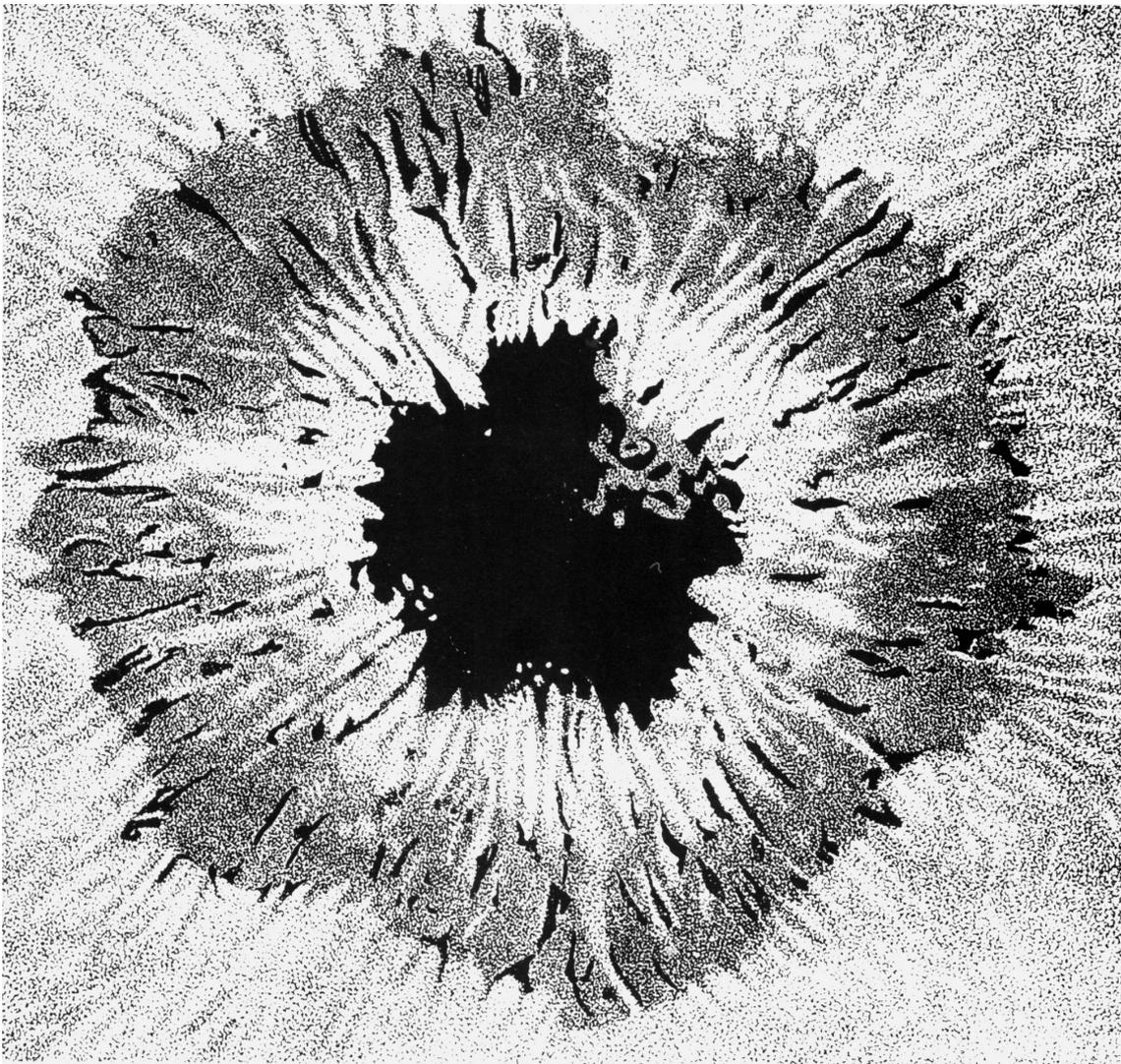


# SONNE

---

## EINFÜHRUNG IN DIE SONNENBEOBACHTUNG



– Eine Veröffentlichung der VdS-Fachgruppe Sonne –  
6., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2016

## IMPRESSUM

**SONNE – Mitteilungsblatt der Amateursonnenbeobachter** – wird herausgegeben von der Fachgruppe Sonne der Vereinigung der Sternfreunde e.V. Das Mitteilungsblatt **SONNE** erscheint dreimal im Jahr. Es dient dem überregionalen Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Amateursonnenbeobachtung. Senden Sie Ihre Beiträge, Auswertungen, Erfahrungen, Kritik, neue Ideen, Probleme an **SONNE** zur Veröffentlichung ein, damit andere Sonnenbeobachter davon Kenntnis erhalten und mit Ihnen Kontakt aufnehmen können. **SONNE** wird von den Lesern selbst gestaltet – ohne Ihre Artikel bestände **SONNE** nur aus leeren Seiten! Verantwortlich i. S. d. P. ist immer der Unterzeichnete eines Beitrages, nicht die Redaktion.

**Kontaktadresse:** Michael Delfs, Waldsassener Straße 23, D-12279 Berlin.

Hierhin senden Sie bitte Fragen, Anregungen und Wünsche, die Sie zur Sonnenbeobachtung und zu SONNE haben. Bitte vergessen Sie bei allen Anfragen nicht das Rückporto!

Für alle Fragen, Anregungen und Wünsche per E-Mail steht Ihnen auch Martin Hörenz zur Verfügung:

[Info@vds-sonne.de](mailto:Info@vds-sonne.de)

**SONNE im Internet:** [www.VdS-Sonne.de](http://www.VdS-Sonne.de)

**Das Internet-Forum Sonne:** <http://forum.vdsastro.de/>

**Layout:** Martin Hörenz, Berlin

**Ausgabe:** 6. überarbeitete Auflage, 2016

### **Autoren dieser Einführungsschrift in alphabetischer Reihenfolge:**

Michael Delfs, Sieglinde Hammerschmidt, Heinz Hilbrecht, Martin Hörenz, Cord-Hinrich Jahn, Wolfgang Paech

## ANSPRECHPARTNER

### **Beobachternetz (Wolf'sche) Relativzahl und Provisorische Relativzahlen:**

Andreas Bulling: [Relativzahl@VdS-Sonne.de](mailto:Relativzahl@VdS-Sonne.de) (Anfragen per Post bitte über die Kontaktadresse)

