**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft

**Band:** 53 (1995)

**Heft:** 271

**Artikel:** Fotografische und visuelle Beobachtungen sowie Zeitraffer-Filmaufnahmen der Sonne (Teil 1) : Beobachtungsprojekte auf der Sternwarte Bülach während des Sonnenfleckenzyklus Nr. 22

**Autor:** Alean, J.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-898756

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 17.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Fotografische und visuelle Beobachtungen sowie Zeitraffer-Filmaufnahmen der Sonne (Teil 1)

## Beobachtungsprojekte auf der Sternwarte Bülach während des Sonnenfleckenzyklus Nr. 22

J. ALEAN

Der Sonnenflecken-Zyklus Nr. 22 ist beinahe abgeschlossen [1]. Sollen wir also das Sternwartendach tagsüber geschlossen lassen, die Instrumente zur Sonnenbeobachtung einmotten und auf bessere Zeiten warten? Zwar werden auch in der Minimumsphase 1995 und 1996 hin und wieder beachtliche Flecken auftauchen und ein paar Protuberanzen zu sehen sein. Das ganz grosse Spektakel ist aber vorerst vorbei. Das gibt uns etwas Musse, um auf die vergangenen paar Jahre Rückschau zu halten, aus gemachten Erfahrungen zu lernen, das Instrumentarium entsprechend zu modifizieren oder gar auszubauen – kurz: sich auf den nächsten Aktivitätsanstieg vorzubereiten. Ab 1997 sollte die Sonnenfleckenkurve wieder steil ansteigen. Wer weiss, vielleicht kommt der Anstieg wie beim letzten Zyklus verfrüht. Dann wäre es ideal, instrumentell gerüstet zu sein und nicht durch längere Lieferfristen von H-alpha-Filtern von der Beobachtung der Jahrhundertprotuberanz abgehalten zu werden.

In diesem und einem Folgebeitrag wird über einige Beobachtungsprojekte auf der Schul- und Volkssternwarte berichtet, die der Verfasser in Bülach seit Sommer 1988 durchgeführt hat. Er beschritt in den letzten Jahren auch unorthodoxe Wege, zum Teil mit überraschenden Resultaten. Besonders diese sollen als Anregungen weitergegeben werden. Der vorliegende Teil I behandelt das Bülacher Instrumentarium zur Sonnenbeobachtung, einige Erfahrungen beim Einsatz der Geräte sowie Weisslichtbeobachtungen des Verfassers. Im Teil II kommen Arbeiten im H-alpha-Bereich zur Sprache.

### Bülacher Instrumente zur Sonnenbeoachtung

Unsere Sternwarte verfügt derzeit über die folgenden Geräte:

1.) Ein 20cm-Maksutov-Teleskop, Brennweite 3.2 Meter, geschliffenes (neutral graues) Eintrittsfilter für die volle Öffnung. Wegen der grossen Brennweite dieses Instrumentes hat die Sonnenscheibe auf einem 35mm-Kleinbild nicht mehr ganz Platz. Deshalb wurde gelegentlich auch das 20cm-Maksutov-Teleskop der Kantonsschule Zürcher Unterland, Bülach beigezogen, da dieses mit nur 2 Metern Brennweite die ganze Sonne vignettierungsfrei auf Kleinbildformat abbildet.

2.) Ein Coelostat mit 15cm-Fraunhoferobjektiv und übergrossen Planspiegeln. Dieses Gerät wurde in [3] bereits ausführlich beschrieben. Das weisse Sonnenbild wird im (abgedunkelten) Schulungsraum entweder auf eine Leinwand oder einen Zeichentisch projiziert. Die verhältnismässig grosse Eintrittsöffnung ergibt ein sehr helles Projektionsbild. Als Zusatzfunktion steht ein einfaches Spektroskop zur Verfügung (ebenfalls Projektion auf eine Dialeinwand).

3.) Das 50cm-Newton/Cassegrain-Hauptinstrument (Bild 1). Bei voller Öffnung wird es manchmal zur Projektion von Sonnenuntergängen (im Newton-Modus) verwendet. Ansonsten gelangt es, mit einem Energieschutzfilter auf 20cm freie Öffnung abgeblendet, zur H-alpha-Beobachtung zum Einsatz (Bild 2), und zwar gelegentlich als Newton mit 2.5 Metern Brennweite, im allgemeinen aber als Cassegrain mit 10 Metern. Das Eintrittsfilter befindet sich seitlich zwischen zwei Fangspiegelhaltern, so dass der Strahlengang wie bei einem Refraktor völlig frei ist. Die Leistungen dieser eher ungewöhnlichen Konfiguration werden in Teil II ausführlich beschrieben.

