder Untergang gelegt – und welches Wetterisiko kann man eingehen? Die Gesamtdauer des Transits von 6,5 Stunden erlaubt zwar im Prinzip das Aussetzen größerer Wolkengebiete oder eine ausgedehnte Suche nach klarem Himmel, aber Ein- und Austritt sind mit ihren jeweils 18 Minuten durchaus zeitlich scharf

Surftipps

Grundlagen & Tabellen:

eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/transit12.html

Wetterstatistik:

home.cc.umanitoba.ca/~jander/tov2012/tovintro.htm

Umfangreiches Blog:

transitofvenus.nl

Lomonossow-Ring:

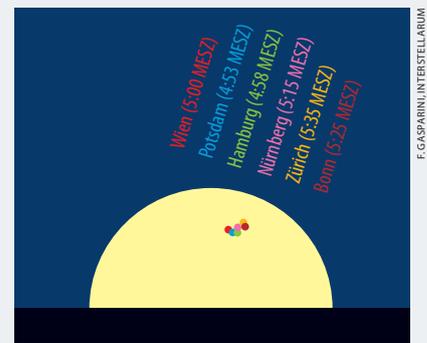
www.astrosurf.com/rondi/venus2004

Der Venustransit im deutschsprachigen Raum

Der Transit beginnt am 6. Juni gegen Mitternacht mitteleuropäischer Sommerzeit, wenn im deutschsprachigen Raum die Sonne noch unter dem Horizont steht. Nur die letzten etwa anderthalb Stunden des Transits können nach Sonnenaufgang, der im deutschsprachigen Raum je nach geographischer Lage zwischen kurz vor fünf und kurz nach halb sechs Uhr Sommerzeit erfolgt, beobachtet werden. Die Venus befindet sich bei Sonnenaufgang

bereits mitten auf dem »oberen« Teil der Sonnenscheibe, so dass sie – freie Horizontsicht nach Osten vorausgesetzt – zu sehen ist, bevor die Sonne ganz über den Horizont gestiegen ist. Der dritte Kontakt erfolgt um 6:37 MESZ und gut 18 Minuten später hat die Venus die Sonnenscheibe vollständig verlassen. Zu Beginn des Austritts steht die Sonne mindestens 9° hoch.

■ Susanne Friedrich



▲ Die Position der Venus bei Sonnenaufgang am 6.6.2012. Die Refraktion ist berücksichtigt.

Kontaktzeiten für einige Städte im deutschsprachigen Raum¹

Ereignis	Bonn	Hamburg	Nürnberg	Potsdam	Wien	Zürich
Sonnenaufgang ²	5:25 MESZ	4:58 MESZ	5:15 MESZ	4:53 MESZ	5:00 MESZ	5:35 MESZ
3. Kontakt	6:37:36 MESZ	6:37:17 MESZ	6:37:41 MESZ	6:37:30 MESZ	6:37:36 MESZ	6:37:48 MESZ
Höhe 3. Kontakt	10°	12°	12°	14°	14°	9°
4. Kontakt	6:55:06 MESZ	6:54:55 MESZ	6:55:11 MESZ	6:54:59 MESZ	6:55:12 MESZ	6:55:18 MESZ
Höhe 4. Kontakt	12°	15°	14°	16°	17°	12°

¹ Fred Espenak, NASA, GSFC, M. Dings HPET4; JPL Horizons Web-Interface

² Sonne zur Hälfte aufgegangen, mit Refraktion (JPL)

Im Mondschatten

Fotografie totaler Sonnenfinsternisse

VON HARTWIG LÜTHEN

Für viele Amateurastronomen sind totale Sonnenfinsternisse wesentliche Ereignisse in ihrem Leben. Astrofotografen unter den Finsternis-Fans möchten das Ereignis gerne im Bild festhalten. Sie reisen für wenige Minuten im Mondschatten um den halben Globus. Sie nutzen die Sonnenfinsternis-Tour als Vorwand, unseren schönen Planeten kennenzulernen, erleben ein fantastisches Naturschauspiel und können sich danach wochenlang mit den Ergebnissen in der digitalen Dunkelkammer auseinandersetzen. Allerdings ist der Grat zwischen schönen Ergebnissen und Frustration ziemlich schmal. Neben dem Wetterglück ist eine solide Vorplanung der Schlüssel zum Erfolg.

G. NEUMANN, H. LÜTHEN

▲ Abb. 1: **Weitwinkelobjektive können die Szenerie einer Sonnenfinsternis gut festhalten.** Gerd Neumann belichtete mit einem 8mm-Fischaugen-Objektiv bei der Sonnenfinsternis vom 1.8.2008 in regelmäßigen Abständen durch einen Sonnenfilter. Während der Totalität machte er eine lang belichtete Aufnahme ohne Filter. Der Verfasser kombinierte die Bilder mit Fitswork zu einer Gesamtmontage.

Einige Vorüberlegungen

Von den meisten Formen der Astrofotografie unterscheidet sich die Fotografie totaler Sonnenfinsternisse beträchtlich – insbesondere was Ausrüstung, Vorbereitung, Technik und den Ablauf vor Ort angeht.

Ausrüstung

- Die Wahl der richtigen Brennweite will gut überlegt sein. Jede Kamera findet ihren Himmel. Schon eine einfache Kamera mit Weitwinkelobjektiv erfasst die Landschaft, das Farbenspiel des Himmels und

die Bewegung des Mondschattens (Abb. 1). Die Korona und die Protuberanzen erfordern ein Teleobjektiv. Bei einer Brennweite von 500mm und einer üblichen digitalen Spiegelreflexkamera füllt die äußere Korona den Chip bereits voll aus. In diesem Brennweitenbereich hat man die Wahl zwischen Linsenteleobjektiven, Spiegelobjektiven oder kleinen Apo-Refraktoren.

- Ein leichtes Stativ passt gut ins Handgepäck, aber ein verwackeltes Bild ist ärgerlich.
- Die Fluglinie ist begeistert, wenn man mit 50kg Übergepäck eincheckt – und bittet zur Kasse.

Vorbereitung

- Testen. Testen. Und alles noch einmal testen. Der Mond ist ein exzellentes Testobjekt, denn er ist etwa so hell wie die innere Korona. Er sollte beim Probelauf etwa so hoch am Himmel stehen wie die Sonne zur Totalität. Wenn man mit seiner Ausrüstung immer wieder scharfe Krater aufnimmt, stehen die Chancen gut, dass man auch ein scharfes Koronabild heimbringt. Mit verschiedenen ISO-Empfindlichkeiten lassen sich verschiedene Belichtungszeiten erzwingen. Das ist wichtig, denn Verwacklungsunschärfen

ergeben sich oft nur bei bestimmten Belichtungszeiten. Auf jeden Fall sollte man im heimischen Wohnzimmer genau simulieren, in welcher Richtung die Sonne steht, ob die Gewichtsverteilung des Aufbaus stimmt oder ob tote Punkte der Montierung gerade im Augenblick der Totalität zum Problem werden. Das Wohnzimmer ist auch der Ort, an dem man das Foto-Programm gründlich testen und ggf. trainieren kann.

Technik

- Für gewöhnlich wird sich der Astrofotograf viel Zeit nehmen, um alle Einstellungen wie Fokus, Belichtungszeit und Nachführung zu optimieren. Gerade im digitalen Zeitalter können Fehler rasch erkannt und korrigiert werden – man kann schnell aus Fehlern lernen. Bei einer totalen Sonnenfinsternis vereiteln nicht nur plötzlich aufkommende Wolken mitunter den Erfolg. Haben technische Kleinigkeiten innerhalb der entscheidenden Minuten nicht auf Anhieb funktioniert, kann es Jahre dauern bis zum nächsten Versuch.
- Scharfstellen ist eine echte Hürde. Die bekannten 100/1000mm-Maksutov-Spiegelobjektive (»Russentonne«) sind leicht und bilden scharf ab. Wenn aber die Temperatur in den partiellen Phasen um 10°C oder mehr abfällt, darf man nicht erwarten, dass ihr Fokus stabil bleibt. Glas-Sonnenfilter, die man in den partiellen Phasen zum Fokussieren verwenden könnte, verschieben den Fokus deutlich. Viel geeigneter zum Fokussieren kurz vor der Totalität sind die dünnen Folienobjektivfilter. Sonnenfilterfolie ist günstig erhältlich und man kann sich eine Pappfassung leicht selbst anfertigen oder auch fertig gefasste Filter im Handel erwerben. Die finale Fokussierung sollte man erst in den letzten Minuten vor dem 2. Kontakt mit aufgesetztem Filter durchführen – dann ist man relativ sicher vor der temperaturbedingten Fokusdrift. Erst wenige Sekunden vor der Totalität darf der Filter abgenommen werden. Schwierig wird es, wenn die Sonne erst während der Totalität in einem Wolkenloch auftaucht. Immerhin ist das Fokusproblem durch das Aufkommen der Live-View-Kameras deutlich entschärft worden.

Vor Ort

- Flexibel bleiben. Am Tag X kommt nämlich alles anders. Man muss die Kamera

auch bedienen können, wenn der Jubel einiger Hundert Umstehender einen daran hindert, das Verschlussgeräusch der Kamera wahrzunehmen. Der Verfasser konnte es nicht und zerstörte aus diesem Grund in Sambia 2001 seine Kamera, da er gleichzeitig den Verschluss- und Spannhebel betätigte. Weitere Lehre aus dem Beispiel: Im Falle eines technischen Totalversagens der Gerätschaften sollte man umgehend die Fotografie Fotografie sein lassen und schauen. Diese erlebnisreichen Sekunden im Mondschaten sind zu wertvoll zum Fluchen und Basteln.

- Ein geradezu klassischer Fehler ist es, zu vergessen, den Sonnenfilter ca. 20 Sekunden vor der Totalität abzunehmen – oder danach wieder aufzusetzen. Ersteres ruiniert die Korona-Bilder. Letzteres zerstört im Zweifel die Kamera.
- Fotos sind nicht alles. Wer die Kameras von Hand bedient, sollte auf jeden Fall eine längere Phase für visuelle Beobachtungen vorsehen.

Motive für Sonnenfinsternisfotografen

Die **partielle Phase** vor und nach dem Hauptereignis kann man sehr leicht fotografieren – mit dem gleichen Fotoobjektiv, das man für die Koronafotos vorgesehen hat. Ein sicherer Sonnen-Folienfilter ist natürlich Pflicht. Bei Spiegelreflexkameras ist das Modell für den visuellen Einsatz (ND 5) geeignet. Beim 2. bzw. 3. Kontakt gibt es unglaublich viel zu fotografieren – und noch mehr zu sehen: **Diamantring** und das **Perlschnur-Phänomen** erfordern kurze Belichtungszeiten – ohne Filter natürlich. Gleichzeitig sind Weitwinkelaufnahmen der Landschaft und des heranrückenden Mondschatens sehr ansprechend (Abb. 1). Wer das Ereignis nebenher visuell verfolgt, erleidet beim 2. Kontakt eine allgemeine emotionale und sensorische Übersättigung und muss gleichzeitig womöglich mehrere Kameras steuern. Außerdem sollte man noch nach den fliegenden Schatten Ausschau halten, die man mit einer mitlaufenden Videokamera erfassen kann.

Während der Totalität ist es vor allem wichtig, viele Fotos mit ganz unterschiedlichen Belichtungszeiten zu machen. Belichtungen von 1/1000s und 1/2000s (bei f/6 und 100 ISO) zeigen sehr schön die **Chromosphäre** und die **Protuberanzen**. Aber die letzten Strahlen der äußersten **Korona** erfordern mehrere Sekunden Belichtungszeit. Bilder von 2s – 4s zeigen dann bereits schwache Sterne und den von der Erde beleuchteten Mond, sofern der



▲ Abb. 2: **Einige moderne Reisemontierungen** wiegen nur wenige Kilogramm, führen sehr genau nach und sind recht stabil. Das Bild zeigt ein 500mm-Spiegelteleobjektiv und eine DSLR auf einer Astrotrac-Reisemontierung.

Himmel transparent genug ist. Weite Teile der inneren und mittleren Korona sind hingegen überbelichtet.

Solche relativ langen Belichtungszeiten bringen neue Probleme mit sich: Bei einem 500mm-Tele werden die Bilder schon bei Belichtungszeiten von 1/4s erkennbar verwischt. Man muss bedenken, dass sich die Sonne wegen der Erdrotation 15"/s bewegt. Während der Totalität ist es lästig, die Kamera auf einem Stativkopf ständig der Sonne nachschwenken zu müssen. Gerade bei langen Belichtungszeiten und größerer Brennweite sollte die Korona nicht exzentrisch im Gesichtsfeld stehen: Anstelle des Stativkopfs nimmt man eine kleine motorisierte Montierung mit! In letzter Zeit sind einige sehr transportable und stabile Modelle auf den Markt gekommen (Abb. 2), aber auch Montierungen der NP- oder EQ2–3 Klasse (Abb. 3) leisten gute Dienste. Die Polausrichtung ist normalerweise improvisiert (z.B. mit Kompass und Neigungsmesser), aber die diesbezüglichen Anforderungen sind zum Glück nicht sehr hoch. Aufstellungsfehler bewirken allerdings, dass die Sonne ganz langsam aus der Bildmitte driftet. Man sollte daher kurz vor und evtl. auch während der Totalität kurz überprüfen, ob die Sonne noch gut zentriert ist.



▲ Abb. 3: **Es wird ernst in Sibirien!** Blick auf den Aufbau des Verfassers wenige Minuten vor der Totalität der Sonnenfinsternis am 1.8.2008. Ein 500mm-f/6,3-Linsenteleobjektiv ist auf einer EQ2-Montierung aufgebaut und wird über einen Pulsmotor nachgeführt. Das Notebook im iCap-Zelt steuert via Eclipse Orchestrator eine Canon EOS 350D DSLR-Kamera.

Softwaregesteuerte Kameras im Mondschatten

Früher gab es zwei Sorten von Finsternisbeobachtern: Die einen schauten und genossen. Sie berichteten begeistert von den tiefen Eindrücken bei diesem wohl schönsten Naturschauspiel. Die anderen saßen hochkonzentriert hinter ihren Kameras. Sie genossen nicht wirklich, sondern arbeiteten verbissen ihr Belichtungsprogramm ab. Selbst wenn sie 40 oder 50 Sekunden zum visuellen Beobachten einplanten, waren sie zu angespannt, um sich auf das Gebotene wirklich einzulassen. Also reduzierte das Fotoprogramm das visuelle Erlebnis auf ein paar flüchtige Eindrücke. Diese strenge Alternative »Schöne Fotos oder schöne visuelle Beobachtung?« besteht heute nicht mehr. Seit 2006 kann man die Bedienung der Kamera komplett einem Rechner überlassen, die Kamera vergessen und selber einfach nur genießen! Der Verfasser hat bisher sechs totale Sonnenfinsternisse gesehen – alle bei klarem Himmel – und alle fotografiert. Die Finsternisse von 2006

und 2008, bei denen ein Computer die Kamera bediente (Abb. 3), waren komplett andere Erlebnisse und lieferten auch viel mehr und bessere Fotos als die Finsternisse davor! Es ist unfassbar, was einem alles entgeht, wenn man seine Kamera manuell bedient.

Für Windows haben sich Fred Bruinjes Software Eclipse Orchestrator (vgl. interstellarum 67), für Mac der Eclipse Maestro von Xavier Jubier bewährt. Beide Programme bestimmen zunächst die genaue Position und Uhrzeit über eine ans Notebook angeschlossene GPS-Maus. Dann berechnen sie unter Berücksichtigung des Mondrandprofils (!) sekundengenaue Kontaktzeiten. Man muss nur vor der Abreise ein Skript erstellen, das relativ zu den Kontaktzeiten die genauen Abläufe automatisiert. So kann man festlegen, dass die Kamera zum Beispiel drei Sekunden vor dem 2. Kontakt 1/1000s belichtet, aber 20 Sekunden nach dem Eintritt in den Mondschatten eine 2s-Aufnahme auslöst.

Sehr empfehlenswert ist es, mehrere Skripte für verschiedene Situationen

vorzubereiten und gründlich zu testen. Bei durchziehender Bewölkung möchte man schnell mit wechselnden Belichtungszeiten Fotos machen – vielleicht wird so ein größeres Wolkenloch optimal genutzt. Bei klarem Himmel ist es sinnvoll, fein abgestufte Sequenzen von Bildern verschiedener Belichtungszeit anzufertigen. Eclipse Orchestrator bietet die Option, durch den Druck einer einzigen Taste ein Notskript für den Wolkenloch-Einsatz starten zu können. Vielleicht muss man am Finsternistag auch mobil sein und vor möglichen Wolken quer zur Zentrallinie fliehen. Dann braucht man auch noch verschiedene Skript-Varianten für verschiedene Totalitätszeiten.

Für die Skripte gilt: testen, testen, testen! Man sollte nicht zu »aggressiv« programmieren. Ein komplett unbelichtetes RAW-Bild, das man bei einem Test im Wohnzimmer mit aufgesetztem Kameradeckel aufnimmt, verschlingt viel weniger Megabyte auf der Speicherkarte und erfordert weniger Zeit zum Abspeichern auf der Karte als eines mit viel Detail. Man sollte der Kamera also ausreichend Zeit



H. LÜTHEN

▲ Abb. 4: Für diese Aufnahme der Finsternis vom 1.8.2008 wurden 28 Bilder mit Belichtungszeiten zwischen 1/1000s und 2s mit der Anordnung in Abb. 2 aufgenommen, mit Fitswork addiert und mit einem Sekanina-Larsen-Filter verarbeitet. Mit Photoshop wurde die Mondscheibe eingesetzt. Man beachte das Monddetail im Erdschein.

geben, die Bilder »loszuwerden«. Ein Test sollte auch hier unter realistischen Bedingungen stattfinden. Noch etwas: Eine Handnachführung per Stativkopf und automatische Kamerasteuerung sind ein innerer Widerspruch.

Die Vorarbeiten lohnen sich. Am Finsternistag startet man einfach ein geeignetes Skript und genießt das Ereignis! Bei den kommenden Finsternissen werden mit Sicherheit Mobiltelefone, die ja heute auch GPS-Geräte und reichlich Computerpower enthalten, die derzeit verwendeten Netbooks verdrängen. Wolfgang Strickling hat bereits ein entsprechendes Programm für das Handy-Betriebssystem »Android« vorgestellt (vgl. Surftipps).

Bildbearbeitung für Finsternisfotografen

Kein Koronafoto gibt den Eindruck einer totalen Sonnenfinsternis wieder. Was schlimmer ist: Kein Koronafoto zeigt wirklich all die Details, die die Kamera prinzipiell erfassen kann. Denn die riesigen Helligkeitsunterschiede zwischen der

inneren und der äußeren Korona sorgen dafür, dass immer wesentliche Teile der Korona unter- bzw. überbelichtet werden. Ein naheliegender Ansatz ist es, viele verschieden belichtete Bilder zu einem einzigen zu kombinieren. Man kann hierzu die Ebenentechniken von Photoshop nutzen – ein relativ qualitativer Ansatz mit viel manueller Arbeit. Eine Alternative ist es, die Bilder z.B. mit Fitswork zu addieren und dann mit einem Sekanina-Larsen-Filter zu verarbeiteten (Abb. 4). Diese Methode erlaubt ein recht schnelles und quantitatives Arbeiten. Für beide Strategien findet man Anleitungen im Netz (vgl. Surftipps).