### **Beobachternetz Fleckenzahl mit bloßem Auge (A-Netz):**

Steffen Fritsche: Steinacker 33, D-95189 Köditz / [A-Netz@VdS-Sonne.de](mailto:A-Netz@VdS-Sonne.de)

### **Beobachternetz Weißlichtfackeln:**

Michael Delfs: Waldsassener Straße 23, D-12279 Berlin / [Sonnenfackeln@arcor.de](mailto:Sonnenfackeln@arcor.de)

### **Beobachternetz Positionsbestimmung von Sonnenflecken:**

Klaus-Peter Daub und Heinz Hilbrecht: [Position@VdS-Sonne.de](mailto:Position@VdS-Sonne.de)

### **Beobachternetz H-Alpha-Relativzahl:**

Martin Hörenz: [Info@VdS-Sonne.de](mailto:Info@VdS-Sonne.de) (Anfragen per Post bitte über die Kontaktadresse)

**Die weiteren Arbeitsgruppen, mehr Tipps für Beobachter und Materialien zum Download finden Sie auf unserer Webseite:** [www.VdS-Sonne.de](http://www.VdS-Sonne.de)

**Titelbild:** Zeichnung eines Sonnenflecks von Angelo Secchi vom 16.7.1866; aus „Le Soleil“, Volume I, Seite 83 (1875). Das Buch zum Download als pdf: <http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/4606501>

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	4
2	Die Sonnenflecken.....	6
2.1	Die äußere Form der Sonnenflecken.....	6
2.2	Klassifikation und Entwicklung von Sonnenflecken.....	7
3	Die Sonne im H $\alpha$ -Licht.....	9
4	Erste Beobachtungsprogramme.....	10
4.1	Beobachtungen mit bloßem Auge.....	10
4.2	Bestimmung der Sonnenfleckenrelativzahl.....	10
4.3	Die Bestimmung der H $\alpha$ -Relativzahl.....	11
5	Der Sonnenfleckenzyklus.....	13
6	Instrumente und Zubehör für die Sonnenbeobachtung.....	14
6.1	Linsen- oder Spiegelfernrohr.....	14
6.2	Die Beobachtungsmethoden und ihr Zubehör.....	15
6.3	Instrumente für die Beobachtung im monochromatischen Licht.....	16
7	Beobachtungsalltag.....	18
8	Dokumentation der Beobachtung.....	22
8.1	Fotografieren oder Zeichnen?.....	22
8.2	Die Sonnenzeichnung.....	22
8.3	Die Sonnenfotografie.....	23
9	Aller Anfang ist schwer.....	26
10	Weiterführende Literatur.....	28

# 1 Einleitung

Die Sonne ist eines der interessantesten Beobachtungsobjekte für den Amateurastronomen. Schon mit geringem Aufwand, einem kleinen Fernrohr und verhältnismäßig wenig finanziellem Einsatz kann man eines der dynamischsten Objekte am Himmel beobachten und Veränderungen aufzeichnen. Anfänger haben es aber schwer, denn es existieren kaum echte Einführungen in die Sonnenbeobachtung, einige sind zu kurz und manche sogar fehlerhaft. Wir haben versucht, Erfahrungen geübter Beobachter in diese neue Einführung einfließen zu lassen, aber auch andere, teils ältere, Anleitungen zu sichten und gute Ideen weiter zu verwenden.

Die Idee zu einer „Einführung für Sonnenbeobachter“ entstand bereits 1977 – geworden ist daraus das „Handbuch für Sonnenbeobachter“. Mittlerweile ist es in der 3. Auflage unter dem Titel „Die Sonne beobachten“ erschienen. Dieses Buch ist aber zu umfangreich und wegen des notwendigen Umfangs auch zu teuer, um es in Kursen an Volkshochschulen, Volkssternwarten und Schulen einzusetzen.

Diese Einführung richtet sich deshalb gezielt an Einsteiger in die Amateur-Sonnenbeobachtung. Das sind keine „Anfänger“ und so wollen wir Freunde der Sonne auch nicht behandeln. Das englische Wort „beginner“ hat eine viel positivere Bedeutung, und Beginner war schließlich einmal jeder von uns. Nur zu gut erinnern wir uns an die oft etwas überheblichen Erklärungen mancher „alter Hasen“.

Wir wollen mit dieser Schrift nicht den Wissenschaftler motivieren, sondern die vielen Sternfreunde, deren Interesse wir wecken wollen. Sie stehen oft mit ihren Problemen vor schwer lösbaren Aufgaben. Wir wollen eine praktische Beobachtungsanleitung geben, auf die wichtigsten Fragen antworten und konkrete Beispiele geben, wo das möglich ist. So kann jeder in der Praxis kontrollieren, ob das Gelesene auch verstanden ist und dieses Wissen anwenden.

Keine Anleitung kann den Kontakt und den Austausch mit Gleichgesinnten ersetzen. Sie kann nur Werkzeug sein, sich die ersten eigenen Erfahrungen zu verschaffen und die wichtigsten Grundbegriffe kennen zu lernen. Sie soll Zeit und Enttäuschungen sparen, denn sie steht bei auftretenden Problemen am Fernrohr und zu jeder Zeit zur Verfügung.

Kommen Sie in die Gemeinschaft. Sonnenbeobachter sind in Teams unterwegs. Die Ansprechpartner und Wege im Internet, auch zu Tagungen und Workshops, finden Sie auf Seite 2 dieser Schrift. Wir sind eine

Fachgruppe der Vereinigung der Sternfreunde (VdS), einem Dachverband für Amateurastronomen, Volkssternwarten und Astroclubs. Für das Mitmachen in der Sonnengruppe ist eine Mitgliedschaft nicht nötig. Ihr Interesse an der Sonne reicht, um Ihnen alle Tore zu öffnen.

## Was wir auf der Sonne sehen

Die erste Begegnung mit der Sonne wird wahrscheinlich im „Weißlicht“ geschehen. Das ist im Prinzip die Sonne, wie wir sie ganz normal am Himmel sehen. „Weißlicht“, weil dabei keine Filter benutzt werden, die bestimmte Farben herausfiltern.

Das Weißlicht zeigt die Photosphäre der Sonne, die tiefste Schicht, die wir beobachten können. Von hier stammt das meiste Licht und auch die Wärme, die wir von der Sonne empfangen. Die ganz normale ungestörte Photosphäre zeigt eine Körnung, die Granulation. Das sind Konvektionszellen, in denen heißes Gas nach oben strömt, sich abkühlt und wieder in die tieferen Schichten der Sonne absinkt.