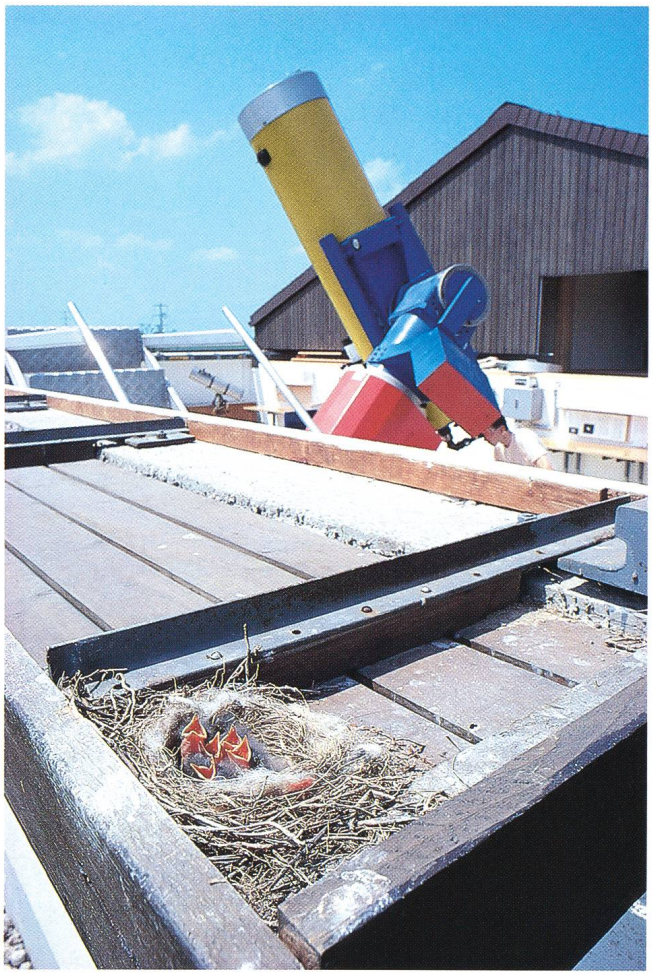


*Bild 1*
*Das 50cm-Teleskop der Schul- und Volkssternwarte Bülach während einer Beobachtung der Chromosphäre im H-alpha-Licht. Bülacher Sonnenbeobachter werden gelegentlich mit ungewöhnlichen Problemen konfrontiert: Fast jedes Jahr nisten an immer der gleichen Stelle Bachstelzen. Das Nest mit Jungen befindet sich im Bildvordergrund. Beim Wegfahren des Daches werden sie der prallen Sonnestrahlung ausgesetzt, und die Mutter verlässt die Jungen, bis im Beobachtungsraum wieder Ruhe einkehrt.*

