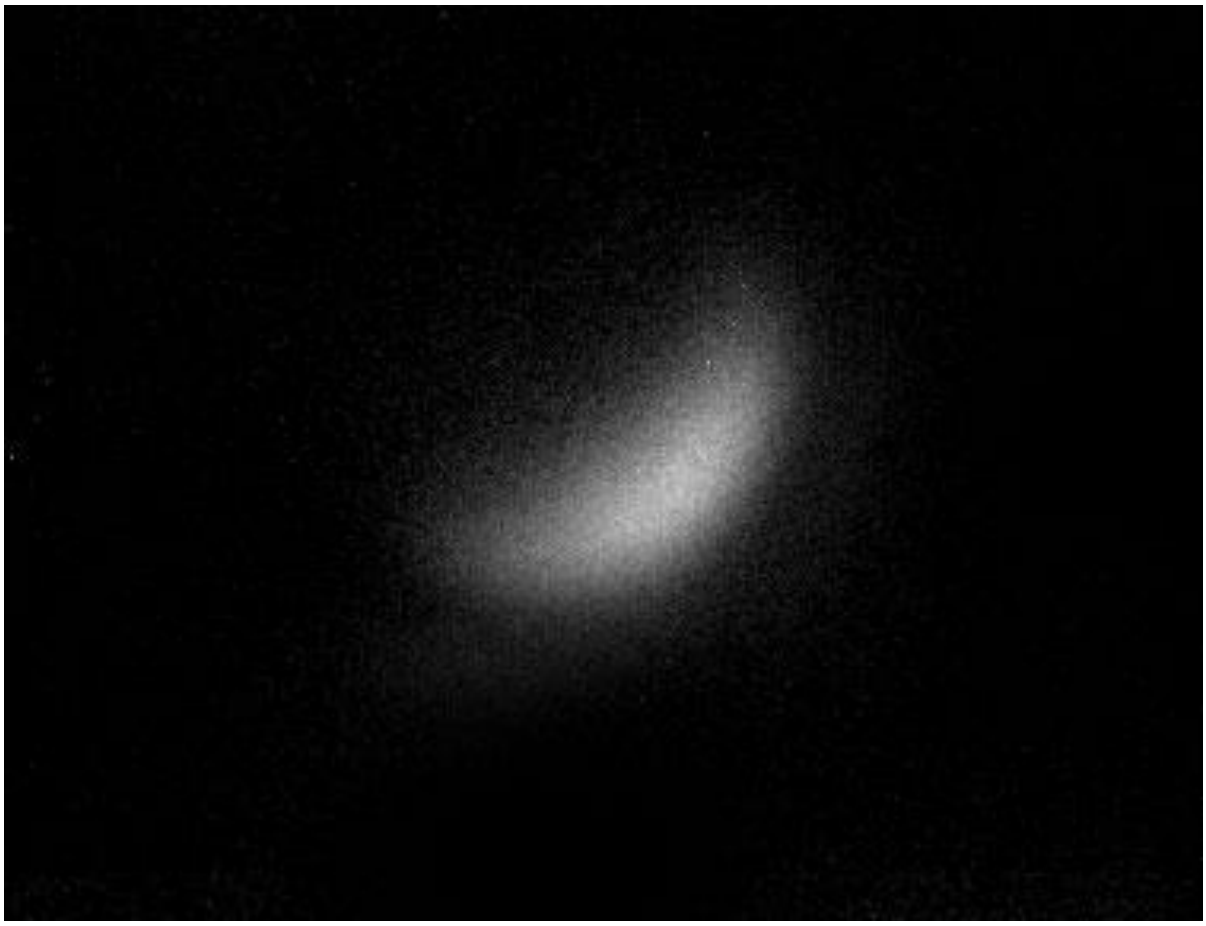
Projekt ZPPT: Venus im 4m-Zonenplatten-Planetenteleskop

Ein Bericht von Peter C. Slansky 26.6.2007



I: Aufgabenstellung

Ein Teleskop ist ein Gerät zur vergrößernden optischen Abbildung von Himmelskörpern. Um eine solche optische Abbildung zu erreichen, müssen die einfallenden Lichtwellen von ihrer ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt werden. Grundsätzlich können Lichtwellen auf drei verschiedene Arten abgelenkt werden: durch Brechung, durch Reflexion oder durch Beugung.
Alle „normalen" Teleskope bedienen sich der Phänomene der Brechung mit Hilfe von Linsen oder der Reflexion mit Hilfe von Spiegeln oder einer Kombination davon. Das dritte Phänomen, die Beugung, tritt dabei immer mit auf, jedoch lediglich als die Auflösung begrenzend. „Beugungsbegrenzt" - das meint also vor allem Restriktion und macht uns diese Beugung nicht gerade sympathisch.

Könnte man aber nicht einmal den Spieß herumdrehen und ein Teleskop bauen, dass gerade mit Beugung arbeitet, statt mit Brechung oder Reflexion?