Die Sonnenscheibe zeigt im Weißlicht eine Randverdunkelung: Sie ist in der Mitte am hellsten und wird zum Rand hin dunkler. Dabei sehen wir, was die Sonne tatsächlich ist: Ein Ball aus Gas von rund 1,2 Millionen Kilometern Durchmesser. Das Licht vom Sonnenrand muss eine längere Strecke durch das Gas über der Photosphäre laufen und wird dabei abgeschwächt (teilweise absorbiert).

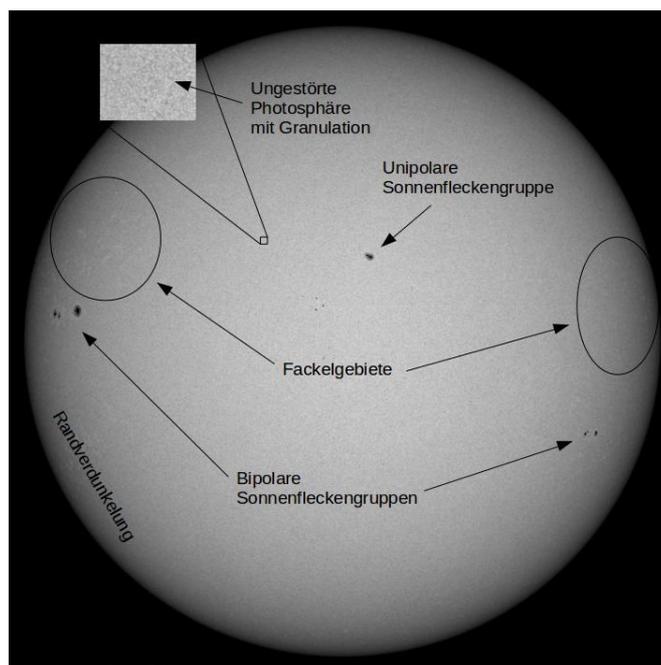


Bild 1: Die Sonne im Weißlicht mit den ganz grundsätzlichen Erscheinungen

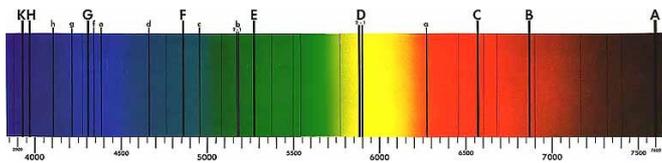


Bild 2: Das Spektrum der Sonne mit den Fraunhofer-Linien; C ist H $\alpha$  (Wasserstoff), H und K sind Ca II (Calcium)

Das ist unmittelbar im Spektrum des Sonnenlichts zu sehen (Bild 2). Wird das Weißlicht mit einem Glasprisma oder einem optischen Gitter in seine Regenbogenfarben zerlegt, zeigen sich die dunklen Fraunhofer-Linien. Sie entstehen, weil dort Licht aus tieferen Schichten von bestimmten Elementen absorbiert wird. Das vorherrschende Element auf der Sonne ist Wasserstoff, daneben gibt es viele andere, z.B. Natrium oder Calcium. Die Linien stehen für Anregungszustände dieser Elemente, zu denen bestimmte Temperaturen gehören.

In den Fraunhofer-Linien ist die Sonne nicht schwarz. Es gibt Filter, die nur das Licht einzelner Linien „herausschneiden“, also monochromatische Bilder liefern. Amateur-Sonnenbeobachter benutzen meist Filter für H $\alpha$  und Ca II (Bild 2). Diese Filter zeigen die Chromosphäre, eine dünne, kühlere Schicht über der Photosphäre. Sie ist ohne Filter nur bei totalen Sonnenfinsternissen sichtbar, weil sie sonst von der Photosphäre überstrahlt wird.

Über der Photosphäre und der Korona folgt die innere und äußere Korona der Sonne. Beide sind ebenfalls nur bei Sonnenfinsternissen oder mit Spezialfiltern sichtbar.

### Aktive Gebiete

Amateur-Sonnenbeobachter interessieren sich meist für die verschiedenen Formen der Sonnenaktivität (Bild 1). Sonnenflecken sind kühle Gebiete auf der Sonne, die im Kontrast zur heißen Umgebung dunkel erscheinen. Fackelgebiete sind etwas heißer als die ungestörte Photosphäre und erscheinen deshalb heller, allerdings nur am Sonnenrand. Zur Sonnenmitte hin werden sie im Weißlicht unsichtbar.

Aktive Gebiete gehen auf starke Magnetfelder zurück, die aus tieferen Schichten durch die Photosphäre brechen (Bild 3). Wie jedes Magnetfeld, haben auch sie einen Nord- und Südpol. Sonnenflecken sind deshalb

meist in Gruppen angeordnet, in denen sich zwei „Zentren“ beobachten lassen, die bipolare Anordnung (Bild 1). Im Bereich eines Pols müssen aber nicht unbedingt Sonnenflecken stehen, was zu unipolaren Fleckengruppen führt.

### Die Sonne ist ein Stern

Schauen Sie einmal nachts zum Himmel hinauf, Sie sehen Sterne. Genau dasselbe ist auch unsere Sonne. Sie ist ein völlig durchschnittlicher, unauffälliger Stern, mit einer kleinen Besonderheit. Sie wird von einem Planeten mit Pflanzen und Tieren umkreist, sogar mit einer intelligenten Zivilisation. Die Sonne ist der einzige Stern, auf dem wir alle Einzelheiten mit hoher Auflösung sehen können – sogar als Amateurastronomen. Daran denken wir manchmal, an die Unendlichkeit, die uns mit der Sonne so nah und für unsere Neugier zugänglich ist.