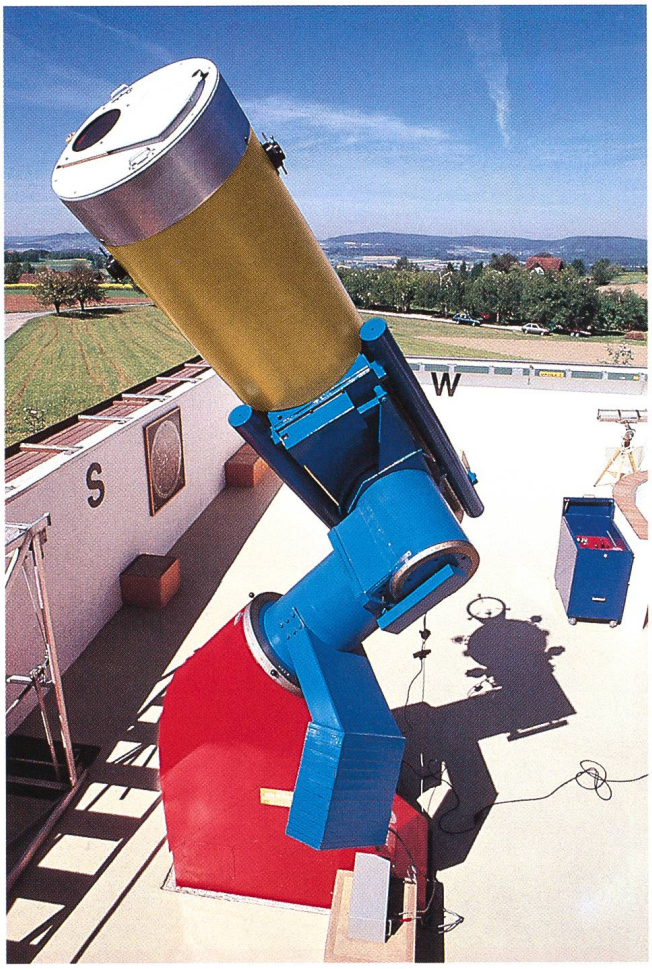



*Bild 2*
*Der 20cm-Energieschutzfilter (in der weissen Haube) sitzt derart azentrisch vor der Teleskopöffnung, dass genau ein Quadrant des Hauptspiegels zwischen zwei benachbarten Fangspiegelträgern ausgeleuchtet wird. Es entsteht ein völlig störungsfreier Strahlengang. Allerdings muss das H-alpha-Filter am rückwärtigen Teleskopende um einen geringen Betrag gekippt werden, damit es möglichst senkrecht zum leicht schrägen Strahlengang steht. Andernfalls gelingt die genaue Abstimmung des Filters auf die H-alpha-Wellenlänge nicht. Vom Filterhersteller sind zu diesem Zweck um den gleichen Winkelbetrag angeschrägte Anschluss-Flansche erhältlich.*

4.) Drei H-alpha-Filter:

(a) Ein thermostatisiertes DayStar-Filter der Qualitätsklasse «University», 32mm freie Öffnung, 0.5Å Halbwertsbreite. Dieses Filter funktionierte nach dem Kauf im Frühjahr 1988 über zwei Jahre lang weitgehend problemlos. Dann lösten sich Kittfugen. Der Hersteller verkittete darauf das Filterpaket neu und zwar sehr gut. Dank internationalem Kurierservice dauerte der Transport in die USA und zurück samt Reparatur nur gut eine Woche! Dieses Filter ist das Juwel der Bülacher Sonnenbeobachtung und wird in erster Linie für fotografische Zwecke eingesetzt: Das 35mm-Filmformat wird zu rund 90% vignettierungsfrei ausgeleuchtet.

(b) Ein Daystar-Filter der Klasse «T-Scanner», 25mm freie Öffnung, 0.7Å Halbwertsbreite, Abstimmung durch mechanisches Neigen des Filterscheibchens. Dieses Filter ist unser «Arbeitspferd» bei Sonnenführungen. Da durch den Kippvorgang die Frequenzabstimmung beeinflusst wird, sind in bewegten Protuberanzen und bei Filamenten spektakuläre Dopplereffekte sichtbar. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei Filmaufnahmen das Vorhandensein von zwei H-alpha-Filtern von unschätzbarem Wert ist (vergl. Teil II).

(c) Ein Lumicon 3Å-Filter. Dieses liefert zwar besonders helle Protuberanzenbilder. Da es aber auf der Oberfläche kaum Details erkennen lässt und da ohnehin im gut verdunkelten Schulungsraum beobachtet wird, kommt es nur selten zum Einsatz.

**Visuelle Weisslichtbeobachtungen**

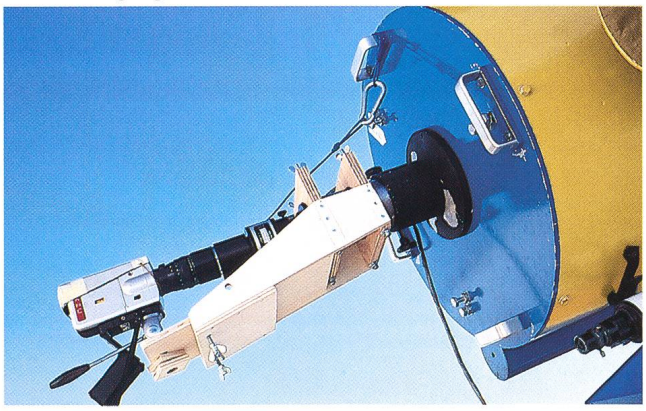
Bei öffentlichen Führungen (vergl. z.B. [4]) wird im allgemeinen im Schulungsraum das Projektionsbild des Coelostaten auf einer Dia-Leinwand betrachtet. Damit ist die Gefahr gebannt, dass gedankenlose Besucher irgend ein Sucherfernrohr öffnen und direkt in die Sonne blicken (auch nach ausdrücklicher Wahrnung geschah dies im Beobachtungsraum mindestens einmal, und schwerer Schaden konnte nur durch geistesgegenwärtiges Wegstossen des Betreffenden in letzter Sekunde verhindert werden).

Das Auflösungsvermögen der Coelostatenprojektion ist so gut, dass Besucherinnen meist auch ohne besondere Hinweise die photosphärische Granulation bemerken. Für besonderes Aufsehen sorgen jeweils vorüberziehende Wolken oder Flugzeuge, in seltenen Fällen gar Satelliten.