Auch bei einer Lochkamera spielt die Lichtbeugung eine Rolle. Mit Lochkameras beschäftige und experimentiere ich bereits seit langem. Aufgrund des notwendigerweise kleinen Lochs eignet sich die Lochkamera aber nur für relativ helle Aufnahmesituationen und für lange Belichtungszeiten. In der Astrofotografie herrschen diese Bedingungen eher selten. Eine Ausnahme war der Venustransit 2004, den ich mit meinem 2,3m-LHG (Lochblenden-Heliographen) aufnahm, oder die Sonnenfinsternis 2006, die ich mit einer Spezial-Panorma-Lochkamera fotografierte.

Dann entsann ich mich Anfang 2007 eines eher exotischen optischen Bauteils, von dem ich während meines ersten Studiums gehört hatte: die **Zonenplatte**. Zonenplatten werden in der „normalen" Optik weniger verwendet, dagegen spielen sie in der Holografie und in der Röntgentechnik eine wichtige Rolle.

Eine Zonenplatte besteht aus einer bestimmten Anzahl konzentrischer transparenter und opaker Ringe, an denen die Wellen gebeugt werden. Variiert man die Radien der Ringe mit der Wurzel der Ordnung, so ergibt sich für die gebeugten Wellen ein gemeinsamer Ort konstruktiver Interferenz ähnlich dem Brennpunkt einer Linse. Doch hier endet die Ähnlichkeit auch schon: eine Zonenplatte verhält sich nämlich wie eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse mit gleicher Brennweite gleichzeitig!

Mit jedem neuen Ring, d.h. mit jeder zusätzlichen Ordnung, steigt natürlich auch die Helligkeit der Abbildung. Dennoch liegt die Lichteffizienz einer Zonenplatte natürlich noch weit unter der eines normalen Teleskops. Es stellte sich die Frage, welches Himmelsobjekt mit einer Zonenplatte sinnvoller Weise aufgenommen werden könnte. Das nach der Sonne flächenhellste Himmelsobjekt ist Venus. Und Venus sollte 2007 sehr gut zu beobachten sein, bis zur schmalen Sichel Ende Juli. Diese Überlegungen führten mich zur eigentlichen Aufgabenstellung des Projekts ZPPT, dem Zonenplatten- Planetenteleskop:

Lässt sich ein Zonenplatten-Teleskop bauen, mit dem die Phasengestalt der Venus abbildbar ist?

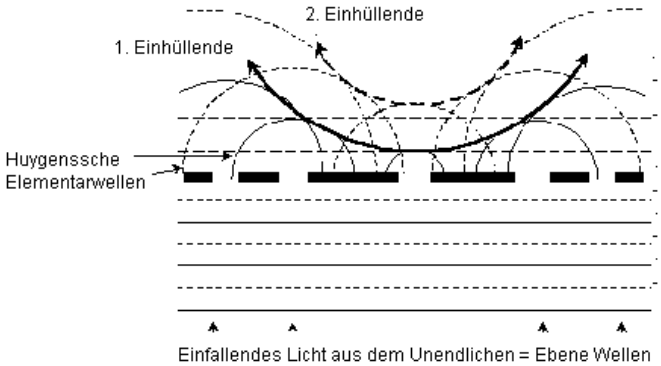
II: Optische Grundlagen

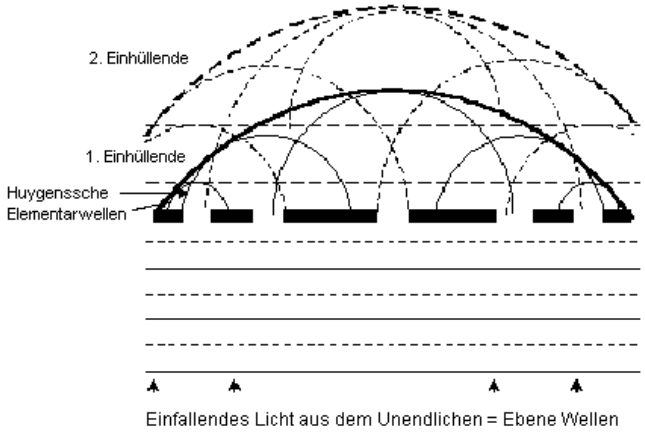
Dies ist eine Fresnellsche Zonenplatte 9. Ordnung. Die einfachste Fresnellsche Zonenplatte ist die Lochkamera, wobei das Loch die 1. Ordnung darstellt. Jeder zusätzliche Ring im das zentrale Loch repräsentiert eine zusätzliche Ordnung. An jeder der Ringblenden tritt Beugung auf, sowohl an den Übergängen von hell nach dunkel als auch von Dunkel nach hell. Für Lichtstrahlen aus dem Unendlichen ergeben sich die Durchmesser der einzelnen Ringe wie folgt:

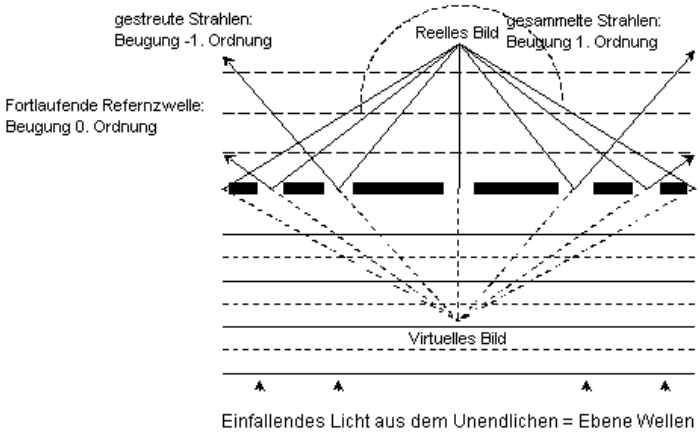
$$d_n = 2\sqrt{n\lambda f}$$

Hierbei ist n die Ordnung, λ die Wellenlänge des Lichts und f die Brennweite. Aus der Formel geht auch hervor, dass Ringkante Ringkante ist, egal ob es sich um einen Übergang von hell nach dunkel oder umgekehrt handelt. Daraus folgt, dass das Negativbild der Zonenplatte genau die gleichen Abbildungseigenschaften aufweist wie das Original!

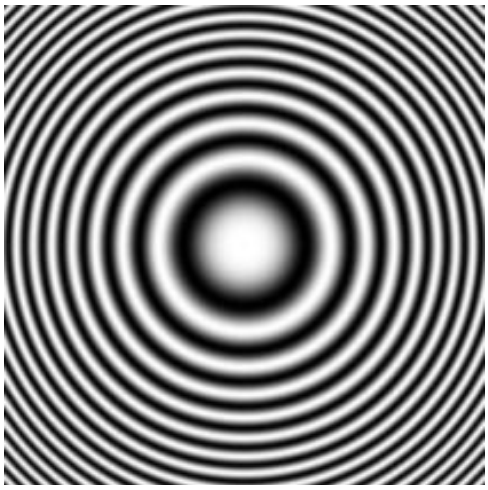
Das ist auf den ersten Blick genauso frappierend wie die Tatsache, dass eine Zonenplatte eine bestimmte Brennweite sowohl positiv, also sammelnd, als auch negativ, also zerstreuend, aufweist.







Es gibt nun einen Weg, die Abbildungseigenschaften der Zonenplatte noch weiter zu verfeinern, indem nicht ein Muster aus rein transparenten und rein opaken Ringen, wie bei den oben gezeigten binären Zonenplatten verwendet wird, sondern eine kosinusförmige Modulation der Ringe. Das sieht dann so aus:



Bei einer solchen Sinus-Zonenplatte, mitunter auch Hologrammlinse genannt, treten nicht mehr viele Brennpunkte bzw. Brennweiten auf wie bei der oben gezeigten Binär-Zonenplatte, sondern nur noch ein Brennpunkt und eine Brennweite. Daher wird neben der Auflösung auch die Lichteffizienz verbessert. Für ein Teleskop bietet sich somit eine Sinus-Zonenplatte an.