Fazit

Die moderne Digitalfotografie hat in der Sonnenfinsternisfotografie völlig neue Möglichkeiten geschaffen. Und sie hat den alten Gegensatz zwischen dem visuellen Beobachter und dem Fotografen eingeebnet. Es ist damit zu rechnen, dass dies auch für andere Gebiete der Amateurastronomie in der Zukunft gelingt.

Surftipps

Eclipse Orchestrator:

www.moonglowtechnologies.com/products/EclipseOrchestrator/index.shtml

Eclipse Maestro:

xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/Solar_Eclipse_Maestro_PhotoGraphy_Software.html

Solar Eclipse and Camera Controller:

robertnufer.ch/06_computing/setnc/SETnC_page.htm

EclipseDroid für Android-Handys:

www.strickling.net/eclipsedroid.htm

Sonnenfinsternisbilder

mit Fitswork addieren:

www.gva-hamburg.de/sofi2006/fitswork/sofi_fitswork_GER.htm

Koronakomposite mit Photoshop:

www.mreclipse.com/SEphoto/SEcomp.html

Korona-Fotografie von

Jerry Lodriguss:

www.astropix.com/HTML/J_DIGIT/E_COMP.HTM

J. MENSING

▲ Abb. 1: **Eine ringförmige Sonnenfinsternis bietet spektakuläre Phänomene**, wie hier 2005 nahe der Zentrallinie ohne Filter mit einer Digitalkamera aufgenommen: Über den Baily's Beads schwebt eine Protuberanz.

Viel mehr als nur ein Sonnenring

Ringförmige Sonnenfinsternisse fotografieren

VON DANIEL FISCHER, TOBIAS KAMPSCHULTE UND BERND GÄHRKEN

Für die meisten Amateurastronomen sind ringförmige Sonnenfinsternisse nichts wert: Ein bisschen spannender als partielle Finsternisse mögen sie ja schon sein, schiebt sich doch der Mond für ein paar Minuten ganz vor die Sonne – aber er hat eben doch einen mehr oder weniger deutlich kleineren Winkeldurchmesser, so dass ein erheblicher Teil der Photosphäre unbedeckt bleibt. Andere Phänomene als bei einer partiellen Sonnenfinsternis sind mithin nicht zu erwarten, sollte man da meinen – aber weit gefehlt.

Die Phase des geschlossenen Rings ist tatsächlich, ganz im Gegensatz zur Totalität bei einer totalen Finsternis, der uninteressanteste Zeitraum: Fotografiert werden kann dann nur mit den Einstellungen wie bei der normalen Abbildung der Photosphäre, also voller Filterung. Einziger Unterschied ist die große schwarze Scheibe in der Mitte des Bildes, und wenn Optik und Seeing mitspielen, lässt sich immerhin das Profil des Mondrandes mit seinen Bergen und Tälern als

Silhouette einfangen. Besondere optische Phänomene aber gibt es nicht, abgesehen vielleicht von aparten Schattenspielen am Boden unter Bäumen, wo sich Scharen von kleinen Sonnenringen einstellen können.

Ganz anders sieht es aber rund um den zweiten und dritten Kontakt aus, also den Momenten, wenn sich der Ring gerade schließt bzw. wieder öffnet: Sie sind es, die ringförmige Sonnenfinsternisse ebenso spannend und fotografisch fast so spektakulär machen können wie totale

Finsternisse – wenn man es richtig angeht. Die technischen Herausforderungen sind erheblich größer als bei totalen Finsternissen, bei denen der größer als die Sonne erscheinende Mond den Großteil der »Arbeit« erledigt, und die Techniken sind zum Teil nur erfahrenen Astrofotografen zu empfehlen. Aber die Mühe lohnt sich, denn auch bei ringförmigen Finsternissen lassen sich jene höheren und viel lichtschwächeren Teile der Sonnenatmosphäre abbilden, die sonst nur bei totalen



B. GÄHRMANN

▲ Abb. 2: **Dritter Kontakt und Austritt des Mondes** bei der ringförmigen Sonnenfinsternis 2005, aufgenommen ohne Filter mit einem 120/1000mm-FH-Refraktor und Kodak Ektachrome 200 Diafilm, 1/1000s.

Finsternissen in Erscheinung treten: die rosafarbene Chromosphäre dicht über der grellen weißen Photosphäre und sogar die Korona, jedenfalls ihr hellster innerster Bereich. Garniert wird das Ganze auch noch durch das Band der Perlschnur aus »Baily's Beads«, jenen Stellen, wo Photosphärenlicht durch Mondtäler hindurch bricht, sei es in winzigen Punkten oder entlang längerer Bogenstückchen.

Die Perlschnur in vollem Glanz

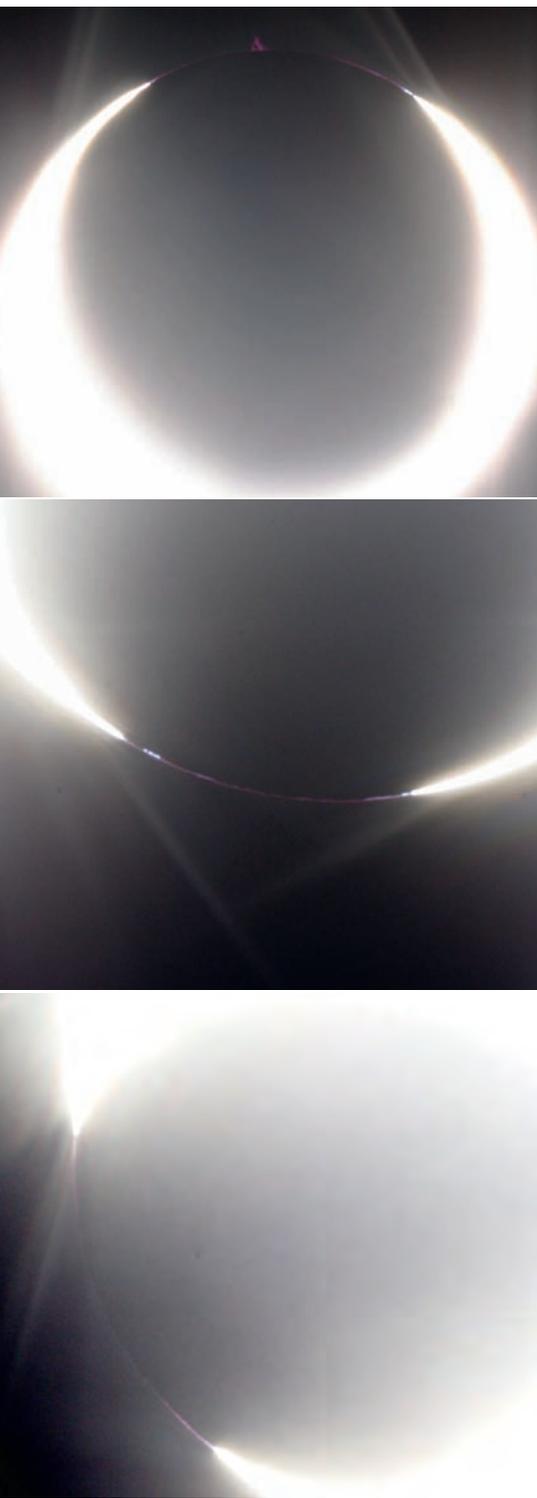
Fast die gesamten partiellen Phasen einer ringförmigen Sonnenfinsternis – also zwischen dem 1. und 2. und zwischen dem 3. und 4. Kontakt – lassen sich wie bei einer

totalen und partiellen Finsternis nur durch Sonnenfilter mit normaler Dichte für typische Sonnenfleckenfotos aufnehmen: Das Bild wird schließlich von der Photosphäre dominiert. Bei einer totalen Sonnenfinsternis schrumpft mit dem Nahen des 2. Kontakts die Photosphäre zu einer Sichel, die immer kürzer wird und schließlich als letzter Lichtpunkt (»Diamantring-Effekt«) erlischt. Bei einer ringförmigen Finsternis entsteht ebenfalls eine Sichel, die aber immer ausladender wird, je mehr sich die Zentren von Mond und Sonne nähern. Kurz vor dem zweiten Kontakt kommt eine Dynamik auf, die man so von totalen Finsternissen gar nicht kennt: Schneller und schneller rasen die beiden Hörnerspitzen

der Sichel aufeinander zu! Aber bevor sie verschmelzen und der Ring sich schließt, tauchen zwischen den Hörnerspitzen erst einige, dann immer mehr Baily's Beads auf: an jenen Stellen, wo Photosphärenlicht durch Mondtäler dringt.

Viele Astrofotografen machen nun den Fehler, diese packende Szene mit derselben Einstellung zu fotografieren wie die Partialität davor. Das aber ist falsch: Die deutliche Randverdunklung der Sonne – Charakteristikum eines leuchtenden Gasballs – sorgt dafür, dass die Flächenhelligkeit der z.T. nur wenige Bogensekunden großen Perlen viel geringer als die der Sonnenmitte ist. Deswegen sind deutlich längere Belichtungszeiten und/oder ein deutlich weniger dichter Filter

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



T. KAMPSCHULTE

oder auch überhaupt kein Filter mehr vonnöten, um die volle Pracht der ersten Strahlen und der sich ausbildenden Perlschnur korrekt zu belichten. Diese spannendste Phase einer ringförmigen Finsternis dauert auf der Zentrallinie nur wenige Sekunden: Aus diesem Grund begeben sich erfahrene Beobachter zunehmend an den Rand der Annularitätszone, denn hier »schrammt« der Mond mit seinem gezackten Rand gewissermaßen von innen am Sonnenrand entlang, und das Perlschnurphänomen verlängert sich auf eine halbe Minute und mehr (vgl. Kasten).

Perlschnur und Chromosphäre einfangen

Korrekt belichtete Baily's Beads führen zwangsläufig zu einer deutlichen Überbelichtung der restlichen Sonnensichel zu beiden Seiten der Perlschnur und erst recht auf der gegenüberliegenden Sonnenseite, wo der zu klein geratene Mond noch eine Menge Photosphäre frei gelassen hat. Damit muss man leben und diesen Teil einfach abschneiden – außer man fotografiert noch auf Film: Negativmaterial mit seinem enormen Belichtungsspielraum kann es tatsächlich schaffen, die gesamte Szenerie »mit einem Schuss« festzuhalten. Das Problem der Restsichel wird natürlich noch viel gravierender, wenn man den schwächeren Phänomenen der Sonnenatmosphäre oberhalb der Photosphäre nachstellt. Die Chromosphäre ist dabei heller als mancher vermutet (man denke aber an die beachtliche Bildhelligkeit in einem Ha-Teleskop, und zur Chromosphären-Gesamthelligkeit tragen noch mehrere weitere helle Emissionslinien bei) und kann es spielend mit den schwächeren Beads aufnehmen. In den letzten Jahren haben eine Handvoll experimentierfreudiger Amateurastronomen mehrere verschiedene Methoden ausprobiert, um möglichst viele Phänomene ringförmiger Finsternisse rund um die Kontakte im Bild festzuhalten und waren vor allem 2005 und 2010 erfolgreich.

Fast alle Sonnenfinsternisfotografen arbeiten heute mit digitalen Spiegelreflexkameras – aber den Autoren ist nur ein einziger Kollege bekannt, der es einmal gewagt hat, auch bei einer ringförmigen Finsternis mit solch einer Kamera und gänzlich ohne Filter zu arbeiten. Jürgen Mensing fotografierte 2005 in Spanien mit 1/4000s Belichtungszeit und Blende 16 – und mahnt zur äußersten Vorsicht: Jeweils nur für die Aufnahmen nahm er ganz kurz den normalen Sonnenfilter ab. Und natürlich darf dann keinesfalls durch den Kamerasucher

geschaut werden, was quasi dem fatalen Blick durch das Okular eines ungefilterten Teleskops entsprechen würde! Dem Kamerachip, -verschluss und -belichtungsmesser schadete der kurze Sonnenglanz indes nicht. Eine originelle Hybrid-Technik hatte für dieselbe Finsternis Dirk Ewers entwickelt: Er klebte den halben Chip seiner DSLR-Kamera mit Filterfolie ab und platzierte die Sonnensichel so, dass sie weitgehend auf die Folie fiel, während die Chromosphäre den ungefilterten Teil traf. Auf diese Weise gelangen ihm die vielleicht einzigen Bilder dieser Finsternis mit gleichzeitig durchbelichteter Chromosphäre und korrekt belichteter Sonnensichel [1].

Die Lösung: Herschelprisma

Einen anderen Ansatz verfolgte Autor Tobias Kampschulte bereits zweimal mit Erfolg: Es wird zwar das gesamte Bild stark gefiltert, aber dafür viel länger belichtet. Der enorme Helligkeitsunterschied zwischen Photosphäre einerseits und Chromosphäre/Korona andererseits erfordert dabei ein Instrument mit guter Streulichtunterdrückung: Er verwendete 2005 in Spanien und 2010 in Indien einen 80/480mm-Apochromaten von mit einem Herschelprisma. Letzteres vernichtet ca. 95% des Sonnenlichts und ist Objektiv-Sonnenfilterfolien in puncto Farbneutralität und Kontrast vorzuziehen: Kontrasteinbußen entstehen bereits durch mikroskopisch kleine Löcher oder Kratzer in der empfindlichen Beschichtung der Folien. Auf das Herschelprisma folgt ein Neutraldichtefilter der Dichte ND3, um die Helligkeit auf ein für Auge und Kamera gerade noch erträgliches Maß zu reduzieren.

Um eine hohe Auflösung zu erzielen und die besonders lichtstarken Bildteile (Photosphäre) möglichst weit von den lichtschwächeren (Chromosphäre/Korona) in der Bildebene zu trennen, wurde die effektive Brennweite auf 1440mm mittels eines Fluorite Flatfield Konverters (FFC) von Baader verlängert. Bei einer DSLR-Kamera mit APS-C Sensorformat, hier die EOS 300D/350D von Canon, passt dann die komplette Sonnenscheibe gerade noch ins Gesichtsfeld. Die Belichtungszeiten reichen bei einer Einstellung von ISO 200 von ca. 1/1500s für die Mitte der Sonnenscheibe über ca. 1/60s (Perlschnur) bis zu mehreren Sekunden (Chromosphäre/Korona), was eine automatische Nachführung des Teleskops erforderlich macht. Um Erschütterungen, z.B. durch Spiegelschlag, zu vermeiden, sollte die Spiegelvorauslösung aktiviert sowie ein Fernauslöser verwendet

▲ Abb. 3: Phänomene während einer ringförmigen Sonnenfinsternis.

Oben: Sonnensichel, Chromosphäre und eine Protuberanz bei der ringförmigen Sonnenfinsternis 2005 in Spanien mit 1,6s Belichtungszeit durch einen Sonnenfilter aufgenommen. 80/480mm-Apochromat, Canon EOS 300D, ISO 200, Herschelkeil, ND3-Filter und Baader FFC (3x).

Mitte: Chromosphäre und ein früher Baily's Bead bei der ringförmigen Sonnenfinsternis 2010, lange vor dem Beginn der Ringphase, aufgenommen durch einen Sonnenfilter mit langer Belichtung.

Unten: Nachweis der inneren Korona dank des dunkleren Mondes davor lange nach dem Ende der Ringphase 2010 in Varkala, Indien.

werden. Benutzt wurde eine Montierung vom Typ EQ-3, deren »Gegengewicht« 2010 ein HDV-Camcorder war.

Unerlässlich: Bildbearbeitung

Dass die Bilder stets (auch) im RAW-Format aufgenommen werden, damit hinterher die volle Bandbreite der Verarbeitung zur Verfügung steht, versteht sich von selbst. Für die RAW-Verarbeitung kann z.B. das mitgelieferte Programm Digital Photo Professional von Canon verwendet werden: Mit der linearen Tonkurve können schwache Kontraste, z.B. zwischen Mondrand und Korona, durch geeignete Wahl des Schwarz- und Weißpunkts herausgearbeitet werden. Grundsätzlich gilt: ausprobieren! Entgegen vielen Erwartungen gelang es beim nahezu maximal breiten Sonnenring von 2010, nicht nur die Chromosphäre, sondern auch die innere Sonnenkorona nachzuweisen: Sie lässt sich von unvermeidlichen Optik-internen Reflexen klar dadurch trennen, dass vor ihr der noch dunklere Neumond steht und sein Rand entlang eines größeren Bogens als Helligkeitskante verfolgt werden kann.

Bei ringförmigen Sonnenfinsternissen mit ihrem gewaltigen Kontrast zwischen Restring, Perlschnur, Chromosphäre und (innerer) Korona hat auch die klassische Fotografie – auf chemischem Film also – ein besonderes Einsatzgebiet. Autor Daniel Fischer setzt Farbnegativfilm ein, der einen größeren Belichtungsspielraum als Diafilm, aber auch die meisten elektronischen Detektoren bietet und es z.B. auch fertig bringt, bei einer totalen Sonnenfinsternis alles von Chromosphäre und Protuberanzen bis zur äußeren Korona mit einer einzigen Aufnahme festzuhalten. Bei ringförmigen Sonnenfinsternissen ist es in gleicher Weise möglich, alles von der langen Sonnensichel bis zu den feinsten Baily's Beads und der Chromosphäre »in einem Schuss« einzufangen. Das gelingt sowohl mit einem – dünnen – Sonnenfilter wie auch gänzlich ungefiltert. Dabei gilt natürlich wieder die Warnung, keinesfalls mehr durch den Sucher einer Spiegelreflexkamera zu schauen: Die Sonne muss zentriert – und fokussiert – werden, bevor der Filter abgenommen wird. Danach strömt das gleißende Licht der Sonnensichel aus dem Sucher.

Zurück zum Film ...