Die Möglichkeit, auf einem Zeichentisch Flecken- und Fackelzeichnungen anzufertigen, wird von mehreren Vereinsmitgliedern regelmässig benützt. Die Fleckenpositionen können so genau festgehalten werden, dass nach höchstens drei Stunden die Sonnenrotation augenfällig wird. Allerdings ist die Bildschärfe bei direkter Beobachtung am Maksutov-Teleskop im Freien noch besser. Der Autor vermutet, dass dies unter anderem am bodennahen Strahlengang beim Coelostaten liegt, der das Seeing zusätzlich verschlechtert. Fibrillen in Fleckenpenumbren sieht man im Coelostat deutlich weniger gut als am Maksutov-Teleskop.

Weisslicht-Fotografie ist nur an den Maksutov-Teleskopen möglich. Im folgenden wird ein auf Fotografie beruhendes Beobachtungsprojekt herausgegriffen und beschrieben. Eine

*Bild 3*
*Das hintere Ende des 50cm-Teleskops mit montiertem 0.5Å-H-alpha-Filter sowie einer Super-8-Filmkamera. Die Filmkamera «schaut» mit aufgesetztem Objektiv (!) durch ein 50mm Okular in das Filter. Die helle Sperrholzvorrichtung dient zum Verschieben und Rotieren der Kamera in allen Raumdimensionen. Ein dünnes «Alpinistenseil» (oben) sichert das wertvolle Filter vor dem Herunterfallen. Das Kabel (unten) ist die Stromversorgung des Filter-Thermostaten.*



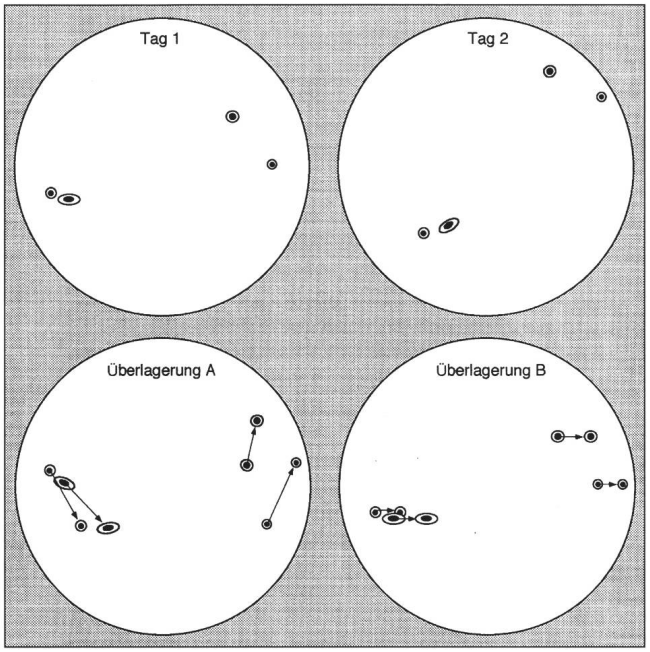



*Bild 4*
*Wie können Fleckenbilder verschiedener Aufnahmedaten überlagert werden, wenn die Nordrichtung in den Bildern nicht bekannt ist? Bei falscher Überlagerung (A) verschieben sich die Flecken nicht parallel und zu weit. Man dreht eines der Bilder, bis sich die richtige Überlagerung (B) ergibt: Die Flecken laufen etwa parallel und verschieben sich um den kleinsten Betrag. Diese Methode funktioniert nicht, wenn es nur auf einer Seite der Sonnenscheibe Flecken hat - wenigstens bei erhöhter Sonnenaktivität eine seltene Situation. Bei starker Neigung der Sonnenachse gegen den Beobachter muss unbedingt eine Gradnetzschablone unterlegt werden, damit die Flecken der richtigen Bogenform entlang der Breitenkreise folgen.*

klassische und einfache astronomische Übungsaufgabe besteht bekanntlich darin, aus zwei oder mehr Aufnahmen die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne zu ermitteln. Da ich während des Fleckenmaximums mehrere Fotoserien mit sehr vielen Fleckengruppen aufnehmen konnte, wollte ich herausfinden, ob mit vertretbarem Aufwand auch die *differentielle* Sonnenrotation gemessen werden könnte. Bekannterweise dreht sich ja die Sonne am Aequator etwas schneller als in höheren Breiten (vergl. Tabelle 1).

**Fotografische Bestimmung der differentiellen Sonnenrotation**

Verwendet wurden für dieses Projekt Weisslichtaufnahmen, die zwischen 1988 und 1991 mit den Maksutow-Teleskopen auf Kodachrome 64-Diafilm belichtet worden waren. Die Aufnahmezeiten sind jeweils auf einige Minuten genau bekannt.