III: Dimensionierung

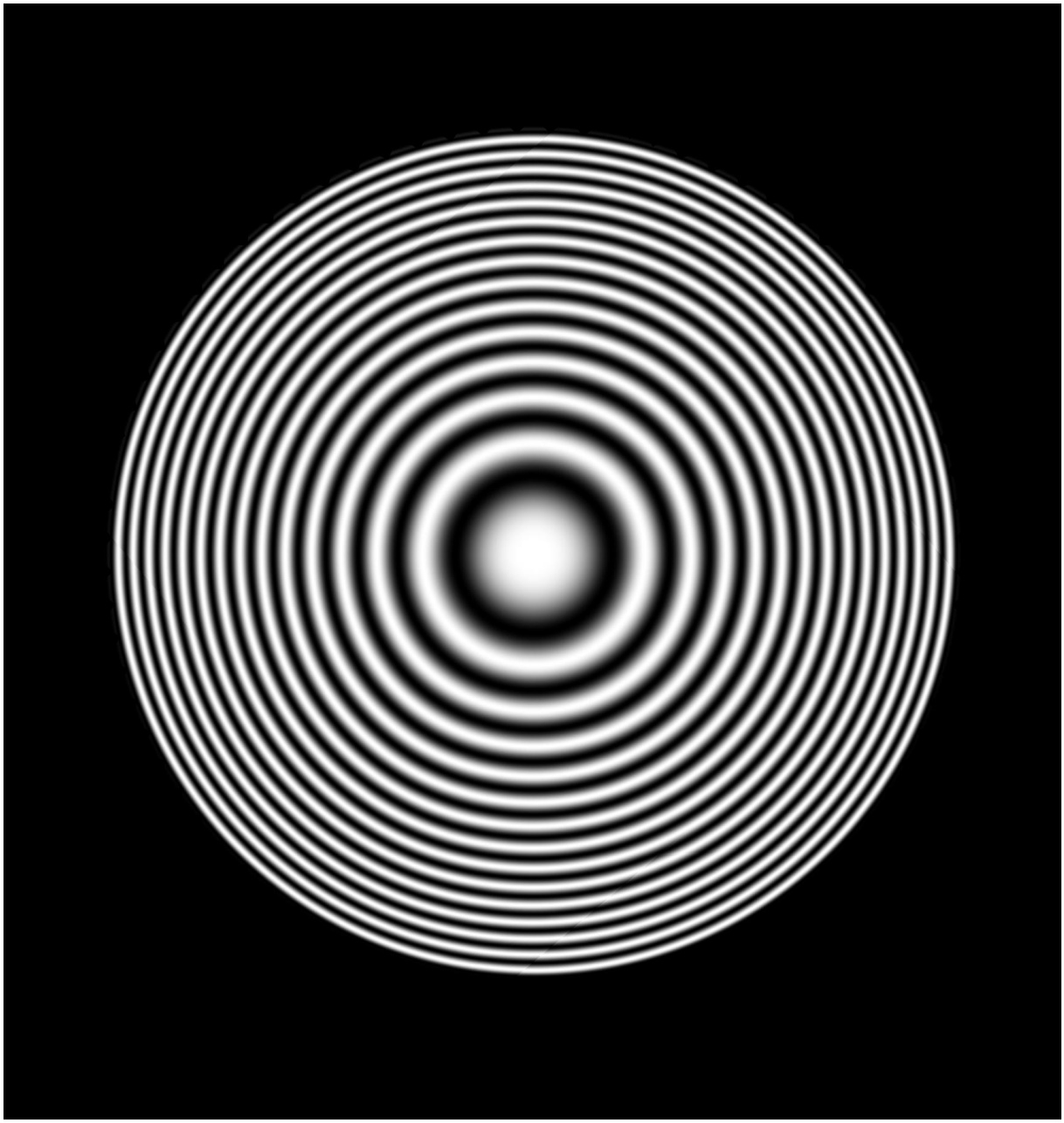
Die Aufgabenstellung für das ZPPT lautete ja, die Phasengestalt der Venus abzubilden. Venus als schmale Sichel hat eine Größe von 45" bis 60". Doch welches Auflösungskriterium sollte man zugrunde legen? Dawes-Kriterium? Rayleigh- Kriterium? Modulationsübertragungsfunktion?
Als grobe erste Annäherung wurde zugrunde gelegt, dass die Sichelform der Venus dargestellt wird, wenn die Auflösung bei einem Drittel bis einem Viertel des scheinbaren Venusdurchmessers, also bei etwa 15" liegt.

Leider fand ich bisher in der Fachliteratur keine einfache Berechnungsformel für das Auflösungsvermögen einer Kosinus-Zonenplatte. So griff ich auf meine Erfahrungen mit dem Projekt LHG, dem 2,3m-Lochblenden-Heliographen den ich beim Venustransit auf dem Wendelstein eingesetzt hatte, zurück. Damals war es gelungen, die 60" große Venusscheibe klar von der Sonne zu trennen. Hierzu hatte eine beugungsbegrenzt berechnete Lochkamera mit 2,30 m Brennweite ausgereicht. Und bei einer

Zonenplatte steigt die Auflösung noch mit der Anzahl der Ordnungen - sofern man monochromatisches Licht verwendet.

Die Venusaufnahmen sollten mit meiner SW-CCD-Kamera ATIK 1 HS II mit einem Grünfilter gemacht werden.

Eine Kosinus-Zonenplatte exakt mit dem gewünschten Durchmesser herzustellen ist nicht ganz trivial. Mit einiger Mühe konnte ich eine im Internet gefundene Grafikdatei so bearbeiten, dass ich immerhin 29 Ordnungen erhielt:

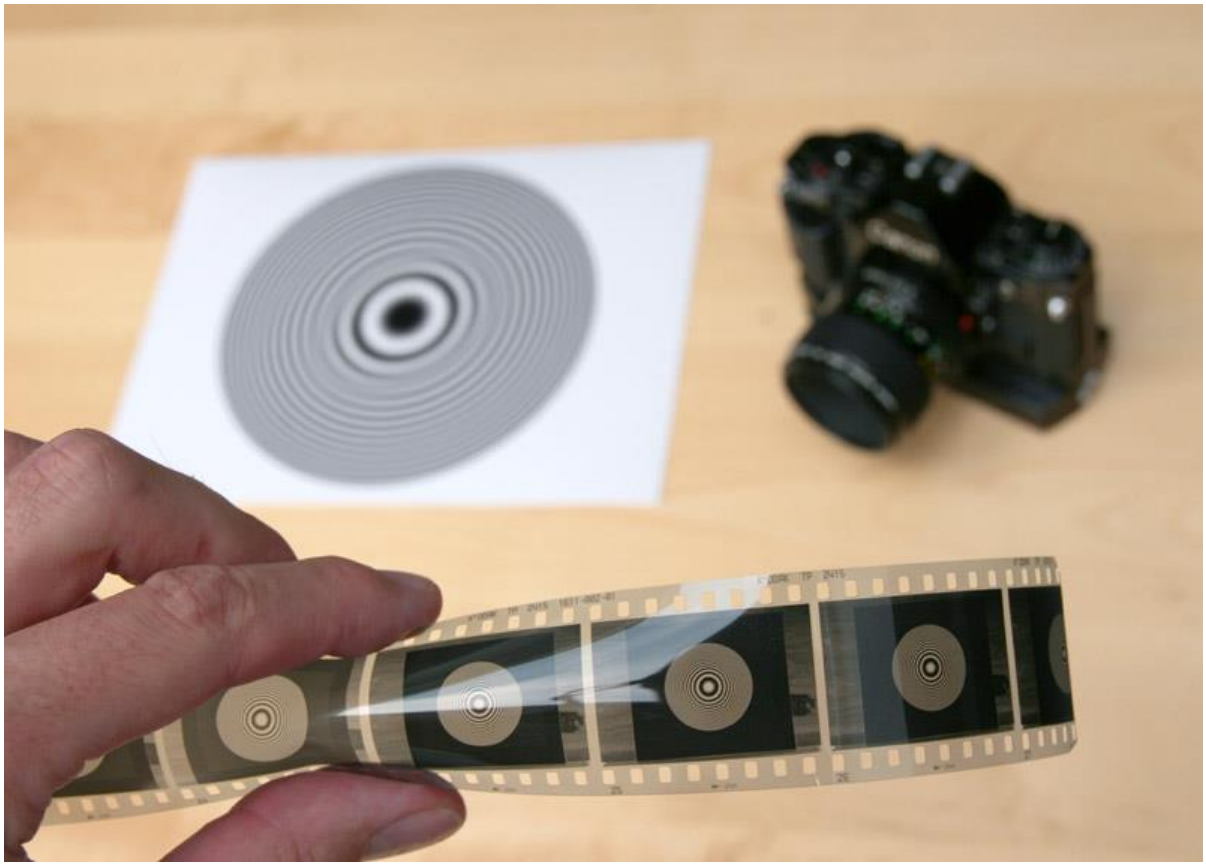


Damit lagen die Eckdaten für die Berechnung der Zonenplatte fest: die Bildweite entsprach der Tubuslänge von 4 m, als Wellenlänge wurden 540 nm für Grün angenommen, die Berechnung erfolgte für die 29. Ordnung nach der Formel:

$$r_n = \sqrt{n\lambda f}$$

Damit ergibt sich ein Durchmesser von 15,8 mm für den 29. Ring der Zonenplatte.