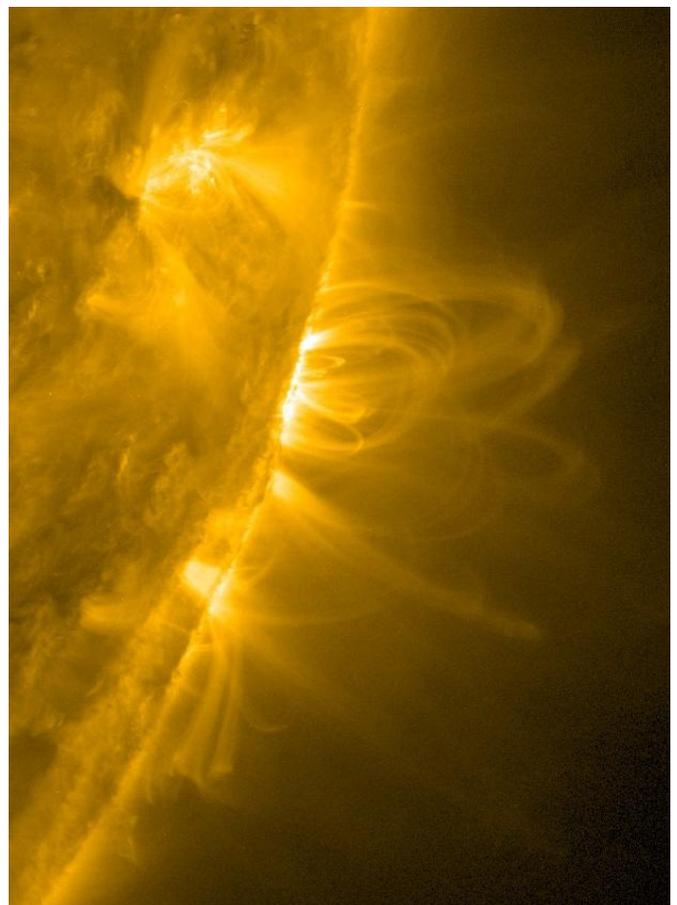


Bild 3: Die Magnetfelder von aktiven Gebieten werden in der unteren Korona durch koronale Bögen nachgezeichnet. (Quelle: NASA/SDO/AIA).

## 2 Die Sonnenflecken

### 2.1 Die äußere Form der Sonnenflecken

Sehr große Sonnenflecken sind schon mit dem bloßen Auge sichtbar (geeignetes Filter zur Lichtdämpfung benutzen!). Normalerweise ist aber ein Feldstecher oder Teleskop nötig, um die dunklen Gebilde auf der Sonnenscheibe zu sehen. Oft scharen sie sich in großen und kleinen Gruppen zusammen – den Sonnenflecken-  
gruppen (Bild 4).

Kleine Gruppen mit wenigen Flecken zeigen meist keine regelmäßige Ordnung. Sie erscheinen einfach als Ansammlung von Flecken. Große Fleckengruppen bestehen in der Regel (Ausnahmen sind möglich) aus zwei Gebieten, in denen sich die Flecken häufen und zwischen denen nur wenige oder keine Flecken sind. Diese Anordnung heißt bipolar, d.h. die Flecken sind an zwei Polen konzentriert. Einfachere Gruppen ohne deutlich getrennte Fleckenzentren werden unipolar genannt.

Die wichtigsten Formen, aus denen sich Sonnenflecken aufbauen, sind in Bild 4 schematisch dargestellt. Sehr kleine Sonnenflecken erscheinen als dunkle punktförmige Gebilde. Bei ihnen wird zwischen Sonnenflecken und Poren unterschieden. Der Unterschied liegt in der Lebensdauer: Für Poren meist nur wenige Minuten. Poren werden bei der Bestimmung der Relativzahl (vgl. Abschnitt 4.2) nicht berücksichtigt.

Größere Sonnenflecken bestehen aus einem dunklen Kern, der Umbra, und einem etwas helleren Hof, der Penumbra. Bei direkter Beobachtung mit dem Auge am Okular (Filter benutzen, Erblindungsgefahr!) zeigt sich eine mehr oder weniger gleichmäßig schwarze, rotbraune und manchmal fast graue Umbra. Die Penumbra scheint aus vielen hellen und dunklen Fäden, den Penumbra-Filamenten, zu bestehen. Diese sind von der Umbra weg nach außen orientiert. Die dritte auffällige Struktur in Sonnenflecken sind die Lichtbrücken. Sie bilden meistens schmale „Durchbrüche“ durch Penumbren oder Umbren, können gerade oder gebogen sein und sich in wenigen Stunden stark verändern. Es gibt zwei Formen. Penumbrale Lichtbrücken sind Vorstöße von Penumbra-Filamenten in die Umbra, häufig schmal, gerade oder gebogen, können sie eine Umbra sogar teilen. Granulare Lichtbrücken zeigen eine Granulation (Bild 4). Häufig wirken sie wie Vorstöße der ungestörten Photosphäre in den Sonnenfleck. Auch sie können einen Sonnenfleck teilen.

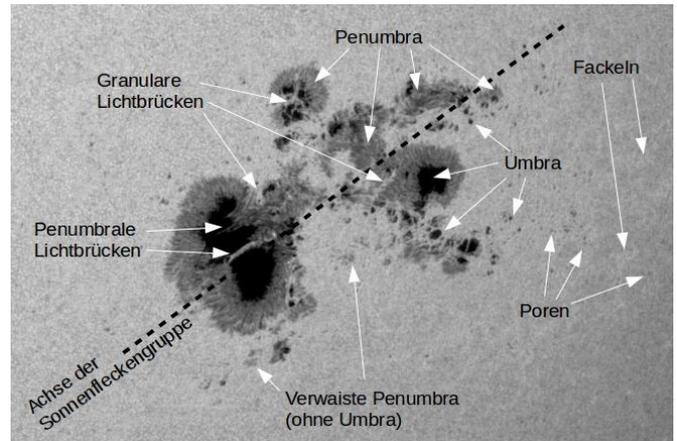


Bild 4: Schema einer bipolaren Sonnenfleckengruppe mit den wichtigsten Begriffen für die beobachtbaren Details

Beobachtet man einen regelmäßigen runden Fleck nahe dem Zentrum der Sonnenscheibe und verfolgt ihn über einige Tage, so wird er zum Sonnenrand hin immer schmaler. Die Sonne ist eine rotierende Kugel und so ergibt sich eine perspektivische Verzerrung des Sonnenflecks auf ihrer Oberfläche.

Die Verbindungslinie zwischen den beiden Hauptflecken einer bipolaren Gruppe wird als Achse der Fleckengruppe bezeichnet. Bei Gruppen ist diese Achse in Rotationsrichtung der Sonne mehr oder weniger stark zum Sonnenäquator geneigt, gelegentlich aber auch senkrecht oder sogar entgegen der Rotationsrichtung. Mit wachsendem Alter der Gruppe kann sich die Achse verändern.

Wie alle gasförmigen Körper im Sonnensystem (z.B. auch Jupiter und Saturn) rotiert die Sonne an ihrem Äquator schneller, wo sie sich in 25 Tagen einmal um ihre Achse dreht (siderische Rotation). In 40 Grad Breite braucht sie schon 27 Tage für eine Rotation. Objekte in niedrigeren Breiten „überholen“ deshalb Objekte in höheren Breiten. Dieser Effekt ist die differentielle Rotation der Sonne. Die Bewegung der Erde um die Sonne und die Rotation der Sonne selbst überlagern sich, so dass man nach etwa 27 – 29 Tagen wieder den gleichen Punkt auf der Sonne beobachten kann.