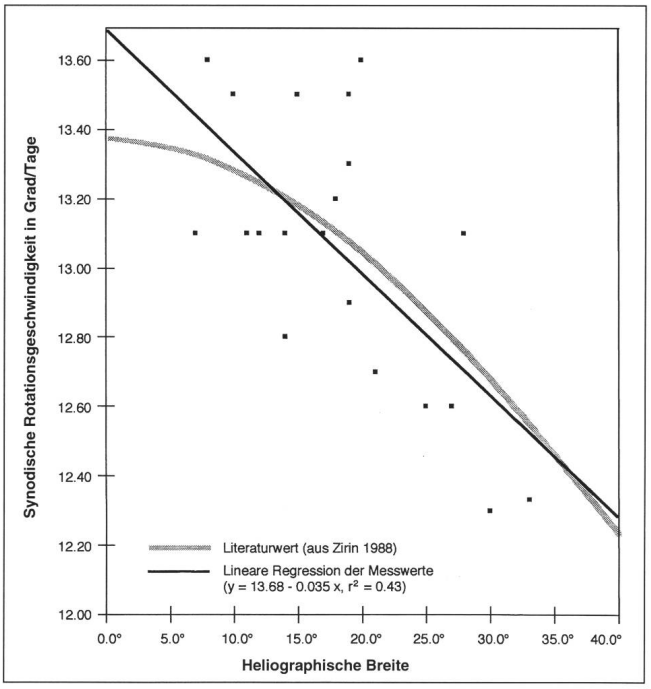
Die Bilder wurden mit einem normalen Diaprojektor auf Kreisschablonen mit einem Durchmesser von 20 cm projiziert und die Flecken nachgezeichnet. Auch ein Foto-Vergrösserungsgerät würde sich für diesen Vorgang bestens eignen. Der variable Projektionsabstand erlaubte es nicht nur, die verschiedenen Brennweiten, sondern auch die durch den wechselnden Erdabstand veränderlichen Sonnendurchmesser zu kompensieren. Fleckengruppen, die auf den Folgebildern nicht wieder erkennbar waren, wurden vernachlässigt, ebenso randnahe.

Weil das Kameragehäuse beliebig um die optische Achse des Teleskops drehbar ist, war weder die terrestrische noch die solare Nordrichtung in den Aufnahmen bekannt. Bei Coelostatenzeichnungen kann man wenigstens den irdischen Norden gut dadurch feststellen, dass man die Nachführung abstellt, und dann einträgt, in welche Richtung sich das Sonnenbild verschiebt. Bei Fotos wären dazu Doppelbelichtungen nötig. Wie die Fleckenbilder dennoch übereinandergelegt werden können, veranschaulicht Bild 4 und die dazugehörige Legende.

Die überlagerten Bilder wurden nochmals auf einem Leuchttisch auf eine Gradnetzschablone durchgepaust. Dass die Äquatorialebene der Sonne um 7.3° gegen die Ekliptik geneigt ist, wurde *nicht* vernachlässigt, da die Befürchtung bestand, geometrische Effekte könnten die Ergebnisse zu stark verfälschen. Die verwendeten Gradnetzschablonen entsprachen einer Sonnenneigung von 0°, 2°, 4° und 6°. Sie haben ein festes Koordinatensystem, also eines, das *mit der Erde* rotiert. Der Zentralmeridian hat die Länge 0°, der östliche Sonnenrand -90°, der westliche (wo die Flecken verschwinden) +90°.

Es liegt nun nahe, Fleckenpositionen von zwei aufeinanderfolgenden Tagen zu messen. Die heliographische Breite sollte konstant bleiben, der Längenunterschied gibt die synodische Drehgeschwindigkeit auf der betreffenden Breitenlage. Die Flekken bewegen sich pro Tag nur um etwa 13°. Der Messfehler für Positionen beträgt aber bereits etwa 1° (Ungenauigkeiten der Überlagerung; Schwierigkeit, Details wiederzuerkennen). Man könnte nun mehrere Tage warten. Zwar verschieben sie sich dann weiter, die gleichen Details sind aber immer schwieriger wiederzufinden, da sich die Fleckengruppen verändern (am angenehmsten «träge» verhalten sich noch alte P-Flecken). Viel genauere Werte liefert die von Brück in [6] vorgeschlagene Methode (das Werk

*Bild 7*
*Zusammenhang zwischen Rotationsgeschwindigkeit und Äquatordistanz (heliographischer Breite): Punkte bezeichnen die Messergebnisse, schwarz bezeichnet die durch sie gelegte lineare Regression und grau stellt den Literaturwert aus [5] dar.*



