



**ASTRONOMISCHER ARBEITSKREIS KASSEL E.V.**

**34. Jahrgang**

**Nummer 101**

**April 2006**

# **Totale Sonnenfinsternis in der Türkei**



**Sonnenaktivität 2005 • Marskarte 2005  
Konjunktion und Opposition von Planeten  
Quantenmechanische Experimente mit einzelnen Photonen**

## Inhaltsverzeichnis

Klaus-Peter Haupt <b>Liebe Mitglieder.....</b>	<b>3</b>
---	----------

### *Beobachtungen*

Roland Hedewig <b>Sonnenaktivität von Juli 2005 bis März 2006.....</b>	<b>6</b>
Manfred Chudy <b>Sonnenfleckenbeobachtung 2005.....</b>	<b>11</b>
Roland Hedewig <b>Eine Marskarte der Opposition von 2005.....</b>	<b>12</b>
Wulfried Heidrich <b>Neue Marsschleife.....</b>	<b>21</b>

### *Berichte*

Wulfried Heidrich <b>Konjunktion und Opposition von Planeten.....</b>	<b>24</b>
Christoph Muster, Jonas Schmöle und Jens Pfeifer <b>Quantenmechanische Experimente mit einzelnen Photonen.....</b>	<b>27</b>

### *Verschiedenes*

Christian Hendrich <b>Beobachtungshinweise.....</b>	<b>42</b>
Bianca Krohn <b>Rezension: Albert Einstein und seine Relativitätstheorie.....</b>	<b>43</b>
Bianca Krohn <b>Gewinnspiel.....</b>	<b>43</b>
<b>Unser Programm von September bis Dezember 2005.....</b>	<b>46</b>

**Titelbild:** Sonnenfinsternis 29.3.2006 in der Türkei, aufgenommen von Marcus Schüler mit Canon EOS 300D auf ruhendem Fotostativ, 18mm Brennweite (28mm auf Kleinbild umgerechnet). 1/4000stel Sekunde Belichtungszeit bei Blende 8 mit fotografischem Objektivfilter. Die Aufnahmen wurden im 5-Minuten-Abstand zwischen 1. und 4. Kontakt gemacht. Anschließend wurden die Bilder in Photoshop übereinandergelegt und dann noch auf ein separat erstelltes Vordergrundmotiv montiert.

### *Liebe Mitglieder.....*

Zum ersten Mal ist an der Sternwarte Calden (und in vielen Stunden am häuslichen Computer) eine Jugend forscht – Arbeit entstanden. Moritz Mihm hat zusammen mit Constantin Bär mit der CCD – Kamera Quasare fotometriert und die Lichtkurven nach periodischen Variationen untersucht. Das neu entwickelte Verfahren konnte sogar die differentielle Sonnenrotation beweisen.

Die Arbeit hat sich auf dem Regionalwettbewerb zum Landeswettbewerb qualifiziert und wurde dort mit Platz 2 in Geo- und Raumwissenschaften bedacht. Die Entscheidung war knapp, denn die Jury hat der Arbeit Bundesformat zugesprochen. Deswegen treten die beiden nächstes Jahr mit gewichtigen Erweiterungen neu an ...und deswegen wird diese Arbeit erst nächstes Jahr in der KORONA veröffentlicht.

Aber es gibt in dieser KORONA würdigen Ersatz. Denn der PhysikClub, in dem alle 6 Jugend- forscht Arbeiten betreut wurden, hat den Landessieger im Fach Physik gestellt. Diese Arbeit über Quantenmechanik wird Sie als Leser überraschen, klar und stringent werden Sie an eine sehr wahrscheinliche Fehlinterpretation eines klassischen Experimentes geführt und erfahren dabei viel über die „Welt der Quanten“. Die in der KORONA veröffentlichte Arbeit ist die korrigierte Version des Landeswettbewerbs. Im Moment werden mit Avalanche Photodioden (Stückpreis 3000.- €) Messungen gemacht. Zusammen mit einem Pico-Sekunden-Laser haben sie den Nachweis einzelner Photonen gebracht. Dabei konnte eine Zeitauflösung von 0,1 ns erreicht werden. Es lassen sich so Photonen bei Intensitäten nachweisen, bei denen das Filmmaterial nicht mehr anspricht. Für weitere Untersuchungen wurde eine thermische Lichtquelle gebaut, deren Intensität vergleichbar geregelt werden kann. Auch hier lassen sich einzelne Photonen registrieren. Der Nachweis mit Filmmaterial steht zur Zeit (17.4.) noch aus. Um den Bunching - Effekt nachzuweisen, wird mit Hilfe eines halbdurchlässigen Spiegels und einer zweiten AP-Diode ein Experiment aufgebaut. Wenn Sie die Ergebnisse hören wollen, kommen Sie einfach am 12.5. zum Freitagsvortrag.

Unser Mitglied Heiko Engelke ist mit seinem freibeweglichen Roboterarm (der auch einen Griff über die Schulter kann) ebenfalls zum Landessieger (Fachbereich Technik) gekürt worden.

Die anderen Arbeiten über Biologie und Informatik haben leider nur mittlere Platzierungen erhalten, dass aber auch diese Arbeiten eine sehr hohe Qualität besitzen, davon haben sich viele von Ihnen ja bei den Vorträgen im März überzeugen können.

Nun kommen wir zur „Welt der Quanten“....so lautet auch der Name unseres Workshops im Juni, zu dem sich noch wenige Personen anmelden können.

Wenn alles gut geht, werden wir am Tag der offenen Tür am 1.Mai die neue Montierung in der Newton – Kuppel einweihen können. Dann ist die Sternwarte voll elektronisiert....in beiden Kuppeln kann Computer unterstützt gearbeitet, registriert, eingestellt und beobachtet werden.

Ihr KP Haupt

## Totale Sonnenfinsternis in der Türkei

Christian Hendrich

Am 29. März 2006 fand wieder eine totale Sonnenfinsternis statt, die in Teilen Europas sichtbar war. Der Kernschatten traf erstmals um 8:36 UT über Brasilien auf die Erdoberfläche. Nach der Überquerung des Atlantiks traf der Schatten auf die Küste Ghanas und erreichte schließlich über der Lybischen Wüste die große Dauer von 4 Minuten und 6 Sekunden. Danach überschritt der Kernschatten das Mittelmeer und traf auf die türkischen Küste bei Antalya. Hierhin, genaugenommen nach Belek/Türkei waren fünf AAK-Mitglieder gereist, namentlich R. Gerstheimer, M. Hämmerling, F. Kirchner, M. Lambrecht, M. Schüler, um die 3 Minuten 42 Sekunden dauernde Verfinsterung zu beobachten. Einige Fotoaufnahmen des Ereignisses wurden der Redaktion zugesandt (leider ohne Bericht, wirklich schade) und sind im folgenden abgebildet.



Foto: Frank Kirchner, Kamera: Canon EOS20D, Brennweite: 500mm, Blende: 11, Belichtungszeit: 1/15s, ISO: 200



Foto: Marcus Schüler, Details siehe Seite 2 unten

## Sonnenaktivität von Juli 2005 bis März 2006

Roland Hedewig

2006 ist das Jahr eines Sonnenflecken-Minimums, das alle 11 Jahre eintritt. Aber die Sonne überraschte uns seit Juli 2005 durch mehrere Aktivitätsausbrüche, denen ein starkes Absinken der Aktivität mit fleckenfreien Tagen folgte. Die Sonne war also, wie bereits von November 2004 bis Juni 2005 (s. KORONA 99, S.10-14) trotz des deutlichen Abstiegs zum Minimum wieder sehr unruhig.

### Einzelbeobachter und SONNE-Netz

Dieser Bericht enthält die Ergebnisse meiner Sonnenbeobachtungen vom 26. Juni 2005 bis 22. März 2006. Beobachtet wurde mit dem 80/1200 mm-Refraktor (Zeiss-AS-Objektiv) mit Objektiv-Glassonnenfilter bei 80-facher Vergrößerung. Die ermittelten Sonnenflecken-Relativzahlen (Re) wurden mit dem Reduktionsfaktor 0,794 multipliziert und auf diese Weise reduziert. Diesen Faktor ermittelten Bearbeiter des SONNE-Netzes für mich für das Jahr 2005 (SONNE 114, Juni 2005, S. 54). Auf diese Weise sind meine Werte mit denen des SONNE-Netzes vergleichbar, die sich als Mittelwerte der Relativzahlen zahlreicher Beobachter ergeben. Der Reduktionsfaktor, der für jeden Beobachter des SONNE-Netzes jedes Jahr neu ermittelt wird, ist abhängig von der Größe und Qualität des Teleskops und der Erfahrung des Beobachters.

Die nach wenigen Tagen im Internet veröffentlichten „Provisorischen Relativzahlen“ sind Mittelwerte, die sich aus Einzelwerten von ca. 30 Beobachtern ergeben. Dagegen gehen die in der Zeitschrift SONNE viele Monate später veröffentlichten „Definitiven Relativzahlen“ auf Einzelwerte von zuletzt 94 Beobachtern zurück (SONNE 114, 2005).

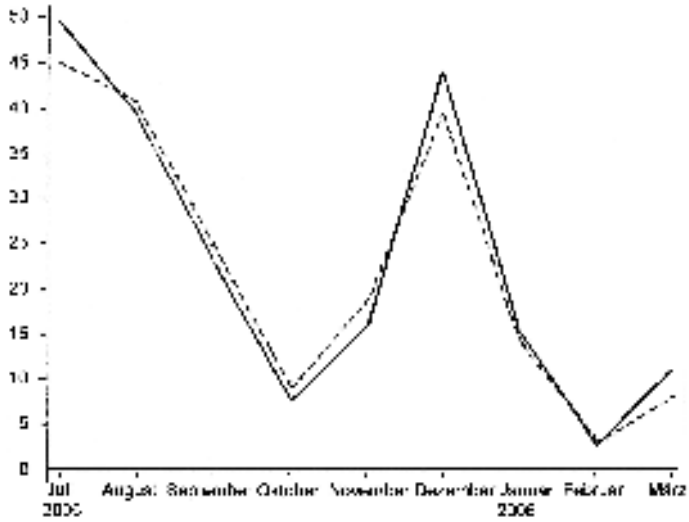
### Der wellenförmige Abstieg zum Minimum

Tabelle 1 und Abb.1 zeigen die Monatsmittel der Relativzahlen von Juni 2005 bis Februar 2006 und vom 1. bis 22. März 2006, dem Tag der Abfassung dieses Berichtes.

		Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März
Anzahl	Hedewig	20	26	16	24	14	8	17	7	11
	Netz	31	31	30	31	30	31	31	28	12
Mittel	Hedewig	49,0	39,3	22,9	7,7	16,0	44,0	16,0	3,4	11,3
	Netz	45,0	40,4	24,7	8,3	18,5	39,8	15,5	3,6	7,8

**Tabelle 1:** Anzahl der Beobachtungen und Monatsmittel der Sonnenflecken-Relativzahlen von Juli 2005 bis Februar 2006 und vorläufiges Zweidrittel-Monatsmittel vom 1.- 22.3. 2006 (Hedewig) bzw. 1.- 19.3. 2006 (Netz)

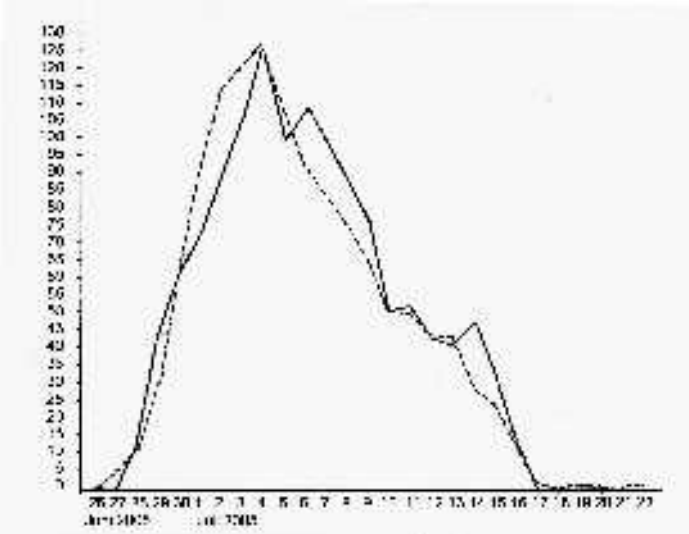
Die Übereinstimmung der Monatsmittel des SONNE-Netzes mit meinen Werten ist diesmal größer als je zuvor. Zum Vergleich liegen außerdem für Juli 2005 Beobachtungen von Manfred Chudy in KORONA 99, S. 7, und für Juli bis September 2005 von Holl und Kopowsky in STERNZEIT 1/2006, S. 33-35, vor.



**Abb. 1:** Monatsmittel der Sonnenfleckenrelativzahlen von Juli 2005 bis 22. März 2006  
 — Hedewig, reduziert, (bis 22. März), ----- SONNE-Netz (bis 19. März)

**Ereignisse von Juli 2005 bis März 2006**

Vom 26. Juni bis 4. **Juli** 2005 stieg die Sonnenflecken-Relativzahl von 0 auf 125 steil an und fiel danach bis 17. Juli wieder auf Null (Abb. 2) . Die Anzahl der Fleckengruppen betrug 0 bis 8.



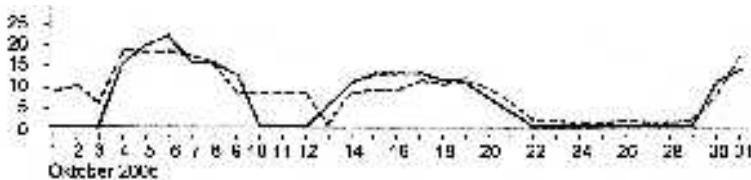
**Abb. 2:** Tageswerte der Sonnenfleckenrelativzahlen vom 26. Juni bis 22. Juli 2005  
 — Hedewig, reduziert, (bis 22. März), ----- SONNE-Netz (bis 19. März)

Allerdings kann man aus diesem Kurvenverlauf noch nicht folgern, dass die Aktivität der gesamten Sonne diesen Verlauf zeigt, denn man sieht immer nur knapp eine Sonnenhälfte. Während auf der uns zugewandten Seite der Sonne die Relativzahl sehr groß ist, kann sie auf der Rückseite sehr gering sein. Dafür spricht im Juli 2005 die Tatsache, dass eine halbe Sonnenrotation (12-13 Tage) nach dem Maximumstag 4.7., also am 17.7. und an den Tagen danach, die Relativzahl bei Null lag.

Im **August** schwankten die Tagesrelativzahlen zwischen 16 und 90, die Anzahl der Gruppen betrug 1 bis 5. Fleckenfreie Tage gab es nicht.

Im **September** lagen die Relativzahlen bei 18 bis 54 und die Anzahlen der Fleckengruppen nur bei 1 bis 2. Fleckenfreie Tage fehlten.

Im **Oktober** sank die Sonnenaktivität ganz erheblich. Das zeigt der Vergleich der Abbildungen 2 und 3, die im gleichen Maßstab gezeichnet sind.. Die Relativzahlen lagen nur bei 0 bis 28, die Anzahlen der Gruppen bei 0 bis 1.



**Abb. 3:** Tageswerte der Sonnenfleckenrelativzahlen im Oktober 2005  
 — Hedewig, reduziert, (bis 22. März), - - - - - SONNE-Netz (bis 19. März)

Nach Angaben des SONNE-Netzes waren von 31 Tagen 4 Tage fleckenfrei. Für weitere 4 Tage wird die Relativzahl 1 angegeben. Da bei Vorhandensein nur einer Gruppe mit nur einem Fleck die Relativzahl 11 gilt ( $Re = 10g + f$ ), bedeutet Relativzahl 1, dass z.B. von 8 bis 20 Beobachtern nur einer einen Fleck sah, denn  $11: 8 = 1,4$ , ...,  $11: 20 = 0,55$ . Die Zahlen von 1,4 bis 0,55 werden alle auf 1 ab- bzw. aufgerundet. Wenn dieser Beobachter noch dazu ein kleineres Instrument benutzte als mehrere andere Beobachter, die keinen Fleck sahen, kann man annehmen, dass die Wahrnehmung des einen Flecks auf einer Täuschung beruhte oder dass dieser Fleck nur sehr kurze Zeit zu sehen war und die anderen Beobachter zu einer anderen Tageszeit beobachteten.

Im **November** stieg die Sonnenaktivität wieder an. Die Tagesrelativzahlen lagen bei 0 bis 20, die Gruppenanzahlen meist bei 1, am 1.11. bei 2. Der 10. und 12.11. waren fleckenfrei.

Im **Dezember** überraschte die Sonne wieder durch einen starken Anstieg der Relativzahlen. Sie lagen bei 4 bis 35. Fleckenfreie Tage gab es nicht.

Im **Januar** 2006 sank die Aktivität wieder steil ab. Die Relativzahlen lagen bei 0 bis 32. Fleckenfrei waren der 13. und 28. bis 31. Januar.

Im **Februar** sank die Aktivität extrem tief. Die Relativzahlen betrugten 0 bis 15. Fleckenfrei waren 15 Tage (SONNE-Netz, Beck-Index). Angesichts des Monatsmittels von  $Re = 4,3$  (Hedewig) bzw.  $Re = 3,6$  (Netz) erschien das Minimum erreicht zu sein.

Auch die ersten 11 Tage des **März** schienen diese Annahme zu bestätigen. Dann aber tauchte am 12. März die B-Gruppe 10859 auf, die sich bis 21.3. zu einer D-Gruppe mit 22 Flecken entwickelte, so dass die Relativzahl 32 betrug. Das Relativzahl-Mittel des Zeitabschnitts 1.-22. März liegt mit  $Re = 12,6$  deutlich über dem Monatsmittel vom Februar.



**Aktivitäten auf der Nord- und Südhalbkugel der Sonne**

		Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mittel
<b>Nord</b>	Hedewig	1,8	1,5	0,7	0,5	0,5	1,0	0,4	0,0	0,8
	Netz	1,4	1,2	0,5	0,2	0,0	1,3	0,5	0,1	0,7
<b>Süd</b>	Hedewig	1,1	1,1	0,7	0,3	0,5	2,0	0,5	0,3	0,8
	Netz	1,1	1,2	0,8	0,4	1,1	1,5	0,5	0,2	0,9

**Tabelle 2:** Monatsmittel der Anzahl der Fleckengruppen auf der Nord- und Südhalbkugel der Sonne von Juli 2005 bis Februar 2006. Werte von R. Hedewig reduziert mit Gruppen-Reduktionsfaktor  $k = 0.881$

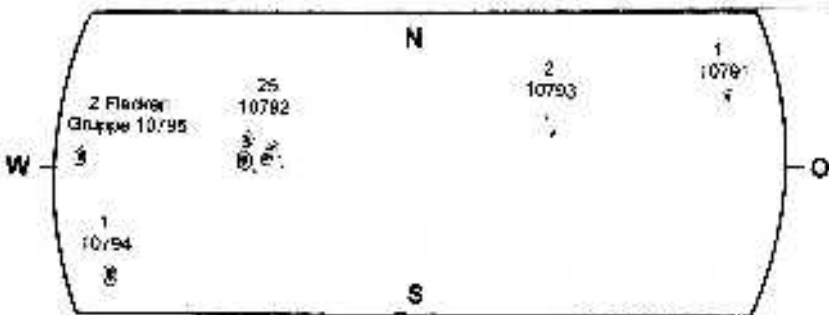
Da den Werten des SONNE-Netzes wesentlich mehr Einzelbeobachtungen zugrunde liegen als meinen Werten, kommt den Netz-Werten eine größere Bedeutung zu. Nach diesen Werten war die Anzahl der Fleckengruppen auf der Südhalbkugel der Sonne um 30,9 % höher als auf der Nordhalbkugel.