#### Fackelgebiete

Nähert sich ein Fleck dem Sonnenrand, werden in seiner Umgebung helle Gebiete sichtbar, die Sonnenfackeln. Sobald die Fleckengruppe in den Bereich der starken Randverdunklung gelangt (Bild 4), werden

Fackeln deutlich sichtbar. Fackeln kommen auch häufig ohne Sonnenflecken vor.

Auch Fackeln markieren aktive Gebiete der Sonne. Sie gehen auf kleine, heiße Zellen zurück, die zwischen den Granulationszellen der Photosphäre stehen. Zum Sonnenrand hin sehen wir diese kleinen Zellen zunehmend von der Seite, wo sie aus einer größeren Fläche mehr Licht zu uns strahlen. So erklärt sich die zunehmend besser Sichtbarkeit am Sonnenrand.

Helligkeit und Dunkelheit sind auch ein Ausdruck der auf der Sonne herrschenden Temperaturen. Während in Sonnenflecken das Gas nur etwa 3.000°C heiß ist, hat die übrige Photosphäre eine Temperatur von etwa 5.500°C. In den Fackeln ist es noch um einige hundert Grad heißer.

### Die NOAA Active Regions

Aktive Gebiete auf der Sonne bekommen eine Nummer, sobald sie von zwei Observatorien bestätigt sind. Damit sind Sonnenfleckengruppen und Fackelgebiete eindeutig identifiziert. Diese Nummer bleibt bestehen und erlaubt z.B. Aussagen wie „die Entwicklung von AR

12609“. Häufig wird auch „NOAA 12609“ gesagt, weil die „National Oceanographic and Atmospheric Administration“ der USA die Katalogisierung der aktiven Gebiete als Service für die Welt übernommen hat. Die NOAA überwacht auch das „Weltraumwetter“, ähnlich wie die Europäische Weltraumagentur ESA.

Die tagesaktuellen „NOAA-Nummern“ gibt es im Internet: [www.solarmonitor.org](http://www.solarmonitor.org). In der Datenbank sind auch die grobe Position auf der Sonne sowie die Geschichte der aktiven Gebiete aufgezeichnet, z.B. die bisherige Entwicklung der Fleckengruppe und bisher gemessene Strahlungsausbrüche (Flares).

Für Amateurbesucher lohnt sich die Zuordnung der Beobachtungen zu den NOAA-Nummern absolut. Auch Amateure nutzen den Code nämlich oft. Mit der täglichen Übersichtszeichnung der Sonne (siehe Kapitel 7 Beobachtungsalltag) lassen sich aktive Gebiete auch nachträglich den NOAA-Nummern zuordnen. Die Information liefert ebenfalls der „Solarmonitor“.

## 2.2 Klassifikation und Entwicklung von Sonnenflecken

Fleckengruppen unterscheiden sich durch das Vorhandensein von Penumbren, dem Vorhandensein einer Bipolarität, Größe und Form der Flecken. Auf diesen Merkmalen hat Max Waldmeier seine Klassifikation der Fleckengruppen aufgebaut. Tabelle 1 gibt jeweils einige Beispiele für die einzelnen Gruppenklassen, die mit A bis J bezeichnet werden.

Große E-, F- und G- Gruppen sind vergleichsweise selten. Wegen ihrer Größe werden aber gerade sie häufig in der Literatur abgebildet. Man lasse sich nicht täuschen. Wichtig sind deshalb die Längen- und Durchmesserangaben in der Definition der einzelnen Fleckenklassen. Besonders am Anfang überschätzt man leicht die Größe einer Fleckengruppe. Schwierigkeiten bereitet auch die perspektivische Verzerrung am Sonnenrand. Mit etwas Routine und Anschauung durch das Gradnetz sind solche Probleme leicht zu überwinden.

Grundsätzlich kann eine Fleckengruppe während einer vollständigen Entwicklung alle Klassen von A bis J durchlaufen, aber nur die wenigsten Gruppen entwickeln sich bis zu den sehr großen Klassen E, F und G. Entwicklungswege können die großen Gruppenklassen überspringen. Der Weg A – B – A ist sicherlich der häufigste, nach dem einfachsten Fall, da eine A-Gruppe nach 1 bis 2 Tagen wieder verschwindet. Ein typischer Entwicklungsweg einer größeren Flecken-Gruppe könnte auch A – B – C – D – C – J – A sein. J-

Flecken sind fast immer Endstadien der Gruppenentwicklung, aber die „frühen“ Gruppenklassen C und D werden beim Überschreiten des Aktivitätsmaximums einer Gruppe (Klassen E, F und G) auf dem Weg zu H- und J- Flecken manchmal erneut ausgebildet.

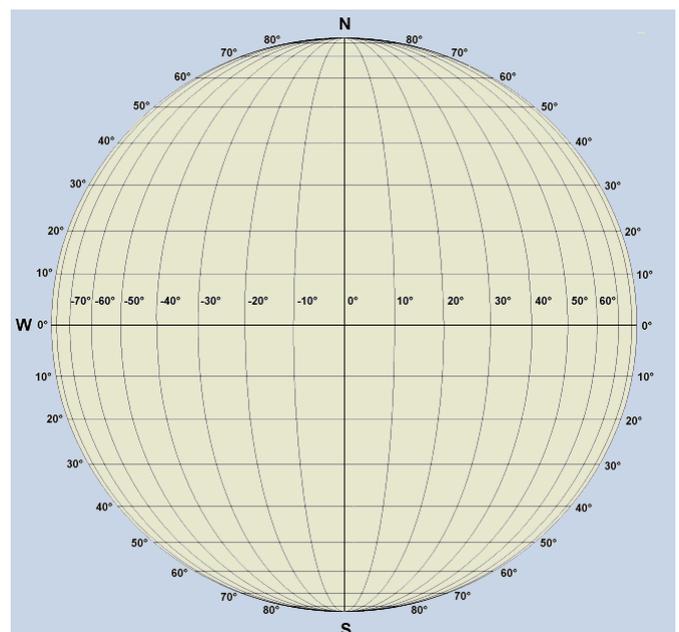


Bild 5: Mit dem Gradnetz lässt sich die Größe einer Sonnenfleckengruppe auch vor dem Hintergrund der perspektivischen Verkürzung zum Sonnenrand hin schätzen