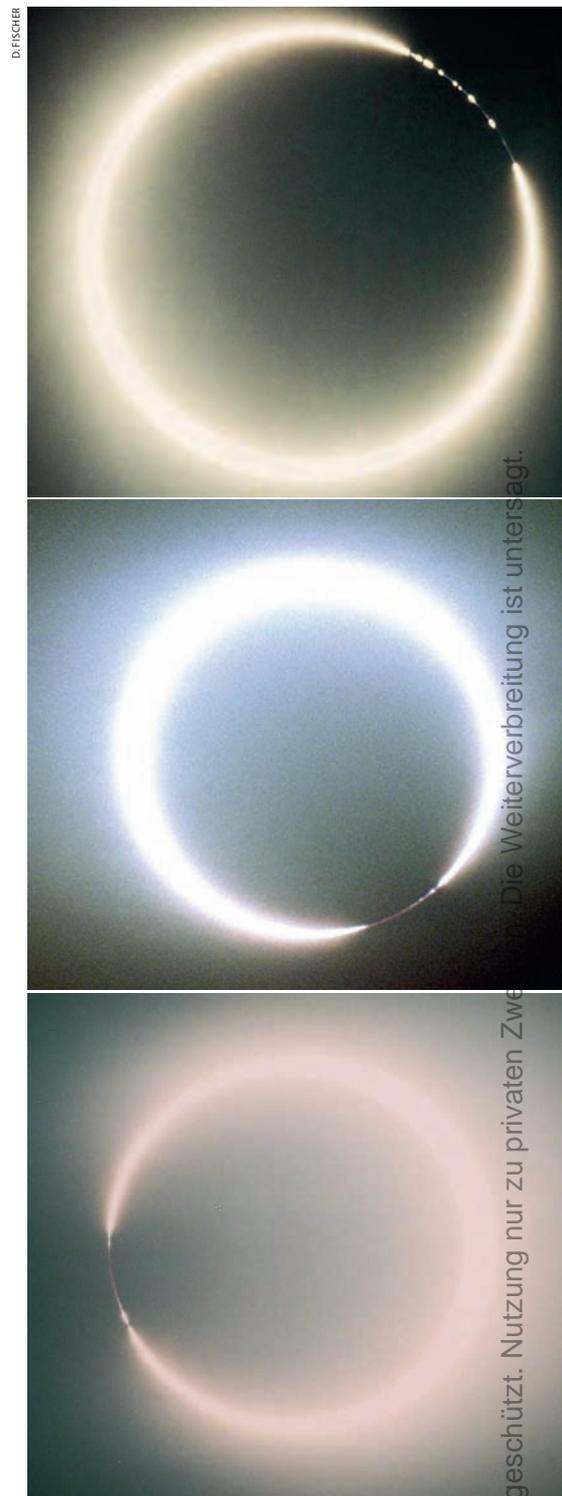
Die Herausforderung besteht auch darin, später den enormen Informationsgehalt eines durchbelichteten Negativs zu extrahieren und auf dem Bildschirm oder auf

Fotopapier angemessen darzustellen: Experten empfehlen das Einscannen im Dia-Modus, der den vollen Dynamikbereich erhalten sollte. Dafür kann der ästhetische Gewinn enorm sein: Im Idealfall erscheint eine Kette nur wenig überstrahlter Baily's Beads, die tatsächlich wie auf einer Perlenkette aufgereiht sind – wobei dann der hauchdünne Chromosphärenbogen den »Faden« darstellt. Dies festzuhalten, gelang besonders gut bei der Ringfinsternis von 2005, während beim superbreiten Ring 2010 der Beweis geführt werden konnte, dass auch mit klassischer Fotografie selbst in solch einem Extremfall noch problemlos gleichzeitig Sonnenring und Chromosphärenbogen aufzunehmen sind – so mancher »Experte« hatte diese Möglichkeit im Vorfeld glatt bestritten. Und bei dünneren Ringen wie z.B. 1999 ist auch mit chemischem Film problemlos der Nachweis der inneren Korona möglich.

Mit der chemischen Fotografie ringförmiger Finsternisse hat auch Autor Bernd Gährken bei der ringförmigen Sonnenfinsternis vom 3.10.2005 experimentiert. Die Zentrallinie dieser Sonnenfinsternis verlief mitten über die spanische Hauptstadt Madrid und war daher günstig mit einer Urlaubsreise zu verbinden. Der Standort lag auf etwa 1100m Höhe zwischen Avila und Segovia. In der Nacht war es recht kalt gewesen, so dass die Sonne nur langsam den Boden erwärmte. Dennoch war mit zunehmender Verdunklung der Sonnenscheibe ein deutlicher Temperaturabfall zu bemerken. Obwohl es sich nur um eine 93%-Bedeckung handelte, war während des Maximums eine deutliche Verfärbung des Himmels zu beobachten. Er nahm eine tiefdunkelblaue Farbe an und auch die Helligkeit nahm spürbar ab. Die Luft stand still, das Seeing war sehr gut. Fotografiert wurde mit einem 120/1000mm-FH-Refraktor. Es ist kaum bekannt, dass man bei einer ringförmigen Finsternis auch Protuberanzen im Weißlicht fotografieren kann. Kurz vor dem Ende der ringförmigen Phase wurde die Folie vom Refraktorobjektiv gezogen und die ungefilterte Sonne abgeblendet.

... oder Dia

Dabei kam analoge Technik zum Einsatz: Es wurde auf Kodak-Diafilm Ektachrome 200 fotografiert. Die meisten Digitalkameras besitzen im Ha-Bereich nur eine geringe Empfindlichkeit, während der E200 extrem rotempfindlich ist. Der ungefilterte Feuerring produzierte sehr viel Streulicht, so dass auf dem Originaldia die Protuberanzen nur schwach



▲ Abb. 4: **Verschiedene Perlschnur-Phänomene** ringförmiger Sonnenfinsternis, jeweils aufgenommen mit 100/1000mm-Maksutov ohne Filter auf Negativfilm, ISO 100 (oben, Mitte) bzw. ISO 2000 (unten), 1/500s.

Oben: 2005 in Tunesien: Zahlreiche Perlen sitzen auf der Chromosphäre wie auf einer Schnur.
Mitte: Sonnensichel, Chromosphäre und ein paar Baily's Beads bei der ringförmigen Sonnenfinsternis 2006 – die eine halbe Stunde nach Sonnenaufgang erst 8° hoch am Himmel von Kourou, Französisch-Guyana, stand.
Unten: Nach dem Ende der Ringphase in Varkala, Indien, 2010: die Sonnensichel, ein Chromosphärenbogen und eine langlebige Perle darauf.

zu erkennen sind. Das Streulicht ist jedoch gelb und blau, während die Protuberanzen knallig rot abgebildet wurden. So waren die Protuberanzen mit etwas Verstellen der Farbgler gut herauszuarbeiten. Bei der Belichtungszeit war 1/1000s eingestellt worden: Dies ist ein Wert, der bei gleicher Optik und Filmempfindlichkeit auch bei einer totalen Sonnenfinsternis die Protuberanzen passend belichten würde. Auf

einigen Dias sind Baily's Beads und Protuberanzen zusammen zu sehen. Die Gasausbrüche schweben dabei über den von der Sonne durchbrochenen Mondtälern. Die Perlen selbst sind dabei freilich überbelichtet: Wer sich nur auf die Perlschnur konzentrieren möchte, sollte lieber mit einer Filterfolie arbeiten – aber dann die Belichtungszeit gegenüber der partiellen Phase um den Faktor 10 erhöhen, um die

Randverdunklung zu kompensieren.

Egal mit welcher Technik, ringförmige Finsternisse bleiben eine echte Herausforderung für die Astrofotografie: Bei der ringförmigen Sonnenfinsternis im Mai gehen die Experimente weiter!

- [1] Ewers, D.: Sonnenringe, Detailbeobachtungen der Finsternis vom 3.10.2005: Am Rand der Finsterniszone, *interstellarum* 45, 32 (2006)

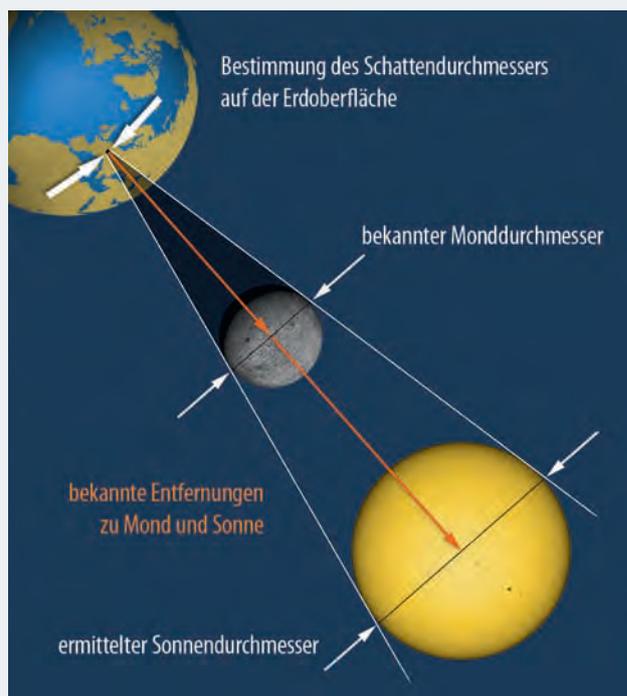
Die Bestimmung des Sonnendurchmessers

Bei der Auswahl des Beobachtungsplatzes für eine totale oder ringförmige Sonnenfinsternis wird oftmals um die »letzte« Sekunde bei der Länge gerungen. Einige Beobachter zieht es aber auf die Randzone der Totalität. Ein Hauptgrund dafür kann das Vorhaben sein, den Sonnendurchmesser zu bestimmen.

Um den Sonnendurchmesser zu messen, benötigt man die Sonnenentfernung, die Mondentfernung, den Mond Durchmesser und den Abstand der Beobachter auf der Erde, die den Rand der Schattenzone bestimmen (vgl. Abb.). Die Entfernung von Sonne und Mond sind mit hinreichender Genauigkeit bestimmt. Auch die Positionsermittlung des Beobachters und der daraus resultierende Abstand der Beobachter ist seit der Existenz des GPS kein Problem. Der Begriff des Mond Durchmessers muss jedoch genauer betrachtet werden: Die unregelmäßige Folge von Bergen und Tälern erzeugt ein beobachtbares Mondrandprofil. Damit gibt es auch keine exakte Grenze der Totalitätszone, sondern an beiden Rändern der Totalitätszone jeweils einen einige 100m breiten Grenzbereich. In diesem ist zur Mitte der Finsternis noch Sonnenlicht durch ein Mondtal sichtbar, aber die Bergspitzen am Mondrand decken die Sonnenscheibe ab. Da die Berge und Täler »Perlen« von Licht um die verfinsterte Sonne erzeugen, ist dieser Teil der Finsternis im deutschen Sprachgebrauch als Perlschnurphänomen bekannt, im Englischen spricht man von »Baily's Beads«.

Eine genaue Kenntnis der Lage und Tiefe der Täler liefert das Mondrandprofil. Es ist ursprünglich zur Vorhersage von Sternbedeckungen mit erdgebundenen Mondfotografien erstellt worden, wurde aber durch die systematische Beobachtung von totalen und streifenden Sternbedeckungen im Laufe der Jahrzehnte verbessert. Eine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit brachte die Japanische Raumfahrtmission Kaguya in jüngster Vergangenheit. Das Mondrandprofil ist damit ebenfalls genau genug bekannt.

Um aus dem Verschwinden und/oder Auftauchen der Perlen eine Auswertung anzustellen, muss deren Zeitpunkt exakt bestimmt werden. In der Praxis wird die beschriebene Phase der Finsternis per Video aufgenommen. In die Videoaufzeichnung wird mittels eines time-inserter ein Zeitsignal implementiert. Die Auswertung erfolgt mittels geeigneter Software und geht von der reinen Datensammlung der Zeitpunkte bis zur verbesserten Kalkulation des Sonnendurchmessers. Bei der Bestimmung der Zeitpunkte spielt die Wahl der benutzten Filter und die Empfindlichkeit der Kamera eine wesentliche Rolle. Die Randverdunklung der Sonne sorgt für überraschend geringe Signale der Perlen im Augenblick des Verschwindens bzw. Auftauchens. Deshalb sind in jüngster Zeit neben der Entscheidung



▲ Das Grundprinzip der Bestimmung des Sonnendurchmessers während einer Sonnenfinsternis.

sichtbar/unsichtbar neue Auswertemethoden in der Diskussion. Diese basieren auf der Lichtkurve des Verschwindens/Auftauchens der Perlen und dem Vergleich mit einem Modell. Basis für das Modell ist das Mondrandprofil der Kaguya-Mission. Leider benötigt diese neue Methode Beobachtungen mit einem größeren Dynamikbereich, als es die gegenwärtige Standardausrüstung bietet. Bei Einführung neuer Kamerasysteme muss unbedingt auch die bisher benutzte Technik weiter betrieben werden, um die Messreihen aneinander anzuschließen.

Zahlreiche wissenschaftliche Beiträge in der Fachliteratur von Profi- und Amateurastronomen sind diesen Expeditionen und ihren Resultaten gewidmet. Wenn man den Sonnendurchmesser jedoch über die Zeit verfolgen will, sind die aus Finsternissen ermittelten Sonnendurchmesser nur weit auseinander liegende Punkte der gewünschten Messreihe. Vorsichtige Interpretationen der Ergebnisse zeigen eine Schwankung des Sonnendurchmessers mit der Sonnenaktivität und möglicherweise eine Schrumpfung. Dabei ist zu beachten, dass die Fehler der Methode im Bereich der angedeuteten Tendenz liegen.

■ Konrad Guhl

Das Mondgesicht über der Osterinsel

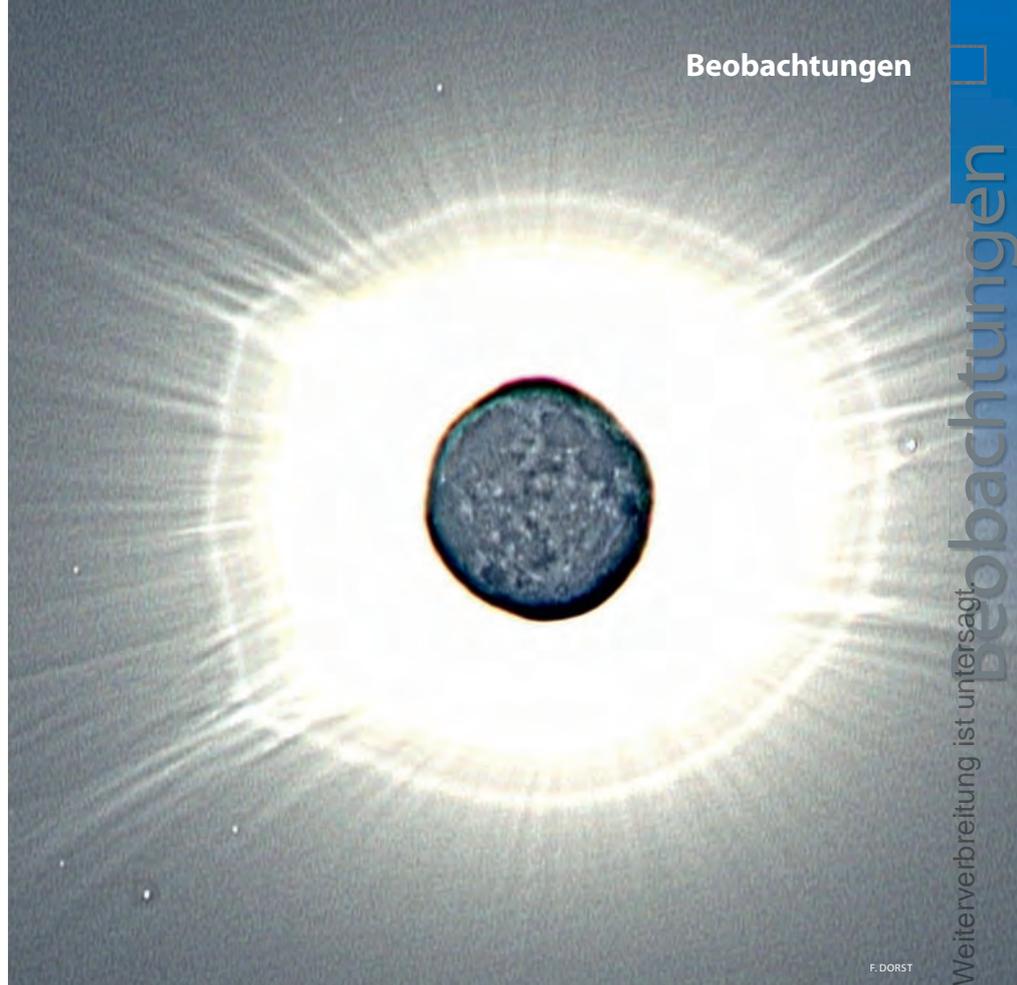
Eine Reise zur Dokumentation des Finsternismonds

VON FRIEDHELM DORST

Erstklassige Durchsicht und ein hinreichend dunkler Himmel erlauben mit den Mitteln der Bildverarbeitung nicht nur die Erfassung feiner Koronastrukturen und schwacher Sterne – auch das »vertraute Mondgesicht« kam während der Totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 2010 im Licht der Vollerde beeindruckend detailreich zur Geltung.

Dokumentationen einer totalen Sonnenfinsternis – sei es fotografisch oder mit Videoausrüstung – werden gern so angelegt, dass das grandiose Himmelschauspiel in möglichst vielen Facetten eingefangen wird, wozu es verschiedener Belichtungseinstellungen bedarf und wozu möglichst auch unterschiedliche Aufnahmebrennweiten zum Einsatz kommen sollten. Man kann aber auch gezielt einen speziellen Aspekt betonen, wenn sich die äußeren Umstände dazu eignen und man die passenden Aufnahmegeräte mitführt. Zu einer reizvollen Herausforderung gerät dabei das Ansinnen, das keineswegs immer auch strukturiert in Erscheinung tretende Erdlicht des Mondes möglichst detailreich zu präsentieren und so schien es das Vorhaben wert, einzig dafür die gesamte Totalität von 4,5 Minuten Dauer einzuplanen. Darüber hinaus war es ein

► Abb. 2: **Weitwinkelbild der Sonnenumgebung** mit Merkur, Beteigeuze, Elgomeisa (β CMi) und drei Zwillingsternen, aufgenommen mit 3,9mm Brennweite. Die extreme Filterstärke bei der Bearbeitung erzeugte eine artefaktische »Aura« um die Vegetationskonturen, die fast an ähnliche Bildergebnisse der »Kirlian-Fotografie« erinnert (Elektrofotografie von Pflanzenblättern).



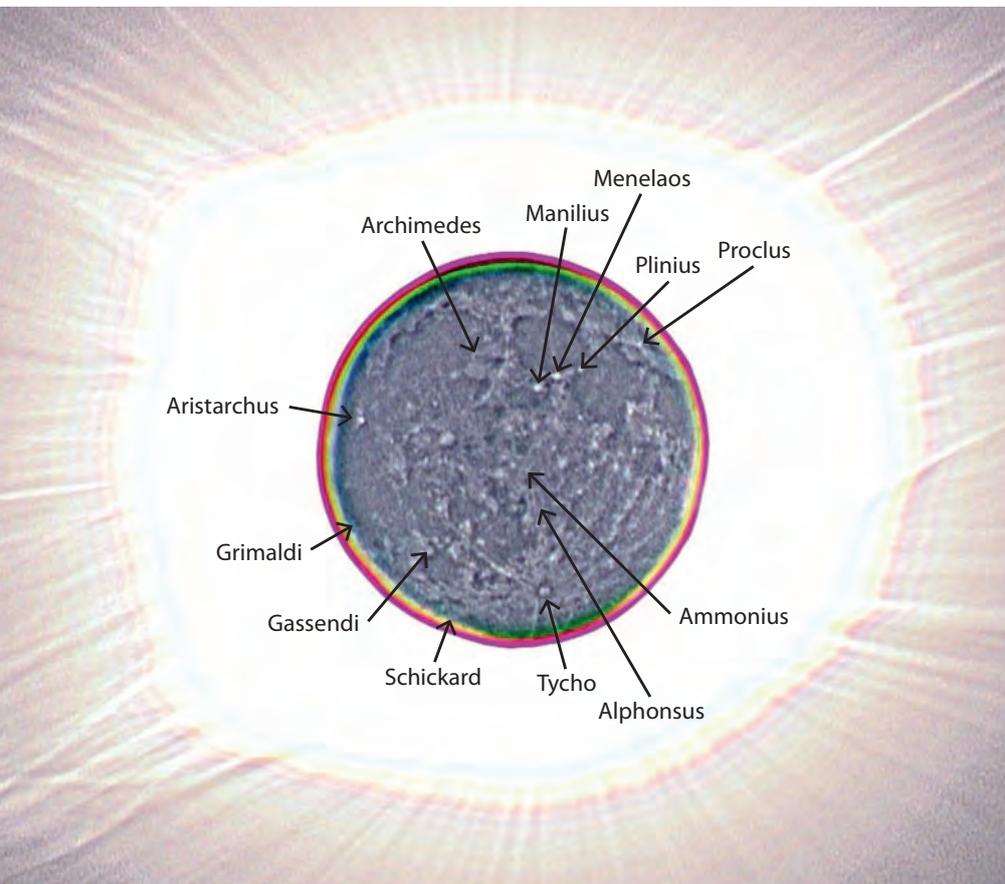
▲ Abb. 1: **Der Neumond über der Osterinsel** – mit Details von der Korona bis zum »Mondgesicht«. Der Bildausschnitt einer mit Giotto geschärften Mittelung von 1370 Einzelbildern zeigt neben Sternen bis 9. Größe auch schwache Konturen eines koronalen Massenauswurfs. 44mm Brennweite bei $f/2,8$, ISO 200, $1/3s$.

besonderes Anliegen, mit Hilfe kürzerer Brennweiten (44mm bzw. 51mm) die ganze äußere Korona erfassende Stereobildpaare (vgl. Kasten) zu gewinnen, die das »Mondgesicht« geradezu magisch vor der Korona schwebend zu simulieren gestatten. Wenn es dann noch die Zeit erlaubte, sollte auch der die Korona umgebende nördliche Winterhimmel die Eindruckspalette ergänzen.