Wichtiger ist die Verteilung der Relativzahlen auf beide Halbkugeln (Tabelle 3). Legt man die Netz-Werte der Mittelwertbildung zugrunde, so waren die Relativzahlen auf der Südhalbkugel 40,2 % größer als auf der Nordhalbkugel.

		Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mittel
<b>Nord</b>	Hedewig	30,4	22,4	9,6	2,8	9,2	12,2	5,5	0,0	11,5
	Netz	25,5	21,5	6,6	2,6	0,3	17,8	6,2	0,9	10,2
<b>Süd</b>	Hedewig	18,6	16,8	13,2	5,6	7,2	32,0	10,8	3,4	13,4
	Netz	19,6	18,9	18,2	5,6	18,2	22,0	9,2	2,7	14,3

**Tabelle 3:** Monatsmittel der Flecken-Relativzahlen auf der Nord- und Südhalbkugel der Sonne von Juli 2005 bis Februar 2006. Werte von R. Hedewig reduziert mit Flecken-Reduktionsfaktor  $k = 0.794$

Die Anzahl der Fleckengruppen war Anfang Juli 2005 am größten. Abb. 4 in KORONA 99, S. 12, zeigt die 8 Gruppen vom 4. Juli. Auch Anfang August 2005 war die Anzahl der Gruppen noch groß. Die folgende Abb. 4 zeigt die 5 Gruppen vom 1. August.



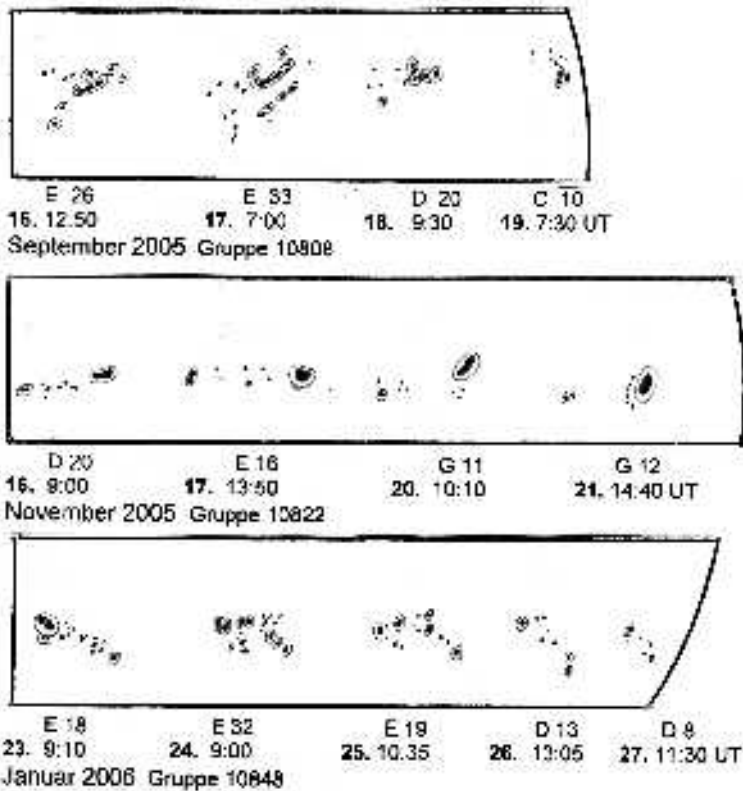
**Abb. 4:** Sonnenflecken am 1. August 2005, 12:00 Uhr UT

Typisch für das Ende eines Sonnenfleckenzyklus ist die Anordnung der Fleckengruppen in Äquatornähe. Das war auch von Juli bis März 2006 der Fall. Deutlich wird das in den Zeichnungen vom 4. Juli 2005 (KORONA 99,S.14) und vom 1. August 2005 (Abb. 4). Auch die jüngste, seit 14. März 2006 vorhandene Gruppe, die von 2 Flecken am 14.3. auf 22 Flecken am 21.3. anwuchs, liegt ganz in der Nähe des Sonnenäquators.

### Bemerkenswerte Sonnenfleckengruppen

Die für eine hohe Sonnenaktivität typischen F-Gruppen traten von Juli 2005 bis März 2006 erwartungsgemäß nicht auf. Die große Gruppe Nr. 10848 vom 23.-25. Januar 2006, die ich ursprünglich als F-Gruppe ansah, erwies sich als E-Gruppe, die am 26.1. zur D-Gruppe wurde.

In dieser Gruppe sah ich am 24. Januar 32 Einzelflecken, davon 7 mit Penumbra (Abb 5 c). E-Gruppen konnte ich vom 3.-6.7., 3., 16. und 17.9. und am 17.11. beobachten (Abb. 5 a, b).



**Abb. 5:** Veränderung von drei großen Sonnenfleckengruppen in wenigen Tagen  
C, D, E, G: Fleckengruppenklassen nach Waldmeier,  
Zahlen dahinter: Anzahl der Einzelflecken in der Gruppe

Bemerkenswert ist der schnelle Wechsel in der Anordnung und Form der Einzelflecken in Gruppe 10808 in der Zeit vom 16. bis 19.9.2005 (Abb. 5 a). Drei Einzelflecken, die am 16.9. in einer gemeinsamen Penumbra hintereinander lagen, waren am 17.9. zu einem langen, schmalen Fleck verschmolzen, der sich am 18.9. wieder in Einzelflecken aufgelöst hatte. Ein sehr großer Fleck war vom 16. bis 21.11.2005 in Gruppe 10822 zu sehen (Abb. 5 b).

### Literatur und Quellen

Chudy, M.: Sonnenflecken Juli 2005. Korona 100, Januar 2006, S. 7

Hedewig, R.: Sonnenaktivität von November 2004 bis Juli 2005. Korona 99, Sept. 2005, S. 10-14

Holl, M. / Kopowski, E.: Was war los auf der Sonne im 3. Quartal 2005? Sternzeit 1/2006, S. 33-35

SONNE Sunspot Numbers. Provisional sunspot numbers June 2005 – March 2006

[http://www.vds-sonne.de/gem/res/provrel/rp\\_0605.1st-rp\\_0306.st](http://www.vds-sonne.de/gem/res/provrel/rp_0605.1st-rp_0306.st)

Internet-Suchwort: "Provisorische Relativzahlen"

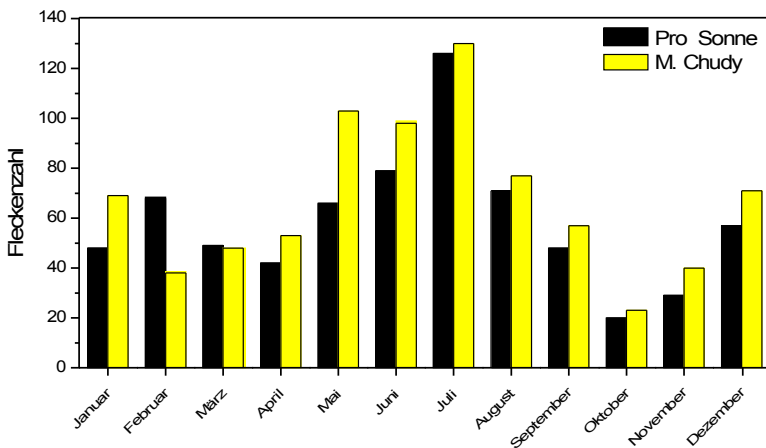
Prof. Dr. Roland Hedewig, Am Krümmershof 91, 34132 Kassel, r.hedewig@t-online.de

---

## Sonnenfleckenbeobachtung 2005

Manfred Chudy

In diesem Artikel sind die von M. Chudy ermittelten Sonnenflecken für das Jahr 2005 zusammengefaßt. Aufgetragen sind die **nicht** um den k-Faktor reduzierten Monatshöchstrelativzahlen. Insgesamt ergibt sich wieder eine gute Übereinstimmung mit den Werten vom SonneNetz.



## Eine Marskarte der Opposition von 2005

Roland Hedewig

In KORONA 100 veröffentlichte Ralf Gerstheimer einen Kurzbericht über die Marsopposition 2005 mit einer Fotomontage auf der Titelseite, die seine farbigen Marsfotos in der relativen Größe und Lage zeigt, die der scheinbaren Marsbahn vom 23.6. bis 10.12. 2005 von der Erde aus gesehen entspricht. In seinem Bericht beschreibt er den Vorgang der Aufnahme und die Bildbearbeitung mit dem Programm „Giotto“.

Herr Gerstheimer stellte mir farbige Papierbilder von 18 Marsfotos der Zeit vom 19.6. bis 12.11. 2005 für die Auswertung zur Verfügung. Der große Detailreichtum dieser Fotos veranlasste mich, die Details der Fotos in einer Gesamtkarte zeichnerisch darzustellen. Das Ergebnis ist die in diesem Beitrag veröffentlichte Marskarte für 2005.

### Beobachtungsbedingungen

Die Marsopposition von 2005 war eine Perihel-Opposition, d.h., dass sich Mars während seiner Erdnähe auf seiner elliptischen Bahn gleichzeitig in Sonnennähe befand und dabei der Erde seinen Südpol zuneigte. Folglich liegen alle Details der Südhalbkugel im Gesichtsfeld des Beobachters, während die Objekte in der Nähe des Nordpols nicht gesehen werden können (vgl. Abb. bei Schambeck 1998, S. 171). Während der Opposition von 2005 waren deshalb Objekte nördlich 40° Breite nur undeutlich und nördlich 50° Breite gar nicht mehr zu erkennen.

Da Mars bei Perihel-Oppositionen der Erde näher ist als bei Aphel-Oppositionen und die meisten interessanten Details auf Mars zwischen 25° Nord und 60° Süd liegen, sind Perihel-Oppositionen für Beobachter ergiebiger als Aphel-Oppositionen.

Opposition		Größe Erdnähe		
Datum	Deklination	Datum	Entf. in Mio km	Äqu.-Durchm.
1993 Jan. 7	+ 26° 16'	1993 Jan. 3	93,7	14,95 ''
1995 Feb 12	+ 18° 10'	1995 Feb 11	101,1	13,85 ''
1997 Mar 17	+ 4° 40'	1997 Mar 20	98,6	14,20 ''
1999 Apr 24	- 11° 37'	1999 Mai 1	86,5	16,18 ''
2001 Jun 13	- 26° 30'	2001 Jun 21	67,3	20,79 ''
2003 Aug 28	- 15° 49'	2003 Aug 27	55,8	25,11 ''
2005 Nov 7	+15° 54'	2005 Oct 30	69,4	20,17 ''
2007 Dec 24	+ 26° 48'	2007 Dez 18	88,1	15,88 ''

**Tabelle 1:** Oppositionen von Mars 1993 - 2007 (aus Schambeck 1998, S. 170)

Tabelle 1 zeigt, dass Mars während der letzten drei Mars-Oppositionen 2001, 2003 und 2005 mehr als 20'' Durchmesser aufwies, während die vorhergehenden Oppositionen von 1993 bis 1999 Aphel-Oppositionen mit scheinbaren Durchmessern zwischen 13,85'' und 16,18'' waren. Die nächste Opposition im Dezember 2007 wird wieder eine Aphel-Opposition sein, wobei der Äquatordurchmesser bei nur 15,88'' liegt.

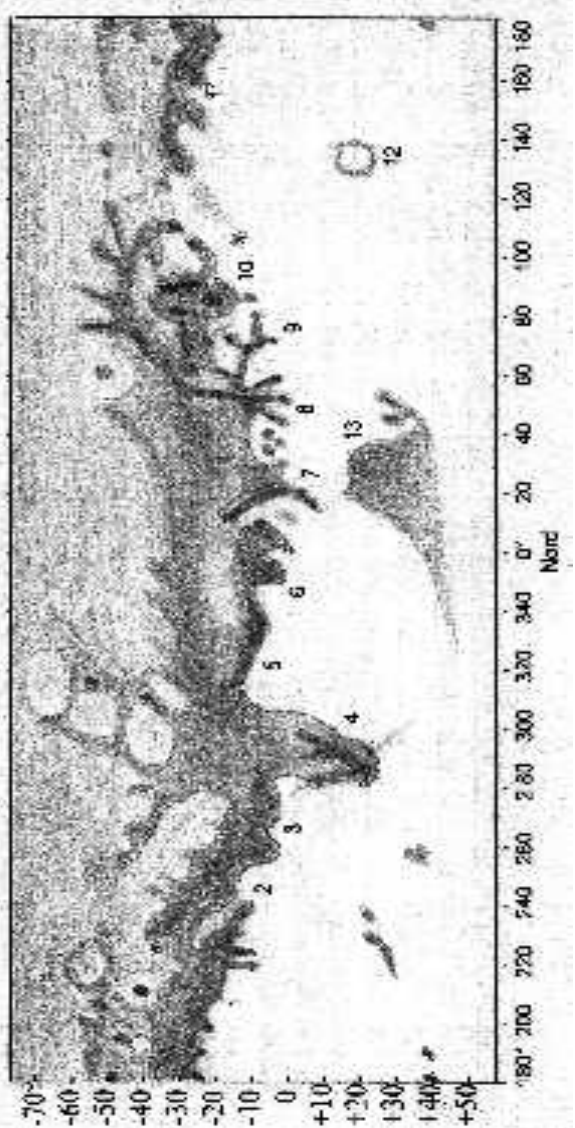
Die günstigste Mars-Opposition seit 1924 war die von 2003 (s. KORONA 94, S. 5-15). Da aber 2003 die Mars-Deklination zur Oppositionszeit nur - 15° 49' betrug, während sie zur Oppositionszeit 2005 bei + 15° 54' lag, stand Mars 2005 rund 30° höher über dem Horizont

als 2003. Er war daher pro Nacht wesentlich länger zu beobachten und befand sich damit auch viel länger außerhalb der in Horizontnähe üblichen starken Luftunruhe.

**Zur Herstellung der Marskarte für 2005**

Herr Gerstheimer brachte seine Fotos auf das Format meiner Gradnetzschablonen von 40 mm Durchmesser. Die Anfertigung der Karte erfolgte in mehreren Arbeitsschritten:

- Errechnen der Zentralmeridiane der Marsfotos mit Hilfe der Zeitangaben, der Tabelle in Ahnerts Astronomischem Jahrbuch 2005 und der Tabelle der stündlichen Änderungen des Zentralmeridians im Buch „Planeten beobachten“ von G.D. Roth.
- Herstellen eines Gradnetzes für die Marskarte von 50° Nord bis 70° Süd und 0° bis 360° Länge im PC, wobei jede Fläche von 10° Länge und Breite ein Quadrat bildet, so dass die Karte 432 Planquadrate enthält (Karte 1) und Herstellen eines gleich großen Kartenrahmens mit Gradangaben am Rande, aber ohne Netzlinien (Karte 2).
- Ermitteln der Positionen von ca. 200 Objektpunkten auf den Fotos mit Hilfe der Mars-Gradnetzschablone auf Klarsichtfolie und Übertragen dieser Positionen in Karte 1, wobei es bei Positionen oberhalb von 30° Breite zwangsläufig zu Verbreiterung der Formen kommt und zwar umso mehr, je polnäher die Objekte liegen.



**Abb. 1:** Karte des Mars, gezeichnet von R. Hedewig nach 17 Fotos von R. Gerstheimer vom 12.7. – 12.11.2005. Die Ziffern bezeichnen die wichtigsten Details. Sie befinden sich jeweils neben den Objekten. 1 Mare Cimmerium, 2 Hesperia, 3 Mare Tyrrhenum, 4 Syrtis Major, 5 Sabaeus Sinus, 6 Meridianus Sinus, 7 Margaritifer Sinus, 8 Melas Lacus, 9 Tithonius Lacus, 10 Solis Lacus, 11 Mare Sirenum, 12 Olympus Mons, 13 Mare Acidalium

- Zeichnen und Schattieren der Albedo-Strukturen des Mars in Karte 1 anhand der eingetragenen Positionen.
- Übertragen der Zeichnung in Karte 2, weil die zahlreichen Netzlinien in der gedruckten Karte das Bild der Marsoberfläche stören würden. Das Übertragen erfolgt so, dass das Blatt mit Kartenrahmen 2 auf Karte 1 gelegt wird und im durchscheinenden Licht (Fensterscheibe oder Leuchttisch) die Umrisse der Details von Karte 1 nachgezeichnet werden. Anschließend erfolgt das Schattieren im direkten Vergleich mit den Fotos sowie das Identifizieren und Kennzeichnen der Objekte mit Ziffern (s. Abb. 1).

Der Karte liegen Fotos mit folgenden Daten zu Grunde:

12.07. 03:00 UT, ZM 216,5°; 31.08. 02:45 UT, ZM 90,4°; 14.09. 03:19 UT, ZM 328,5°  
 19.09. 03:19 UT, ZM 238,0°; 20.09. 04:03 UT, ZM 290,8°; 23.09. 03:35 UT, ZM 247,5°  
 12.10. 03:09 UT, ZM 66,8°; 18.10. 00:55 UT, ZM 340,8°; 19.10. 21:13 UT, ZM 268,4°  
 28.10. 22:00 UT, ZM 200,3°; 05.11. 23:57 UT, ZM 173,7°; 06.11. 00:57 UT, ZM 173,7°  
 07.11. 20:56 UT, ZM 96,8°; 09.11. 21:31 UT, ZM 79,6°; 12.11. 00:08 UT, ZM 107,1°  
 12.11. 00:17 UT, ZM 110,0°; 12.11- 00:21 UT, ZM 111,0°.

### Vergleich unserer Karte mit der Lowell-Marskarte

Um das Vergleichen beider Karten zu erleichtern, wurden für beide Karten die gleichen Zahlen zur Kennzeichnung von Objekten (Albedostrukturen) verwendet. Zu beachten ist allerdings, dass unsere Karte die Marsoberfläche so zeigt, wie sie im umkehrenden Teleskop zu sehen ist (Norden unten, Westen rechts), während in der Lowell-Karte Norden oben ist. Alle großen Albedostrukturen wie Große Syrte, Mare Cimmerium, Mare Tyrrhenum, Sabaeus Sinus, Mare Erythraeum, Mare Sirenum sind in unserer Karte (Abb. 1) zu sehen. Abweichungen unserer Karte von der Lowell-Karte zeigen sich aber in den folgenden Details:

1. Die Große Syrte erscheint am Nordende (unten) nicht spitz, sondern breit. Im Inneren ist ein dunkler, in N-S-Richtung laufender Streifen zu sehen. Der Ostrand erscheint nicht glatt, sondern unregelmäßig geformt.
2. Am Nordrand des Mare Cimmerium (220°-230° Länge) befinden sich zwei dunkle schwarze, parallel nebeneinander liegende Streifen.
3. Das Gebiet Deucalionis erscheint nicht sehr hell, sondern relativ dunkel.
4. Der Westrand von Aurorae Sinus (40°-80° Länge) zeigt auf den Fotos vom 7.-12.11. ein dunkles Objekt, das aus sieben dunklen Strahlen besteht, die sternförmig in der Mitte zusammenhängen.
5. An den Rändern der großen dunklen Flecken, aber auch im Gebiet südlich von Mare Cimmerium, sind kleine dunkle Flecken zu sehen.