## Die Sonnenflecken

<b>A</b>	Ein einzelner Fleck oder eine Gruppe von Flecken ohne Penumbra und ohne bipolare Struktur	
<b>B</b>	Gruppe von Flecken ohne Penumbra aber in bipolarer Anordnung	
<b>C</b>	Bipolare Fleckengruppe, deren einer Hauptfleck von einer Penumbra umgeben ist	
<b>D</b>	Bipolare Gruppe, deren beide Hauptflecken eine Penumbra besitzen. Ein Hauptfleck ist einfach und der andere meistens, aber nicht immer, etwas komplizierter aufgebaut.	
<b>E</b>	Große bipolare Gruppe, deren Hauptflecken Penumbren besitzen. Beide zeigen im Allgemeinen eine komplizierte Struktur. Zwischen den Hauptflecken zahlreiche kleinere Flecken. Die Gruppe hat eine Länge von mindestens 10° auf der Sonne.	
<b>F</b>	Sehr große bipolare Gruppe oder komplexe Sonnenfleckengruppe. Länge mindestens 15° (sonst wie E).	
<b>G</b>	Große bipolare Gruppe ohne kleine Flecken zwischen den Hauptflecken. Die Länge beträgt mindestens 10°.	
<b>H</b>	Unipolarer Fleck mit Penumbra, Durchmesser größer als 2,5°	
<b>J</b>	Unipolarer Fleck mit Penumbra, Durchmesser kleiner als 2,5°	

Tabelle 1: Klassifikation von Sonnenflecken nach Max Waldmeier (Zürich)

### 3 Die Sonne im H $\alpha$ -Licht

Im monochromatischen Licht einer Fraunhofer Linie (Bild 2) können die Erscheinungen der Chromosphäre erfasst werden, die über der Photosphäre liegt. Die meisten Amateur-Sonnenbeobachter benutzen dafür Filter für die H $\alpha$ -Linie. Die auffälligsten Erscheinungen sind dabei Protuberanzen, Filamente, Plages und das chromosphärische Netzwerk.

#### Das Chromosphärische Netzwerk

Die ungestörte Chromosphäre ist vor allem während des Sonnenfleckenminimums gut zu beobachten. Sie ist durch ein relativ kontrastarmes Muster gekennzeichnet, das als „chromosphärische Netzwerk“ bezeichnet wird. Dieses tritt jedoch deutlicher in Erscheinung, als die Granulation im Weißlicht und ist bereits in den kleinsten verfügbaren Instrumenten zur H $\alpha$ -Beobachtung sichtbar.

#### Spikulen

In H $\alpha$  erscheint der Sonnenrand nicht glatt, wie im Weißlicht. Bei Vergrößerungen ab 40 – 50 fach werden tausende kleine schnelllebige Spitzen sichtbar, die Spikulen genannt werden.

#### Protuberanzen

Sehr deutlich und vor allem häufig sind am Sonnenrand Protuberanzen als helle Erscheinungen erkennbar. Es handelt sich um Wolken aus teilweise ionisiertem Gas in der oberen Chromosphäre. Sie sind meist in solaren Magnetfeldern gefangen. Bricht ein solches Feld auf, kann es zu spektakulären Eruptionen kommen. In solchen eruptiven Protuberanzen sind Veränderungen auch mit kleinen Instrumenten häufig innerhalb weniger Minuten sichtbar. Protuberanzen erreichen nur selten eine Höhe von 100.000 km oder mehr. Damit wirken sie im Vergleich zum Sonnendurchmesser meist recht klein.

#### Filamente

Filamente sind mit Protuberanzen physikalisch identisch, allerdings erscheinen Filamente vor der Sonnenscheibe dunkel. Protuberanzen erscheinen nur vor dem dunklen Hintergrund des Himmels hell, ein Effekt des Kontrasts. Tatsächlich ist die Helligkeit der Protuberanzen/Filamente geringer als die der Chromosphäre. Auf der Sonnenscheibe erscheinen Filamente als dunkle, mehr oder weniger fadenförmige Gebilde.

Vor der Sonnenscheibe zeigt sich vor allem die Langlebigkeit der Filamente. Nicht selten können sie vom Erscheinen am Ostrand bis zum Verschwinden am Westrand der Sonne beobachtet werden, wenn sie durch die Sonnenrotation von der Erde aus sichtbar werden. Dann wird auch beobachtbar, dass ein solches Filament am Rand in eine Protuberanz übergeht.

Protuberanzen und Filamente können auf der ganzen Sonnenscheibe auftreten. Besonders im Aktivitätsmaximum können Filamente manchmal erstaunliche Grö-

ßen erreichen, Längen von mehreren 100.000 km sind dann keine Seltenheit.

#### Sonnenflecken

Wie im Weißlicht sind auch im H $\alpha$  -Licht Sonnenflecken sichtbar. Sie treten aber deutlich schwächer in Erscheinung, meist sind nur die Umbren der größeren Flecken zu sehen. Kleinere Flecken findet auch der aufmerksame Beobachter meistens nicht.

#### Plages

Helle Gebiete im monochromatischen Licht werden Plages genannt. Sie ähneln den Fackeln im Weißlicht, können aber auf der gesamten Sonnenoberfläche im H $\alpha$ - und vor allem im Ca-II-Licht beobachtet werden. Die Bildung von Plages erfolgt manchmal an Stellen, an denen sich dann ein bis zwei Tage später Sonnenflecken bilden. Daher sind Plages vor allem im Bereich der Fleckenzonen zu finden, in aktiven Gebieten.

Plages können oft über mehrere Tage bis Wochen hinweg beobachtet werden, ehe sie infolge der Sonnenrotation am Westrand der Sonne verschwinden oder sich langsam wieder auflösen.

#### Flares

In den Regionen mit hoher Aktivität, beispielsweise in größeren Sonnenfleckengruppen, können gelegentlich Flares auftreten. Das sind helle Strahlungsausbrüche, die sich in wenigen Minuten verändern und nur Lebensdauern von Minuten, bei sehr starken Flares bis zu einer Stunde haben. Die große Helligkeit, schnelle Veränderungen und geringe Lebensdauer unterscheidet sie von den chromosphärischen Fackeln (Plages).