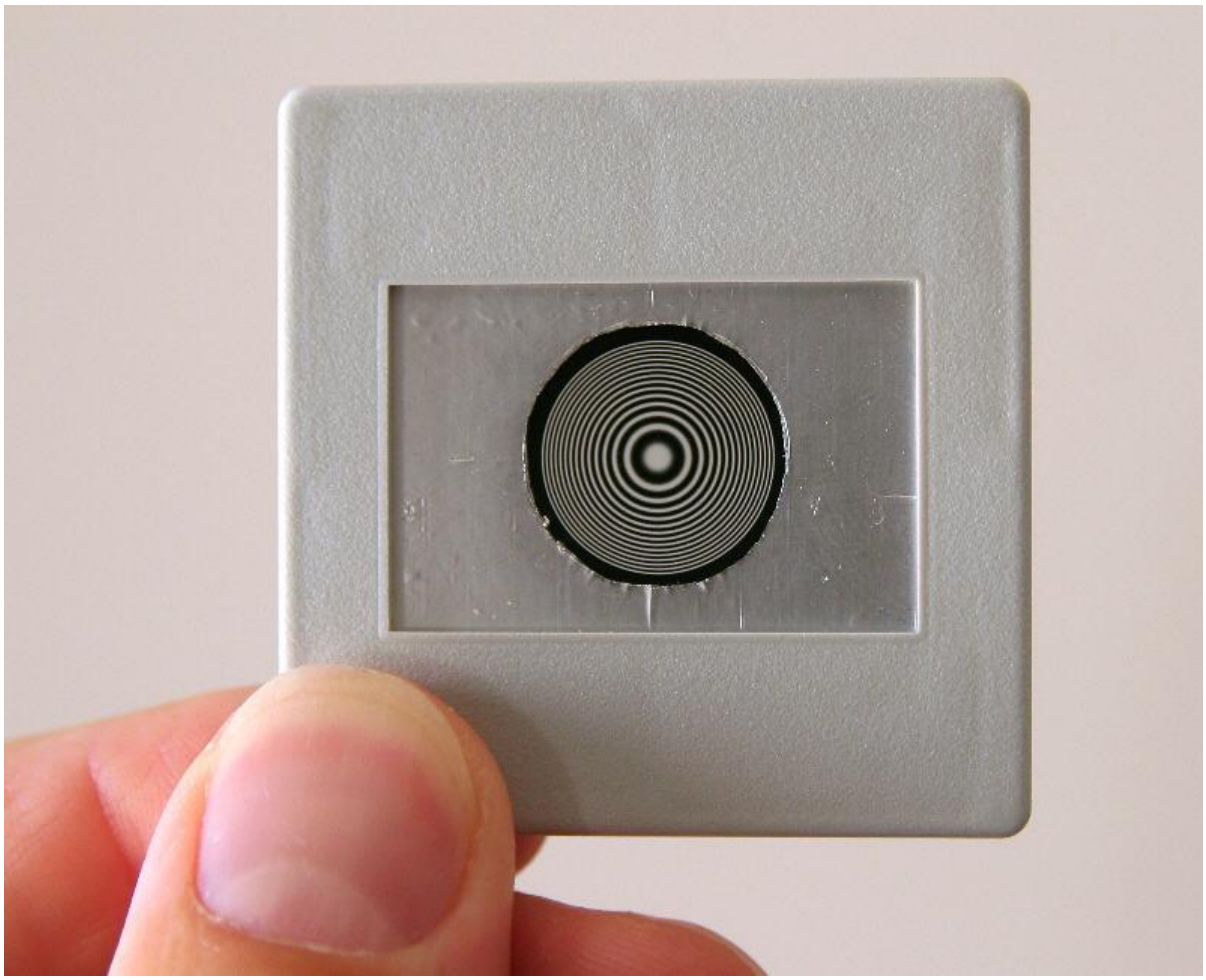
IV: Herstellung der Zonenplatte



Um die feinen konzentrischen Ringe einer Zonenplatte herzustellen bietet sich die fotografische Methode an: Man erzeugt ein 10 bis 20 mal größeres Bild der Zonenplatte und verkleinert dieses auf fotografischem Wege durch Abfotografieren. Als Aufnahmematerial bietet sich der extrem feinkörnige Technical-Pan-Film an - wenn man noch Restbestände davon hat.

Der Aufnahmeabstand lässt sich über die vereinfachte Abbildungsgleichung berechnen: B/G = f/a.
Hierbei ist B die Bildgröße, also der Durchmesser des 29. Rings der Zonenplatte auf dem Negativ, G die Gegenstandsgröße, also der Durchmesser des 29. Rings der Zonenplatte auf der Vorlage, f die Brennweite (in meinem Falle 50 mm) und a der erforderliche Aufnahmeabstand. So ergab sich für B = 15,8 mm ein Aufnahmeabstand von 60,7 cm.

Damit die klaren und die schwarzen Ringe der Zonenplatte gleich dick und die Übergänge der Schwärzung sinusförmig werden, musste der verwendete Technical-Pan-Film zu einem Gamma = 1 entwickelt werden. Nach einigen Versuchen erwies sich eine Entwicklung von 5 Minuten in Neofin-Doku 1+20 mit 3-Sekunden-Kipprythmus plus 3 Minuten in Dokumol 1+15 mit 30-Sekunden-Kipprythmus als richtig.



Hier die fertige Sinus-Zonenplatte, gefasst in einem glaslosen Diarahmen. Der Bereich außerhalb der Ringe ist zusätzlich noch mit rund ausgeschnittener Alufolie abgedeckt. Der Diarahmen wird in eine entsprechende Klemmvorrichtung am vorderen Tubusende eingeschoben.

V: Bau des Tubus

Aus der schieren Länge des Tubus von 4 Meter ergab sich eine starke Empfehlung für den Beobachtungsort: Ich beschloss, den Tubus gleich in der Werkhalle vor den Studios unserer Filmhochschule in München-Giesing zu bauen und die Beobachtungen vom Garten der Hochschule aus zu machen.

Zuerst wurde das Papprohr innen mit Dispersionsfarbe geschwärzt, was freundlicherweise unser Studiotechniker, Herr Schaberl, übernahm. Außen strich ich den Tubus mit Klarlack. Dies hatte vor allem den Zweck, die Pappe des Rohrs zu versteifen und wasserabweisend zu machen. Da sich das Papprohr bei einer Montage im Mittelpunkt zu stark durchbiegt, wurde ein 2 m langes L-Profil aus einem Brett und einer Dachlatte gefertigt, an dem der Tubus mit Kabelbindern befestigt wurde.