**Abb. 2:** Marskarte des Lowell Observatory, Norden oben, Osten rechts (aus Schambeck 1998, S. 174). 1 Mare Cimmerium, 2 Hesperia, 3 Mare Tyrrhenum, 4 Syrtis Major, 5 Sabaeus Sinus, 6 Meridianus Sinus, 7 Margaritifer Sinus, 8 Melas Lacus, 9 Tithonius Lacus, 10 Solis Lacus, 11 Mare Sirenum, 12 Olympus Mons, 13 Mare Acidalium

### **Temporäre Erscheinungen auf den Fotos von Gerstheimer**

1. Die Südpolkappe (SPC) erschien am 19.6. sehr ausgedehnt, schrumpfte dann schnell und war am 18.10. letztmalig als winziger Fleck zu sehen.
2. Über dem 27 km hohen Vulkangebirge Olympus Mons (18° N, 133° W) ist auf den 7 Fotos vom 5.-11.11. eine weiße Wolke von 600 km Durchmesser zu sehen. Weil sie durch Kondensation von Wasserdampf beim Aufsteigen von Luft über dem Gebirge entsteht, bezeichnet man sie als orographische Wolke (von grch. oros = Berg, Gebirge). Da der Basisdurchmesser von Olympus Mons 600 km beträgt (Entfernung Kassel - Wien), erstreckt sich also die 600 km breite Wolke über das gesamte Gebirge.
3. Randdunst, der auf den Fotos hellblau erscheint, zeigt sich auf fast allen Fotos am Nordrand, bei einigen Fotos auch am Westrand.
4. Am 19.6. lag über der damals schon recht kleinen Nordpol-Eiskappe eine viel größere, weiße Polhaube, eine aus Eiskristallen bestehende Wolke, die auf dem Foto vom 12.67. noch sehr schwach und klein zu sehen ist und auf den Fotos ab 31.8. ganz fehlt. Unter der dünnen, teilweise durchsichtigen Polhaube vom 19.6. ist die viel kleinere, und hellere Polkappe zu erkennen.

### **Wie entstehen die Veränderungen der dunklen Albedoflächen?**

In KORONA 94, S. 14, hatte ich neun Darstellungen der Großen Syrte von Antoniadi (1909) bis zum Hubble-Foto vom 26.8.2003 abgebildet. In jeder Abbildung ist die Syrte anders geformt, sehr schmal bei Antoniadi (1909) und Graff (1924), breit mit einer Spitze im Norden in der Lowell-Karte, als Dreieck mit stumpfer Nordspitze im Hubble-Foto (2003) und breit mit breitem Nordende in der Karte aus Mars-Spezial 2003. Auch die Formen anderer Albedostrukturen werden in verschiedenen Marskarten unterschiedlich dargestellt. Bei der Frage nach den Ursachen dieser Unterschiede muss man beachten, dass Albedostrukturen keine Reliefstrukturen sind. Das tatsächliche Marsrelief mit Ebenen, Gebirgen, Tälern und Kratern kennen wir erst seit November 1971 durch Fotos der ersten künstlichen Marssatelliten Mariner 9.

Albedostrukturen sind dagegen Flächen unterschiedlicher Helligkeit, d.h. Flächen, die das Sonnenlicht unterschiedlich stark reflektieren (Albedo = Rückstrahlvermögen). Die Grenzen dieser Flächen sind in den meisten Fällen nicht identisch mit den Grenzen von Reliefstrukturen. Das zeigen Marskarten, in denen Relief- und Albedostrukturen abgebildet sind, z.B. bei Stanek/Pesek (1976, S. 10, 11, 14).

Die Formänderungen von Albedostrukturen, die bereits Antoniadi beschrieb, ohne sie erklären zu können, sind saisonale Änderungen. Seit 1971 nimmt man an, dass sie wahrscheinlich durch wechselnde Staubablagerungen auf dem Boden der betreffenden Gebiete erfolgen. Dieser Staub mit Partikeln von meist nur 0,1 mm Durchmesser ist heller als die dunklen Flächen, so wie Gesteinsmehl meist heller erscheint als das kompakte Ausgangsgestein. Wenn sich der Staub auf dem Ostteil der Syrte niederschlägt, wird dieser Teil heller und die Syrte erscheint schmäler als vorher. Wird der Staub im Herbst weggeweht, erscheint die Syrte wieder breiter (vgl. Schambeck 1998, S. 185). So ist auch die saisonale Formveränderung anderer Albedostrukturen zu erklären.

Allgemein erscheinen Marsmeere zur Sommerzeit dunkler als im Winter, weil sich der Kontrast zu den benachbarten hellen Flächen verstärkt, indem sich helle Regionen zeitweilig aufhellen.

Kleinere Veränderungen der Albedostrukturen von 2003 bis 2005 zeigt ein Vergleich des Marsfotos des Teams Baader vom 23.8.2003 in KORONA 94, S. 2, mit dem Marsfoto von Gerstheimer vom 9.11. 2005, 21:31 UT bzw. unserer Marskarte von 2005. Auf dem Foto



von 2003 sind z.B. drei nach Süden weisende Strahlen von Solis Lacus zu sehen, während diese Strahlen 2005 fehlen

Auf den Fotos von Gerstheimer sind Änderungen von Albedostrukturen während des Aufnahmezeitraums von Juni bis November 2005 nicht eindeutig zu erkennen. Unschärfen einiger Fotos, die zeitlich zwischen Aufnahmen mit guter Schärfe liegen wie z.B. bei den Fotos vom 12.10. 3:09 UT und 19.10. 21:13 UT können durch Luftunruhe in der Erdatmosphäre oder durch Trübung in der Marsatmosphäre entstehen. Allgemein trübt sich die Marsatmosphäre durch Staubstürme, die im Marssommer infolge der Erwärmung auftreten und im Marsherbst wieder abflauen. Ein „Verschwinden“ von Albedostrukturen ist auf den Fotos während der Zeit vom 19.6. bis 12.11.2005 nicht zu erkennen.

### **Visuelle Marsbeobachtungen von R. Hedewig**

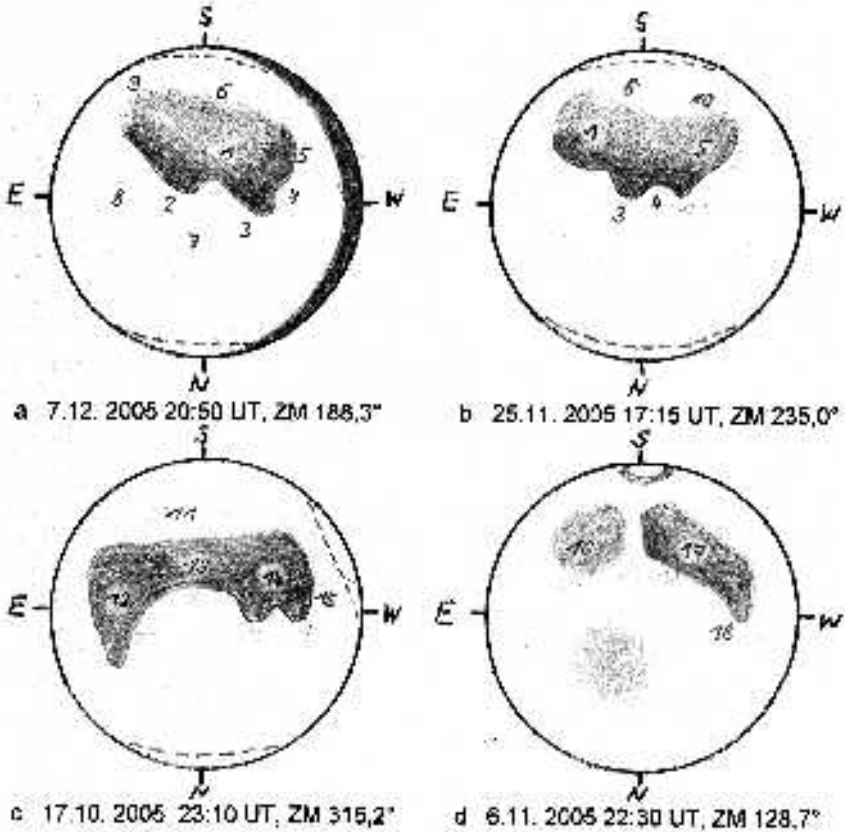
In der Zeit vom 31.8. bis 7.12. 2005 beobachtete ich Mars mit dem 150/2250 mm-Refraktor und fertigte 18 Marszeichnungen an. Bedingt durch häufige Luftunruhe zur Beobachtungszeit und die Überlegenheit der Beobachtungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten von R. Gerstheimer zeigen meine Zeichnungen deutlich weniger Details als die Fotos von Gerstheimer. Vier Zeichnungen werden in Abb. 3 wiedergegeben.

Meine Beobachtungen führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Die kleine, während der Beobachtungszeit schrumpfende Südpol-Eiskappe war bis 20.9. deutlich und anschließend bis zum 8. November noch schwach zu sehen.
2. Stets dunkel zu erkennen waren Große Syrte, Sinus Sabaeus, Meridianus Sinus, Mare Sirenum, Phaetontis und Solis Lacus, Mare Cimmerium mit Gomer Sinus und Lastrygonium Sinus sowie das Mare Tyrrhenum.
3. Die sonst helle Zone Hesperia zwischen Mare Cimmerium und Mare Tyrrhenum erschien mit Ausnahme des Nordendes ziemlich dunkel (Abb. 3a).
4. Das Gebiet zwischen Nordpol (in den Zeichnungen unten) und den genannten Maren erschien stets hell.
5. Am Nordrand der jeweils sichtbaren Marshälfte war häufig eine schmale Aufhellung zu erkennen (Abb. 3 a, b, c). Am 17.10. erschien auch am Nordwestrand der sichtbaren Marshälfte eine schmale helle Zone (Abb. 3a). Es dürfte sich bei diesen Aufhellungen um Erscheinungen der Marsatmosphäre handeln, die auch in den Fotos von R. Gerstheimer abgebildet sind.

Es ist interessant, Marskarten aufeinanderfolgender Oppositionen zu vergleichen. Eine Sammlung solcher Karten der Oppositionen von 1907 bis 1971 veröffentlichte der Astronom Mottoni 1975 (s. Literaturverzeichnis). In älteren Ausgaben der KORONA befinden sich Marskarten früherer Oppositionen, die allerdings nicht so detailreich waren, wie unsere Karte von 2005. Mit der Veröffentlichung der Karte von 2005 nehmen wir die Tradition der Sammlung von Karten der Marsoppositionen wieder auf. Sie sollte während der nächsten Opposition 2007 fortgesetzt werden.

## Marszeichnungen 2005



**Abb. 3:** Marszeichnungen von R. Hedewig. 1 Mare Cimmerium, 2 Lastrygenum Sinus, 3 Sinus Gomer, 4 Tritonis Sinus, 5 Hesperis, 6 Eridanus, 7 Aeolis, 8 Cephyra, 9 Electris, 10, Ausonia, 11 Hellas / Noachis, 12 Syrtis Major, 13 Sabaeus Sinus, 14 Meridianus Sinus, 15 Aram, 16 Solis Lacus, 17 Mare Sirenum, 18 Zephyra

### Neues aus der Marsforschung

Im Mars-Orbit befinden sich seit Ende 2003 die beiden NASA-Sonden Mars Global Surveyor und Mars Odyssey sowie das ESA-Raumschiff Mars Express. Dieses schwenkte Weihnachten 2003 in seinen Orbit um den Mars und begann im Januar 2004 mit der Datensammlung. An Bord befinden sich 6 Instrumente, darunter das Infrarot-Spektrometer Omega, das erstmals die in Wasser entstandenen Mineralien kartierte, das Planetary Fourier Spektrometer (PFS), das in der Atmosphäre Spuren von Methan entdeckte, und das Radargerät Marsis zur Erforschung der oberen Bodenschichten, das nach technischen Schwierigkeiten im Mai und Juni 2005 in Betrieb genommen wurde. Man hofft, damit unter

der Marsoberfläche Wassereis zu finden. Das bedeutendste Gerät von Mars Express ist die hochauflösende Stereokamera (High Resolution Stereo Camera, HRSC), deren gestochen scharfe Farbfotos alle bisherigen Bilder übertreffen. Konstrukteur der Kamera ist Gerhard Neukum (FU Berlin) mit seinem Team. Wenn sich der Orbiter dem Mars bis auf 250 km nähert, ist im Hauptkanal eine Auflösung von 10 m pro Pixel möglich. Das heißt, dass diese Kamera ein nicht leuchtendes Objekt von 10 m Durchmesser bei gutem Kontrast aus 250 km Entfernung aufnehmen kann (Das entspricht der Aufnahme eines Einfamilienhauses aus der Distanz Kassel – Hamburg). HRSC erreicht zwar nicht ganz die Auflösung der Kamera von Mars Global Surveyor, deckt aber pro Bild einen wesentlich größeren Bereich der Marsoberfläche ab.

Die HRSC-Farbfotos sind stereoskopisch, so dass sich daraus dreidimensionale Bilder erstellen lassen. Einige Spitzenfotos sind im neuesten Heft von „Astronomie heute“ (April 2006) abgebildet. Sie zeigen Spuren ehemaliger Gletscher an Kraterhängen, Täler ehemaliger Flüsse, Einsturztrichter, die durch Abschmelzen darunter liegenden Eises entstanden, dunkle Dünen aus Vulkanasche, die der Wind auf der Nordpolarregion zusammenwehte, Furchen an Vulkanhängen, die durch Ströme vulkanischer Asche und Gase entstanden und große flache Schollen, die einige Forscher als Schollen eines gefrorenen Meeres und andere als erstarrte Lavaströme ansehen.

Die bisherigen HRSC-Daten umfassen bereits 700 Gigabyte. Ihre Auswertung wird Jahre dauern. Wichtige bereits gefundene Ergebnisse sind:

1. Die riesigen Schildvulkane der Tharsis-Region weisen erstaunlich wenige Krater auf. Sie sind also erst vor wenigen Millionen Jahren entstanden. In Abständen von einigen Millionen Jahren werden diese Vulkane aktiv, d.h. dass Mars noch glutflüssiges Material enthält.
2. In den letzten 50 Millionen Jahren flossen noch Eisströme an Vulkanflanken abwärts. Das schließt man aus relativ jungen Gletscherablagerungen der Tharsisvulkane. Die Gletscher wurden von Wolken genährt, die von den Polen zum Äquator zogen. Das ergibt sich aus neuen Modellen der atmosphärischen Zirkulation von Francois Forget.
3. Die Gletscher breiteten sich immer wieder aus und zogen sich wieder zurück. Dieser Rhythmus von Kalt- und Warmzeiten könnte die Folge der regelmäßigen Schwankungen von Orbit und Achsneigung des Mars sein.
4. Es sind Spalten und Klüfte nachgewiesen, aus denen sowohl Wasser als auch Magma ausgetreten sein könnte.
5. In bestimmten Gesteinen wurden wasserhaltige Mineralien nachgewiesen.
6. Mars kühlte vor 3,5 bis 4 Milliarden Jahren ab und trocknete aus. Seitdem kommt Wasser fast nur als Eis vor. Gelegentlich erfolgten noch große Wasserausbrüche, bei denen Abflusskanäle entstanden. Aber das Wasser gefror bald, verdampfte (so wie auch Schnee bei Frost verdunstet, ohne zu schmelzen), setzte sich an den Polen als Schnee oder Eis ab und schuf Gletscher, drang aber nicht mehr in den Marsboden ein, so dass keine wasserhaltigen Minerale mehr entstanden (nach Naeye 2006).

### Literatur

Gerstheimer, R.: Marsopposition 2005. Korona 100, Januar 2006, S. 6 und Titelbild

Hedewig, R.: Die Marsopposition 2003. Korona 94, Januar 2004, S. 5-15

Motoni y Palacios, G. de: The appearance of Mars from 1907 to 1971: graphic synthesis of photographs from I.A.U. center at Meudon. Icarus 25: 296,1975

Naeye, R.: Europas Logenplatz am Mars. Astronomie heute, April 2006, S. 26-31

Schambeck, C.M.: Mars. In: Roth, G.D. (Hrsg.): Planeten beobachten. Verlag Sterne und Weltraum, München 1998, S. 170-200

Stanek, B. / Pesek, L.: Neuland Mars. Erkundung eines Planeten. Hallwag, Bern 1976

Prof. Dr. Roland Hedewig, Am Krümmershof 91, 34132 Kassel, r.hedewig@t-online.de

---

## Preisübergabe Jubiläumsquiz

Christian Hendrich

Am Jubiläumsquiz der Korona Ausgabe 100 haben die Redaktion leider nur sieben (!) Einsendungen erreicht. Alle Einsender hatten das richtige Lösungswort „Jubiläumsausgabe“ angegeben. Als Gewinner wurde unser Vorsitzender K.P. Haupt ausgelost. Unten abgebildet das Foto von der Preisübergabe.



## Neue Marsschleife

Wulfried Heidrich

*Nachdem Martin Reble [3] vor zwei Jahren über die Positionsbestimmung und Auswertung einer Marsschleife von 1992/93 berichtete, schien das Thema erschöpfend behandelt. Trotzdem war es reizvoll, die Materie im Jahre 2003 erneut und mit etwas anderen Schwerpunkten aufzugreifen, zumal da der Mars im Zusammenhang mit seiner Opposition der Erde damals mit 55,76 Millionen Kilometern extrem nahe kam. Auch die diesjährige Marsopposition ist hinsichtlich der Entfernung in Erdnähe noch recht günstig.*

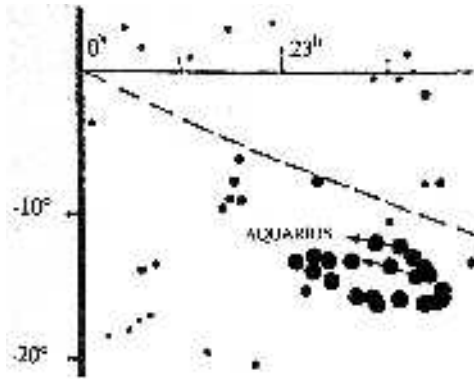
### Zur Bildgewinnung

Spiegelreflexkamera, Stativ und eine Gegend bzw. Nachtzeit mit möglichst geringer Lichtverschmutzung wurden bereits erwähnt, ebenso die voll geöffnete Blende und die Entfernungseinstellung „unendlich“, außerdem die Filmempfindlichkeit mit ASA 400. Besonders kontrastreiche Fotos erhält man bei einer Belichtungszeit von 5 bis 10 Sekunden, 5 Sekunden z. B. bei hellem Mondschein. Um dem Mond möglichst aus dem Wege zu gehen, orientiert man sich am besten genau über die Aufgangs- und Untergangszeiten dieses Gestirns, Einige Wolken sind dagegen nicht unbedingt störend, ergeben gelegentlich sogar spektakuläre Bildmotive. Die Notierungen der Aufnahmetage mit ihren Bedingungen helfen sehr bei der Zusammenstellung der Aufnahmeserien. Außerdem ist die Hinzunahme von Objekten, wie Hausdächern oder Baumspitzen zur Erinnerung an die Aufnahmesituation hilfreich. Die ständig wechselnden Aufnahmebedingungen lassen es sinnvoll erscheinen, sich nicht zu sehr auf gleich lange Aufnahmeperioden zu konzentrieren. Dafür sollte man versuchen, möglichst immer eine ähnliche Sternkonfiguration für die spätere Auswertung im Bild festzuhalten, Schließlich ist zu entscheiden, ob man Farbbilder zur Aufnahme verwendet oder Dias. Für die unterrichtliche Behandlung des Themas eignen sich Dias besser, von denen man dann zur Auswertung Farbbilder anfertigen kann, die wiederum auf Kopierern als Klassensatz in Schwarzweiß-Abzügen herzustellen sind. Um den Schülern nur das Prinzip der Erstellung einer Planetenschleife zu vermitteln, genügt ein Bildformat von 9 cm x 13 cm, das, auf die wesentlichen Bestandteile des betreffenden Sternbildes zurechtgeschnitten, mit bis zu 6 Einzelaufnahmen auf je einem DIN-A4-Blatt Platz findet.