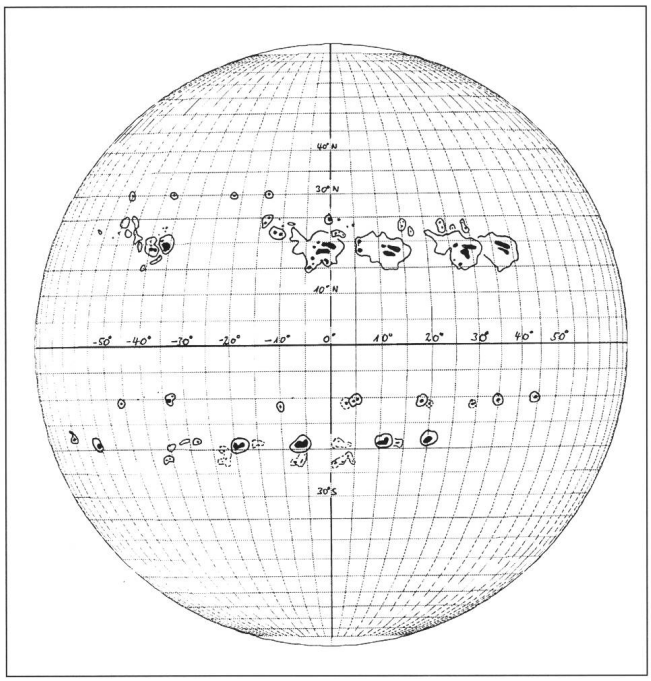


*Bild 5a*
*Überlagerung der Fleckenbilder vom 11., 14., 15., 16. und 17. Juni 1989. Der Sonnenäquator ist ziemlich genau gegen die Erde gerichtet.*

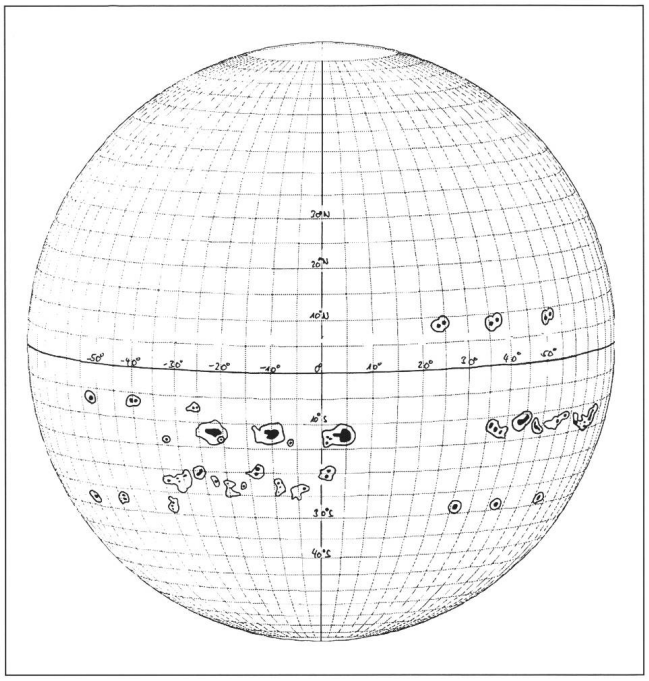
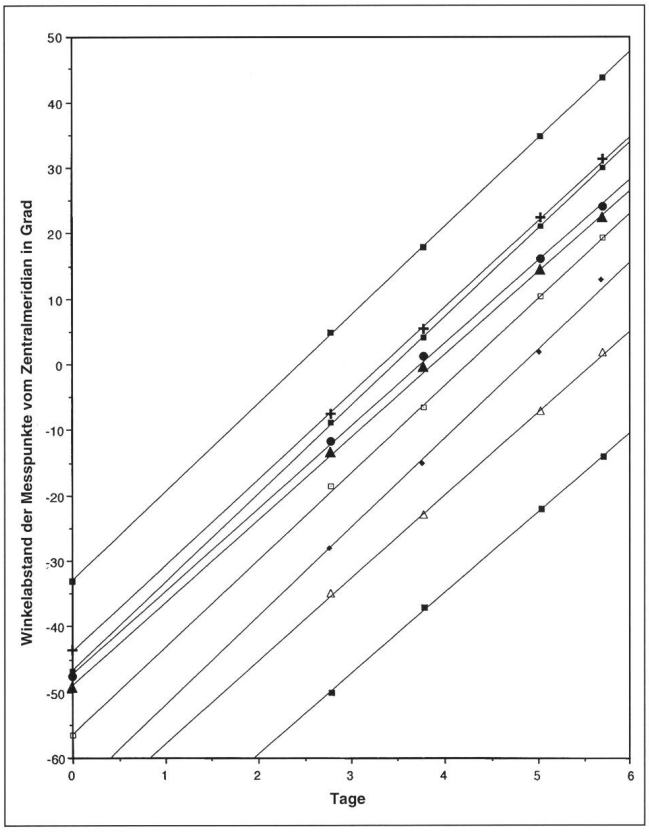