Das »Mondgesicht«

Erste in Amateurzeitschriften veröffentlichte Bilder des Erdlichts bei Neumond datieren zurück in das Jahr 1970 [1]. Es ist jedoch stark anzunehmen, dass frühe derartige Bilddokumente wesentlich älter sind, denn Bilder dieser Art »unterliefen« vermutlich am ehesten Anfängern der





F. DOBIST

◀ Abb. 3: **Neumondbild und Korona**, aufgenommen mit 78mm Brennweite. Die Sterne zeigen kurze Strichspuren, da die Bildüberlagerung mondzentriert erfolgte und der Mond im Laufe der Aufnahmesequenz weiter wanderte. Die Farbränder sind Folge von Farb-Restfehlern der Optik verstärkt durch die digitale Filterung.

Verfügung gestellten Geräte waren zwei FX7-E-Camcorder mit HDV-Auflösung (Sony) und ein 3×-Telekonverter (Raynox). Die Entscheidung für diese Art Hardware und damit eine Bevorzugung der Videotechnik gegenüber dem Einsatz digitaler Spiegelreflexkameras erfolgte an vorderster Stelle wegen der erst mit den Mitteln der Bildverarbeitung erkennbar gewordenen imponierenden Detailauflösung – verbunden mit äußerst bequemer Beschaffung der dazu notwendigen großen Einzelbildzahlen! Andere Aspekte, wie die von der Ausrüstung her eigentlich passendere Gewinnung spannender audio-visueller Szenen, wurden bewusst ausgeblendet. Hinzu kam der Vorteil erheblicher Gewichtseinsparung im Vergleich zu dem Aufwand, den Digitalkameras mit ähnlich leistungsfähigen Optiken und dann notwendiger parallaktischer Nachführung erfordert hätten. Nun jedoch bestand zusätzlich die Möglichkeit, alle sensible Technik (<5kg brutto!) als Handgepäck in der Flugkabine unter Kontrolle zu haben!

Ortsauswahl und Finsternistag

Da die Osterinsel – obwohl im Stillen Ozean gelegen – nicht als Platz der Windstille bekannt ist, war die Suche nach einem verlässlich windgeschützten Ort und freiem Blick auf die weitere Umgebung der Sonne ein so stringentes Bedürfnis, dass dafür auf die Teilnahme an Ausflügen verzichtet wurde. Letztlich empfahl sich als unstrittig geeigneter Ort der Südrand des hoteleigenen Swimmingpools, der zwar niveaubedingt keinen Blick auf den Horizont und dessen bei Ankunft des Mondschattens zu erwartende Verfärbungsszenarien zuließ, dafür aber einen Vorteil gewährte, dessen Fehlen schon manchen Beobachters Nervenkosüm strapaziert hat: Hier herrschte ziemliche Sicherheit vor der Bedrängnis durch

◀ Abb. 4: **Das Ergebnis einer Teilsequenz mit 154mm Brennweite** zeigt das lunare Alpental und das Muster der Hyginusrille; ferner ist der helle Kleinkrater Ammonius in der Wallebene Ptolemäus markiert. Die horizontale Helligkeitsasymmetrie wird durch Vignettierung seitens des Konverters verursacht, die Farbränder sind Folge von Farb-Restfehlern der Optik verstärkt durch die digitale Filterung.

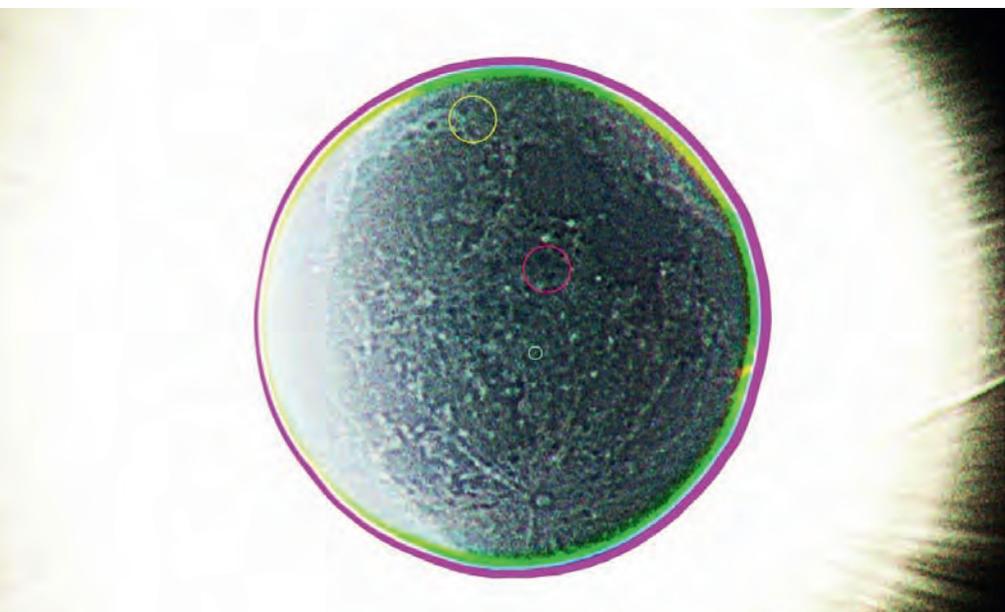
Finsternisfotografie, die ohne jede Vorstellung von den zu erwartenden Bildergebnissen auch längere Belichtungen ausprobierten. Andererseits wäre es verwunderlich, wenn nicht auch seitens der Fachastronomie Bilder der äußeren Korona geliefert worden wären, die schon erheblich vor 1970 ganz nebenbei auch eine strukturierte Mondscheibe zeigten, so etwa auf Belichtungen zur Untersuchung des Einstein-Effekts.

Derweil haben Erdlichtaufnahmen des Neumondes längst nicht mehr den Charakter des Exotischen. Sowohl in astronomischen Zeitschriften wie auch im Internet sind in

den letzten fast 20 Jahren immer wieder derartige Bilddokumente veröffentlicht worden, deren beste Exemplare wohl M. Druckmüller (vgl. Titelbild) erhalten und auf seiner Webseite (vgl. Surftipp) zugänglich gemacht hat.

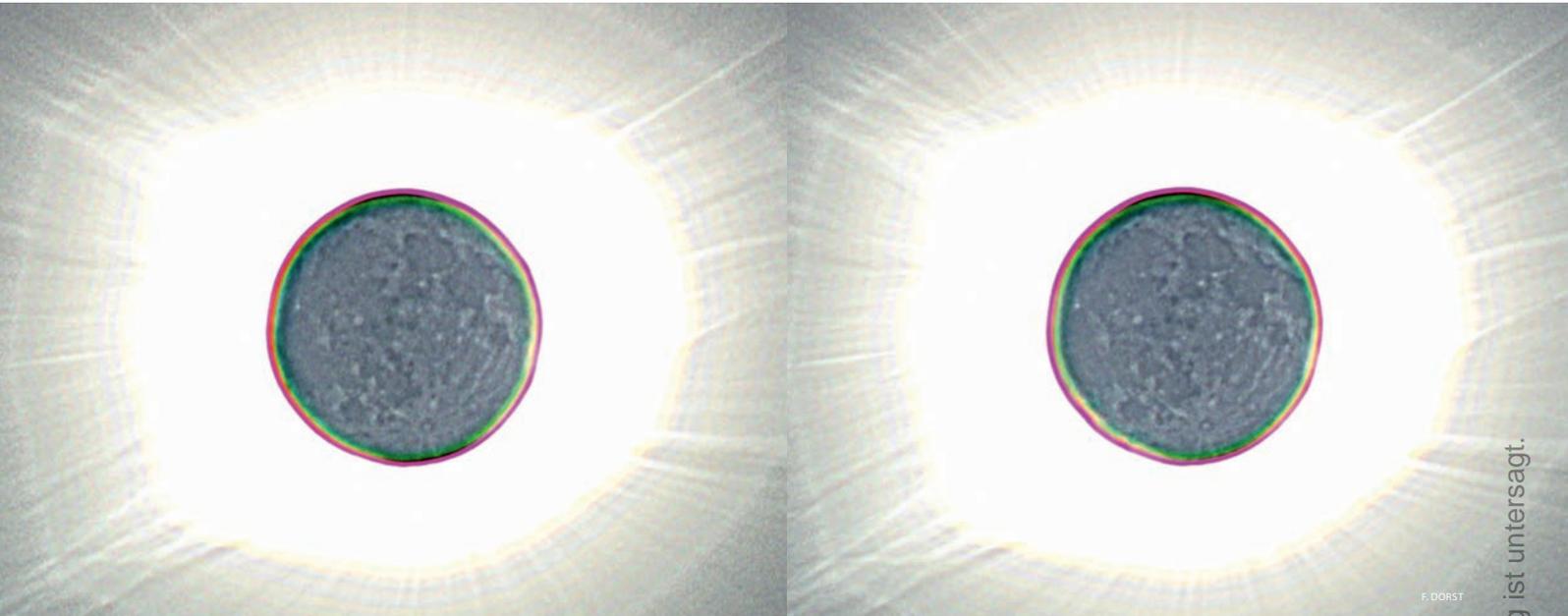
Instrumentelle Ausrüstung

Der motivbedingt limitierte Spielraum der Belichtungseinstellungen schloss die Wiedergabe von Protuberanzen wie auch Strukturen der innersten Korona während der totalen Finsternisphase aus. Die dem Verfasser von seinem Fotohändler zur



F. DOBIST

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 5: **Stereobildpaar des Finsternismondes**, aufgenommen mit 78mm Brennweite. Die Mondscheibe scheint bei passender Blickkonvergenz beider Augen vor der Korona zu »schweben«! Die Zeitbasis von ca. 80 Sekunden zwischen linkem und rechtem Bild entspricht einer linearen Basislänge von knapp mehr als 50km quer zur Blickrichtung. Bei Bildpaaren mit größerer Zeitbasis ist zwar erwartungsgemäß der 3D-Effekt erkennbar ausgeprägter, doch wegen der fehlenden Nachführung ist dann der gemeinsam überdeckte Bildbereich unvorteilhaft eingeschränkt. Die Farbränder sind Folge von Farb-Restfehlern der Optik verstärkt durch die digitale Filterung.

neugierige bis aggressive Zuschauer und auch zu enge Nachbarschaft mit anderen Beobachtern war hier nicht zu befürchten.

Nachdem der 10. Juli bis in die folgende Nacht sehr verregnet war und auch der mittlerweile aufgelockerte Himmel am Finsternismorgen bis ca. 11 Uhr noch Regentropfen brachte, besserte sich die Situation von nun an recht deutlich. Selbst größere Wolken verblieben kaum länger als zwei Minuten vor der Sonne, so dass bei zu erwartenden 4,5 Minuten Totalitätsdauer eigentlich nicht alles schief gehen sollte. Das Abenteuer konnte beginnen!

Ca. 20 Minuten vor dem Anrücken des Mond-Kernschattens zeigte eine noch eilends an freisichtigerer Stelle durchgeführte Erkundung, dass der ganze West- bis Nordwesthimmel sauber blau aussah. Die in der Ferne lagernden Wolkenbänke waren noch in zeitlich sicherer Distanz. Kurz vor dem 2. Kontakt zogen dünne Wolkenfetzen vorbei, die zuvor unentdeckt geblieben waren oder sich später spontan gebildet haben mochten. Es gab mithin kein völlig bangfreies Warten! Nach einem optisch ungestörten und von der Hoteleignerfamilie akustisch begeistert umrahmten Totalitätsbeginn erfolgten nur drei jeweils wenige Sekunden dauernde Durchzüge dünner Wolkenfilamente, ehe der 3. Kontakt nach 4 Minuten und 32 Sekunden die Korona auf nicht zu beschreibend wundervolle Art auszulöschen begann. Die folgende partielle Phase wurde nur sporadisch von Gewölk beeinträchtigt und das Finsternisende konnte ohne derartige Sichtbehinderung mit

Genuss verfolgt werden. Der grüne Strahl bei Sonnenuntergang, ein anschließender Auftritt des Planeten Merkur und ein einzigartiger südlicher Sternhimmel beschlossen diesen dramatischen Tag.

Die Ergebnisse

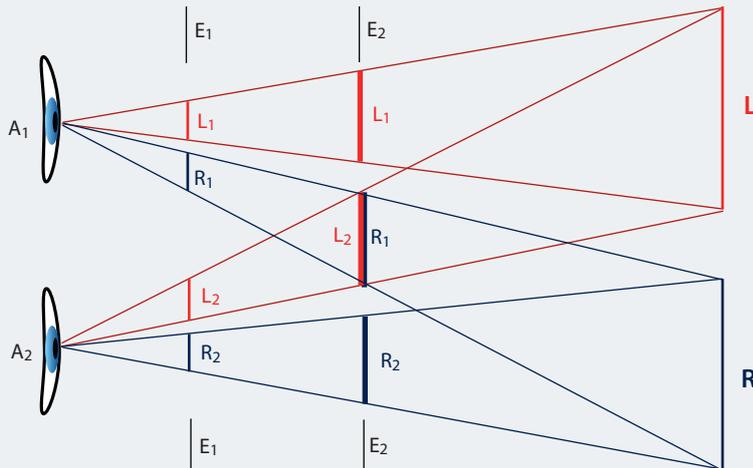
Die Resultate mit dem ersten Camcorder (Abb. 3) zeigen bei der Maximalbrennweite (78mm) bereits eindeutig die drei dunklen Flecken innerhalb des Mondkraters Alphonsus. Die Hyginus-Rille bleibt noch verborgen und auch vom lunaren Alpental ist auf dem Bild nichts zu entdecken. Dafür sind z.B. Ammonius und Archimedes gut erkennbar und sogar – wenn auch nur noch blass im gelben Randbereich – Grimaldi und Schickard. Die dort anzutreffenden schrillen Farben sind Folge von Farb-Restfehlern der Optik, hier verursacht durch die grelle innerste Korona. Wer vergleichend sucht, wird noch eine Reihe anderer Details der Mondoberfläche identifizieren können. Die weiteren Camcorder-Bilder (bei 154mm Brennweite) zeigen das Alpental wie auch das Muster der Hyginus-Rille; ferner kommen Grimaldi und Schickard besser zur Geltung. Es lässt sich somit feststellen, dass die Telebrennweiten die an sie gestellten Detailerwartungen recht befriedigend erfüllt haben – besonders in Hinblick auf die Herausforderungen der ja nur dämmerlichtähnlichen Eindunklung während der Totalität und dem damit verbundenen visuell schwach gebliebenen Erdlichtkontrast.

Die Fotos der Sonnenumgebung zeigen eine ganze Reihe von Sternen. »Star« der näheren Sonnenumgebung war zweifellos Wasat (δ Gem, 3^m 5). Auf Weitwinkelaufnahmen (Abb. 2) versank er in der mittleren Korona – dafür erlaubte das von Gartenvegetation begrenzte Gesichtsfeld den Blick auf Merkur, Beteigeuze, Kastor und Pollux, Alhena und möglicherweise noch Mebsuta (ϵ Gem) als schwächsten hier vertretenen Skelettstern der Zwillinge. Mit längeren Brennweiten verschob sich die Helligkeitsgrenze auf zunächst 6. Größe und im Telebereich konnten sogar Sterne bis zur 10. Größe (Abb. 1) ausgemacht werden.

Totalität in 3D

Die Idee einer dreidimensionalen fotografischen Abbildung totaler Sonnenfinsternisse im gewohnten Sinne erfordert zwei Beobachter, die möglichst an entgegengesetzten Enden des Mond-Kernschattens zur gleichen Zeit mit gleichem Gerät und gleichen Belichtungsdaten die Korona fotografieren. Damit ist die größtmögliche Basislänge und ein identischer Koronazustand sicher gestellt. Verzichtet man auf die zweite der Bedingungen, genügt dafür die Präsenz nur einer Person, die durch das Vorbeiziehen des Mondschattens mittels zweier gleichartiger Fotos zu Beginn und am Ende der Totalität die eingangs beschriebene Sachlage simuliert. Die logistisch aufwändigere Situation zweier Personen im gegenseitigen Abstand eines

Stereoskopische Wahrnehmung



F. DORST, INTERSTELLARUM

▲ Betrachtung eines stereoskopischen Bildpaares mittels gekreuzter Visur.

Legt man zwei Stereobilder L und R nebeneinander, so sieht jedes der Augen A1 und A2 diese beiden Bilder, was bei starker Blickkonvergenz (bewusstes »Schielen«) den Eindruck von vier noch sehr unscharfen Bildern hinterlässt (Betrachtungsebene E1). Verschiebt man nun diese Ebene weiter in Richtung L und R (d.h. vermindert man die Blickkonvergenz), so nimmt man auch eine veränderte Lage beider Bildpaare zueinander wahr. Gelingt es, die inneren beiden der vier Bilder solcherart zur Deckung zu bringen (Betrachtungsebene E2 mit der Wahrnehmung nur noch **dreier** Bilder), so entsteht im Überlappungsbereich L2, R1 (wegen der verschiedenen Indizes

ist die Visur gekreuzt!) der dann scharfe 3D-Eindruck, welcher – hat man ihn einmal fixiert – auch bei leicht veränderten Betrachtungsabständen noch ohne besondere Anstrengung aufrecht erhalten werden kann. Es könnte sein, dass der Lese-Betrachtungsabstand der »deutlichen Sehweite« von 25cm bei Altersfernichtigkeit eine Lesehilfe erfordert und die volle Druckauflösung des Papierbildes erst bei näherem Abstand erkennbar wird. Zudem wird die Stereo-Wirkung bequemer erfassbar, wenn das Bildpaar größer erscheint.

Bei Vertauschung der Bildvorlagen verwandeln sich im 3D-Bild Höhen in Tiefen und umgekehrt, so dass eine irrtümliche Bildfolge schnell korrigiert ist.

Kernschattendurchmessers wird mithin ersetzt durch simples Warten nur einer Person, bis der Mond die Ortsdifferenz beider Fotografen zurückgelegt hat. Dieses Warten erzeugt in Hinblick auf die Mondposition den gleichen Perspektivwechsel – allerdings im zeitlichen Nacheinander – was den gleichen optischen Effekt beinhaltet und dies mit der Bedienung nur einer Kamera.