### Zur Bildübertragung

Um die Einzelpositionen der Planetenschleife einmessen zu können, benötigt man eine Sternkarte mit Rektaszensions- und Deklinationskoordinaten. (Diese Koordinaten dienen dann der Kontrolle der gefundenen Planetenpositionen.) Die Genauigkeit der Fixsternpositionen auf dieser Sternkarte kann man leicht prüfen, indem man die Abstände mehrerer Fixsternpaare und ihre Unterschiede zwischen Foto und Sternkarte feststellt. Man bildet daraus jeweils Quotienten, wobei man gleichzeitig für die Übertragung vom Foto auf die Sternkarte einen Proportionalitätsfaktor gewinnt. Bei sehr genauen Sternkarten muss der Quotient für verschiedene Fixsternpaare, also der Proportionalitätsfaktor, in engen Grenzen gleich groß sein. Im vorliegenden Fall, der vor allem im Sternbild Aquarius stattfand, konnten z. B. die Abstände auf Foto und Sternkarte zwischen den Sternen Sadalmelek ( $\alpha$  Aqr) und

Sadalachbia ( $\gamma$  Aqr), zwischen Sadalsud ( $\beta$  Aqr) und Ancha ( $\theta$  Aqr) sowie zwischen Sadalmelek ( $\alpha$  Aqr) und Algiedi ( $\delta$  Capricorni) für die Bestimmung des Proportionalitätsfaktors verwendet werden. Unter Umständen ist je nach geforderter Genauigkeit aus den einzelnen gefundenen Werten ein arithmetisches Mittel zu bilden, das aber lediglich auf die jeweils letzten Dezimalstellen beschränkt bleiben muss. Im vorliegenden Fall war dies für die in Millimetern zu messenden Abstände der Faktor 1,099.



**Abb. 1:** Die Marsschleife von 2003 in der Sternkarte

Die vom Foto auf die Sternkarte zu übertragenden Messwerte der Abstände des Mars von verschiedenen Fixsternen waren im ausgeführten Beispiel mit 1,099 zu multiplizieren: Man hatte mit den Zirkelspannen z. B. von Sadalachbia ( $\gamma$  Aqr) zum Mars und von Algiedi ( $\beta$  Cap) zum Mars Kreisbögen zu schlagen, deren Kreuzungspunkt die jeweilige vermutliche Marsposition ergab. Zur Überprüfung konnte dann noch ein Kreisbogen z. B. von Ancha ( $\theta$  Aqr) zur Marsposition geschlagen werden.

In eine Sternkarte [4] wurden nach Eintragung eines Rektaszensions- und Deklinationssystemes die Positionen des Mars übertragen. Für solche Übertragungen, die heute anhand von Fotoabbildungen nicht mehr mit einem Sextanten in Winkelgraden erfolgen müssen, wie zu Keplers Zeiten, sondern einfacher unter Nutzung von Längeneinheiten bei Berücksichtigung der Abbildungsmaßstäbe, ist aber nach Möglichkeit die Verwendung der gleichen Referenzsterne sinnvoll, wie Kepler [2] bereits zur Erhöhung der Messgenauigkeit vorschlägt. Im vorliegenden Beispiel sind deshalb die Referenzsterne Algiedi im Capricornus sowie Sadalachbia im Aquarius je nach dem „seeing“ verwendet worden. Weitere Abweichungen können - abgesehen von Ungenauigkeiten in der Sternkarten - durch die Größe der abgebildeten Sternscheibchen hervorgerufen werden, sowohl auf den Fotos als auch auf der Sternkarte. Man beachte das deshalb beim Abgreifen der Entfernungen (mit fest einstellbarem Zirkel) von Sternmittelpunkt zu Sternmittelpunkt. Dagegen kann die Refraktion, die nur in unmittelbarer Horizontnähe einen Winkel von etwa einem halben Grad erreicht, bei dem beschriebenen Verfahren vernachlässigt werden.



**Abb. 2:** Die Marsschleife von 2003, zusammengestellt aus 24 Einzelbildern. Fotos: Wulfried Heidrich, Zusammenstellung: Ralf Gerstheimer. Eine animierte Darstellung der Marsschleife ist als Daumenkino in der Korona 100 zu finden.

### Die Bildauswertung

Eine Auswertung der Oppositionsschleife zielt naturgemäß auf den genauen Zeitpunkt der Opposition. Dazu ist ein Vergleich mit einer Ephemeridentabelle sinnvoll, wobei u. U. bei den Rektaszensionen und Deklinationen etwas interpoliert werden muss, wenn die Zeitpunkte der Beobachtung nicht mit den üblicherweise im Fünftage-Abstand ermittelten Tabellenwerten übereinstimmen. Zunächst wird dadurch die Genauigkeit der Übertragung der Schleifen von den Fotos auf die Sternkarte deutlich. Außerdem erhält man auch eine Menge von Ansätzen zu einer unterrichtlichen Auswertung der Bewegungsabläufe, angefangen bei der Entstehung der Schleifen bis hin zur Erklärung der Umkehrpunkte und des eigentlichen Oppositionszeitpunktes. Insbesondere wird schon bei der Betrachtung der Ephemeridentabelle deutlich, dass eine ganz glatte Schleife gar nicht zustande kommt, was u. a. mit der Neigung der Bahnebenen von Mars und Erde zueinander zu erklären ist. In eine solche Auswertung kann eine ganze Klasse einbezogen werden, indem man die Einzelpositionen (im dargestellten Fall sind es 21 verwertbare Positionen) anhand von ausgegebenen Fotokopien und Sternkartenkopien messtechnisch und rechnerisch ermitteln lässt, so dass die entstehende Schleife zuletzt eine Gemeinschaftsleistung ist.

### Literatur:

- [1] Keller, H. U.: Kosmos Himmelsjahr 2003. Stuttgart 2002
- [2] Kepler, J.: Neue Astronomie. Übersetzung von Max Caspar. München 1998
- [3] Reble, M.: Marsschleife und Marsentfernung. In: ASTRONOMIE + RAUMFAHRT im Unterricht, 2003 Heft 4
- [4] Seitz, H.: Methode und Praxis des Unterrichts in der Himmelskunde. Heidelberg 1457

## Konjunktion und Opposition von Planeten

Wulfried Heidrich

Zwei Begriffe können in die Betrachtung von Planetenbahnen einführen, womit die Positionsbestimmung von Planeten vorbereitet werden kann, eben Konjunktion und Opposition.

An der Fotoabbildung der Konjunktion von Venus und Jupiter und ihrer Prinzipdarstellung lassen sich gleich mehrere Fragen anknüpfen:

- Können Planeten in unserem Sonnensystem zusammenstoßen? (Das können sie nicht)
- Auf welchen Bahnen bewegen sich die beiden gezeigten Planeten in bezug auf die Erde? (Die Bahn der Venus liegt innerhalb der Erdbahn, die des Jupiter außerhalb)
- Welche Planeten gibt es außer den gezeigten Planeten? (Merkur, Mars, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto)
- Bewegen sich die Planeten alle wirklich in einer Ebene, wie die Prinzipdarstellung zeigt? (Nein, aber die meisten Bahnebenen sind nur wenig gegen die Ekliptik geneigt, ausgenommen Plutos Bahn)
- Ist der Jupiter (links auf dem Foto) oder die Venus der größere Planet? (Jupiter ist der größere, er hat einen zwölfmal größeren Durchmesser und ist der größte im Sonnensystem)
- Wie lange kann etwa eine solche Konjunktion zwischen zwei Planeten dauern? (Enge Konjunktionen meist nur wenige Stunden, das hängt aber von der Entfernung der Planeten von der Erde ab.)
- Wo findet man Meßwerte, die einem bei der Frage nach der Konjunktionsdauer helfen? (In Ephemeridentabellen in Jahressternbüchern, beim Vergleich der Rektaszensions- und Deklinationswerte)



**Abb. 1:** Konjunktion von Venus und Jupiter am 23.2.1999



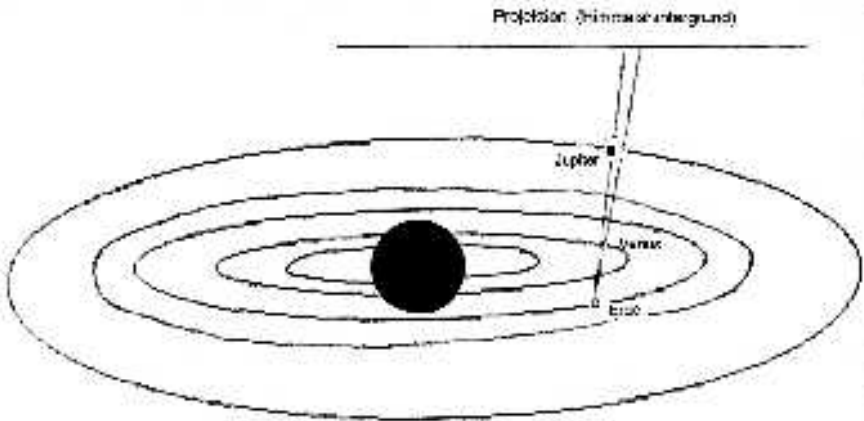


Abb. 2: Prinzip der Konjunktion

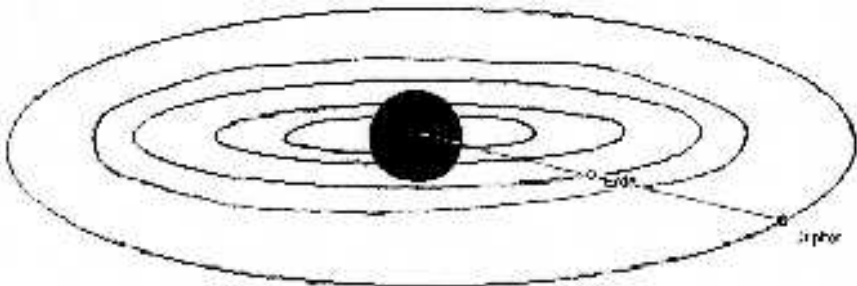


Abb. 3: Prinzip der Opposition










Für die Prinzipdarstellung der Opposition können zusätzliche Fragen gestellt werden:

- Wie müssen Sonne, Planet und Erde zueinander stehen, daß der Planet in Opposition steht? (Die Erde muß genau zwischen der Sonne und dem oppositionellen Planeten stehen)
- Welche Planeten können nicht in Opposition zur Erde treten? Erklärung? (Die inneren Planeten Merkur und Venus können nie zwischen Sonne und Erde stehen.)
- Weshalb unterscheidet man innere und äußere Planeten? (weil die Bahnen der inneren Planeten kleinere Durchmesser haben und die der äußeren Planeten größere als die Erdbahn)
- Ist es für das Planetensystem gefährlich, wenn alle äußeren Planeten gleichzeitig in Opposition zur Erde stehen? Erklärung? (Es ist nicht gefährlich, weil die Planetenabstände von der Erde viel zu groß sind. Außerdem kann dieser Fall aufgrund der Gesetze der Planetenbewegung nicht eintreten.)
- Die Maßstäbe in den Prinzipdarstellungen von Planetengrößen und -abständen mußten unberücksichtigt bleiben: Erklären Sie das anhand der nachfolgenden Tabelle: (schon die

Entfernung der Erde von der Sonne, Astronomische Einheit genannt, verhält sich zu ihrem eigenen Durchmesser etwa wie 10 000 zu 1, und das paßt auf kein Blatt Papier.)

- Welche neuen Begriffe tauchen in der Tabelle auf? Suchen Sie nach Erklärungen dafür! (Z. B. bezieht sich „siderisch“ immer auf die Stellung zum Fixsternhimmel, „synodisch“ immer auf das Erde-Sonne-System; „Exzentrizität“ bestimmt die Form der Bahnellipse; und mit der „Neigung gegen die Ekliptik“ ist der Winkel zwischen Erdbahnebene (Ekliptik) und der Ebene der Planetenbahn gemeint.)

**Das Planetensystem**  
(Relativwerte gegenüber der Erde)

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto
									
Relat. Masse	0,06	0,82	1	0,1	31,8	95	15	17	0,002
Relat. Dichte	1	1	1	0,7	0,2	0,1	0,2	0,25	0,4
Relat. Schwerkraft	0,1	0,9	1	0,4	2,2	1	0,8	1,1	0,06
Bahnhalbm. (Mio km)	57,9	108	149	228	780	1 427	3 870	4 497	5 900
Siderische Umlaufzeit (Tage)	88	225	365	687	4 333	10 759	30 683	60 189	90 465
Synodische Umlaufzeit (Tage)	116	584	-	780	399	378	370	467	367
Bahngeschwin. (km/s)	47,9	35	30	24	13	10	6,8	5,4	4,7
Exzentrizität	0,21	0,007	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009	0,25
Bahnneigung (Grad)	7,0	3,75	-	1,85	1,3	2,5	0,8	1,8	17,5
Atmosphäre*	-	SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , He	H <sub>2</sub> , He	H <sub>2</sub> , He, CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , He, CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>

\* Abkürzungen: MO – Schwefeloxid, CO<sub>2</sub> – Kohlendioxid, N<sub>2</sub> – Stickstoff, O<sub>2</sub> – Sauerstoff, H<sub>2</sub> – Wasserstoff, He – Helium, CH<sub>4</sub> – Methan

Abb. 4: Tabelle der Planeten des Sonnensystems

# Quantenmechanische Experimente mit einzelnen Photonen

Christoph Muster, Jonas Schmöle und Jens Pfeifer / PhysikClub Kassel  
Betreuer: Klaus-Peter Haupt

## 1. Einführung

Unsere Jugend forscht-Arbeit beschäftigt sich mit Interferenzerscheinungen am Zweistrahlinterferometer. Ausgang unserer Arbeit war die Auseinandersetzung mit Quantenphysik im PhysikClub Kassel. Nach der eher zufälligen Festlegung auf das Projekt „Mach-Zehnder-Interferometer“ begannen wir drei bis dahin noch nicht annähernd von den Vorstellungen der klassischen Mechanik entwöhnte Schüler, uns mit Fachliteratur<sup>1</sup> zu einem Thema auseinander zu setzen, was in seinem Umfang und seinem Potential kaum prägnanter sein könnte. Besonders beeindruckt waren wir dabei vom Dualismus von Welle und Teilchen. Recht schnell kamen Fragen nach einem eindeutigen experimentellen Nachweis für den Wellencharakter von Kleinstteilchen auf. Interferometer-Experimente lagen da zwar nahe, jedoch sind die meisten Aufbauten mit einer reinen Wellenvorstellung von Photonen vollständig beschreibbar (vgl. 2.2.4). Ziel ist also, Experimente zu finden, welche ausschließlich quantentheoretisch erklärt werden können.

## 2. Theoretischer Ansatz

### 2.1 Quantentheorie

#### 2.1.1 Der Welle-Teilchen-Dualismus

Der Zusammenhang zwischen Wellen- und Teilcheneigenschaften von Quantenobjekten ist ein zentraler Punkt der Quantentheorie. Um ihn zu verstehen, ist es nötig, sich von klassischen Vorstellungen von Teilchen zu lösen. Das Wesentliche am Welle-Teilchen-Dualismus dreht sich um folgende Aussage:

Der Ort eines Quant ist unbestimmt, bis es „gemessen“ wird. Bis dahin ist es mit einer Wahrscheinlichkeit über den Raum verteilt, die der Intensität der zugehörigen Welle am jeweiligen Ort entspricht. Die Welle eines Photons gibt also die Wahrscheinlichkeit an, das Photon an einer gewissen Stelle anzutreffen.

Dieser Mechanismus entzieht sich unserer Vorstellung völlig. Es gibt keine nachvollziehbare Erklärung, die Herleitung ist hauptsächlich mathematisch. Grade deshalb war es uns wichtig, ein Experiment zu finden, das den Welle-Teilchen-Dualismus „greifbar“, also real nachvollziehbar macht.

#### 2.1.2 Heisenbergsche Unschärferelation

Die zweite schwer nachvollziehbare quantenmechanische Eigenschaft von Photonen ist ihre Unschärfe. Diese ist quasi direkt mit dem Welle-Teilchen-Dualismus verbunden. Wesentlich ist dabei folgende Erkenntnis:

Ein bewegtes Teilchen (und Photonen bewegen sich ja „immerhin“ mit Lichtgeschwindigkeit) hat niemals gleichzeitig einen bestimmten Ort und eine bestimmte Geschwindigkeit. Je genauer das eine gemessen wird, desto ungewisser ist das andere. Möchte man etwa die Flugbahn eines Elektrons messen, so muss man es mit Licht bestrahlen. Je größer die Wellenlänge des Lichts ist, desto ungenauer kennt man den Ort des Elektrons. Verkleinert man jedoch die Wellenlänge und erhöht damit die Frequenz und Energie des Lichts, so kann man zwar den Ort des Elektrons genauer bestimmen, aber durch „Stöße“ des energiereichen

<sup>1</sup> Anton Zeilinger: Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik, München 2003

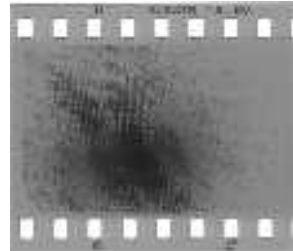
Licht wird das Elektron auf seiner Flugbahn so stark abgelenkt, dass es nicht mehr am gleichen Ort ankommen würde, den es „ungemessen“ erreicht hätte.

Ort und Impuls eines Quant werden also nur von unserem Gehirn in zwei verschiedene „Eigenschaften“ aufgeteilt, doch in Wirklichkeit sind Ort und Impuls über die Unschärfe untrennbar miteinander verbunden. Einstein, Podolsky und Rosen haben diese Theorie angefochten und eine ganze Reihe von gedanklichen Gegenexperimenten entwickelt, die jedoch alle in ihrer Gültigkeit widerlegt wurden.

Heute wissen wir, dass die Quantenmechanik die Realität beschreibt. Trotzdem sind die Aussagen des Welle-Teilchen-Dualismus und der Heisenbergschen Unschärferelation alles andere als „leichte Kost“ und nach wie vor nicht einfach zu verstehen.

### 2.1.3 HeNe-Gas-Laser

Der von uns verwendete HeNe-Gas-Laser sendet linear polarisiertes Licht mit einer Wellenlänge von ca. 635,8 nm aus. Polarisation und Wellenlänge lassen sich leicht mit Hilfe eines Gitters bzw. eines Polarisationsfilters überprüfen, wobei wir für die Wellenlänge einen Wert von ca. 631 nm ermittelt haben.



Leider ist die Energie des Lichtes und die damit verbundene Anzahl der abgegebenen Photonen nicht ganz so einfach überprüfbar. Mit der angegebenen maximalen Leistung von 0,8 mW und einer einfachen Quantenrechnung können wir jedoch die maximale Anzahl von Photonen bestimmen, die den Laser pro Sekunde verlassen.