Links der durch vier Kabelbinder mit dem Holzprofil verbundene Tubus. Nur der Frontdeckel mit der Klemmvorrichtung für die Zonenplatte fehlt noch. Rechts der Okularanschluss mit einem 40mm-Okular und der ATIK 1 HS II an einem Flip-Mirror.

Technischen Daten ZPPT:

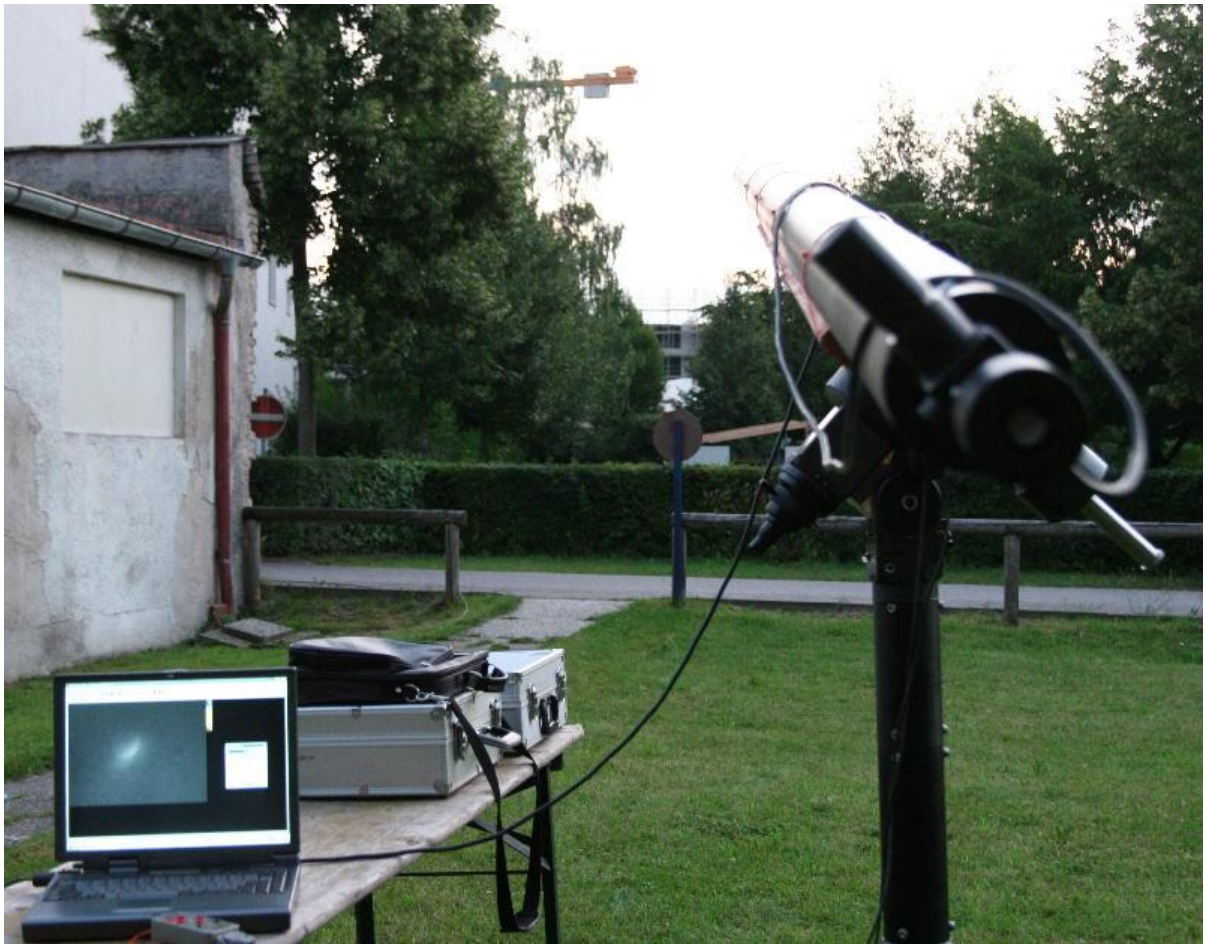
Optisches System	Fotografisch erzeugte Sinus-Zonenplatte mit 29 Ordnungen
Durchmesser der höchsten Ordnung	15,8 mm
Brennweite (= Tubuslänge)	4 m
Tubusaußendurchmesser	117 mm
Material des Tubus	Pappe, 5 mm Wandstärke; Holzverstärkung
Gewicht OTA	ca. 6.0 kg
Bauzeit	April 2007 bis Juni 2007
Materialkosten	ca. 35.- €

VI: First Light und Second Light

Sonntag Abend, den 15. Juli, war es endlich wieder wolkenlos. Allerdings stand Venus bei Sonnenuntergang nur noch 12° über dem Horizont. Dennoch baute ich das ZPPT im Garten der Hochschule für Fernsehen und Film auf. Kurz vor Sonnenuntergang erblickte ich ein schwaches grünes, bananenförmiges Fleckchen im 40mm-Okular: die Venussichel! Zu diesem Zeitpunkt hatte Venus einen Durchmesser von 40" und eine Phase von 0.238. Im Garten unserer Filmhochschule feierte gerade ein Filmteam Drehende. Schnell rief ich den Herstellungsleiter der Spielfilmabteilung, Herrn Hans-Joachim Köglmeier, ans Okular. Er bestätigte meine Beobachtung.