Der Stereoeffekt lebt von unterschiedlichen Perspektiven auf das gleiche Objekt (bzw. Objektgruppe), die der größeren Parallaxe die kleinere Entfernung zuordnen und umgekehrt. Zur Erzeugung dieser Parallaxe genügen Relativbewegungen. Überlagert sich nun der Bewegung des Fotografen noch die des Objekts, wird die durch Simultanfotografie noch korrekt zu beurteilende räumliche Anordnung im Falle einer zeitlichen Bildfolge parallaktisch verfälscht und die daraus sich ergebende Paarbildwirkung täuscht eventuell unzutreffende räumliche Beziehungen vor. Fotografiert man etwa in

einem Zimmer ein Fenster von zwei nur geringfügig unterschiedlichen Positionen aus und lässt zwischen den beiden Aufnahmen viel Zeit verstreichen, so kann eine in passender Richtung vorbei ziehende Wolke aus Kamerasicht einen größeren Richtungswechsel erfahren haben als das Fenster mit der Folge, dass dann die Wolke bei stereoskopischer Betrachtung näher erscheint als das Fenster.

Ganz so wild wird es in der Korona kaum zugehen, aber Driftbewegungen von Filamenten sind auch innerhalb von Minuten zu einem eigenen parallaktischen Effekt im Stande, die Pseudo-3D-Verhältnisse vortäuschen, was der imposanten Raumwirkung aber gewiss keinen Abbruch tut!

Zweck des hier erstellten Stereopaars (Abb. 5) ist die Illustrierung der räumlichen Anordnung von Mond und Korona. Ein echtes 3D-Bildpaar speziell der Korona hat wegen der durch den Erdumlauf in nur 4,5 Minuten erzeugten winzigen Parallaxe von ca. 11" keine Chance auf Erkennbarkeit;

zudem verhindert die fehlende Simultaneität der Bilder angesichts bis zu ca. 50-fach schnellerer Bewegung des koronalen Plasmas eine auch nur ansatzweise zutreffende 3D-Modellierung. Die oben angeführte Simultanfotografie könnte koronabezogen gar nur eine Parallaxe von bestenfalls 0,35" beisteuern, bliebe also vollends unwirksam!

Bei der durch das Auge-Hirn-System bewirkten Bildüberlagerung zum 3D-Effekt müsste sich übrigens auch ein im Vergleich zu den beteiligten Stereopartnern geringfügig verbesserter Bildeindruck einstellen – dies allerdings nur dann merklich, wenn beide Komponenten die gleiche Bildqualität haben.

Fazit

Die Entscheidung des Verfassers, bei dieser Finsternis alles auf eine Karte zu setzen, um eine jahrzehntelange Jagd nach dem »Neumondgesicht« endlich mit einem vorzeigbaren Ergebnis abzuschließen, hat einen persönlichen Traum wahr werden lassen. Dies wäre nicht denkbar gewesen ohne gerade die im zurück liegenden Jahrzehnt gemachten technischen Fortschritte bei den digitalen Aufnahme-medien und auch nicht ohne den bezahlbaren Zugang zu dieser Technik und die z.B. mit Giotto ermöglichte Verfügbarkeit einer problemgerechten Bildbearbeitung.

Bei der Betrachtung der Bilder fällt auf, dass die abgebildeten Einzelheiten teils sehr grob-strukturiert wirken und dezente Kontrastierungen, wie sie Aufnahmen digitaler Spiegelreflexkameras mit ihrer höheren Farbtiefe zu eigen sind, hier weitgehend fehlen. Camcorder im »Consumer-Segment« gestatten derzeit nur Aufzeichnungen mit 8 Bit Farbtiefe, so dass bei der digitalen Bildverarbeitung Artefakte ausgeprägter auftreten als bei gleich langen Bildserien mit feinerer Helligkeitsabstufung. Diese und andere Defizite wurden allerdings bei der Abwägung der Vor- und Nachteile ohne Reue in Kauf genommen, denn neben dem Sicherheitsaspekt kleinräumig verpackbarer Optik reduzierte die Entscheidung für die Videotechnik hier das Gesamtreisepäck auf weniger als 15kg!

[1] Peters, W. T.: Observer's Notebook, Sky & Telescope 40 No. 2, 119 (1970)

Surftipp

Sonnenfinsternisfotografie
von M. Druckmüller:

www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/eclipse

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

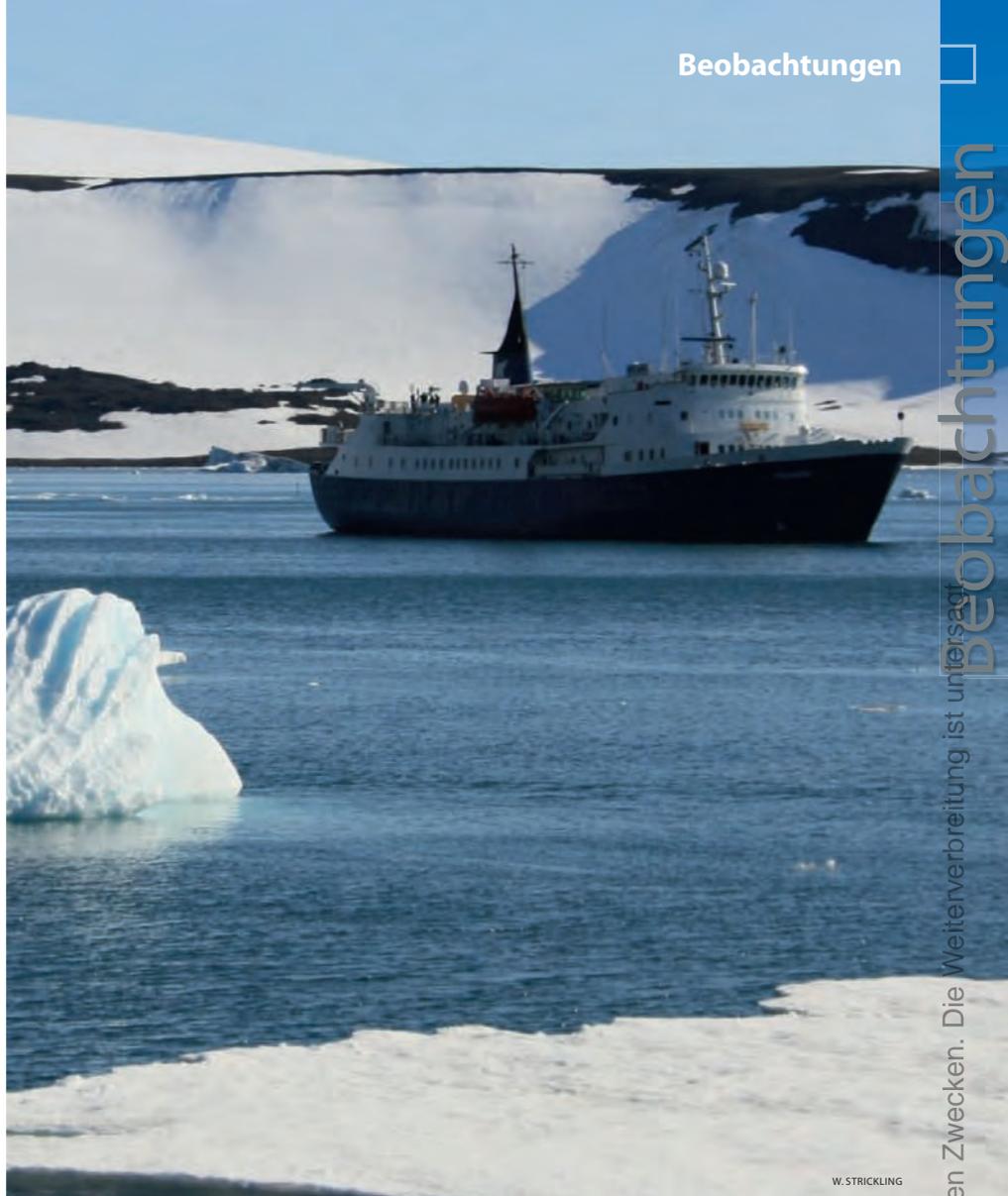
In Eis und Schnee

Beobachtungsreise zur totalen Sonnenfinsternis vom 1.8.2008

VON WOLFGANG STRICKLING

Als ich im Herbst 2007 eine Anfrage aus Moskau bekam, ob ich als astronomischer Reisebegleiter für eine Schiffsexpedition in die Barentssee zwischen Spitzbergen und dem russischen Franz-Josef-Land zur Verfügung stehen würde, da musste ich erst einmal schlucken. Obwohl ich seinerzeit noch keine festen Reisepläne zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis am 1. August 2008 hatte, war der Gedanke nicht gerade einladend, ein astronomisches Großereignis irgendwo im Vorgarten des Nordpols bei Sturm und arktischer Kälte auf einem schwankenden Schiff mit vielleicht 10% Sichtbarkeitschancen beobachten zu wollen. Aber je mehr ich mir die Sache überlegte, umso spannender wurde die Herausforderung. Nie zuvor hatte ich die Gelegenheit, ein solch fesselndes Naturschauspiel in einer der bizarrsten Regionen der Erde zu erleben und dabei meteorologische Beobachtungen auf hoher See im arktischen Raum durchzuführen zu können. Und so sagte ich meine Teilnahme erwartungsvoll zu.

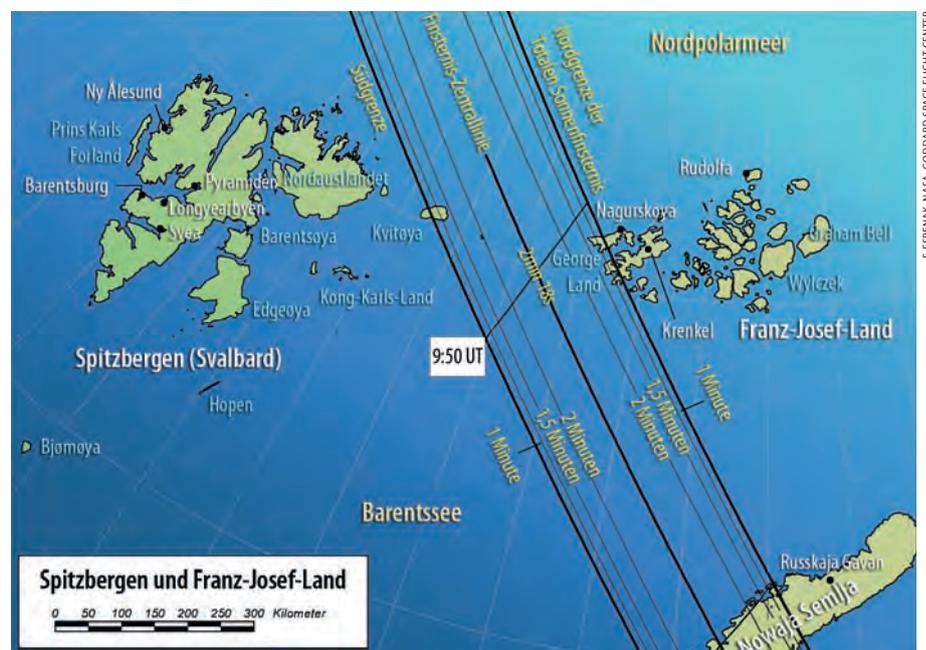
Geplant war ein Flug über Oslo und Tromsø nach Longyearbyen, der Hauptstadt des Svalbard-Archipels, wie Spitzbergen heute offiziell genannt wird. Von dort sollte uns das Expeditionsschiff, die »Polaris« aus Murmansk, entlang der Nordküste Spitzbergens in die Totalitätszone der Finsternis fahren, die fast ohne Landkontakt zwischen Spitzbergen und dem Franz-Josef-Land hindurch lief (Abb. 2). Danach standen noch einige



W. STRICKLING

▲ Abb. 1: **Eine Finsternisexpedition in Eis und Schnee** ist ungewöhnlich, sucht man doch meist eher sonnenverwöhnte Landstriche auf. Doch die Beobachtung der Finsternis vom 1.8.2008 bot im hohen Norden ein besonderes Erlebnis. Das Bild zeigt die Gletscherlandschaft in der Tichaya-Bucht des Franz-Josef-Lands. Im Fjord wartet das Expeditionsschiff auf die Rückkehr der Schlauchboote.

▼ Abb. 2: **Der Finsternisverlauf.** Die Totalitätszone streifte nur einige Inseln nördlich des achtzigsten Breitengrades, die zur Zeit unserer Expedition für uns unerreichbar im Packeis lagen.



F. ESPENAK, NASA, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER



W. STRICKLING

▲ Abb. 3: **Kameras und die mobile Wetterstation im Einsatz.** Ein PDA steuerte zwei Spiegelreflexkameras, eine Videokamera sollte die Fliegenden Schatten aufzeichnen. Wetterdaten wurden von einem Taschen-Organizer aufgezeichnet.

Tage Kreuzfahrt durch die verstreute Inselwelt der hohen russischen Arktis auf dem Programm.

Ankunft in der Arktis

Beim Anflug auf Spitzbergen zeigte sich das Wetter von seiner Schokoladenseite: Große Teile des Archipels lagen in strahlendem Sonnenlicht, so dass der Pilot in niedriger Flughöhe eine fantastische Rundflugschleife über die beeindruckende Gletscherlandschaft zog. Der anschließende

Bummel durch das Örtchen Longyearbyen war der letzte Kontakt mit einem der nördlichsten Außenposten menschlicher Zivilisation für die nächsten 12 Tage, denn nun ging es aufs Schiff. Der strahlende Sonnenschein der Mitternachtssonne ließ die Ausfahrt aus der Fjordlandschaft zu einem Genuss werden. Aus der geplanten Nordumrundung Spitzbergens mit direktem Weg in die Totalitätszone wurde aber nichts, denn trotz Klimaerwärmung und Polareisschmelze lag 2008 aufgrund außergewöhnlicher Driftverhältnisse der

▼ Abb. 4: **Am Nordhorizont lauert eine gefährliche Nebelbank,** die während des Finsternisverlaufs bedrohlich nahe kam.



W. STRICKLING

gesamte Nordteil des Archipels noch unzugänglich fest im Griff des Packeises. So musste die deutliche längere Südroute um die Hauptinsel gewählt werden. Als dann noch ein Passagier während der Überfahrt krank wurde und das Schiff zurück nach Barentsburg fahren musste, wurde der Zeitplan langsam eng, denn bekanntlich warten Finsternisse nicht auf ihre Beobachter ...

Mittlerweile wurde das Wetter auch deutlich schlechter. Anstelle einer leichten Brise und Mitternachtssonne kam Windstärke 8 sowie Horizontalregen auf und in der offenen Barentssee türmten sich meterhohe Wellen, die sich nicht recht mit dem auf Kreuzfahrten üblichen Magenfüllstand in Einklang bringen ließen. Meine obligatorische Lesung von Stifters beeindruckendem Sonnenfinsternisbericht [z.B. in 1] am Vorabend der Finsternis lockte deshalb auch nur wenige Passagiere in den Vortragssaal. Den hart gesottenen Seefahrern unter den Passagieren jedoch bot sich auf der Brücke für fast zwei Tage ein nicht enden wollendes Spektakel hereinrollender Brecher und weit über das Schiff spritzender Gischtwolken. Dem Astronomen in mir machte das Wetter allerdings langsam Sorge, zumal die verfügbaren Seewettervorhersagen keinerlei Aussagen über die mögliche Bewölkung am Finsternistag zuließen. Glücklicherweise gelang es mit Hilfe guter Kontakte aus Deutschland, uns ein- bis zweimal täglich über den Iridium-Satellitenfunk Wolkenvorhersagekarten für die Region aufs Schiff zusenden zu lassen. Demnach war für den Finsternistag dichte Bewölkung in der freien Barentssee zu erwarten, aber hoch im Norden über dem Packeis sollte sich ein großes wolkenloses Areal ausbreiten. Dummerweise war unser Schiff zwar eisverstärkt, aber eben kein Eisbrecher. Allerdings gab unser Expeditionsleiter, der arktiserfahrene Andreas Umbreit zu bedenken, dass sich über dem Packeis gerne eine dichte Nebeldecke aufhält, die in den GFS-Wetterprognosen in der Regel nicht vorhergesagt wird.

Der Tag der Sonnenfinsternis

Am Morgen des 1. August, dem Finsternistag, wachte ich bereits früh gegen vier Uhr auf und vermisste das mittlerweile gewohnte Schaukeln des Schiffes und das Dröhnen der herein krachenden Brecher. Schnell angezogen, erblickte ich nach zwei Tagen schwerer See zum ersten Mal wieder Sonnenschein aus nur leicht bewölktem Himmel! Ein Blick aufs GPS

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

zeige außerdem: Wir haben die Totalitätszone gerade erreicht! Neue Hoffnung keimte auf. Noch 6 Stunden bis zur Totalität; würde das Wetter mitmachen und der gefürchtete Bodennebel ausbleiben? Mit unserem sehr kooperativen Kapitän wurde der weitere Fahrplan abgesprochen: Um möglichst nah an das vorhergesagte Wolkenloch heranzufahren, wurde der Nordostkurs beim Erreichen der Zentrallinie nach Nordwesten umgeschwenkt und dann soweit wie möglich an die Packeisgrenze vorgefahren.

Schon vor dem Frühstück begann ich, meine Ausrüstung an Deck aufzubauen (Abb. 3). Erste Tests ergaben, dass das Schiff so stark schwankte, dass Aufnahmen mit dem 500mm-Teleobjektiv kaum machbar sein würden, also sattelte ich auf mein 300mm-Teleobjektiv um. Nebenbei hatte ich noch eine digitale Kompaktkamera für Übersichts- und Stimmungsaufnahmen, zwei analoge Spiegelreflexkameras mit Fisheye- und Weitwinkeloptik, eine Videokamera für eventuell auftretende fliegende Schatten sowie eine kleine Wetterstation im Einsatz. Die Fotosequenzen der Analogkameras wurden vom PC mit Hilfe der Software »Eclipse Orchestrator« automatisch ausgelöst, die Wetterstation sollte autonom arbeiten und wurde von einem betagten Psion Pocket Organizer betrieben.

Um 10:48 Uhr war es soweit: erster Kontakt, der Todeskuss des Mondrandes mit der Sonnenscheibe. Wind und Wetter zeigten sich von ihrer Schokoladenseite. Trotz dicker Kleidung machte sich die nachlassende Wärmestrahlung der Sonne schon vor dem messbaren Absinken der Lufttemperatur deutlich bemerkbar, erst später sank die Lufttemperatur von gnädigen $+5^{\circ}\text{C}$ vor der Finsternis bis fast zum Nullpunkt herab. Der Wind blies weiterhin sehr schwach, mein Windmesser registrierte im Wesentlichen nur den Fahrtwind des Schiffes.

Die Dunkelheit naht

Etwa zwanzig Minuten vor dem zweiten Kontakt erblickte ich im Norden jedoch eine gefährlich graue Nebelbank (Abb. 4). Obwohl der Kapitän sofort unsere Fahrt reduzierte, begann ein spannendes Wettrennen: Wer würde schneller sein, der Mondschatten oder der Nebel?