Für die Rechnung benötigen wir die die Formel  $P \cdot t = n \cdot h \cdot f$ . Die linke Seite der Gleichung gibt eine Energie an (Leistung mal Zeit). Diese Energie ist gleich der rechten Seite, welche diese Energie als Anzahl vieler einzelner Energiepakete darstellt. n ist dabei eine Zahl, die größer oder gleich Null ist. h die Planckkonstante und f die Frequenz des Lichts, welche

sich aus der Lichtgeschwindigkeit und der Wellenlänge ergibt:  $f = \frac{c}{\lambda}$

Wir lösen wir  $P \cdot t = n \cdot h \cdot f$  nach n auf und setzen für  $f = \frac{c}{\lambda}$  ein:

$$n = \frac{P \cdot t}{h \cdot \frac{c}{\lambda}} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m}}{635,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}}} \approx 2,828 \cdot 10^{15}$$

Pro Sekunde werden also  $2,828 \cdot 10^{15}$  Photonen erzeugt.

Im Mittel beträgt der Zeitabstand der Photonen daher

$$\frac{1}{(2,82 \cdot 10^{15})} \text{ s} \approx 3,54 \cdot 10^{-16} \text{ s}$$

Da der Strahl mit Graufiltern um den Faktor  $10^{12}$  abgeschwächt werden kann, kommen

$$\frac{(2,828 \cdot 10^{15})}{10^{12}} \approx 2828 \text{ Photonen pro Sekunde bzw. im Mittel alle}$$

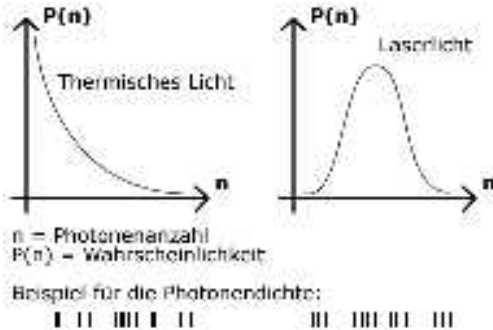
$3,54 \cdot 10^{-16} \text{ s} \cdot 10^{12} = 3,54 \cdot 10^{-4} \text{ s}$  ein Photon beim Beobachtungsort an.

Die Photonen entstehen im Laser durch Quantensprünge von Elektronen im Helium-Neon-Gas. Dieses Gas befindet sich zwischen zwei Spiegeln, wobei der eine ein Vollspiegel ist

und der andere nur einen gewissen Teil der Photonen reflektiert, welche im von außen ange-regten Gas neue Photonen mit gleicher Wellenlänge und Polarisierung emittieren. Die anderen Photonen werden durch den Spiegel hindurchgelassen und verlassen den Laser als Laserstrahl.

**2.1.4 Bunching-Effekt**

Photonen thermischer Lichtquellen neigen zu einer Art „Verklumpung“ (Bunching). Die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten für die zeitnahe Erzeugung unterschiedlich vieler Photonen sind Ursache für die Bildung dieser kleinen Einheiten. Photonen eines Lasers hingegen sind in hohem Maße kohärent und haben jeweils die gleiche Frequenz und den gleichen Quantenzustand, weswegen sie sich gleichmäßiger über den Raum verteilen.



**2.1.5 Polarisationsfilter, Absorber und Strahlteilerplatten**

Wenn ein einzelnes Photon auf einen Graufilter, Polarisationsfilter oder eine Strahlteilerplatte trifft, ist nicht vorhersagbar, was mit diesem Photon passieren wird. Trifft es zum Beispiel auf eine Strahlteilerplatte, kann es entweder hindurchgelassen oder reflektiert werden. Es handelt sich hierbei wie bei den anderen beiden Komponenten um einen objektiven Zufall. Neben dieser Gemeinsamkeit erfüllen Polarisationsfilter, Absorber und Strahlteilerplatten jedoch völlig unterschiedliche Aufgaben:

Lineare Polarisationsfilter können einfallendes Licht nur in einer ganz bestimmten Schwingungsrichtung transversal<sup>2</sup> hindurchlassen. Dabei werden ca. 50% des vorher unpolarisierten Lichts „polarisiert“ und die anderen 50% absorbiert. Aus Sicht eines Photons gesprochen wird es hier nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit hindurchgelassen. Seine Chancen, hindurchgelassen und nicht absorbiert zu werden, sind umso größer, wenn seine Schwingungsrichtung gleich der Richtung ist, in die der Polfilter ankommende Photonen polarisiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon hindurchgelassen und polarisiert wird, welches im 90° Winkel (also senkrecht) zur Polarisationsrichtung des Polfilters schwingt, ist somit gleich Null. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein ankommendes Photon hindurch gelassen und polarisiert wird, lässt sich mit Hilfe des Winkels seiner Polarisationsrichtung zum Polarisationsfilter und folgender Formel bestimmen:  $P = \cos(a)^2$

Absorber verringern die Intensität des Lichts um einen gewissen Prozentsatz. Aus der Teilchenperspektive gesprochen wird ein Photon mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch den Absorber hindurchgelassen. Diese Wahrscheinlichkeit hängt zum Teil von der Wellenlänge des Photons ab. Die von uns verwendeten vier Absorber sind Graufilter mit unterschiedlichen Stärken, für die jedoch die Absorptions-Wahrscheinlichkeit bei Laserlicht (ca. 635,8 nm) bekannt ist: 0,1, 0,01, 0,001 und 0,000001.

<sup>2</sup> senkrecht zu Ausbreitungsrichtung

Strahlteilerplatten zeichnen sich dadurch aus, dass sie, wie der Name schon sagt, den Laserstrahl aufteilen. Die eine Hälfte der ankommenden Lichtquanten wird reflektiert, die andere Hälfte durch den Strahlteiler hindurchgelassen. (Der Spiegel reflektiert einzelne Lichtquanten mit einer Wahrscheinlichkeit von 50%). Der besondere Nutzen der Strahlteilerplatten wird deutlich, wenn man sich beispielsweise die Funktionsweise des Zweistrahl-Interferometers anschaut. Zuerst wird der Laserstrahl in zwei Wege aufgeteilt und am Ende wieder zusammengeführt.

## 2.2 Interferometrie

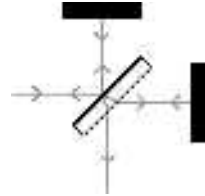
### 2.2.1 Michelson-Morley-Interferometer

Das Michelson-Morley-Experiment hat 1887 unser Verständnis von Licht stark geprägt und verändert. Mit diesem Versuch sollte das Trägermedium von Licht, der so genannte „Licht-Äther“, nachgewiesen werden, was jedoch fehlschlug.

Eine Lichtquelle sendet einen Lichtstrahl (Laserstrahl) bestehend aus nahezu parallelem Licht auf eine Strahlteilerplatte, welche den einen Teil des Lichtes hindurch fallen lässt und den anderen im  $90^\circ$  Winkel reflektiert. Beide Lichtstrahlen werden nun durch Vollspiegel fast senkrecht reflektiert, so dass sie auf der Strahlteilerplatte wieder aufeinander treffen. Diese Strahlen aus fast parallelem Licht überlagern sich so, dass im Idealfall auf dem Schirm eine Ringinterferenz zu beobachten ist (vgl. Abb.).

Das hier entstandene Interferenzbild erklärt sich recht simpel aus der sehr schwachen, aber dennoch vorhandenen Divergenz des Laserlichts sowie dem Gangunterschied, den das Licht bei den verschiedenen Maxima und Minima des Interferenzbildes hat. Die Bildung von Interferenzbildern durch Überlagerungen von Lichtwellen wird in 2.2.3 weiter veranschaulicht.

Bei unseren praktischen Versuchen mit dem Michelson-Morley Interferometer hat sich herausgestellt, dass sich der Mittelpunkt der Ringinterferenz viel einfacher finden lässt, wenn der Laser- oder Lichtstrahl vor Eintritt in das Interferometer mit einer Sammellinse leicht gebrochen wird, denn dadurch verliert der Strahl zwar an Parallelität, aber man sieht ein größeres Muster, bei dem der Mittelpunkt einfacher zu finden ist.



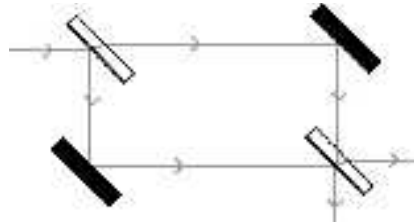
### 2.2.2 Zweistrahl-Interferometer (Mach-Zehnder-Interferometer)

Das Mach-Zehnder-Interferometer wurde 1891/1892 von Ludwig Mach sowie Ludwig Zehnder entwickelt. Wie bereits beim Michelson-Morley-Interferometer wird der Lichtstrahl in zwei Strahlengänge aufgeteilt und wieder zusammengeführt (vgl. Abb.). Das Ergebnis ist wie beim Michelson-Morley-Interferometer eine Ringinterferenz, bei welcher es im Vergleich jedoch um ein Vielfaches schwieriger ist, den Mittelpunkt des Interferenzbildes zu finden.

Neben diesem Nachteil, der sich bei unserem Interferometer als schwer überwindbares Hindernis erweist, bietet das Zweistrahl-Interferometer jedoch einige Vorteile:

- Durch die getrennten Strahlengänge können zum Beispiel Polarisationsfilter, Filter, Detektoren etc. einfacher in den Strahlengängen untergebracht werden, beim Michelson-Morley-Interferometer ist dies nicht ohne weiteres möglich.
- Nach der zweiten Strahlteilerplatte ist es beim Zweistrahl-Interferometer viel einfacher, beide Interferenzbilder zu analysieren. Beim Michelson-Morley-Interfe-

rometer wird ein Interferenzbild wieder in die Richtung des Laser zurückgeworfen.

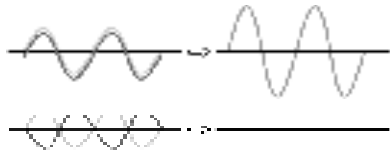


Als weiterer interessanter Effekt lässt sich außerdem festhalten, dass die beiden Interferenzbilder, die am „Ausgang“ entstehen, bei symmetrischen Strahlengängen genau entgegengesetzt sind. Das eine Bild hat also genau da seine Maxima und Minima, wo sich die Strahlen beim anderen auslöschen, das eine Bild ist das Negativ des anderen. Diese Erscheinung wird ausgelöst durch Phasensprünge an Spiegeln und Strahlteilerplatten.

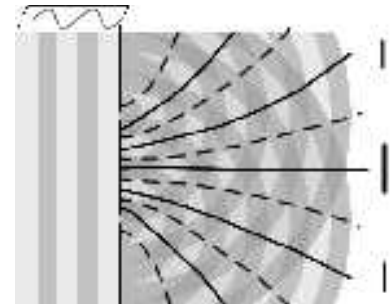
Strahlen beim anderen auslöschen, das eine Bild ist das Negativ des anderen. Diese Erscheinung wird ausgelöst durch Phasensprünge an Spiegeln und Strahlteilerplatten.

**2.2.3 Entstehung von Interferenzbildern**

In der Physik bedeutet Interferenz die Überlagerung von Wellen gleicher Frequenz, wobei sich Wellen, die um ein ganzzahliges Vielfaches der eigenen Wellenlänge verschoben sind, verstärken (vgl. Abb. oben) und Wellen, die um eine halbe Wellenlänge plus ein ganzzahliges Vielfaches der eigenen Wellenlänge verschoben sind, auslöschen (vgl. Abb. unten).



Verlassen wir nun die Ansicht von der Seite und schauen uns die Wellen von oben im zweidimensionalen Raum an (vgl. Abb.). Eine Wellenfront bewegt sich auf einen Doppelspalt<sup>3</sup> zu (dunkler Streifen = Wellenberg, heller Streifen = Wellental). Nach dem Huygenschen Prinzip ist jeder Punkt einer Wellenfront Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle (im zweidimensionalen Raum durch Kreise, im dreidimensionalen Raum durch Kugeln vereinfacht dargestellt), woraus durch Überlagerung neue Wellenfronten entstehen.



Am Doppelspalt angekommen, kann sich diese Entwicklung nicht fortsetzen. Stattdessen entstehen (vereinfacht) zwei Elementarwellen, welche sich hinter dem Doppelspalt überlagern. Bei den dunklen Flächen überlagern sich zwei Wellenberge, daraus folgt konstruktive Interferenz (Verstärkung). Bei den mittelhellen Flächen überlagern sich je ein Wellenberg und ein Wellental, daraus folgt destruktive Interferenz (Auslöschung) und bei den ganz hellen Flächen überlagern sich zwei Wellentäler, daraus folgt ebenfalls konstruktive Interferenz.

Für das Interferenzbild, das wir letzten Endes sehen, heißt das, dass es aus sich abwechselnden Interferenzmaxima und -minima besteht, welche in einer Linie auf dem Schirm angeordnet sind.

Um nun die Ringinterferenzen beim Michelson-Morley-Interferometer beziehungsweise Zweistrahl-Interferometer zu verstehen, brauchen wir uns nur von der zweidimensionalen Ebene in den dreidimensionalen Raum zu begeben. Aus unseren Kreis-Elementarwellen hinter dem Doppelspalt werden sich kugelförmig ausbreitende Elementarwellen hinter der

<sup>3</sup> Thomas Young: Lichtinterferenz am Doppelspalt, 1805.

Strahlteilerplatte. Unser Interferenzbild ändert sich dahin gehend, dass wir an Stelle der ein-dimensionalen, geradlinigen Abwechslung von Interferenzmaxima und -minima eine Abwechslung von zweidimensionalen Ringmaxima beziehungsweise -minima erhalten.

### 2.2.4 Experimente zum Konflikt mit klassischen Erklärungen

Problematisch an den bisher besprochenen Interferometern ist, dass sie keinen tatsächlichen Nachweis für die Quantentheorie erbringen. Wenn Photonen als Teilchen gar nicht existieren würden und Licht eine reine Welle wäre, die sich im Prinzip nicht aus einzelnen "Wellenstückchen" zusammensetzt, könnten diese Aufbauten trotzdem noch restlos erklärt werden. Bei beiden Interferometern entsteht zwangsläufig ein Gangunterschied zwischen den Strahlengängen, der sich dann, quasi wie bei einem rotationssymmetrischen Doppelspalt, auf die Entstehung eines ringförmigen Interferenzbildes auswirkt.

Hält man beim Zweistrahlinterferometer einen Polarisationsfilter in einen der Strahlengänge, so wird das Interferenzmuster auf dem Schirm kontrastärmer. Die vorher noch dunklen Bereiche sind dann etwas heller, die ehemals hellen Bereiche werden dunkler. Quantenmechanisch lautet die Erklärung für diesen Effekt, dass Photonen des einen Strahlengangs „markiert“ werden und somit nur noch die Photonen miteinander interferieren, von denen man nach Durchgang des zweiten Strahlteilers aufgrund ihrer Polarisation nicht ausschließen kann, dass sie über den polarisierten Weg gegangen sind. Ist der Polarisationsfilter etwa in einem  $90^\circ$ -Winkel angebracht, so werden die Photonen miteinander interferieren, die in einer Ebene zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  "schwingen". Bei den restlichen Photonen ließe sich aufgrund ihrer Polarisation bestimmen, welchen Weg sie genommen haben, wodurch sie ihre Interferenzfähigkeit verlieren würden. Allerdings ist dieses Modell nicht notwendig, um den Effekt zu erklären. Viel einleuchtender ist es doch, zu sagen, dass das Licht als Welle vorliegt und nur gleich polarisierte Anteile der Welle miteinander interferieren können. Dieses Argumentationsproblem durchzieht die meisten zunächst denkbaren Interferenzexperimente. Es gibt scheinbar immer eine Möglichkeit, sie mit einer reinen Wellenvorstellung zu erklären. Mit unserer Arbeit haben wir es uns also zum Ziel gesetzt, Experimente zu finden, bei denen klassische Erklärungen nicht mehr möglich sind.

Im Falle des Welle-Teilchen-Dualismus sind dies Ein-Photonen-Experimente, konkreter Interferenzversuche mit sehr stark reduzierter Lichtintensität. Die Intensität muss also nachweislich so weit reduziert werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, dass zwei oder mehr Photonen miteinander interferieren. Dabei soll sich zeigen, dass einzelne Photonen auf entsprechenden Registriergeräten (Filme, APDs oder CCD-Kameras) als "Punkte" sichtbar werden, sich aber auf dem Weg durch das Interferometer wie Wellen verhalten haben müssen.

## 3. Experimente mit einzelnen Photonen

Nach diesen theoretischen Gedanken zur Quantenphysik und zu Ein-Photonen-Experimenten machen wir uns nun an deren Realisierung.

Bereits im Januar 1909 veröffentlichte G. TAYLOR eine Arbeit, in der er „Interferenzerscheinungen bei schwachem Licht“<sup>4</sup> untersuchte.

### 3.1 Interferenzerscheinungen bei schwachem Licht (Taylor)

Taylor experimentierte mit einer Gasflamme als Lichtquelle, welche ihr Licht auf die Spitze einer Nadel warf. Die Nadel diente somit als Doppelspalt. Hinter dem Spalt befand sich

<sup>4</sup> G. Taylor: Interference fringes with feeble light, B.A., Trinity College 1909.



eine Photoplatte, auf der das so entstandene Interferenzbild festgehalten wurde. Um die Intensität der Gasflamme zu reduzieren, verwendete Taylor als Absorber Rauchglasplatten. Um herauszufinden, welchen Anteil des Lichtes die Rauchglasplatten absorbieren, machte er vor dem eigentlichen Interferenzversuch eine Messreihe, in der er die Schwärzung des Films bei unterschiedlichen Absorbieren und unterschiedlich langen Belichtungszeiten miteinander verglich.

Bei den folgenden Interferenzmessungen machte er fünf Aufnahmen, die erste mit direktem Licht. Die ideale Belichtungszeit, um eine schöne Abbildung auf dem Film zu erhalten, fand er durch Probieren heraus. Die weiteren vier Aufnahmen machte er mit Rauchglasplatten und setzte die Belichtungszeiten mit der Messung ohne Absorber ins Verhältnis, so dass immer die gleiche Schwärzung zu erwarten wäre. Die längste Belichtungszeit lag bei 2000 Stunden, also ca. 3 Monate.

Das Ergebnis seiner Messung war ein gut erkennbares Interferenzbild, das in der Schwärzung bei den längeren Belichtungszeiten nicht ganz der Erwartung entsprach. Heute lässt sich dies jedoch recht einfach durch den damals noch nicht bekannten Schwarzschildeffekt erklären.