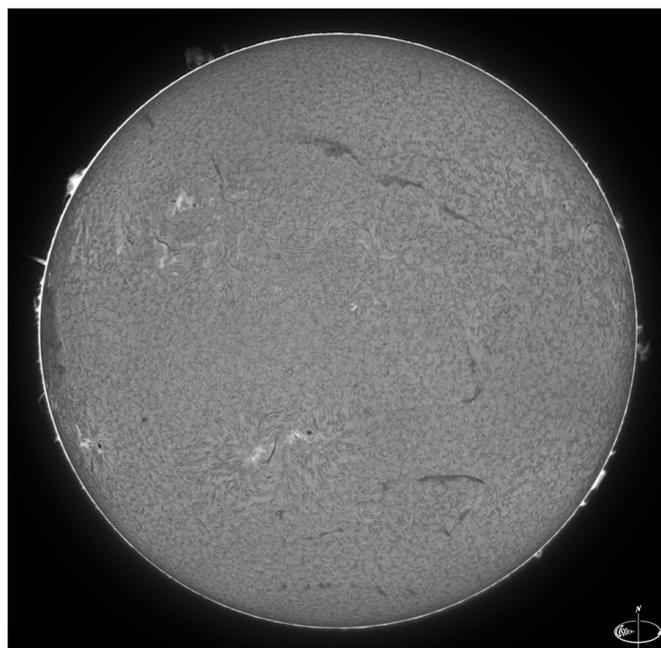


Bild 6: Die Sonne im H $\alpha$ -Licht mit Plages, Protuberanzen und Filamenten (I. Glass, Lunt LS 35, 17.11.2011, 11:19 UT)

## 4 Erste Beobachtungsprogramme

### 4.1 Beobachtungen mit bloßem Auge

Große Sonnenflecken können auch ohne Fernrohr beobachtet werden. So wurden bereits vor mehreren tausend Jahren beispielsweise in China zu Sonnenauf- oder -untergang Sonnenflecken gesehen. Heute benutzen wir zum unbedingt nötigen Schutz der Augen eine Sonnenfinsternisbrille oder ein Schweißerglas (Nr. 14 oder 15), um Sonnenflecken mit dem bloßen Auge zu sehen.

Es gibt zwei Ziele für solche Beobachtungen. Erstens, können wir damit die historischen Beobachtungen besser verstehen. Zweitens, „erzieht“ die Methode zum sehr genauen Absuchen der Sonnenscheibe, schärft also unsere Fähigkeiten als Beobachter. Auch wenn oft über längere Zeit nichts zu beobachten ist, kann es plötzlich spannend werden, wenn ein kleiner schwarzer Punkt auftaucht. Entsprechend stark sind die Reaktionen, wenn ein sehr deutlich sichtbarer Fleck via Internet gemeldet wird. Sehr große Flecken haben auch

eine lange Lebensdauer. Sie tauchen oft am linken (östlichen) Sonnenrand auf und können an den folgenden Tagen verfolgt werden, wenn sie mit der Sonnenrotation über die Sonnenscheibe wandern.

Während des Sonnenfleckenmaximums sind manchmal sogar mehrere Flecken sichtbar. Sehr große Fleckengruppen der Waldmeier-Typen E oder F (siehe Tabelle 1) können in einigen Fällen auch mit bloßem Auge flächig gesehen werden. Wenn sie eine ausgeprägt bipolare Struktur aufweisen, ist oft sogar eine Trennung der beiden Hauptflecken möglich.

Die Fachgruppe Sonne sammelt Beobachtungen im „A-Netz“. Um mitzumachen, brauchen Sie nur Tag und Anzahl der beobachteten Flecken aufzuschreiben. Dabei sind auch die fleckenfreien Tage wichtig. Erst durch die Bildung von Monatsmittelwerten ist es möglich, die Aktivität mit einer guten Genauigkeit zu dokumentieren.

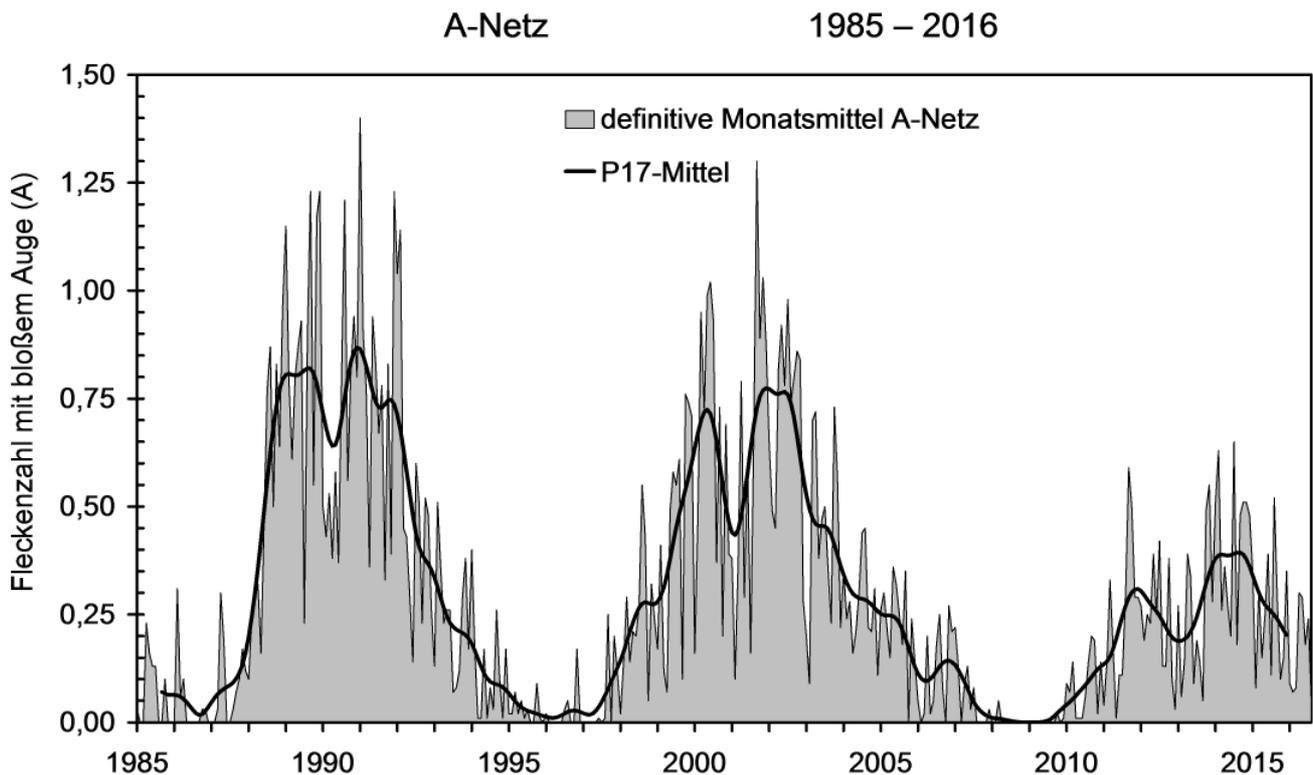


Bild 7: Die Sonnenfleckenzahl des A-Netzes beruht auf Beobachtungen mit dem bloßen Auge