Langsam wurde das Licht auch spürbar fahler, und wenige Minuten vor der Totalität erschienen die Farben mehr und mehr grau. Die immer noch vorhandene dünne Wolkendecke bildete nun einen idealen



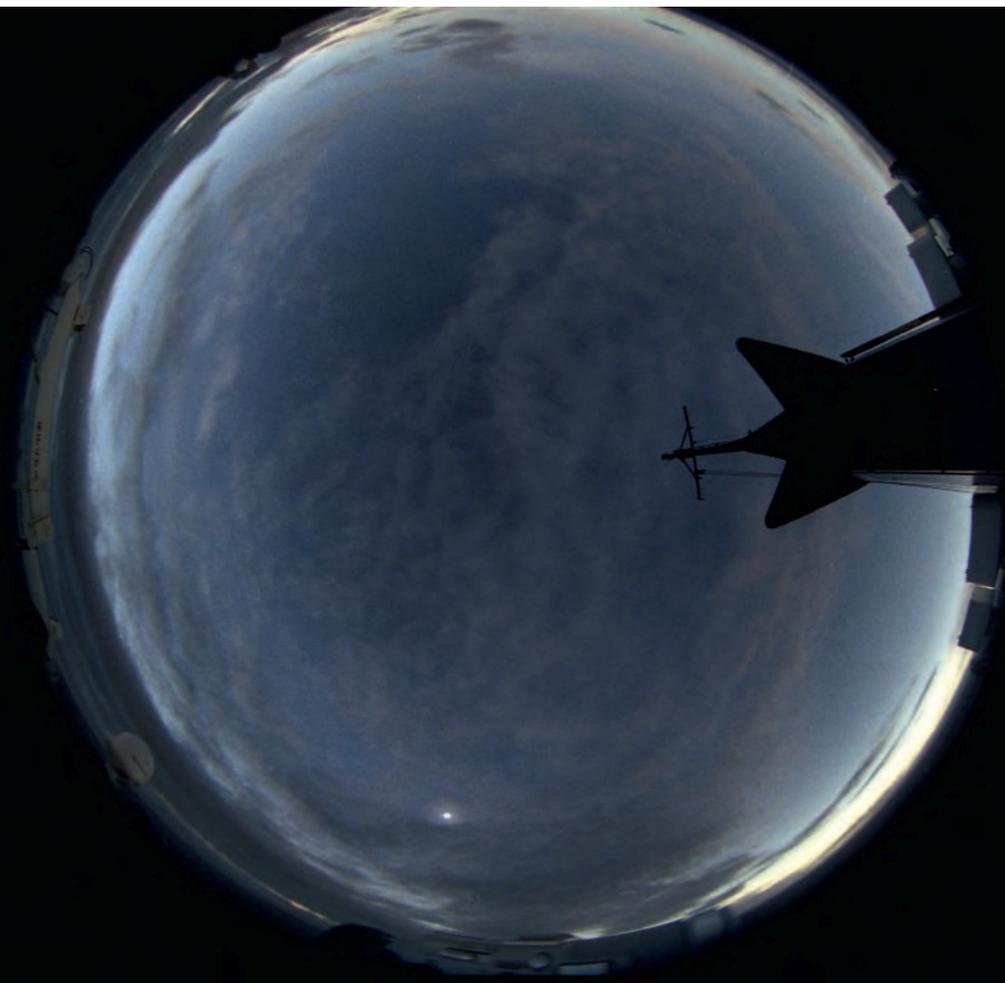
▲ Abb. 5: **Der Diamantring.** An die Sichelspitzen der Photosphäre schließt sich die intensiv rot leuchtende Chromosphäre an. Trotz leichter Bewölkung war der Finsternisverlauf gut zu beobachten.

Projektionsschirm für den heranziehenden Mondschatten, der am Nordwesthorizont an eine herannahende Gewitterfront erinnernd immer höher heraufzog. Durch die Wolken entstand eine gespenstische Lichtstimmung, die die Dramatik der totalen Sonnenfinsternis ungemein verstärkte. In der letzten Minute der partiellen Phase wurde langsam die Korona sichtbar und der noch als gleißender Strich am Himmel erscheinende Rest der Photosphäre ließ

ein beeindruckendes Brillantringphänomen erstrahlen (Abb. 5). Nur wenige Sekunden später schmolz die Sonnensichel zusammen, der Brillantring zerbrach in eine Reihe leuchtender Lichtperlen, die wie langsam verglühende Kerzendochte vom unbarmherzig dahin ziehenden Mond ausgelöscht wurden. Das nur für wenige Sekunden sichtbare leuchtend rot erscheinende Licht der Chromosphäre und einiger weniger Protuberanzen mischte sich mit

▼ Abb. 6: **Die Sonnenkorona.** Überlagerung mehrerer Aufnahmen mit unterschiedlichen Belichtungszeiten, wodurch der darstellbare Kontrastumfang zunimmt. Durch die Mittelung mehrerer Bilder werden die auf den Einzelaufnahmen erkennbaren Wolken verwischt, so dass die Struktur der Korona deutlicher hervortritt.





W. STRICKLING

◀ Abb. 7: Eine Fisheye-Aufnahme des gesamten Himmels während der Totalität. Man erkennt im Westen (rechts unten) und Nordosten (links oben) eine deutliche Aufhellung, bedingt durch die schmale Achse der Mondschattenellipse. Vor allem nach Südosten war es durch den abziehenden Mondschatten erheblich dunkler, während im Norden zarte Dämmerungsfarben den Horizont erhellten.

die Finsternis demzufolge nicht besonders dunkel. Es war deshalb problemlos und ohne künstliche Beleuchtung möglich, Kameradisplays abzulesen. Entlang der kurzen Achse der Schattenellipse erstrahlte der Horizont in eindrucksvollen Dämmerungsfarben. Reihenaufnahmen mit meiner Fisheye-Kamera und der Weitwinkelkamera zeigen schön die Färbung des Himmels und auch die deutliche Verdunkelung entlang der langen Ellipsenachse des Kernschattens (Abb. 7).

Bereits vor der Finsternis war Venus ein auffälliges Objekt in etwa 15° Abstand zur Sonne. Merkur habe ich nicht ausmachen können, aber er ist trotz der leichten Bewölkung auf den Weitwinkelaufnahmen meiner kleinen Kompaktkamera eindeutig neben der Sonne zu erkennen (Abb. 8). Für die Fotografen war das schwankende Schiff natürlich eine besondere Herausforderung. Auch bei fast spiegelglatter See schwankte das Schiff mit einer Amplitude von mehreren Grad, so dass selbst einige Fisheye-Aufnahmen starke Bewegungsunschärfen zeigten. Teleaufnahmen gerieten zu einem Glücksspiel – es sei denn, man war stolzer Besitzer eines Objektivs mit Bildstabilisator. Fotos mit solchen Optiken gelangen auch bei deutlich längeren Belichtungszeiten und Brennweiten und die Ergebnisse waren spürbar schärfer als ohne Stabilisator.

Das Licht kehrt zurück

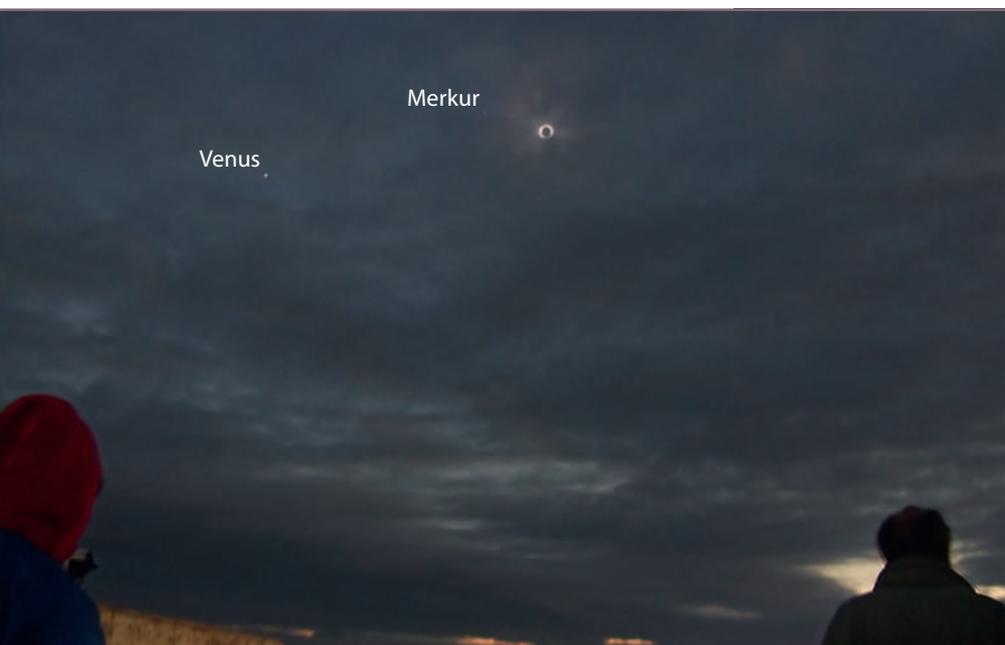
Doch zwei Minuten sind nicht lang, und gerade als man sich so richtig auf die Dunkelheit eingestellt hatte, quoll der erste Lichtpunkt am westlichen Sonnenrand wieder hervor. Wenige Sekunden zuvor kündigte das Erscheinen der rot leuchtenden Chromosphäre schon das Ende der Totalität an. Mit einem Schlag fühlte man wieder volle Helligkeit, obwohl meine Messgeräte noch wie erwartet

◀ Abb. 8: Weitwinkelaufnahme, aufgenommen mit einer Kompaktkamera. Venus ist links von der Sonne im Abstand von 15° deutlich zu erkennen, auch Merkur ist bei einer Elongation von 3,4° Ost eindeutig auszumachen.

dem weißen Licht der Korona und tauchte die Wolken um die Sonne für kurze Zeit in einen leichten Rosaschimmer. Nun war der ersehnte Moment gekommen: die Totalität! Die immer noch vorbeiziehenden dünnen und transparenten Wolken veränderten das Bild der Korona kontinuierlich und erweckten den Eindruck von Bewegung, so dass der Anblick der Korona im Fernglas an ein rauchendes

Feuer erinnerte. In klareren Augenblicken konnte man die wunderschön regelmäßigen Polarstrahlen der Minimumskorona erkennen (Abb. 6).

Der Kernschatten des nur 28° hoch stehenden Mondes war zwar eine recht lang gestreckte Ellipse, aber er war nur maximal 90km breit. So war die Schattengrenze und damit die direkt beleuchtete Erdoberfläche nie sehr weit von uns entfernt und



W. STRICKLING

Merkur
Venus

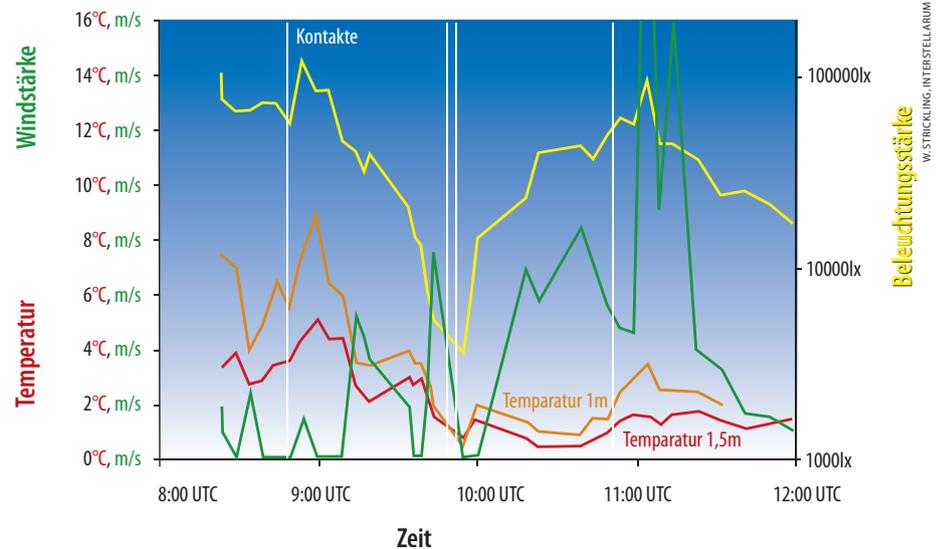
Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

tiefes Dämmerlicht anzeigten. Auch die Anspannung und die drückende Stimmung, die sich vor der Totalität mit dem Verschwinden des Lichtes bei allen Beobachtern eingestellt hatte, war von einem Moment auf den anderen wie weggeblasen. Alle waren erleichtert, dass sie die Totalität in voller Länge genießen konnten, obwohl die Sichtbarkeitschancen statistisch nur bei höchstens 15% lagen! Wegen der Wolken waren jedoch Fliegende Schatten, die bei klarem Himmel üblicherweise zu erwarten sind, weder visuell noch auf dem Video zu sehen. Die leichten Wolkenschleier, die Fotografen und ambitionierte Beobachter gestört hatten, haben dem ganzen Ereignis jedoch eine Dramatik verliehen, die keine Finsternis unter perfektem Himmel bieten kann. Verglichen dazu wirken die Finsternisse ohne jegliche Bewölkung fast leblos und steril. Dieses Erlebnis möchte ich nicht mehr missen! Über Satellitentelefon erfuhren wir schnell, dass eine andere Expedition auf einem Eisbrecher im Packeis nahe der Victoria-Insel im dichten Nebel stand und von der ganzen Finsternis nur die Dunkelheit erleben konnte.

Nach dem dritten Kontakt schwenkte der Kapitän unser Schiff dann auf Ostkurs, der uns in Richtung Franz-Josef-Land führte. Kurz darauf holten uns schließlich auch die Nebelschwaden ein, die uns zum Glück während der Totalität verschont hatten. Wegen des Nebels blieb es noch für längere Zeit recht kalt, auch wenn mit dem vierten Kontakt die Finsternis längst vorüber war. Überraschend war für mich, dass die Temperatur auch auf hoher See um ca. 5° zurückging (Abb. 9). Unglücklicherweise sind meine Wetter- und Helligkeitsaufzeichnungen nur bruchstückhaft aufgenommen worden, da der verantwortliche Taschen-Organizer bei Temperaturen um den Nullpunkt seinen Dienst quittierte. Um wenigstens einige wenige Messwerte zu erhalten, musste ich das Gerät regelmäßig in der Hosentasche wieder »auftauen«. Nach dieser Erfahrung habe ich das betagte Gerätchen endgültig in Rente geschickt und für meine nächste Finsternis ein etwas zuverlässigeres Instrument auf Basis eines Mikrocontrollers entwickelt.

Kreuzfahrt durch das Franz-Josef-Land

Nach dieser kurzen Nacht, die lediglich 2 Minuten und 17 Sekunden dauerte, blieb es in den kommenden 178 Stunden taghell, denn wir befanden uns auf fast



▲ Abb. 9: **Grafik der Helligkeit, Temperatur und Windgeschwindigkeit.** Die zwei Thermometer registrierten einen deutlichen Temperaturabfall, das bodennähere sogar um 8°C. Die Helligkeitsmessung (gelbe Kurve, in logarithmischer Darstellung) weist wegen des Ausfalls des Datenrecorders um die Totalität leider eine Datenlücke auf. Die Finsterniskontakte 1 bis 4 sind durch senkrechte Linien markiert.

80° Nord und es herrschte Mitternachts-sonne. Für einige Mitreisende begann nun der wichtigste Teil ihrer Reise: die Expedition durch das Franz-Josef-Land. Dieser Archipel der hohen russischen Arktis nordöstlich von Spitzbergen besteht aus mehr als hundert kleinen Inseln, die erst im Jahre 1873 von einer österreichischen Forschungs Expedition offiziell entdeckt und nach Kaiser Franz-Joseph I. benannt wurden. Unsere touristische Reise nutzte sogar eine Gruppe professioneller Glaziologen zum Abschluss früher begonnener Messungen, denn für eine geplante größere Forschungs Expedition waren ihnen die Visa von den russischen Behörden verweigert worden.

Schon bei der Annäherung an die Inselgruppe war zu erkennen, dass eine Beobachtung der Finsternis an Land – wie es sich einige Mitreisende gewünscht hatten – völlig utopisch gewesen wäre. Die »Strände« der Inseln bestanden aus steil ins Meer abfallenden Geröllhalden oder Gletscherkanten, an denen vereinzelt hungrige Eisbären patrouillierten. Entspannt an Deck zu beobachten ist sicher besser gewesen, als in einem Schlauchboot mit astronomischem Gerät an einer solchen Küste anzulanden.

Die folgenden sechs Tage bescherten uns atemberaubende Einblicke auf eine völlig andere Seite unseres Planeten. Exotische Landschaften aus Wasser, Fels und Eis, Walrosskolonien, Eisbären und Wale ließen jeden Tag zu einem neuen Erlebnis werden. Das Wetter war deutlich besser als erwartet, bei Temperaturen knapp

über null. Atmosphärische Phänomene wie Nebelbögen, Halos, Lenticularis- und irisierende Wolken waren regelmäßig zu sehen. Tägliche Exkursionen mit Zodiac-Schlauchbooten zu verlassenem Forscherkolonien aus vergangenen Jahrhunderten, entlang der Eisberge und Gletscherkanten oder zu geologisch interessanten Formationen und Tieren auf den Inseln gewährten Zugang zu einer uns sonst unerreichbaren, unbekanntem und exotischen Welt.

Fazit

Alles in allem hat sich meine Entscheidung, die Sonnenfinsternis nicht auf einer klassischen Reise an Land in Zentralasien zu beobachten, gelohnt. Zwar hätte meine Fotoausbeute dabei ein wenig reicher ausfallen mögen, das aber auf Kosten des reichen Schatzes an Erfahrungen und einmaligen Eindrücken, die ich auf dieser Reise gewonnen habe.

[1] Kippenhahn, R., Knapp, W.: Schwarze Sonne, roter Mond, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 221 (1999)

Surftipps

Homepage des Autors:

www.strickling.net/sofi2008.htm

Eclipse Orchestrator:

www.moonglowtechnologies.com/products/EclipseOrchestrator/index.shtml

Mikrocontroller als Selbstbau-Projekt:

www.strickling.net/c-control.htm

Fünf Mal Europa

Ein Projekt mit Studenten zur partiellen Sonnenfinsternis vom 4.1.2011

VON ULLRICH DITTLER



▲ Abb. 1: **Auch wenn die Sonne nur teilweise verfinstert wird**, macht sich die Bedeckung durch eine Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse und der Temperatur bemerkbar. Diese Effekte zu dokumentieren war Ziel eines Projektes mit Studenten, das die Beobachtung der Finsternis vom 4.1.2011 an fünf verschiedenen Orten vorsah. Das Bild zeigt die Helligkeitsentwicklung während der Sonnenfinsternis über der griechischen Hauptstadt und der Akropolis (rechts am Horizont). Die Fotomontage zeigt die Beleuchtungssituation jeweils im Abstand von 30 Minuten.

Die partielle Sonnenfinsternis am 4. Januar 2011 bot eine der wenigen Möglichkeiten, eine Sonnenfinsternis in Deutschland zu erleben (vgl. interstellarum 75). Ein studentisches Team der Hochschule Furtwangen machte es sich zur Aufgabe, das Himmelsschauspiel parallel in Wien, Rom, Istanbul, Athen sowie am Hochschulstandort im Schwarzwald zu beobachten und die Wetterdaten während der Bedeckung der Sonne aufzuzeichnen.

Die im Wintersemester 2010/11 an der Fakultät Digitale Medien der Hochschule Furtwangen angebotene Wahlveranstaltung »Digitale Astrofotografie« konnte aufgrund der partiellen Sonnenfinsternis am 4.1.2011 ein seltenes Highlight bieten, welches das Seminarprogramm mit den Themen Strichspuraufnahmen, Sternfeldaufnahmen, Sonnenfotografie in $H\alpha$, Mond- und Planetenfotografie, Deep-Sky-Fotografie, Robotische Astrofotografie etc. bereicherte. Schnell war daher im Seminar die Idee entstanden, dem seltenen Ereignis besondere Aufmerksamkeit zu widmen: In einem kleinen studentischen Forschungsvorhaben sollte die Sonnenfinsternis an verschiedenen Orten in Europa beobachtet und vermessen werden.