*Bild 5b*
*Überlagerung der Fleckenbilder vom 22., 23. und 24. August 1990. Die Neigung des Sonnennordpols gegen den Beobachter ist hier so gross, dass sie beim Einzeichnen des Koordinatennetzes berücksichtigt werden muss. Es wurden je nach Jahreszeit Gradnetzschablonen mit 0°, 2°, 4° oder 6° Neigung verwendet.*




kann übrigens auch für andere praktische Aufgaben mit eigenen oder den darin vorliegenden Fotos wärmstens empfohlen werden): Man macht Sonnenaufnahmen an mindestens drei, besser noch mehr Tagen. Die Winkelabstände der Flecken vom Zentralmeridian werden in einer Graphik gegen die Zeit aufgetragen. In Bild 6 geschah dies für eine Serie von fünf Bildern (11. bis 17. Juni 1989). Durch die Punkte jeweils eines Fleckens können Geraden «eingemittelt» werden, deren Steigung gleich der synodischen Rotationsgeschwindigkeit ist. Es wurde jeweils eine lineare Regression gerechnet – man könnte die Geraden allerdings auch «von Hand» einpassen. Zusätzlich wurden noch zwei weitere Serien mit nur je drei Bildern verwendet. Insgesamt ergab dies 21 Messungen zwischen 7° und 33° heliographischer Breite bei einem Mittelwert von 18°, wobei nicht zwischen Nord- und Südhemisphäre unterschieden wurde (vergl. Bild 6).

Tatsächlich ist in den Messdaten eine Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit mit zunehmender heliographischer Breite erkennbar, wenn auch bei erheblicher Streuung der einzelnen Punkte (Bild 7). Bei der geringen Zahl von Messwerten ist höchstens eine lineare Regressionsanalyse sinnvoll. Sie ergibt die Gleichung:

$$\omega_{So\,syn} = 13.68°/\text{Tag} - 0.035\ hB$$

*Bild 6*
*Wanderung von neun der vermessenen Flecken über die Sonnenscheibe (Aufnahmeserie 11. bis 17. Juni 1989): Die Steigung der durch die Messpunkte gelegten Geraden ergibt die Winkelgeschwindigkeit der synodischen Sonnenrotation. Vertikale Abweichungen der Positionen entstehen durch Messfehler bei den Fleckenpositionen. Die Geraden verlaufen wegen der differentiellen Sonnenrotation nicht genau parallel.*

wobei hB die heliographische Breite (also der Äquatorabstand, gleich ob Nord oder Süd) in Grad ist. Anders ausgedrückt: die synodische Rotationsgeschwindigkeit beträgt gemäss den Messwerten am Äquator etwa 13.68°/Tag und nimmt polwärts um 0.035°/Tag pro Breitengrad ab.

Verwirrung stiftet immer wieder die Tatsache, dass wir die rotierende Sonne von der Erde aus beobachten, die sich im gleichen Drehsinn, aber langsamer um die Sonne bewegt. Kompliziert ist die Angelegenheit nur, wenn man die Rotations*perioden* (also die Zeitdauer einer vollständigen Drehung um 360°) betrachtet. Bei den Rotations*geschwindigkeiten* (in °/Tag) verhält es sich einfacher (vergl. Bild 8): Während ein Fleck von Tag 1 bis Tag 2 mit der siderischen Winkelgeschwindigkeit $\omega_{So\ sid}$ im «absoluten» Raum rotiert, folgt die Erde mit der kleineren Winkelgeschwindigkeit $\omega_{Erde}$. Diese beträgt im Durchschnitt 360 (Anzahl Grad im Vollkreis) dividiert durch 365.3 (Anzahl Tage während eines Erdumlaufes) gleich 0.985°/Tag. Von der Erde aus gesehen scheint sich der Fleck also nur mit der synodischen (auf die Erde bezogenen) Winkelgeschwindigkeit $\omega_{So\ syn}$ zu bewegen. Es gilt nun:

$$\omega_{So\ syn} = \omega_{So\ sid} - \omega_{Erde}$$

Beobachtet werden synodische Geschwindigkeiten. Die siderischen erhält man durch Addition von $\omega_{Erde}$ (0.985°/Tag). Umgekehrt muss man in Tabelle 1 den Wert 0.985°/Tag von den siderischen Rotationsgeschwindigkeiten subtrahieren, um mit den Beobachtungen vergleichbare Angaben zu erhalten.