Taylors frühe Interferenzversuche bei schwachem Licht werden heute als erste Nachweise von Ein-Photonen-Interferenz betrachtet. Im Dorn Bader, einem Physikbuch für die Oberstufe, heißt es auf Seite 248:

„Beim Schall schwingen die zahlreichen *Luftteilchen* relativ zueinander und bilden so eine Welle. Werden Lichtwellen auf ähnliche Weise von dicht fliegenden, schwingenden Photonen erzeugt? G. TAYLOR widerlegte dies bereits 1909 durch Interferenz bei extrem schwachem Licht. Dabei war jeweils höchstens ein Photon im Apparat.“

### 3.2 Kriterien für Ein-Photonen-Experimente

Für die Durchführung von Ein-Photonen-Experimenten sind eine ganze Reihe von Faktoren ausschlaggebend, die es zu berücksichtigen gilt:

- Von der Art der Lichtquelle hängt es ab, wie gleichmäßig die zeitlichen Abstände einzelner Photonen sind. Photonen werden nicht immer gleichmäßig, sondern in "Paketen" erzeugt. Thermisches Licht weist im Gegensatz zu Laserlicht einen besonders starken Bunchingeffekt auf. Beim Laserlicht ist dieser Effekt zwar auch vorhanden, jedoch um ein Vielfaches schwächer. Für eine Ein-Photonen-Messung sollte die Lichtquelle daher im Idealfall Photonen in immer gleichen Zeitabständen abgeben.
- Die Art der Abschwächung bestimmt, wie viele Photonen pro Zeit noch beim Gitter/Interferometeraufbau ankommen. Bei unserem Aufbau sind das vier Graufilter, die auftretendes Licht um den Faktor  $10^{-12}$  reduzieren, also nur jedes billionste Photon durchlassen.
- Um Photonen auszuzählen, ist ein besonders lichtempfindliches Medium nötig, welches sichtbar machen kann, wo es von einzelnen Photonen getroffen wurde. Die Ausbeute, also die Wahrscheinlichkeit, mit der ein einzelnes Photon ein Signal auslöst, muss bekannt oder zumindest messbar sein.
- Die Auflösung des Mediums ist ein zusätzlicher Faktor, der bei vielen Medien in einen Konflikt mit der Lichtempfindlichkeit gerät. Bei Schwarzweißfilmen etwa bestimmt die Größe einzelner Körner, ob der Film sehr lichtempfindlich oder sehr genau ist. Da Photonen nicht besonders groß sind, ist das Auflösungsvermögen vieler Medien nicht fein genug, um überhaupt einzelne Photonen registrieren zu können.

### 3.3 Schwarzweißfilme

Schwarzweißfilme sind aus mehreren Schichten aufgebaut. Neben Schutz-, Lack- und Lichtabsorbtionsschicht gibt es eine Emulsionsschicht, die aus vielen kleinen „Körnern“ besteht und durch die sich später das Bild zusammensetzt. Die Körner bestehen aus Silber-Bromid-Kristallen. Beim Belichten werden einzelne Silberatome aus dem Kristallverbund gelöst und freigesetzt. An diesen freigesetzten Silberatomen greift während des Entwicklungsvorgangs die Entwicklerflüssigkeit an. Ist ein Korn einmal belichtet, wird es im Entwicklungsvorgang komplett geschwärzt.

#### 3.3.1 Kodak T-MAX 100 Schwarzweißfilm

Für unsere Versuche verwenden wir den T-MAX 100 Film von Kodak. Er hat eine mittelgroße Korngröße von ca. 200 Körnern pro Millimeter und daher eine mittlere Empfindlichkeit für einfallendes Licht. Je weniger Körner der Film auf einen Millimeter hat, desto größer sind diese Körner. Und da ein einmal belichtetes Korn in der Entwicklung vollständig schwarz wird, sind Filme mit einer sehr groben Körnung zwar sehr lichtempfindlich, haben dafür aber eine kleinere „Auflösung“.

#### 3.3.2 Schwarzschildeffekt

Der 1899 von Karl Schwarzschild entdeckte und nach ihm benannte Effekt beschreibt das Verhalten eines Schwarzweißfilms bei Belichtungszeiten, die größer als eine Sekunde sind. Wenn man einen Film z.B. 0,5 Sekunden mit einer gewissen Intensität  $I$  belichtet und eine gewisse Schwärzung  $S$  feststellt, würde man eine Proportionalität vermuten und bei einer 100fachen Zeit  $t$  von 500 Sekunden auch eine 100-fache Schwärzung erwarten. Doch Messungen ergeben, dass mit zunehmender Belichtungszeit die weitere Schwärzung abnimmt. Karl Schwarzschild fand für dieses Verhalten die Formel  $S = I \cdot t^p$ .

In der Formel ist  $p$  der Schwarzschildexponent, welcher Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Durch Hypersensibilisierung kann man die Empfindlichkeit des Film fast bis auf einen Exponenten von 1 steigern. Dabei wird der Film bei einem bestimmten Druck und bestimmter Temperatur mit Wasserstoffgas behandelt. Dieses Verfahren wird seit langer Zeit in der Astrofotografie eingesetzt, um bessere Aufnahmen von lichtschwachen Objekten zu erhalten.

Der Schwarzschildexponent ist für jeden Film ein anderer. Auch die Zeit, in der sich der Film in der Entwicklerflüssigkeit befindet, spielt eine entscheidende Rolle. Zwar gibt es zu den meisten Filmen Angaben für die Exponenten, jedoch sind dies immer nur ungefähre Angaben, die experimentell überprüft werden sollten. In der Praxis belaufen sich die Exponenten auf Werte zwischen 0,6 bis 0,8.

Als Taylor seine Untersuchungen machte, wüsste er noch nichts vom Schwarzschildeffekt. Deswegen wunderte er sich bei längeren Belichtungszeiten auch über die verminderte Schwärzung der Photoplatten.

### 3.4 Experiment zum Abschwächen eines Laserstrahls

Aufbau:

Unsere Experimente zum Abschwächen eines Laserstrahls führen wir auf einem Teil einer fünf Zentimeter dicken und ca. 30 Kilogramm schweren Platte aus Massivholz durch. Dieser Teil kann von einer Kiste aus mitteldichter Faserplatte abgedeckt werden, welche von innen (zum Absorbieren von „Streuphotonen“) und von außen (damit es besser aussieht) schwarz gestrichen ist. Um zu verhindern, dass Licht zwischen Platte und Kiste hindurch in den

Experimentierbereich gelangen kann, sind auf der Grundplatte Leisten mit Moosgummiüberzug befestigt. Alle weiteren „unsicheren“ Stellen, wie z.B. Bohrungen für Kabel, sind mit schwarzem Silikon und Klebeband abgedichtet.

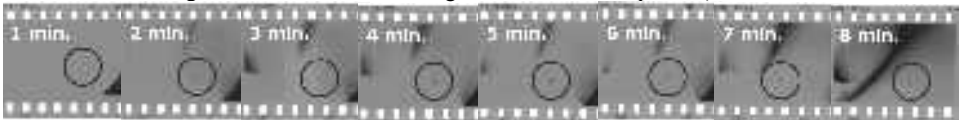
Im Inneren der Kiste befinden sich der Laser, eine Bank zum Installieren der Absorber, verschiedene Streulichtfilter sowie die Kamera (ohne Objektiv), die mit einem Fernauslöser von außen betätigt werden kann.



Unser Auswertung dient zur Bestimmung

des Schwarzschildexponenten. Es werden 8 Fotos mit eins bis acht Minuten Belichtungszeit bei einer Abschwächung von  $10^{-9}$  gemacht. Auf den Fotos ist in der Mitte ein kleiner Punkt zu erkennen, der mit größer werdender Belichtungszeit an Intensität gewinnt. Alles andere auf dem Film ist Streulicht, das ungünstig zwischen den Graufiltern reflektiert wurde und spielt für die Auswertung keine weitere Rolle. Um dies bei zukünftigen Messungen zu vermeiden, werden Streulichtfilter und Zwischenwände eingebaut.

Zur Auswertung dieser Messreihe benötigen wir eine Lichtquelle (wir verwenden unseren



Laser), eine Photozelle, eine Vergrößerungslinse und ein Voltmeter. Mit dem Laserstrahl beleuchten wir den Punkt auf dem Film. An der Wand sehen wir einen roten Kreis, in dessen Mitte die Intensität geringer als an den Rändern ist. Genau in der Mitte von diesem inneren Kreis wird die Photozelle platziert und die Spannung gemessen. Diesen Vorgang wiederholen wir für die anderen sieben Fotos. Zum Schluss benötigen wir noch zwei Referenzwerte für die maximale und minimale Schwärzung. Die minimale Schwärzung erhalten wir, wenn wir den Laser ausschalten und kein Licht auf die Photozelle fällt. Die maximale Schwärzung erhalten wir durch Belichten einer klaren Stelle auf dem Film. Einfach nur die Intensität des Lasers zu messen, hätte fatale Folgen, denn bereits die durchsichtige Trägerschicht absorbiert einen nicht unwesentlichen Anteil, was deutlich auf der Anzeige des Voltmeters zu erkennen ist.

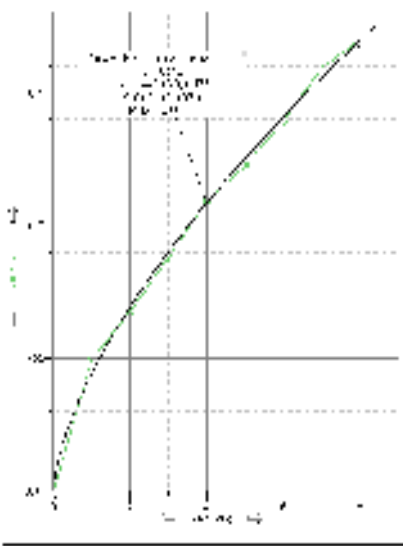
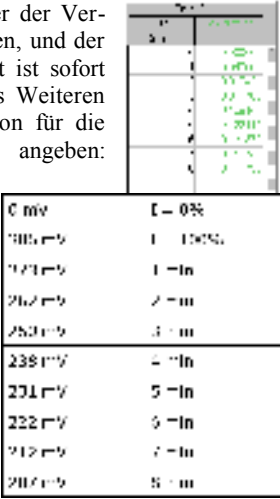
Schwierigkeiten bei diesem Auswertungsverfahren bereiteten uns unsere ersten Versuche mit einem Diaprojektor. Die damit gewonnenen Werte waren vollständig unbrauchbar, da der Projektor außer dem Film noch ca. den halben Raum beleuchtete, was durch einfallendes Streulicht natürlich zu falschen Messwerten führte. Ebenfalls ist es nicht einfach, den Punkt auf dem Film genau in der Mitte des Laserstrahls zu platzieren, da hier bereits Ungenauigkeiten zu falschen Ergebnissen führen.

Die so gewonnenen Daten lassen sich grafisch auswerten. Wir tragen die Schwärzung über der Zeit auf, wobei die Schwärzung (gemessen in Einheiten der Spannung) der Zehner-Logarithmus vom Verhältnis aus Maximalintensität (Wert: 306mV) und der jeweilig betrachteten Intensität ist.

Deutlich lässt sich hier der Verlauf der Kurve erkennen, und der Schwarzschildexponent ist sofort bestimmbar: 0,65. Des Weiteren lässt sich eine Funktion für die Schwärzung angeben:

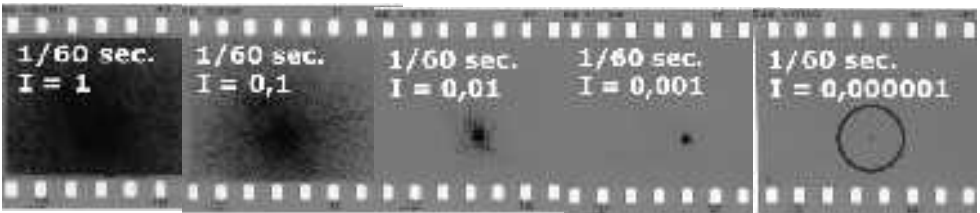
$S(t) = 0,0443 \cdot t^{0,65}$ ,  
wobei t in Minuten eingegeben werden muss. Um t in Sekunden angeben zu können, verwenden wir daher folgende, sehr einfache, Abwandlung:

$$S(t) = 0,0443 \cdot \left(\frac{t}{60}\right)^{0,65}$$



Kommen wir nun zum Ein-Photonen-Experiment:

Um möglichst wenig Photonen zum Film zu lassen, senken wir die Intensität des Laserstrahls auf  $10^{-12}$ . Aus der Photonenrechnung in 2.1.3 wissen wir, dass dann im Mittel nur noch 2828 Photonen pro Sekunde beim Film ankommen werden. Bevor wir dies jedoch tun können, müssen wir, um die Intensität und Belichtungszeit berechnen zu können, eine Vergleichsaufnahme mit höheren Intensitäten machen. Dafür verwenden wir die Intensitäten  $10^0$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  und  $10^{-6}$ . Dabei wird jeweils eine sechzigstel Sekunde belichtet.



Betrachten wir nun die Aufnahme ganz rechts mit der Intensität  $I = 10^{-6}$ . Hier ist zwar nur ein sehr schwacher Punkt zu erkennen, jedoch besteht dieser aus über 100 geschwärzten Körnern. Um nun die notwendige Belichtungszeit für die Aufnahme mit der Intensität  $I = 10^{-12}$  zu bestimmen, brauchen wir fast nichts weiter zu tun, als die Belichtungszeit des obigen Fotos mit  $I = 10^6$  zu multiplizieren, denn wenn wir eine Million mal weniger Photonen durchlassen (1.000.000 ist der Unterschied der verwendeten Absorber), müssten wir eine Million mal länger belichten, das heißt:

$$\frac{1}{60} \text{ sec.} \cdot 10^6 = 16666,6666 \text{ sec.} = 4 \text{ h. } 37 \text{ min. } 46 \text{ sec.}$$

Leider macht uns hier der Schwarzschildexponent einen Strich durch die Rechnung, so dass

wir ihn mit folgender Formel einbeziehen müssen:

$$p = \log\left(\frac{t_{\text{Effektiv}}}{t_{\text{Theoretisch}}}\right) \quad 0,65 = \log\left(\frac{t_{\text{Effektiv}}}{16666,6666}\right) \quad \text{das heißt } t_{\text{Effektiv}} = 74445,8496$$

Somit müssen wir, um die selbe Schwärzung zu erhalten, 20h.40min.45sec. belichten.

Wir haben 4,5, 9, 18 und 48 Stunden belichtet, und was sich uns als Ergebnis geboten hat, war höchst erstaunlich. Auf sämtlichen Bildern, die wir mit der Intensität von  $I=10^{-12}$  gemacht haben, war mit dem bloßem Auge keine Schwärzung festzustellen. Auch mit einem Lichtmikroskop, mit dem wir auf den anderen Aufnahmen Tausende einzelne Körner sehen konnten, war weit und breit nichts zu entdecken. Was hat das zu bedeuten?



### 3.5 Interessante Erkenntnisse

Bereits 1985 veröffentlichte u.a. Professor Doktor Ludger Wöste von der Universität Berlin eine Arbeit über die „Latentkeimbildung“ bei Schwarzweißfilmen. Latentkeime sind kleine Anhäufungen von mindestens vier Silberatomen, die nah beieinander liegen. Beim späteren Entwicklungsvorgang werden nur die Körner vom Entwickler geschwärzt, die mindestens einen Latentkeim enthalten. Um genaueres über diesen Vorgang zu erfahren, stellten wir Professor Wöste einige Fragen per E-Mail, auf die er bereits am nächsten Morgen antwortete:

„Zu Ihren wunderschönen „Einphotonenexperimenten“ möchte ich Ihnen gratulieren. Ich teile jedoch Ihre Zweifel, ob eine fotografische Platte der ideale Detektor hierfür ist. Unsere früheren Arbeiten haben ergeben, dass ein Latentbildkeim, d.h. ein belichteter AgBr-Mikrokristall auf seiner Oberfläche einen Silbercluster, bestehend aus mindestens vier Silberatomen, aufweisen muss. Diese vier Silberatome werden durch Elektron-Lochpaarbildung an den Fehlstellen des AgBr-Mikrokristalls zeitlich nacheinander erzeugt und formen dann den Silbercluster. Es müssen also mindestens vier Photonen am Ort des AgBr-Mikrokristalls eingestrahlt werden, um einen Latentbildkeim zu bilden. Ob sich dieser Prozess auch über eine Dauer von 4 Stunden hinweg ausdehnen lässt, kann ich Ihnen nicht beantworten. ...“ (Persönliche Mitteilung Prof. Dr. Wöste vom 04.01.2006).

### 3.6 Schwarzweißfilm als Nachweis?

Nach den überraschenden Ergebnissen unseres Experiments und den neuen Erkenntnissen über die Latentkeimbildung stellt sich zu Recht die Frage, ob man mit einem Schwarzweißfilm überhaupt ein Ein-Photon-Ereignis nachweisen kann.

Taylor selbst hat die Energie in seinem Experiment nicht als Anzahl von Lichtquanten angegeben, sondern in Energie pro Fläche und Zeit. Die Energie „auf einen Quadratzentimeter

der photographischen Platte ist  $5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{erg}}{\text{sec}}$ “<sup>5</sup>. erg ist eine alte Einheit des cgs-Systems

und entspricht  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ . Nehmen wir nun eine mittlere Wellenlänge von 550 Nanometern für das Licht von Tayors Gaslampe an, lässt sich die Anzahl der Photonen berechnen, die pro Sekunde auf einen Quadratzentimeter fällt:

<sup>5</sup> [http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web\\_ph12/originalarbeiten/taylor/taylor\\_d.htm](http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web_ph12/originalarbeiten/taylor/taylor_d.htm)

$$E = n \cdot h \cdot f \quad n = \frac{E}{h \cdot \frac{c}{\lambda}} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-7} J}{6,63 \cdot 10^{-34} Js \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{550 \cdot 10^{-9} m}} \approx 1383526$$

Nun können wir abschätzen, wieviele Photonen im Mittel pro Sekunde auf ein Korn fallen. Dafür nehmen wir an, dass Taylors Fotoplatte maximal eine Auflösung von 100 Körnern auf einen Millimeter hatte. Daraus ergeben sich  $100 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 10 = 1000000$  Körner, was wiederum heißt, dass pro Sekunde im Mittel 1,3835 Photonen auf ein Korn getroffen sind. Was heißt das nun?

Wenn ein Photon in einem Korn eine Keimzelle bilden könnte, dann wäre selbst bei einer geringen Photonenausbeute von weniger als 1% nach spätestens 5 Minuten der gesamte Film belichtet. Dem war aber nicht so, denn Taylor belichtete bis zu drei Monate. In dieser Zeit wären somit  $3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1,3835 = 3586032$  Photonen auf jedes einzelne Korn gefallen.

Aus der Arbeit von Professor Wöste wissen wir, dass eine Keimzelle aus mindestens vier nahe beieinander liegenden Silberatomen bestehen muss und dass jedes Silberatom von einem Photon aus dem Kristall gelöst wird. Da in Taylors Versuch trotz 3,5 Millionen Photonen viele Körner nicht belichtet wurden und auch bei unseren Versuchen nicht ein einziges Korn belichtet war, lässt das den Schluss zu, dass ein Schwarzweißfilm nur eine gewisse Menge dicht aufeinander folgender Photonen nachweisen kann. Wenn das stimmt, dann müssten sich einzelne, einmal aus dem Kristall gelöste Silberatome nach einer gewissen Zeit wieder in den Kristall zurück begeben.

Was hätte Taylor dann nachgewiesen?

Taylor verwendete eine Gaslampe. Damals wusste er noch nicht, dass bei thermische Lichtquellen ein sehr starker „Bunching-Effekt“ auftritt. Bei Laserlicht hingegen werden die Photonen zwar auch in sehr kurzen Zeitabständen in kleinen Paketen abgeschickt, sind jedoch nicht so unverhersehbar „gebunched“ wie bei beispielsweise Taylors Gaslampe.

Taylor könnte aufgrund der Beschaffenheit einer Fotoplatte gar keine Ein-Photonen-Ereignisse nachweisen, wie es im Dorn Bader, Metzler und sicher noch in vielen anderen Büchern für Oberstufenphysik steht. Viel wahrscheinlicher wäre es, dass die einzelnen Punkte, die auf seinen Fotoplaten zu sehen waren, ein Nachweis für die Auswirkungen des Bunching-Effekts sind.

### 3.7 Photomultiplier und APD's

Um ein Ein-Photonen-Experiment durchführen zu können, bedarf es also modernerer Detektoren als einen Schwarzweißfilm. Für weitere Messungen tauschen wir somit unsere Schwarzweißbild-Kamera gegen einen Photomultiplier aus. Dieser ist mit einem Oszilloskop und einer Hochspannungsquelle verbunden. Des Weiteren ist der gesamte Aufbau an einen Computer angeschlossen, um registrierte Ereignisse in einer Langzeitmessung aufzeichnen zu können.