Ein studentisches Forschungsvorhaben entsteht

In verschiedenen Berichten von totalen und ringförmigen Sonnenfinsternissen wird neben den sich ändernden Beleuchtungsverhältnissen auch immer wieder vom Temperaturabfall während einer Finsternis berichtet. Es erschien daher spannend, nicht nur die Sonne während der partiellen Finsternis 2011 in regelmäßigen Abständen zu fotografieren, sondern parallel dazu auch die Wetterdaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke etc.) kontinuierlich aufzuzeichnen. Damit sollte geprüft werden, inwieweit auch eine »nur« partielle Sonnenfinsternis Einfluss auf die Entwicklung des Temperaturverlaufs während der Bedeckung hat.

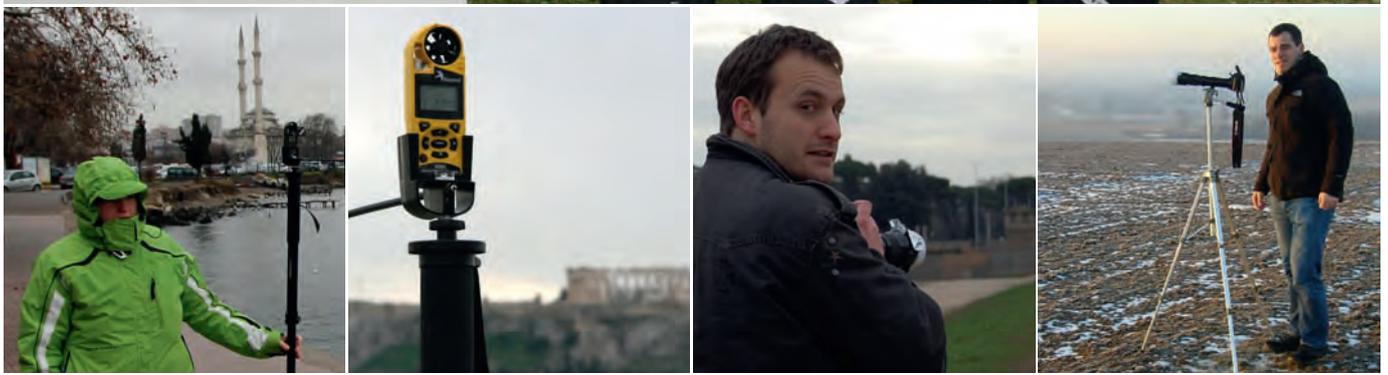
Da das Wetter in Deutschland im Januar nicht unbedingt mit vielen wolkenfreien Tagen aufwarten kann, war zu erwarten, dass hierzulande die Sonnenfinsternis hinter einer Wolkendecke stattfinden würde. Um dieses Risiko zu vermeiden und da es zudem aufschlussreich erschien, Aufnahmen und Wetteraufzeichnungen von verschiedenen Orten miteinander zu vergleichen, wollten die Studierenden während der Finsternis Fotos und Wetteraufzeichnungen an verschiedenen europäischen Standorten erstellen.

Die Wahl der Beobachtungsorte

Die Beobachtungsorte sollten alle mit einem Nonstop-Flug zu erreichen sein. Auch kamen – bedingt durch die engen Grenzen



U. DITTLER, D. FISCHER, U. DITTLER, CH. HUBER, CH. SCHWENBERGER



▲ Abb. 2: **Das Team** mit Teilen der Mess- und Beobachtungsausrüstung vor der Abreise (oben) sowie vor Ort in Istanbul (unten links), Athen (Mitte links), Rom (Mitte rechts) und Wien (unten rechts).

des für dieses Vorhaben zur Verfügung stehenden Budgets – nur Flüge mit Billig-Airlines in Frage. Zudem war zu vermuten, dass die Vergleichbarkeit der gewonnenen Ergebnisse erhöht wird, wenn der maximale Bedeckungsgrad der Sonne an den verschiedenen Beobachtungsorten etwa ähnlich ist.

Die Suche nach attraktiven Beobachtungsorten für die Sonnenfinsternis beschränkte sich daher auf den europäischen Raum und – unter Beachtung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer und der langfristigen Wetterprognosen für Januar – auf die südlichen Länder Spanien, Italien, Griechenland und die Türkei. Gemeinsam ist diesen Ländern die schnelle Erreichbarkeit sowie der für Januar geringe mittlere Bewölkungsgrad von rund 50% – verglichen mit den für Deutschland prognostizierten 65% – 85% ein beachtlicher Vorteil.

Nicht nur unter logistischen, sondern auch unter astronomischen Gesichtspunkten entpuppten sich als attraktive Beobachtungsorte schnell die Metropolen Istanbul und Athen: Gemeinsam war den beiden Orten ein Beginn der Verfinsternung mehr als eine Stunde nach Sonnenaufgang, ein hoher Sonnenstand zum Maximum der

Bedeckung sowie ein ähnlicher maximaler Bedeckungsgrad der Sonne von um die 60%. Auch Rom als dritter gewählter Beobachtungsort verfügte über einen maximalen Bedeckungsgrad von 61%, wobei hier die Verfinsternung der Sonne aber schon 15 Minuten nach dem Sonnenaufgang begann, so dass zu erwarten war, dass die Beobachtung schwieriger sein würde.

Bedenken gab es im Vorfeld der Finsternis auch bezüglich Wien als Beobachtungsort, vor allem wegen der langfristigen Wetterprognose für Januar; attraktiv wiederum erschien der große maximale Bedeckungsgrad von rund 70%, der für die österreichische Hauptstadt berechnet wurde. Und Wien passte auch insofern als Beobachtungsstandort sehr gut, da auch hier die Bedeckung 15 Minuten nach Sonnenaufgang begann – womit sich die Daten ggf. sehr gut mit denen aus Rom vergleichen ließen. Als fünfter Beobachtungsstandort stand der Hochschulstandort Furtwangen schnell fest: Auch hier war eine maximale Bedeckung von über 67% zu erwarten, leider verbunden mit einem Beginn der Verfinsternung bereits 20 Minuten vor Sonnenaufgang.

Für die fünf Beobachtungsorte Rom, Wien, Istanbul, Athen und Furtwangen wurden Expeditionskoffer gepackt, die neben einer digitalen Spiegelreflexkamera und einem 500mm-Teleobjektiv inklusive fotografischem Sonnenfilter auch ein Wettermessgerät zur Aufzeichnung der gesamten Wetterdaten enthielten.

Der Tag der Finsternis

Die Realität hält sich nicht immer an Statistiken: Ein paar Tage vor der Finsternis sagten Wetterprognosen für die »Sonnengaranten« Istanbul und Athen eine geschlossene Wolkendecke voraus. Über Rom sollten die Wolken schon deutlich aufgelockert sein und sowohl für Wien als auch für den Schwarzwald wurde eine Sonnenfinsternis bei fast wolkenlosem Himmel vorausgesagt: ein Gegensatz zur langfristigen Prognose.

Istanbul

In Istanbul positionierte sich die Studentin direkt am Hafen, um einen freien Blick zum Sonnenaufgang zu haben



U. DITTLER, CH. HUBER, CH. SCHWENBERGER

(GPS-Koordinaten am Beobachtungsort in Istanbul: 40° 59' 45" Nord, 29° 01' 09" Ost). Die gesamte Finsternis hindurch bedeckte eine geschlossene Wolkendecke den Himmel, teilweise begleitet von heftigen Regenfällen. Die Auswertung der während der Finsternis aufgezeichneten Wetterdaten zeigt daher erwartungsgemäß keine erkennbaren Einflüsse durch die Sonnenfinsternis: Die Temperatur schwankte vom Beginn der Finsternis um 9:07 Uhr bis zum Ende der Finsternis um 12:12 Uhr kontinuierlich um weniger als 0,5°C bei einem Mittelwert von 5,7°. Die mehr als dreistündige Beobachtung in Istanbul war eine sehr feuchte und kalte Angelegenheit, welche die geplanten Fotoaufnahmen der Bedeckung nicht erlaubte.

Athen

Auch in Athen (GPS-Koordinaten: 37° 35' 08" Nord, 23° 26' 09" Ost) beherrschte während der gesamten Finsternis eine Wolkendecke den Himmel, die nur kurz nach dem Finsternismaximum um 10:23 Uhr einen Blick auf die teilweise verfinsterte Sonnenscheibe freigab.

Die Auswertungen der Temperaturaufzeichnungen von Athen zeigen, dass mit Beginn der Finsternis um 8:58 Uhr nur ein leichter Anstieg der Temperatur um weniger als 1°C zu beobachten war. Da parallel zur zunehmenden Bedeckung die Sonne auch zunehmend an Höhe über dem Horizont gewann, schienen sich diese beiden Effekte vor dem Maximum um 10:23 Uhr auszugleichen bzw. aufzuheben. Nach dem Maximum unterstützen sich die weiterhin zunehmende Höhe der Sonne über dem Horizont und die zunehmend wieder freigegebene Sonnenscheibe gegenseitig, so dass trotz durchziehender Bewölkung bis zum Ende der Finsternis um 11:58 Uhr ein Temperaturanstieg um weiteren 2,5°C verzeichnet wurde. Geht man davon aus, dass ohne partielle Sonnenfinsternis die Temperatur zwischen Beginn und Ende der Messung kontinuierlich von knapp über 10°C bis etwa 13,5°C angestiegen wäre, so zeigt sich, dass der Temperaturanstieg während der Finsternis um ca. 0,75°C bis 1°C hinter dem erwarteten Wert zurückblieb. Die Temperaturdifferenz fiel somit nicht so eindrucklich aus, wie dies bei einem wolkenfreien Himmel zu erwarten gewesen wäre.

Rom

Besser als in Istanbul und Athen waren die Beobachtungsbedingungen in Rom.

▲ Abb. 3: Ansicht der verfinsterten Sonne in Athen (a), Rom (b) und Wien (c).

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Als Beobachtungsort wurde hier der historische Circus Maximus gewählt (GPS-Koordinaten: 41° 53' 09" Nord, 12° 29' 07" Ost).

Zu Beginn der Finsternis um 7:52 Uhr zeigte sich der Himmel noch bewölkt, gegen 8:30 Uhr traten erste Wolkenlücken auf, die den Blick auf die Sonne anschließend immer wieder freigaben. Die Auswertungen der in Rom aufgezeichneten Wetterdaten zeigen, dass die Temperatur vom Beginn der Finsternis bis zu deren Maximum um 9:10 Uhr nur leicht von 4,6°C auf 5,1°C anstieg. In den 90 Minuten nach dem Maximum wurde in Rom ein weiterer Temperaturanstieg um rund 1,1°C bis auf 6,2°C verzeichnet. Auch hier wirkten die zunehmende Sonnenhöhe sowie die zunehmend vom Mond freigegebene Sonnenscheibe gemeinsam auf den Temperaturanstieg hin.

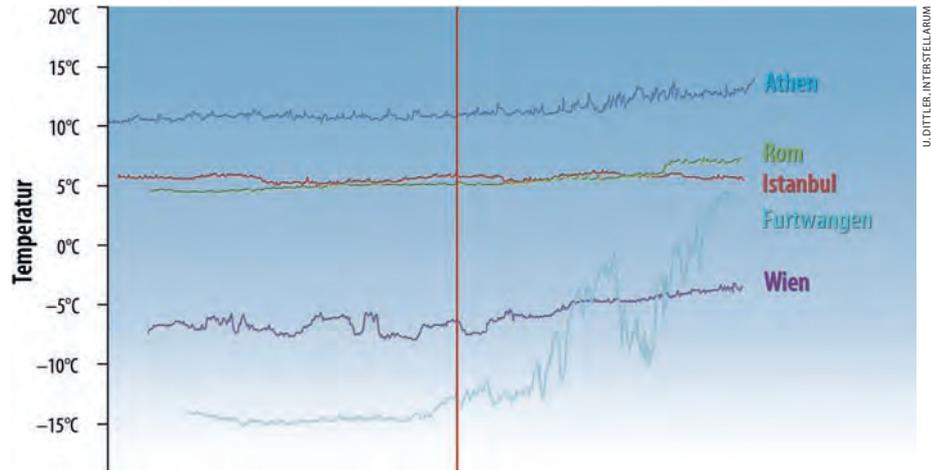
Geht man auch hier davon aus, dass ohne Sonnenfinsternis die Temperatur zwischen Beginn und Ende der Messung kontinuierlich angestiegen wäre, so zeigt sich, dass der Temperaturanstieg während der Finsternis um ca. 0,5°C hinter dem erwarteten Wert zurückblieb. Auch in Rom fiel damit die finsternisbedingte Temperaturdifferenz nicht so eindrücklich aus, wie dies bei einem wolkenfreien Himmel zu erwarten gewesen wäre.

Wien

Im Vergleich zu den anderen Standorten waren die Beobachtungsbedingungen in Wien (GPS-Koordinaten am Beobachtungsort bei Wien: 48° 36' 22" Nord, 16° 40' 28" Ost) sehr gut: Vereinzelt Zirren begleiteten den Sonnenaufgang um 7:48 Uhr, diese lösten sich aber im Laufe der Finsternis auf, so dass die Finsternis an einem sehr kalten Morgen bei besten Bedingungen verfolgt werden konnte. Die Wetteraufzeichnungen des Messgerätes zeigten daher auch die erwartete Entwicklung: Während die sich auflösenden Wolken die Temperatur zwischen Beginn der Verfinsterung um 8:04 Uhr und dem Maximum um 9:24 Uhr um den durchschnittlichen Wert von etwa -7°C pendeln ließen, stieg erwartungsgemäß nach dem Maximum die Temperatur um rund 3,5° auf -3,5°C an.

Furtwangen

Besser als erwartet waren auch die Bedingungen am Hochschulstandort im Schwarzwald: In Furtwangen (GPS-Koordinaten am Beobachtungsort: 48° 03' 16" Nord, 8° 11' 59" Ost) war der Blick auf die



▲ Abb. 4: Entwicklung der Temperatur während der Finsternis in Athen, Istanbul, Rom, Wien und Furtwangen in einer gemeinsamen Darstellung (die rote Linie markiert das Finsternismaximum).

Sonnenfinsternis an einem ebenfalls sehr kalten Morgen nur zeitweise durch eine leichte Bewölkung getrübt. Bei der Interpretation der aufgezeichneten Wetterdaten ist zu beachten, dass die Verfinsterung bereits vor dem Sonnenaufgang begann. Bis zum Maximum der Sonnenfinsternis um 9:12 Uhr stieg die Temperatur bei tiefem Sonnenstand nur um etwa 1° auf -14°C an. Bis zum Ende der Finsternis um 10:38 Uhr wurde dann bei klarem Himmel ein Anstieg von rund 16° auf +2°C beobachtet. Geht man auch hier davon aus, dass ohne partielle Sonnenfinsternis die Temperatur kontinuierlich angestiegen wäre, so zeigt sich, dass der Temperaturanstieg während der Finsternis an diesem Standort um ca. 6° hinter dem erwarteten Wert zurückblieb.

Fazit

Bedingt durch die ungünstigen Wetterbedingungen und Beobachtungsverhältnisse in Istanbul und Athen waren die gewonnenen Daten leider nicht so aussagekräftig wie erhofft. Wie bei einer Sonnenfinsternis am Vormittag zu erwarten, war in Rom, Wien und Furtwangen zwischen Beginn der Finsternis und dem Maximum kein oder nur ein verhaltener Anstieg der Temperatur zu beobachten, da die durch die Bedeckung der Sonne zu erwartende Temperaturabsenkung und

die bei steigender Sonnenhöhe zu erwartende Temperaturzunahme sich in ihrer Wirkung etwa aufheben. Nach dem Maximum wirken der weiterhin steigende Sonnenstand und die zunehmend wieder freigegebene Sonnenscheibe gemeinsam auf eine Erhöhung der Temperatur hin, so dass nach dem Maximum insbesondere am Beobachtungsort Furtwangen ein steiler Anstieg der Temperatur zu verzeichnen ist. Die bei totalen und ringförmigen Sonnenfinsternissen dokumentierten Temperaturveränderungen scheinen sich also in geringem Ausmaß auch bei partiellen Sonnenfinsternissen beobachten zu lassen. Bedenken muss man dabei allerdings, dass solche Temperaturverläufe auch von Wolken und Zirren vorgetäuscht werden können. Messungen bei idealen Bedingungen wären deshalb wünschenswert.

2015 findet die nächste partielle Sonnenfinsternis über Europa statt. Dies ist eine gute Gelegenheit, sich eine neue Fragestellung und ein neues Design für ein kleines studentisches Forschungsvorhaben rund um dieses faszinierende Himmelschauspiel zu überlegen.

Surftipp

Homepage des Autors:

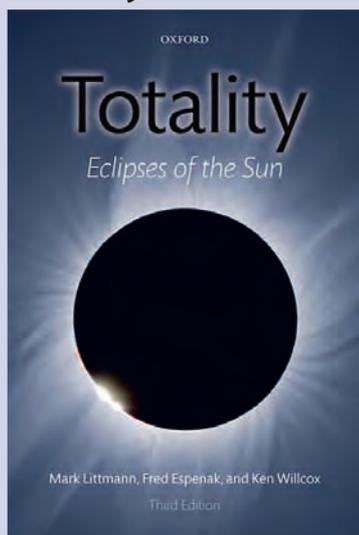
www.sonnenwind-observatorium.de

Kontaktzeiten für die Beobachtungsorte am 4.1.2011					
Ort	Furtwangen	Rom	Wien	Athen	Istanbul
Sonnenaufgang	8:20 MEZ	7:40 MEZ	7:48 MEZ	7:44 OEZ	7:30 OEZ
Beginn der Verfinsterung	7:58 MEZ	7:52 MEZ	8:04 MEZ	8:58 OEZ	9:07 OEZ
Maximum der Verfinsterung	9:12 MEZ	9:10 MEZ	9:24 MEZ	10:23 OEZ	10:38 OEZ
Ende der Verfinsterung	10:38 MEZ	10:38 MEZ	10:53 MEZ	11:58 OEZ	12:12 OEZ

OEZ: Osteuropäische Zeit (MEZ +1)

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Totality

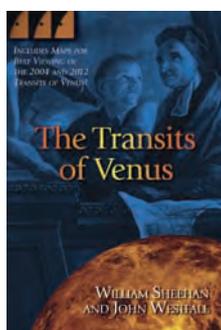


Wer Literatur zu Sonnenfinsternissen in deutscher Sprache sucht, ist auf antiquarisch erhältliche Titel angewiesen. Besser ist es, auf aktuelle englischsprachige Werke auszuweichen, und hier dominiert ein Titel klar den Markt: »Totality«. Mittlerweile in der dritten Auflage vorliegend, ist dieses Standardwerk unter der Mitarbeit von Mr Eclipse (s. Interview S. 36) eine wahre Fundgrube an Informationen zur Entstehung, Erforschung und Beobachtung von Sonnenfinsternissen. Leider hauptsächlich nur in preiswertem Schwarzweißdruck werden zahlreiche historische und moderne Finsternisbilder gezeigt, dennoch ergibt sich für Einsteiger und Finsternisfreaks gleichermaßen ein durchgängiges Bild der vielen bei

ringförmigen oder totalen Finsternissen sichtbaren Erscheinungen. Im Anhang sind die Finsternisse bis 2017 ausführlich beschrieben und bis 2060 einzeln aufgelistet. Hier greift das Buch auf das zahlreiche Material von Fred Espenaks Webseite zurück. Ebenso ist eine Liste zurückliegender und wichtiger historischer Finsternisse zu finden. Ein ausführliches Glossar und Stichwortverzeichnis runden dieses empfehlenswerte Werk ab.