Aus Bild 7 ist ersichtlich, dass die Regressionsgerade dem Literaturwert sehr gut entspricht. Die Stärke des Zusammenhangs kann durch den Korrelationskoeffizienten r beschrieben werden. Er ist mit r = 0.66 auch auf dem 1% Niveau signifikant (die Wahrscheinlichkeit eines rein zufälligen Zusammenhanges ist kleiner als 1%). $r^2$ beträgt demnach 0.43, d.h. 43% der Varianz der vorliegenden Messwerte kann durch die Annahme einer differentiellen Sonnenrotation erklärt werden. Der Rest entstand durch Messfehler oder durch von der Breitenlage unabhängigen Eigenbewegungen der Flecken.

Fazit: Selbst die nicht allzu augenfällige differentielle Sonnenrotation lässt sich mit wenigen Aufnahmeserien erkennen und bestimmen, sofern ein paar Fleckengruppen in genügend weit auseinander liegenden heliographischen Breiten vorhanden sind.

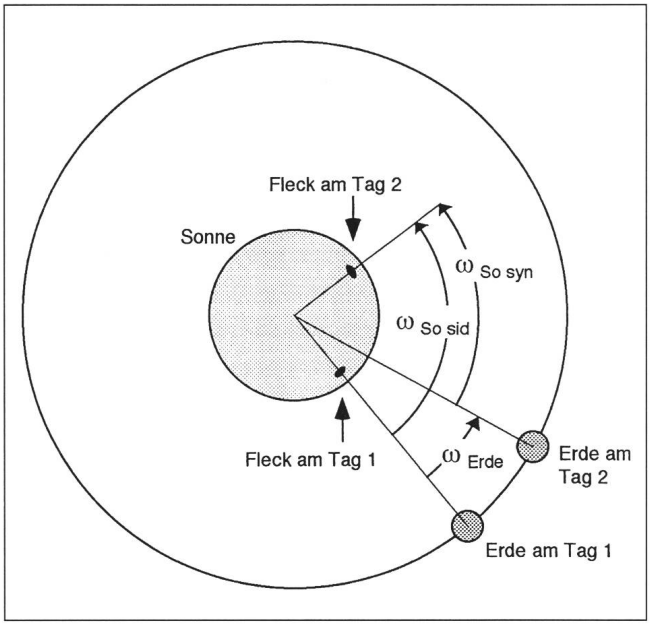



*Bild 8*
*Zusammenhang zwischen synodischer und siderischer Rotationsgeschwindigkeit der Sonne für einen Beobachter auf der Erde.*

**Literatur**

[1] Observer's Notebook. «*Getting the Maximum at Minimum*», Sky and Telescope 6/1995, S. 98-99.

[2] ALEAN, J. 1990. «*Hochauflösende Sonnenphotographie und Zeitrafferaufnahmen im H-alpha-Licht*», Sterne und Weltraum, Februar 1990, S. 112-119

[3] ALEAN, J. 1992. «*Coelostat und Zusatzgeräte der Sternwarte Bülach*», ORION Nr. 242, S. 30-32

[4] ALEAN, J. 1993. «*Eine Primarschulklasse und die Sonne*», ORION Nr. 256, S. 134-135.

[5] ZIRIN, H.: «*Astrophysics of the Sun*»; Cambridge University Press, 1988, S. 115.

[6] BRÜCK, M.T.: «*Exercises in Practical Astronomy using Photographs. With solutions*»; Adam Hilger Verlag Bristol, Philadelphia und New York, 1990, S. 1-9.

DR. JÜRG ALEAN
Rheinstrasse 6, 8193 Eglisau
E-mail: alean@dial.eunet.ch

# Zürcher Sonnenfleckenrelativzahlen

HANS BODMER, Schlottenbüelstrasse 9b, CH-8625 Gossau

August 1995 (Mittelwert 13,5)

| Tag | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 12 | 12 | 20 | 17 | 16 | 25 | 20 | 10 | 7 | 10 |
| Tag | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| R | 13 | 0 | 7 | 0 | 0 | 15 | 10 | 7 | 0 | 0 |
| Tag | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| R | 0 | 0 | 17 | 29 | 29 | 44 | 32 | 30 | 14 | 13 | 11 |

# Nombres de Wolf

September 1995 (Mittelwert 12,7)

| Tag | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 10 | 8 | 8 | 19 | 22 | 11 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| Tag | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| R | 7 | 8 | 8 | 0 | 9 | 8 | 7 | 7 | 14 | 23 |
| Tag | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| R | 22 | 28 | 29 | 28 | 31 | 23 | 24 | 7 | 7 | 0 |