Leider stört bei Photomultipliern (insbesondere bei den alten Modellen, die uns zur Verfügung stehen) das nicht unerhebliche „Dunkelrauschen“. Dunkelrauschen bedeutet, dass ein Ereignis angezeigt wird, obwohl in Wirklichkeit keins stattgefunden hat. Bereits bei einer Abschwächung des Laserstrahls auf  $10^{-6}$  der Intensität ist es nicht mehr möglich, auf dem Bildschirm des Oszilloskops einen Unterschied zwischen den Ausschlägen bei „Laser aus“ und „Laser an“ zu erkennen. Somit müssen bei höheren Abschwächungen

statistische Methoden angewandt werden.

Wir haben bei  $10^{-9}$  der Laserintensität eine Langzeitmessung von über 20 Stunden durchgeführt. Der Computer speichert den Zeitpunkt jedes Ereignisses, das der Photomultiplier registriert. Bei der Auswertung wird die Aufzeichnung in jeweils 20-Sekündige Stücke unterteilt und gezählt, wie oft wie viele Ereignisse registriert werden. In der grafischen Darstellung ist die Häufigkeit mit der eine bestimmte Ereigniszahl pro Intervall eintritt gegen diese Zahl aufgetragen.

Im oberen Bild ist der Laser aus. Der Graf gibt die Verteilung der Störungen an. Im unteren Bild ist der Laser an. Dieser Graf sieht wegen einer größeren Anzahl von Ereignissen einer Poissonverteilung recht ähnlich. Bei mehrfacher Durchführung ließ sich der Graf ohne Laserlicht immer deutlich von dem mit Laserlicht unterscheiden.

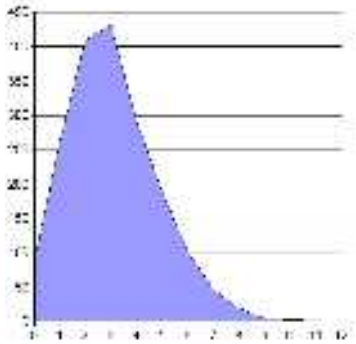
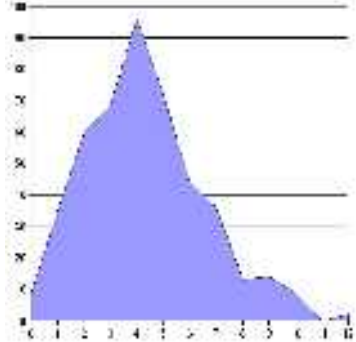
Leider ist bei dieser statistischen Art der Auswertung mit unserem Photomultiplier bei  $10^{-10}$  der Laserintensität Schluss, da bei dieser geringen Lichtintensität zu viele Ereignisse vom Dunkelrauschen und nicht von ankommenden Photonen ausgelöst werden.

Knapp eine Woche nach dem Jugend forscht Landeswettbewerb und vier Tage vor der Abgabe dieser Arbeit sind die lang erwarteten Avalanche Photo Dioden (APD) eingetroffen.

APD's haben gegenüber Photomultipliern eine viel geringeres Dunkelrauschen und eine um ein vielfaches höhere Ansprechwahrscheinlichkeit auf Lichtquanten.

Mit ihnen ist auch die Überprüfung unserer These möglich, dass der Bunchingeffekt thermischer Lichtquellen für die Punkte auf den Schwarzweißfilmen verantwortlich ist. Ein Experiment zur Überprüfung ist eine Langzeitmessung mit einem stark abgeschwächten Laserstrahl und einer stark abgeschwächten Glühlampe.

Wenn unsere These stimmt, müssten wir bei Laserlicht wie bereits beim Photomultiplierexperiment eine Poissonverteilung und beim thermischen Licht der Glühlampe eine Bose-Einstein-Verteilung erhalten. Zur Verdeutlichung dienen die beiden Streifen welche Langzeitmessungen darstellen. Die einzelnen Kästchen können als gleichlange Zeiteinheiten aufgefasst werden. Die Zahlen in den Kästchen stehen für die Anzahl der registrierten Ereignisse. Zwar haben beide Streifen die gleiche mittlere Anzahl Photonen, jedoch unterscheiden sie sich stark in deren Verteilung (vgl. 2.1.4). Der Nachweis von Null Photonen in einem dieser Kästchen ist bei einer Bose-Einstein-Verteilung am Wahrscheinlichsten. Da aber im Mittel in jedem Kästchen eine bestimmte Photonenzahl gefunden werden muss, muss es Zeitintervalle geben, in denen besonders viele Photonen registriert werden. Das ist der Bunchingeffekt des Thermischen Lichtes.



Laserlicht.	2	5	4	5	6	3	4	7	2	5	4	6	3	4	5	5
Thermisches Licht	3	0	1	2	10	0	9	1	8	6	1	5	0	1	13	0

## 4 Quantenradier und Interferometrie

### 4.1 Mach-Zehnder-Interferometer

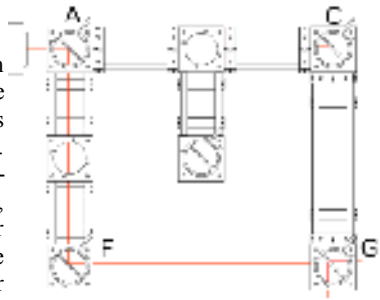
In der Abbildung rechts ist ein Zweistrahl-Interferometer mit zusätzlichen Umlenkwürfeln zu sehen, in die weitere Strahlteilerplatten eingesetzt werden können. Für den Mach-Zehnder-Aufbau sind diese jedoch nicht weiter von Bedeutung.

Das Licht wird im Würfel A in zwei Wege aufgeteilt. Die beiden Würfel C und F reflektieren das Licht vollständig in Richtung Würfel G, wo es auf eine weitere Strahlteilerplatte trifft. Dadurch entsteht an den beiden Ausgängen bei Würfel G jeweils ein Interferenzmuster, wobei das eine das Negative des anderen ist. Bei Bild A ist in der Mitte eine destruktive Interferenz zu erkennen, bei Bild B eine positive.



### 4.2 Quantenradierer mit Polfiltern

Bei diesem Versuch wird das Licht ebenfalls im Würfel A in zwei Wege aufgeteilt. In beide Wege werden Polarisationsfolien gestellt, wobei eine das Licht horizontal und die andere vertikal polarisiert. Durch diese „Markierung“ der Photonen entsteht hinter den Ausgängen bei Würfel G kein Interferenzbild, denn es ließe sich auf Grund der Polarisation der Photonen theoretisch bestimmen, welchen Weg sie genommen haben. Um diese Weginformation wieder „auszuradiieren“, kann man nun hinter die Ausgänge



eine Polarisationsfolie im  $45^\circ$  Winkel zu den anderen beiden in den Strahlengängen anbringen. Die Photonen hinter der Polarisationsfolie interferieren nun wieder miteinander, doch lässt sich jetzt nicht mehr bestimmen, welchen Weg sie genommen haben, denn auf Grund der neuen Polarisationsrichtung sind beide Wege wieder gleich wahrscheinlich.

Das Unpraktische an diesem Aufbau ist, wie oben schon angedeutet, dass dieser Effekt auch mit bloßer Wellentheorie erklärt werden kann. Warum sollten Photonen, die im  $90^\circ$  Winkel zueinander schwingen, miteinander interferieren?

### 4.3 Quantenradierer ohne Polfilter

Der von uns gewählte Versuchsaufbau ist um ein weiteres Zweistrahl-Interferometer erweitert. Die Würfel B und D reflektieren jeweils die Hälfte des Lichts aus den Strahlengängen und können dies mit einem dritten Würfel E ebenfalls zur Interferenz bringen. In diesem Versuch ist anstelle des Polarisationsfilters am Ausgang des obigen Aufbaus der Würfel E der „Quantenradierer“, welcher die Weginformation der Photonen „ausradiiert“.

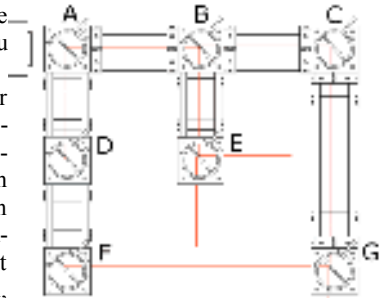
Ursprünglich haben wir uns überlegt, dass kein Interferenzbild mehr zu sehen sein müsste, wenn in die Würfel B und D die Strahlteiler eingesetzt werden. Über die inneren Wege wäre messbar, welchen Weg ein Photon genommen hat. Es würde somit seine Interferenzfähigkeit verlieren. Der Strahlteiler E sollte dann diese Information wieder auslöschen, weil er verhindert, dass Photonen, die an einem der mittleren Ausgänge auftauchen, noch eindeutig einem der beiden Wege zugewiesen werden können. Somit sollten dann auch wieder Interferenzbilder am Strahlteiler G sichtbar sein. Das Experiment war gedacht, um



Quantentheorie wirklich sichtbar zu machen, ohne dabei mit reinen Wellenmodellen gedeutet werden zu können.

Bei der Realisierung des Aufbaus ist uns jedoch klar geworden, dass wir Photonen, deren Wahrscheinlichkeitspakete sich an den Strahlteilern aufteilen, Eigenschaften zugewiesen haben, die sie in dieser Form und bei diesem speziellen Experiment nicht haben können. Der Ansatz, dass durch die Gewinnung zusätzlicher Informationen Quanten bis hin zum Verlust ihrer Interferenzfähigkeit beeinflusst werden können, ist bis dahin völlig richtig. Es ist allerdings nötig, sich bewusst zu sein, dass ein „Abzwacken“ von Information durch einen Strahlteiler quasi nicht möglich ist. Ein Photon wird letztlich nur bei einem der beiden Wege aus seinem Superpositionszustand, welcher durch besagte Wahrscheinlichkeitspakete beschrieben wird, zu einem festgelegten „Punkt“ geleitet, der dann auf einem entsprechenden Nachweismedium zu sehen ist. Das Photon wird also jeweils nur bei einem der Ausgänge auftauchen.

Prinzipiell ist es noch möglich, das Experiment mit verschränkten Photonen durchzuführen. Anstelle von Strahlteilerplatten werden dann bei B und D Kristalle eingesetzt, welche verschränkte Photonen im rechten Winkel erzeugen. Auch dann entsteht allerdings kein direkt sichtbares Interferenzbild, sondern jeweils eine Überlagerung aus zwei entgegengesetzten Interferenzbildern an beiden Ausgängen, die sich zu einem gleichmäßig beleuchteten Lichtfleck ergänzen. Um diese zu trennen, dürfte ein Strahlteiler G registriert werden, nur dann in der Statistik (also etwa im Bild einer CCD-Kamera) auftauchen, wenn ein bei einem der beiden Ausgänge des Strahlteilers E aufgestellter Detektor ebenfalls ein Photon registriert. Das macht den Versuch nicht nur ungleich komplizierter, sondern lässt zudem seine Qualität als anschauliches Experiment zur Verdeutlichung der Unschärfe von Quanten gegen Null gehen. Experimente mit verschränkten Quanten können auch mit deutlich einfacheren Aufbauten (z.B. dem zweifachen Doppelspalt) durchgeführt werden.



## 5 Ausblick

Um unsere Ergebnisse abzusichern, stehen nun ausführliche Messungen mit den APD's an. Dabei werden wir versuchen, den Bunchingeffekt von thermischen Lichtquellen bei ähnlicher Lichtintensität wie in Taylors Experiment nachzuweisen.

Zudem wollen wir weitere Langzeitmessungen mit Schwarzweißfilmen über mehrere Tage durchführen.

Das letzte geplante mittel- bzw. langfristige Ziel bleibt nach wie vor die Kombination des Quantenradierers / Zweistrahl-Interferometers mit einem Ein-Photonen-Experiment.

## Beobachtungshinweise

Christian Hendrich

4.4.06		Virginiden Maximum (schwach)			
3.4.06	22 Uhr	Mond 3° nördlich von Mars	16.6.06	18 Uhr	Pluto in Opposition
5.4.06	13 Uhr	Saturn im Stillstand, danach rechtläufig	18.6.06	1 Uhr	Mond 4,5° südlich von Uranus
7.4.06	3 Uhr	Mond 3° nördlich von Saturn	17.6.06	22 Uhr	Mars 0,6° nördlich von Saturn
8.4.06	0 Uhr	Merkur im Aphel (Sonnenferne, Abstand 0,438 AE)	19.6.06	17 Uhr	Uranus im Stillstand, danach rückläufig
8.4.06	19 Uhr	Merkur in größter westlicher Elongation (27,8°)	20.6.06	21 Uhr	Merkur in größter östlicher Elongation (24,9°)
17.4.06		Sigma-Leoniden Maximum (schwach)	21.6.06	13:26	Sonne im Sommerpunkt
22.4.06		Lyriden Maximum (sichtbar 12.-24. April mit 10<ZHR<20 bei v=50km/s)	23.6.06	3 Uhr	Mond 5,3° nördlich von Venus
24.4.06	4:30	Mond 6° südlich von Venus	26.6.06	1 Uhr	Mars im Aphel (Sonnenferne, Abstand 1,66 AE)
2.5.06	21 Uhr	Mond 4,9° nördlich von Mars	27.6.06		Corviden Maximum (sichtbar 25.6.-2.7.)
4.5.06	16 Uhr	Jupiter in Opposition	28.6.06	22 Uhr	Juni-Draconiden Maximum
4.5.06	20 Uhr	Mond 5,1° nördlich von Saturn	28.6.06		Mond 4,6° nördlich von Saturn und 1,9° nördlich von Mars
5.5.06		eta-Aquariden Maximum (sichtbar vom 1.-8.Mai, 20<ZHR<60, V=65km/s)	2.7.06	7 Uhr	Venus 4.1° bei Aldebaran
17.5.06	6 Uhr	Venus im Aphel (Sonnenferne, Abstand 0,729 AE)	4.7.06	4 Uhr	Merkur im Stillstand, danach rückläufig
18.5.06	21 Uhr	Merkur in oberer Konjunktion mit der Sonne	4.7.06	22 Uhr	Mond bei Spica, Abstand 1,7°
20.5.06		Scorpius-Sagittariden Maximum (schwach, V=30km/s (mittel))	5.7.06	1 Uhr	Merkur im Aphel
22.5.06	0 Uhr	Merkur im Perihel (Abstand 0,307 AE)	6.7.06	21 Uhr	Jupiter im Stillstand, danach rechtläufig
22.5.06	18 Uhr	Neptun im Stillstand, danach rückläufig	8.7.06	1 Uhr	Mond bei Antares, Abstand 4,3°
24.5.06	4 Uhr	Mond 3,0° nördlich von Venus	17.7.06	3 Uhr	Mond bei Delta Psc, Abst. 1.3°
30.5.06	23 Uhr	Mond 4,4° nördlich von Mars	22.7.06	18 Uhr	Mars bei Regel, Abstand 38,2'
31.5.06	23:30	Mond 2,6° nördlich von Saturn	23.7.06	4 Uhr	Mond bei Venus, Abstand 4.3°
3.6.06		Tau-Herkuliden Maximum (sichtbar 19.5.-14.6.)	27.7.06	2 Uhr	Kappa Cyiniden, blau-weiß, bis 2.9.
8.6.06	21 Uhr	Mond 5,9° südlich von Jupiter	28.7.06	19 Uhr	Merkur im Stillstand, dann rechtläufig
8.-9.6.06		Libriden Maximum	30.7.06	7 Uhr	südl. Delta-Aquariden, ZHR= 11,2, 14km/h, sichtb.15.7.-19.8.
11.-21.6.06		Juni-Lyriden Maximum	4.8.06	22 Uhr	Mond bei Antares, Abstand 1,5°
14.6.06		Sagittariden Maximum (sichtbar 15.4.-15.7.)	10.8.06	1 Uhr	Mond bei Dened, Abstand 0,9°
			10.8.06	23 Uhr	Merkur bei Venus, Abstand 2,2°
			11.8.06		Neptun in Opposition

**Quellen:** <http://me.in-berlin.de/~jd/himmel> • H.-U. Keller (Hrsg.): Das Kosmos Himmelsjahr, Franck-Kosmos-Verlag • Ron Baalke (Hrsg.): Space Calendar, NASA/JPL, <http://www.jpl.nasa.gov/calendar/> • Fred Espenak (Hrsg.), "Twelve Year Planetary Ephemeris (TYPE)", NASA/GSFC, <http://lep694.gsfc.nasa.gov/code693/TYPE/TYPE.html>

## Rezension: Albert Einstein und seine Relativitätstheorie

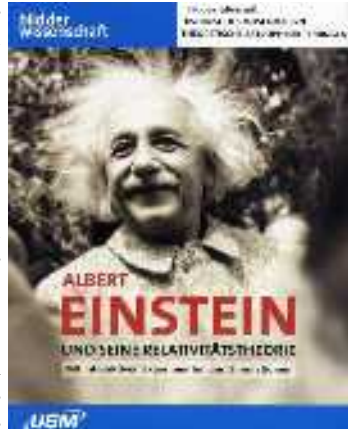
Bianca Krohn

Auf der CD-Rom „Albert Einstein und seine Relativitätstheorie“ dreht sich alles um Albert Einstein dem wohl berühmtesten Physiker der Welt.

Das Programm teilt sich in drei große Kategorien auf: der Zeitleiste, der Bibliothek und dem Labor.

In einer Zeitleiste wird dem Benutzer ermöglicht, den zeitlichen Zusammenhang zwischen der Biographie, dem historischen Hintergrund und dem naturwissenschaftlichen Wirken zu ziehen.

In der Biographie wird das Leben von Albert Einstein von seiner Geburt am 14. März 1879 in Ulm bis zum Tod am 18. April 1955 in Princeton mit allen Zwischenstationen erzählt. Durch eine Unzahl von zeitgenössischen Fotografien wird der Zuhörer bzw. der Leser in die Welt um 1900 entführt. Einige Bilder können zwar durch Anklicken vergrößert werden, weisen dann allerdings oftmals eine schlechte Auflösung auf, was den Genuss stark einschränkt.



Neben dem historischen Hintergrund wird der kulturelle und gesellschaftliche Hintergrund der Zeit beschrieben. Durch Verlinkung mit der Biographie wird der Einfluss auf Einstein verdeutlicht. Dies gelingt leider nicht ausreichend, so dass dieser Bereich zwar einen interessanten geschichtlichen Abriss zeigt, aber der Zusammenhang zu Einstein fehlt.

Im letzten Teil der Zeitleiste „Naturwissenschaft“ werden die naturwissenschaftlichen Arbeiten und die Stationen der wissenschaftlichen Karriere Einsteins näher beleuchtet. In diesem Teil wird das Hauptaugenmerk darauf gelegt zu erläutern warum die Entwicklung der neuen Theorien wissenschaftsgeschichtlich notwendig war. Dies ermöglicht Laien und Spezialisten Einblicke in das Dilemma der Physiker der damaligen Zeit beispielsweise die Äther-Diskussion, bis zur Lösung durch die spezielle Relativitätstheorie.

In der Bibliothek gibt es fünf Unterkategorien. Zunächst ein Mitschnitt eines Radio-Interviews mit Einstein, seine Autobiographie, der Briefwechsel mit Max Born, eine Biographie von Johannes Wickert und zuletzt einige Gedanken Einsteins zu verschiedenen Dingen.