■ Ronald Stoyan

Mark Littmann, Fred Espenak, Ken Willcox: Totality: Eclipses of the Sun, Oxford University Press, Oxford 2008, ISBN 978-0199532094, 341 S., 24,99€



William Sheehan, John Westfall: The Transits of Venus, Prometheus Books, Amherst (USA) 2004, ISBN 978-1591021759, 408 S., 24,99€



Gudrun Bucher: Die Spur des Abendsterns, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Mannheim 2011, ISBN 978-3534236336, 215 S., 29,90€



iPhone-App: EclipseCalc, 26MB, Version 1.0, iOS3.0 oder höher für iPhone/iPad/iPod touch, 0,79€

The Transits of Venus

Die Geschichte der Beobachtung der Venustransite als Spiegel der Wissenschaftsgeschichte: Noch vor dem Ereignis von 2004 hatten es sich die Amerikaner Sheehan und Westfall zur Aufgabe gemacht, die an Dramatik reiche Historie der Venusdurchgänge neu zusammenzustellen. Das Ergebnis ist ein kurzweiliges und teilweise fast romanhaft spannendes Buch, das die unglaublichen Bemühungen nacherzählt, die zur Beobachtung der Transite von 1639, 1761, 1769, 1874 und 1884 unternommen wurden. Darüber hinaus bietet »The Transits of Venus« aber auch eine verständliche Einführung in die Himmelsmechanik der Planetentransite und eine Vorschau auf die Ereignisse von 2004 und 2012 – wobei die neuen Erkenntnisse von 2004, etwa zu Phänomenen wie dem Schwarzen Tropfen, schmerzlich fehlen. Beobachtungstipps nehmen insgesamt eine untergeordnete Stellung ein. Dennoch ist dieses Buch jedem empfohlen, der als Beobachter eines Venustransits selbst auf der Spur der historischen Vorbilder wie Gassendi, le Gentil oder Cook wandelt.

■ Ronald Stoyan

Die Spur des Abendsterns

Wer lieber zu einem deutschen Text greift, ist mit Gudrun Buchers Werk gut bedient. Es stellt im Wesentlichen eine verkürzte Adaption des Buchs von Sheehan und Westfall dar, auch die Abbildungen sind fast ausnahmslos daraus entnommen. Hier liegt der Fokus noch mehr auf den historischen Rückblenden, bei denen leider die Chance verpasst wurde, den eher an eine wissenschaftliche Arbeit erinnernden Stil zugunsten einer epischeren Darstellung aufzugeben. Gut aufbereitet sind die Verbindungen zu wesentlichen wissenschaftlichen Fragestellungen der jeweiligen Zeit. Unsicherheiten in der beobachterisch-praktischen Perspektive sind jedoch anzumerken, etwa bei der Interpretation des Schwarzen Tropfens, der inzwischen eindeutig als physiologischer Effekt bei der Beobachtung mit kleinen Teleskopen, zu kleinen Vergrößerungen und schlechtem Seeing entlarvt ist. Beobachtungshinweise fehlen völlig. Wer das verschmerzen kann, findet hier ein interessantes Lesebuch zur geistigen Vor- und Nachbereitung des Jahrhundertereignisses am 6. Juni.

■ Ronald Stoyan

EclipseCalc

Bekanntermaßen finden 2012 zwei Sonnenfinsternisse, zwei Mondfinsternisse und der Venustransit statt. Viele Amateurastronomen werden sich daher in den kommenden Wochen und Monaten wieder Fragen wie »Wann sind die nächsten Finsternisse in Deutschland?«, »Gibt es im 21. Jahrhundert mehr Finsternisse in Asien als über Europa?« oder »Wie viele Mondfinsternisse über Deutschland kann man in den nächsten 50 Jahren beobachten?« etc. gegenübersehen. Die App EclipseCalc gibt Antworten genau auf diese Fragen: Die kleine Anwendung kann für verschiedene Orte auf der Erde die Sonnen- und Mondfinsternisse in der Zeit von 1500 v. Chr. bis 3000 n. Chr. berechnen. Der Anwender wählt dafür entweder einen Ort aus einer Liste aus (oder verwendet seine aktuelle Position) und legt das zu betrachtende Jahrhundert fest. Die Anwendung berechnet anschließend (auf der Basis von Daten von Fred Espenak) die Finsternisse und stellt diese tabellarisch dar. Zu jeder Finsternis können anschließend detaillierte Informationen abgerufen werden.

■ Ullrich Dittler

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Hilmar Duerbeck (1948–2012)

Im Januar 2012 verstarb völlig unerwartet und viel zu früh einer der Autoren dieses Heftes: Prof. Hilmar Duerbeck. Die Astronomie verliert in ihm nicht nur einen großen Wissenschaftler und Lehrer, sondern auch einen ungewöhnlichen Menschen mit breitem Interesse und einer Hilfsbereitschaft, wie es sie heute kaum noch gibt. Die Veröffentlichung seines letzten interstellarem-Artikels konnte er nicht mehr selbst erleben. Er erscheint in diesem Heft posthum. Es ist eine Arbeit über ein Gebiet, das ihm besonders am Herzen lag: die Historie der Venustransitbeobachtungen.

Hilmar Duerbeck (auch: Dürbeck) wurde am 19. Juli 1948 als Kind eines Monteurs in Klarenthal an der Saar geboren. Nach Studium in Saarbrücken und Bonn begann er 1971 am Observatorium Hoher List seine Diplomarbeit bei Prof. Geyer. Die Begeisterung für die beobachtende Astronomie bestimmte die weitere Laufbahn: Nach der Promotion über VV Orionis wurde er 1974 Assistent am Observatorium Hoher List. Hilmar Duerbeck fiel dadurch auf, dass er unermüdlich arbeitete und für junge Studenten stets ansprechbar war. Dabei blieb

er immer bescheiden und im Hintergrund – ein Charakterzug, den sein gesamtes Leben ausmachte.

Das macht es heute schwer, das Wirken dieses Mannes vollständig zu erfassen. Hilmar Duerbeck, der inzwischen ein internationaler Experte auf dem Gebiet der kataklysmischen Veränderlichen Sterne geworden war, verzichtete auf die eigene Karriere und förderte die jungen Kolleginnen und Kollegen bei ihren wissenschaftlichen Vorhaben. Dass er nach wie vor international sehr gefragt war, belegen seine zahlreichen Gastdozenturen und Aufenthalte in Belgien, Chile, USA und seine Tätigkeit in internationalen Gremien und Organizing Committees. Für seine Verdienste bei der Ausbildung junger Astronomen ernannte die Universität Münster ihn 1996 zum Honorarprofessor.

Hilmar Duerbeck war ein Mensch mit feinsinnigem Humor und einer ungewöhnlich breiten Bildung z.B. in der Literatur und Musik. Er erkannte die Bedeutung des historischen Materials der Institute und wurde nicht nur ein Experte auf diesem Gebiet, sondern übernahm auch Verantwortung



als Mitherausgeber und veröffentlichte eine große Zahl von Artikeln. So schrieb er als erster in Deutschland einen Artikel, der das Wirken der deutschen Astronomen in der Nazizeit aufarbeitete.

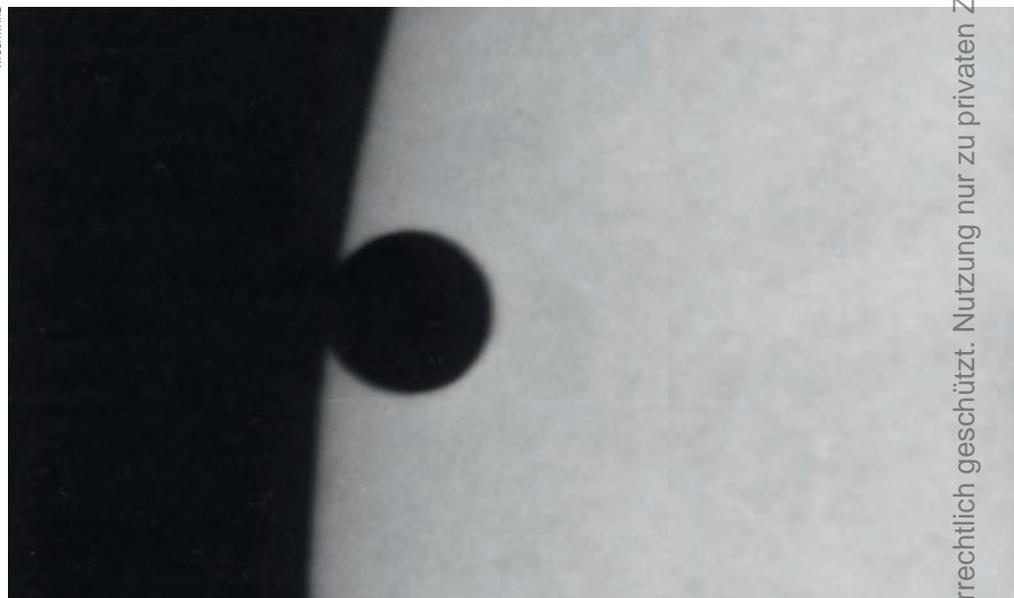
■ Michael Geffert

Walter Schwarz (1921–2011)

Das Nürnberger »astronomische Urgestein« Walter Schwarz ist im November im Alter von 90 Jahren verstorben. Durch seine Selbstbauten und Sonnenaufnahmen war er auch über die fränkische Region hinaus einer Vielzahl von Sternfreunden bekannt. In den 1970er Jahren galt er zudem als hervorragender Fotograf von Objekten des Sonnensystems.

Schon während seiner Volksschulzeit begann Walter Schwarz durch ein einfaches Fernglas zusammen mit einem Klassenkameraden den nächtlichen Himmel zu beobachten. Beruflich allerdings zog es ihn bald in die künstlerische Richtung: Nach Abendkursen an der Nürnberger Akademie besuchte er anschließend die Meisterschule für Wandmalerei, die er 1940 als Kunstmaler abschloss. Damit war der Broterwerb für die Familie gesichert. Walter Schwarz war Zeit seines Lebens ein bescheidener Mensch mit viel Humor und Charme, ebenso wie seine geliebte Frau Hilde. An seine Arbeiten stellte er immer kompromisslos höchste Ansprüche.

Neben dem Beobachten und den zahlreichen Abendführungen widmete er sich



als Autodidakt dem Selbstbau von präzisen Teleskopen für die Astrofotografie. Die Krönung war dabei sicher das eigenhändige Schleifen und Beschichten eines 250mm-Duranglasspiegels der Firma Schott für seinen Schiefspiegler, den er dann in seiner Gartensternwarte montierte. Mit diesem Gerät gelangen ihm meisterhafte Fotos von Mond, Planeten und hellen Nebeln. Alle Fotos wurden zuhause in einer einfachen Dunkelkammer selbst entwickelt. Da

die Lichtverschmutzung im Stadtgebiet im Laufe der Jahre immer mehr zunahm, spezialisierte er sich schließlich auf die damals sehr exotische Ha-Sonnenfotografie und widmete sich dem Bau von Protuberanzenansätzen, die er unermüdlich verbesserte. Damit fotografierte er auch den Venustransit am 8.6.2004 – eines seiner letzten Bildresultate.

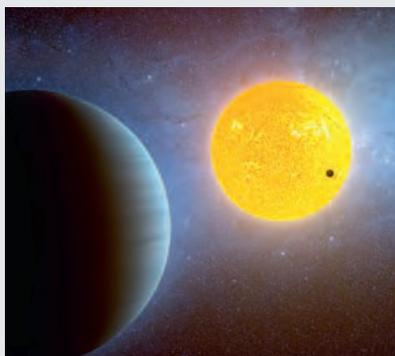
■ Marianne Köhler-Kleinlein

Demnächst in interstellarum

interstellarum 82

Exoplaneten – der neueste Stand

Nicht nur bei der Bestimmung der Sonnenentfernung haben Transite eine entscheidende Rolle gespielt – sie sind auch heute bei der Entdeckung von Planeten um ferne Sterne von herausragender Bedeutung. Mit einiger Sorgfalt lassen sie sich auch von Amateuren indirekt beobachten: Sogar mit einem Teleskop von gerade 50mm Öffnung.



NASA/AMES/JPL-CALTECH

100 Quadratgrad Himmel

Unsere beliebte Serie für visuelle Deep-Sky-Beobachter geht in die nächste Runde. Diesmal widmet sich Matthias Kronberger Standardobjekten und Geheimtipps in der Sommermilchstraße – für kleine und für große Teleskope.

Ein Atlas der Sternspektren

Die Spektroskopie hat die Astronomie vor 150 Jahren verändert, ist aber bei den Amateuren bis heute kaum angekommen. Ein Astrofotograf hat es sich zum Ziel gesetzt, einen Atlas der Spektren heller Sterne zu erstellen.

Heft 82 ist ab 18.5.2012 im Zeitschriftenhandel erhältlich!

aktuell auf www.interstellarum.de

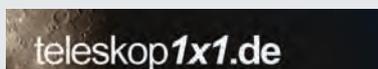
Aktuelle Aufnahmen unserer Leser

- www.sonneaktuell.de
- www.planetenaktuell.de
- www.kometenaktuell.de

Objekte der Saison Online

- www.interstellarum.de/ods-galerie.asp

Die interstellarum-Einsteigerseiten



Das große Teleskop-Portal von interstellarum



Datenbank mit über 1500 Produkten
472 Komplettgeräte, 346 Tuben mit Optik, 121 Montierungen, 582 Okulare

Der interstellarum-Newsletter

Der größte Online-Nachrichtendienst für Hobby-Astronomen in deutscher Sprache erscheint freitags alle 14 Tage.

- Aktuelles am Himmel
- Neuigkeiten aus der Forschung
- Nachrichten aus der Astroszene
- Informationen für interstellarum-Leser

Impressum

www.interstellarum.de | ISSN: 0946-9915

Verlag: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67, D-91054 Erlangen
WWW: www.oculum.de
E-Mail: info@oculum.de
Tel.: 09131/970694
Fax: 09131/978596

Abo-Service: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67, D-91054 Erlangen
E-Mail: aboservice@interstellarum.de
Tel.: 09131/970694 (Mo–Do 10:00–15:00)
Fax: 09131/978596

Bezug: Jahresbezugspreise 2012 inkl. Zustellung frei Haus: 59,90 € (D, A), 64,90 € (CH, sonstige), erscheint zweimonatlich Anfang Jan., Mär., Mai, Jul., Sep., Nov., zusätzlich 2 Hefte interstellarum »Thema«



interstellarum erhalten Sie im Presse-Fachhandel mit dem »blauen Globus«. Dort können Sie auch Hefte nachbestellen, wenn sie nicht im Regal stehen.

Vertrieb: für Deutschland, Österreich, Schweiz
Verlagsunion KG, Am Klängenweg 10, D-65396 Walluf

Grafik und Layout: Frank Haller, Christian Protzel

Redaktion: redaktion@interstellarum.de
Ronald Stoyan (Chefredaktion), Daniel Fischer, Susanne Friedrich, Frank Gasparini, Hans-Georg Purucker

Mitarbeit: Peter Friedrich (Schlagzeilen), Kay Hempel (Astronomie mit bloßem Auge), Manfred Holl (Sonne aktuell), Matthias Juchert (Objekte der Saison), André Knöfel (Himmelsereignisse), Burkhard Leitner (Kometen aktuell), Uwe Pilz (Praxis-Wissen), Uwe Glahn (Deep-Sky-Herausforderung), Stefan Seip (First Light, Technik-Wissen), Lambert Spix (Astronomie mit dem Fernglas), Wolfgang Vollmann (Veränderlicher aktuell)

Astrofotografie: Siegfried Berghal, Stefan Binnewies, Michael Deger, Ullrich Dittler, Torsten Edelmann, Bernd Flach-Wilken, Ralf Gerstheimer, Michael Hoppe, Bernhard Hubl, Michael Jäger, Wolfgang Kloehr, Bernd Koch, Siegfried Kohler, Erich Kopowski, Walter Koprolin, Bernd Liebscher, Norbert Mrozek, Gerald Rhemann, Johannes Schedler, Rainer Sparenberg, Sebastian Voltmer, Manfred Wasshuber, Mario Weigand, Volker Wendel, Dieter Willasch, Peter Wienerroither, Thomas Winterer

Manuskriptannahme: Bitte beachten Sie unsere Hinweise unter www.interstellarum.de/artikel.asp

Copyright/Einsendungen: Für eingesandte Beiträge, insbesondere Fotos, überlassen Sie uns das Recht für einen einmaligen Abdruck im Heft und auf der Archiv-CD. Weitere Nutzungen in Büchern sind nicht gleichzeitig gegeben und bedürfen der Genehmigung durch den Autor. Ausgenommen davon ist der Abdruck ausgewählter Bilder in der Vorschau für die nächste Ausgabe und unter www.interstellarum.de.

Prinzipiell drucken wir nur unveröffentlichte Fotos und Texte. Parallelveröffentlichungen bereits eingesandter Materialien sind gesetzlich für den Zeitraum eines Jahres nach Abdruck untersagt (§ 2-1 Verlagsgesetz) – **wir bitten um Beachtung.**

Bitte informieren Sie uns, ob Ihre Beiträge schon an anderer Stelle veröffentlicht worden sind.

Wir behalten uns vor, bei der Bearbeitung Randpartien einer Aufnahme abzuschneiden und diese zu verkleinern/vergrößern, sowie orthografische und sprachliche Korrekturen vorzunehmen. Eingesandte Beiträge werden nicht sinnenstellend verändert bzw. gekürzt ohne Einverständnis des Autors. Der Verlag übernimmt keine Haftung für unverlangt eingesandtes Material.

Private Kleinanzeigen: können kostenlos unter www.interstellarum.de/kleinanzeigen.asp aufgegeben werden

Geschäftliche Anzeigen: es gilt Preisliste Nr. 13 vom 1.11.2011 Britta Gehle, Anzeigenleitung, Fax: 09131/978596, E-Mail: werbung@interstellarum.de

Leserhinweise

Bildorientierung: Allgemein: Norden oben, Osten links; Planeten: Süden oben, vorangehender Rand links
Datenquellen: Sonnensystem: Kosmos Himmelsjahr, Ahnerts Kalender für Sternfreunde, Cartes du Ciel; Deep-Sky: Deep Sky Reiseführer, NGC/IC W. Steinicke, Deep Sky Field Guide, CalSky
Koordinaten: äquatoriale Koordinatenangaben, Äquinoktium 2000.0
Helligkeiten: sofern nicht anders angegeben V-Helligkeit
Deep-Sky-Objekte: DS (Doppelstern), OC (Offener Sternhaufen), PN (Planetarischer Nebel), GN (Galaktischer Nebel), GC (Kugelsternhaufen), Gx (Galaxie), Qs (Quasar), As (Sternmuster)
Kartenverweise: Deep Sky Reiseatlas (DSRA), Uranometria 1. Auflage (Uran.), Fotografischer Mondatlas (FMA)