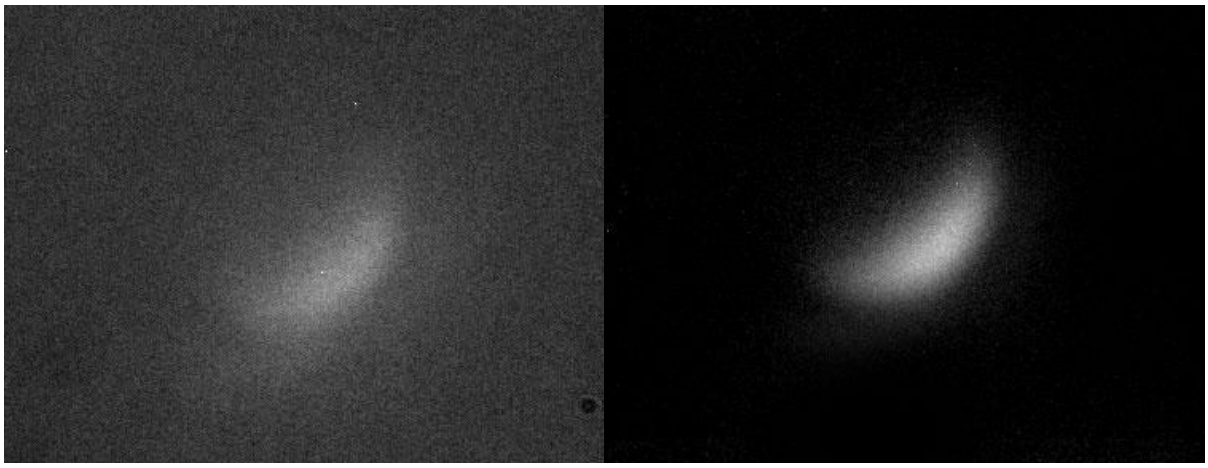
Fotos: Ulrich Oberländer

Doch so schnell ich auch versuchte, die kleine Venussichel ins Blickfeld der ATIK-CCD-Kamera zu bekommen: schon war sie hinter den Bäumen verschwunden. Nun wurde die Zeit wirklich knapp. Jeden Abend sank Venus tiefer und das bisher wolkenlose Wetter drohte zu kippen. So machte ich bereits einen Abend später, am 16.7.2007, den zweiten Versuch. Und tatsächlich: Wieder war die kleine grüne Venusbanane gut zu sehen. Diesmal war unser Elektriker, Herr Ulrich Oberländer, mein Beobachtungszeuge. Und diesmal brachte ich Venus auch bald genug ins Bildfeld meiner ATIK 1 HS II, zu sehen auf dem Laptop:



Zwischen 21:11 und 21:30 MESZ konnte ich mehrere Aufnahmeserien machen. Bei 8 Sekunden Belichtungszeit wurden insgesamt 14 scharfe Aufnahmen erzielt, die später kontrastkorrigiert, aufaddiert und unscharf maskiert wurden.

Damit ist das Experiment ZPPT geglückt: Schon auf den Rohbildern ist die Sichelform deutlich zu erkennen!



Rohbild Überlagerung aus 14 Bildern; bearbeitet

Nach der erfolgreichen Venusbeobachtung mit dem 4m-ZPPT stellt sich die Frage nach neuen Herausforderungen mit dem Zonenplattenteleskop. Denkbar ist die Beobachtung von Sonnenflecken. Möglich erscheint auch eine deutliche Verbesserung der Auflösung durch eine Zonenplatte mit deutlich mehr Ringen. Eine solche wurde mir bereits von Anton Kraus, Köln, zur Verfügung gestellt...

Fortsetzung folgt

Literatur:

- W. Richter/ H. Haferkorn: „Synthese optischer Systeme"; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1984
- E. Hecht: „Optik"; Oldenbourg Verlag, München 2005

Peter C. Slansky 26.6.2007

http://www.peter-slansky.de/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/aufnahmetechniken09a.html

Epilog

Auf der 28. Planeten- und Kometentagung in Violau vom 29.5. bis 2.6. 2008 präsentierte und demonstrierte ich das ZPPT. Dafür war zuvor allerdings der praktische Beweis zu erbringen, dass das Gerät (natürlich zusammen mit der Montierung und den wichtigsten Zubehörteilen, vom sonstigen Gepäck ganz zu schweigen) in meinen Porsche passte. Doch mein geliebter, damals 22 Jahre alter 944 enttäuschte mich auch dieses Mal nicht…