In der letzten Kategorie findet der Benutzer eine Reihe von Animationen oder Filmen die spielerisch die Auswirkungen der Relativitätstheorie zeigen sollen. Neben den im Verein bekannten Animationen von Prof. Ruder findet man Filme zum Gravitationslinseneffekt, mit Hintergrundinformationen zur allgemeinen und speziellen Relativitätstheorie, dem Zwillingsparadoxon und der Millennium Simulation.

Leider sind die Simulationen nicht dazu geeignet, Laien die Relativitätstheorie zu verdeutlichen, da die physikalischen Hintergründe und Zusammenhänge an vielen Stellen fehlen. Für Leute mit Vorkenntnissen ist dieser Teil des Programms allerdings gut dazu geeignet sich einzelne Zusammenhänge nochmal zu veranschaulichen.



**Fazit:** Das Programm ist ein schönes Programm für Menschen die sich gerne mit dem Leben von Albert Einstein beschäftigen wollen und viel Wert auf die geschichtlichen und gesellschaftlichen Hintergründe legen. Die Biografien und Briefwechsel, sowie seine Gedanken bringen einem die Persönlichkeit von Einstein näher. Allerdings ist das Programm nicht dazu geeignet, Laien die Relativitätstheorie zu erklären.

**Hersteller:** United Soft Media Verlag GmbH, <http://www.usm.de>

**Betriebssystem:** Windows 98 oder neuer, **CPU:** ab 300 MHz, **Arbeitsspeicher:** 64 MB

**Festplatte:** 300 MB, **CD-Rom:** ab 12-fach, **unverbindliche Preisempfehlung:** 39,90 €

Weitere Rezensionen finden Sie auf der Internetseite des Astronomischen Arbeitskreises unter: <http://www.astronomie-kassel.de>

## Gewinnspiel

Bianca Krohn

Auch in dieser Ausgabe verlosen wir die auf Seite 43 rezensierte CD-Rom „Albert Einstein und seine Relativitätstheorie“ unter allen Einsendungen des richtigen Lösungsworts des untenstehenden Quizes. Einsendeschluß ist der 1. Juli 2006. Bei mehreren Einsendungen erfolgt eine Ziehung unter Ausschluß der Öffentlichkeit und ohne notarielle Aufsicht.

**Anleitung:** Ergänzen Sie untenstehendes „magisches Quadrat“ so, daß in jeder Zeile, jeder Spalte und in jedem 3x3-Quadrat jede Zahl zwischen eins und neun nur einmal vorkommt. Das Lösungswort aus dem Bereich Astronomie erhalten Sie aus den grau hinterlegten Kästchen von oben nach unten zeilenweise gelesen, indem Sie den folgenden Schlüssel anwenden: 1=I, 2=K, 3=G, 4=E, 5=P, 6=O, 7=T, 8=S, 9=L

	7	9	4		2	5		1
2					9		3	7
	1	4		7		8		
5		8	1		7	6		
7	9					1	4	
		3		5	6	7		2
9			5		4			
4		7				2	5	
8			7	6			1	4

Lösungswort: \_ \_ \_ \_ \_ L \_ \_ \_ \_ \_

## Vorträge und Veranstaltungen

April bis Juli 2006

Alle Veranstaltungen finden, wenn nicht anders angegeben, in der Albert-Schweitzer-Schule, Kassel im Neubau (Eingang Parkstr.) statt. Aktuelle Termine und Programmänderungen finden Sie auf unserer Internetseite: <http://www.astronomie-kassel.de>

Fr, 28.4., 18.00 Uhr Filmabend und Jahreshauptversammlung

### **Die Totale Sonnenfinsternis in der Türkei**

Referent: Ralf Gerstheimer u.a.

Viele AAKler waren zur totalen Verfinsternung am 29.3. im Kernschatten des Mondes, in der Türkei.

18.30 Uhr Mitgliederversammlung

Mo, 1.5., 15.00 Uhr bis 22.00 Uhr

### **Tag der offenen Tür in der Sternwarte Calden**

Neben Kaffee, Kuchen, Grillabend ist die Einweihung der zweiten computergesteuerten Nachführung vorgesehen.

Fr, 5.5., 18.00 Uhr Vortrag

### **Warum stirbt Schrödingers Katze?**

Referent: K.-P.Haupt

Der mathematische Formalismus der Quantenmechanik ist vom Physiker Erwin Schrödinger erfunden worden, den von Bohr propagierten philosophischen Konsequenzen folgte er jedoch nicht. Das Paradoxe an Bohrs Vorstellungen versuchte Schrödinger durch die sowohl tote als auch gleichzeitig lebendige Katze aufzuzeigen. Inzwischen wissen wir, warum die Katzen dieser Welt entweder tot oder lebendig sind, aber noch immer nicht verstehen die Quantenmechaniker durch welchen Mechanismus sich einer der beiden Zustände einstellt.

Der Vortrag ist eine mögliche Vorbereitung auf den Workshop „Die Welt der Quanten“.

Fr, 12.5., 18.00 Uhr Vortrag

### **Experimente mit einzelnen Photonen und warum die Physikbücher geändert werden müssen...**

Referenten: Jonas Schmöle, Christoph Muster, Jens Pfeifer

Licht: Teilchen oder Welle? Diese Frage beschäftigt die Physiker seit über 100 Jahren. Eine entscheidende Antwort gab der Physiker G. Taylor im Jahre 1909. Er zeigte, dass einzelne Lichtteilchen sich wie Wellen verhalten. Damals konnte er nur mit Gaslampen und Schwarzweißfilmen arbeiten. Die Referenten haben versucht, Taylors Messverfahren mit neueren Erkenntnissen (Schwarzschildeffekt) und Geräten wie beispielsweise einem Laser als Lichtquelle zu verbessern. Dabei hat sich

herausgestellt, dass der Schwarzweißfilm bei geringen Lichtintensitäten nicht wie vorausberechnet geschwärzt wurde. Durch diese Beobachtung ist es ihnen gelungen, die Bedingungen für Experimente mit einzelnen Lichtteilchen genauer zu formulieren und schließlich auch ein solches Experiment mit einem sog. Mach-Zehnder-Interferometer durchzuführen.

Fr, 19.5., 18.00 Uhr Filmabend

**Höhlenforschung bei der NASA**

Lassen sich in Höhlen Lebensformen finden, die unter ähnlichen Bedingungen auch auf dem Mars existieren können oder überleben konnten? Eine Filmdokumentation mit eindrucksvollen Aufnahmen.

Fr, 26.5., 18.00 Uhr Vortrag

**Kosmische Evolution und die Richtung der Zeit**

Referent: K.-P.Haupt

Immer größer wird unser Verständnis der kosmischen Evolution, die von einem Zustand hoher Ordnung in immer größere Unordnung mündet. Dadurch lässt sich vielleicht die Richtung der Zeit erklären, aber nicht was eigentlich die Zeit ist. Und wie passt ein Ende der Evolution, the Big Rip, das Auseinanderreißen aller Strukturen in dieses Bild von Zeit?

Fr, 2.6., 18.00 Uhr Vortrag

**Warum sind Sterne so groß? Über Strukturbildung und Feinabstimmung**

Referent: K.-P.Haupt

Ein Stern setzt durch Kernfusion eigene Energien frei, dazu benötigt er in seinem Zentrum eine bestimmte Mindesttemperatur, die wieder durch die Stärke der Gravitation bestimmt ist. Warum aber ist die Gravitationskraft gerade so stark wie sie ist und wieso kann sich die schwächste aller Kräfte gegen die anderen Kräfteinwirkungen durchsetzen?

Fr, 9.6., 18.00 Uhr Vortrag

**Neurodidaktik: Neurologen fordern eine neue Schule des Lernens**

Referent: K.-P.Haupt

Bisher durfte man die Didaktik als eine Erfahrungswissenschaft bezeichnen, jeder der gute Erfahrungen beim Unterrichten und Lernen gemacht hat, konnte darüber berichten und den Unterricht gestalten. Unterrichten ist schwieriger geworden, denn die Neurologie beginnt uns zu erklären, wie Lernen funktioniert und manche schulischen Verfahrensweisen erweisen sich als sehr kontraproduktiv zum nachhaltigen Lernen.

Di, 13.6. bis So, 18.6. Workshop

**Die Welt der Quanten**

Leitung: K.-P. Haupt

Gastreferenten: Nobelpreisträger Prof. Dr. v. Klitzing, Prof. Dr. H. Ruder

Fr, 23.6., 18.00 Uhr Vortrag

**Atmosphärische Erscheinungen: Von Brockengespenstern und Seeungeheuern**

Referent: K.-P.Haupt

Die Atmosphärische Optik können wir tagtäglich beobachten: Wir sehen, was mit Licht passiert, wenn es an Wassertropfen, Eis oder Rauch gebrochen, gestreut oder gebeugt wird. Der Vortrag gibt einen Überblick über die zahlreichen Erscheinungen und ihre Deutungen.

Fr, 30.6., 18.00 Uhr Vortrag

**Natur und Kultur in Mittelamerika**

Referent: Prof. Dr. R. Hedewig

Die Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika entstand durch Vulkanismus, der auf Plattentektonik zurückgeht. Von Norden einwandernde Indianerstämme besiedelten das Land und die Inseln und entwickelten Hochkulturen, von denen besonders die der Mayas durch ihre großen Bauten beeindruckten. Von 1492 an drangen Spanier in diese Gebiete ein, machten sie zu Kolonien und dezimierten die einheimische Bevölkerung. Der Referent besuchte im Februar/März 2006 neun Länder Mittelamerikas und der karibischen Inseln und zeigt mit Dias Landschaften von den Halbwüsten bis zum tropischen Regenwald mit typischen Pflanzen und Tieren, Bauten der Mayas, Spanier und Holländer sowie den Panamakanal und das Leben der multikulturellen Bevölkerung und geht auf die wirtschaftliche und politische Situation dieser Länder ein.

Fr, 7.7., 8.00 – 20.00 Uhr Präsentation

**PhysikClub 2006**

Die 18 Projekte des PhysikClubs präsentieren ihre Ergebnisse im Neubau der ASS. Gegen Abend gibt es auch interessante Vorträge und Führungen. Natürlich werden auch die Präsentationen der Jugend forscht Teilnehmer gezeigt werden.

Fr, 14.7., 17.30 Uhr Filmabend

**Workshop: Die Welt der Quanten**

Ein Film von K.-P.Haupt

19.00 Uhr

**Sommerfest in der Sternwarte Calden**

Fr, 1.9.06, 18.30 Uhr **Mitgliederversammlung**



**Planetariumsprogramme des AAK**

**Planetarium im Museum für Astronomie und Technikgeschichte, Orangerie, An der Karlsaue 20c, 34121 Kassel, Tel.: 0561 - 31680500**

**Eine Reise unter dem Sternenhimmel**

Dieses Programm ist als Familienprogramm besonders für Kinder unter 13 Jahren geeignet. Es werden der jeweils aktuelle Sternenhimmel und einfache Vorstellungen von den Himmelsobjekten dargestellt.  
(Jeweils sonntags um 15.00 Uhr)

**Eine Reise um die Erde in 60 Minuten**

Ein Familienprogramm, das den aktuellen Sternenhimmel nicht nur in Kassel zeigt...  
(Jeweils sonntags um 16.00 Uhr)

Vorfürher: Heiko Engelke, Florian Grundmann, Mike Vogt, Michael Schreiber

**Vorträge unter dem Sternenhimmel:**

Monatsthema April: Was ist ein Multikosmos?

Monatsthema Mai: Gibt es intelligentes Leben im Kosmos?

Monatsthema Juni: Warum ist der Weltraum schwarz? (bis 13.7.)

Monatsthema Juli (ab 20.7.) und August: Eine Reise um die Erde in 60 Minuten

Monatsthema September: Die besondere Bedeutung des 23. September

Jeden Donnerstags um 19.00 Uhr (Oktober – März) bzw. 20.00 Uhr (April – September)  
Referent: K.-P.Haupt

**Physikclub**

Die Kinder- und Jugendakademie und die Albert-Schweitzer-Schule veranstalten unter Leitung von K.-P.Haupt für besonders begabte und interessierte Jugendliche ab Klasse 9 einen Physikclub. Treffen ist jeden Freitag von 15.30 Uhr bis 17.30 Uhr. Die Teilnehmergruppe plant Vorträge, Exkursionen, Experimente, Diskussionen zu physikalischen Themen.

Jeden Freitag ab 15.30 Uhr ASS Neubau Raum N102  
Für besonders interessierte und besonders begabte Schüler/innen ab Klasse 9  
Neueinstieg nach Absprache möglich!

**Einführung in die Astronomie**

Unser Mitglied Dr. Rüdiger Seemann veranstaltet für die Volkshochschule Kassel einen Astronomiekurs für Anfänger, der jeweils am Montagabend in der Albert-Schweitzer-Schule stattfindet. Anmeldung über die Volkshochschule.

**Bibliothek**

Jedes Mitglied kann sich kostenlos vor und nach den freitäglichen Veranstaltungen Bücher ausleihen.

## **Sternwarte Calden**

Öffentliche Führungen: Jeden Freitag bei wolkenfreiem Himmel nach Einbruch der Dunkelheit, jedoch nicht vor 20:30 Uhr. Gruppen auch an anderen Tagen nach Voranmeldung unter Telefon: 0561-311116 oder 0177-2486810.

Bitte achten Sie auch auf aktuelle Pressehinweise.

Mitglieder: Alle Mitglieder, die einen Instrumentenführerschein besitzen, können vom Vorstand einen Schlüssel zur Sternwarte erhalten.

Instrumentenführerschein: Interessenten werden freitags ab 20.30 Uhr bei wolkenfreiem Himmel ausgebildet. Bitte vorher mit Marcus Schüler in Verbindung setzen.

Einstellen von Beobachtungsobjekten: Hilfestellung gibt's nach Voranmeldung bei Ralf Gerstheimer und Manfred Chudy ebenfalls freitags ab 20.30 Uhr.

Telefonnummer der Sternwarte Calden: 05674 – 7276

Manchmal ist die Sternwarte auch an anderen Terminen besetzt. Rufen Sie an und nehmen Sie an den Beobachtungen teil.

### Instrumente:

- Kuppel 1: 30 cm Newton-Reflektor mit Leitrohr auf computergesteuerter Montierung Fornax 51
- Kuppel 2: 20 cm Schaer-Refraktor auf computergesteuerter Montierung Alt-7, 20 cm Newton-Cassegrain mit Leitrohr
- Außensäule 1: Celestron C8 (20 cm Schmidt-Cassegrain)
- Außensäule 2: 10 cm Refraktor
- 15 cm Dobson-Spiegelteleskop
- 25 cm Dobson-Spiegelteleskop - hier können und dürfen Sie als Besucher unter unserer fachlichen Anleitung selbstständig Himmelsobjekte einstellen... trauen Sie sich!
- Zubehör: Feldstecher 20x80 mit Stativ, Gitterspektrograph, Halbleiter-Photometer, Interferenzfilter, T-Scanner für H-Alpha-Sonnenbeobachtung, Objektivsonnenfilter, CCD-Kamera mit Computer, Mintron-Himmelskamera mit Monitor, 6" Schmidtkamera.
- Übertragungsmöglichkeit der Fernrohrbilder in den Vortragsraum.

Eintritt: Erwachsene 1.-Euro, Jugendliche 0,50 Euro. Mitglieder des AAK und deren Gäste zahlen keinen Eintritt.

### **Der Vorstand des AAK:**

Vorsitzender: Klaus-Peter Haupt, Wilhelmshöher Allee 300a, 34131 Kassel, Tel./Fax: 0561-311116, Mobiltel. 0177-2486810, e-mail: kphaupt@aol.com

Kassenwart: Marcus Schüler, Mittelfeldstr.1, 34127 Kassel, Tel.85556, email: schueler.marcus@web.de

1.Beisitzer: Wilhelm Steinmetz, Werraweg 23, 34314 Espenau, Tel.05673-7677

2.Beisitzer: Martin Hämmerling, Im Boden 10, 34355 Staufenberg, Tel.05543-999936

3.Beisitzer: Frank Kirchner, Wurmbbergstr.49, 34130 Kassel, Tel.6029832

4.Beisitzer: Ralf Gerstheimer, Schöne Aussicht 26, 34317 Habichtswald, Tel.05606-53855

**Aufgabenbereiche:**

Instrumente der Sternwarte: W. Steinmetz, W. Schäfer, F. Kirchner

Führungen: R. Gerstheimer

Elektrik der Sternwarte: A. Werner, M. Hämmerling

Grundstückspflege: W. Müller, W. Schäfer, W. Steinmetz, F. Haupt

Bibliothek: H. Frisch

Sternpatenschaften: R. Gerstheimer

Pressemitteilungen: K.-P. Haupt

Planetarium: K.-P. Haupt

Internet: C. Hendrich

Koronaredaktion: C. Hendrich, W. Steinmetz

Der AAK ist auch im WorldWideWeb vertreten: <http://www.astronomie-kassel.de>

---

## Impressum

Die KORONA wird herausgegeben vom Astronomischen Arbeitskreis Kassel e.V. (AAK) und kostenlos an die Mitglieder und befreundete Vereine im Austausch mit deren Mitteilungen verteilt.

**Redaktion:** alle Autoren

**Zusammenstellung:** Christian Hendrich

**Druck:** Druckerei Bräuning & Rudert OHG, Espenau

**Auflage:** 290

**Redaktionsschluß dieser Ausgabe:** 01.04.2006

**Redaktionsschluß der kommenden Ausgabe:** 11.08.2006

Die Artikel können an den Vereinsabenden in der Albert-Schweitzer-Schule abgegeben oder an Christian Hendrich, Kölnische Straße 52, 34117 Kassel, Tel. 0178-7772666 gesendet werden. Es werden nur Dokumente in elektronischer Form unterstützt, die entweder per e-Mail an: [korona@astronomie-kassel.de](mailto:korona@astronomie-kassel.de) oder CD-Rom an obige Anschrift gesandt werden. Als Dateiformate werden Richtext (.rtf), MS Word (.doc), Staroffice (.sdw) sowie Openoffice unterstützt. Als Seitenformat muß DIN A5 und als Schriftgröße 9 Punkt gewählt werden. Abbildungen sollten idealerweise mit 300 dpi eingescannt werden, alle gängigen Bild-Dateiformate (mit ausreichender Qualität) werden akzeptiert.

---

## Haben Sie Ihren Beitrag schon bezahlt?

Der Jahresbeitrag beträgt 35.- Euro, der ermäßigte Beitrag beträgt 15.- € (für Studenten, Schüler, Auszubildende oder auf Antrag beim Vorstand), der Familienbeitrag beträgt 50.- €

Vereinskonto: Kasseler Sparkasse (BLZ 52050353) 127048

Informationen beim Kassenwart:

Marcus Schüler, Mittelfeldstr. 1, 34127 Kassel, Tel.85556, [schueler.marcus@web.de](mailto:schueler.marcus@web.de)



Ziele setzen.  
Wir helfen Ihnen,  
sie zu erreichen.



Ziele erreicht man nur mit Leistung. Im Sport, wie überall im Leben. Bei Ihren Finanzen geht manches einfacher ... und dennoch erfolgreich. So zum Beispiel mit unseren Geldanlage- und Vorsorgeplänen, mit denen Sie Ihre finanziellen Ziele bequem erreichen. Machen Sie gleich den nächsten Schritt zu uns - in eine unserer Filialen oder unter [www.kasseler-sparkasse.de](http://www.kasseler-sparkasse.de).  
**Wenn's um Geld geht - Sparkasse.**