### 4.2 Bestimmung der Sonnenfleckenrelativzahl

Die Anzahl der sichtbaren Sonnenflecken ändert sich von Tag zu Tag und mit dem im Durchschnitt elf Jahre langen Zyklus der Sonnenaktivität. Diese Veränderungen auf möglichst einfache Weise zu beschreiben,

ist das Ziel der Sonnenfleckenrelativzahl, oder kurz der Relativzahl (R bzw.  $R_e$ ). Sie wurde Mitte des 19. Jahrhunderts von dem Schweizer Astronomen Rudolf Wolf definiert und heißt deshalb Englisch auch „Wolf

Number“, deutschsprachig auch Wolfsche Relativzahl. Sie ist festgelegt als die Summe aller sichtbaren Sonnenflecken-Umbren auf der sichtbaren Scheibe, die Zahl der Fleckengruppen wird mit 10 multipliziert. Als allgemeine Gleichung also:

$$R = 10 \cdot g + f \quad (\text{Gl. 1})$$

Dabei ist  $g$  die Anzahl der Fleckengruppen und  $f$  die Anzahl aller sichtbaren Einzelflecken auf der Sonnenscheibe, egal zu welchen Gruppen sie gehören. Der Rechenweg ist in Gl. 1 dargestellt (ein Beispiel finden Sie in Bild 8). Man setzt die beobachteten Zahlen einfach in die Gleichung ein. Bevor addiert wird, ist natürlich  $10 \cdot g$  zu berechnen: Punktrechnung vor Strichrechnung. Mit Hilfe eines Gradnetzes trennen viele Beobachter die Relativzahl für die die Nord- und Südhalbkugel der Sonne. Oft sind nämlich die Flecken über viele Monate auf einer Halbkugel häufiger als auf der anderen – eine Eigenheit der Sonne, die physikalisch noch ungeklärt ist.

Die Relativzahl-Formel wird manchmal auch anders geschrieben:

$$R = k \cdot (10 \cdot g + f) = k \cdot R_E \quad (\text{Gl. 2})$$

Der Faktor „ $k$ “ (Reduktionsfaktor) macht die eigene Relativzahl vergleichbar mit anderen Beobachtungen der Relativzahl. Abhängig von vielen Einflüssen (z.B. der Größe des Teleskops, der Beurteilung durch den Beobachter, den Beobachtungsbedingungen) sehen die Beobachter immer eine unterschiedliche Zahl von Einzelflecken oder Fleckengruppen. Deshalb werden alle Relativzahlen auf eine internationale Standardrelativzahl ( $R_i$ ) reduziert. Diese Beobachtungsreihe wurde früher in Zürich erstellt (Zürcher Relativzahl), seit 1980 hat diese Aufgabe das „Solar Influences Data Analysis Center“ (früher: „Sunspot Index Data Center“) in Uccle (Belgien). Die Standardrelativzahl wird geteilt durch die eigene Relativzahl:

$$k = R_i / R_E \quad (\text{Gl. 3})$$

Der Reduktionsfaktor  $k$  ergibt sich nicht aus den täglichen Beobachtungen. Die Schwankungen (Wetter,

Verfassung des Beobachters, kurzperiodische Schwankungen der Fleckenzahl) sind viel zu groß, um dabei einen zuverlässigen Wert zu ermitteln. Besser ist es, Mittelwerte der Relativzahlen eines Monats oder den Mittelwert eines ganzen Jahres zu vergleichen.

Die Bestimmung der Relativzahl erfordert Übung. Bei Anfängern sind starke Schwankungen des Reduktionsfaktors in den ersten Monaten ganz normal. Mit der wachsenden Erfahrung ergibt sich ein stabiles  $k$ , das sich von Monat zu Monat kaum noch verändert. Erst dieser stabile Wert kann zur Reduktion der Beobachtungen benutzt werden. Wer seine Beobachtungen einer überregionalen Auswertung zur Verfügung stellt, darf nicht reduzieren, sondern muss seine tatsächlich beobachtete Relativzahl einsenden. Nur damit bleibt die Reduktion auf verschiedene Relativzahlreihen möglich. Solche Reihen gibt es international von vielen Amateurbeobachtergruppen, die ihre Daten auch untereinander austauschen.

Es ist leider weit verbreitet, ein möglichst kleines  $k$  (also viele beobachtete Flecken) für bessere Qualität der Beobachtungen zu halten. Dies ist falsch. Gute Beobachter sind tatsächlich an einem über lange Zeit hinweg stabilen Reduktionsfaktor zu erkennen. Veränderungen der Sonnenaktivität werden durch sie nicht dadurch vorgetäuscht, dass sie in einem Monat sorgfältig und im nächsten Monat sorglos gezählt haben, z.B. weil sie plötzlich auch die kleinsten Flecken zählen, die sie zu anderen Zeiten nicht beachten. Entscheidend ist auch, dass eine gute Relativzahlreihe immer am gleichen Instrument entsteht. Dabei ist ein großes Teleskop nicht erforderlich – die Standardrelativzahl wird an einem Fernrohr mit 80 mm Öffnung ermittelt.

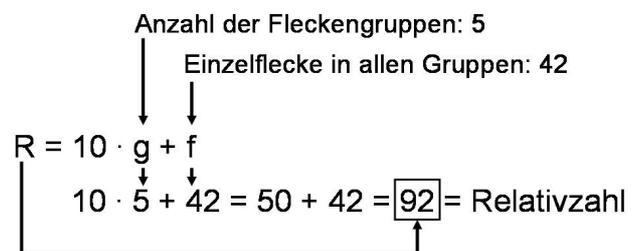


Bild 8: Die Berechnung der Relativzahl

### 4.3 Die Bestimmung der H $\alpha$ -Relativzahl

In Anlehnung an die Sonnenflecken-Relativzahl hat der Berliner Amateurastronom Peter Völker eine H $\alpha$ -Relativzahl vorgeschlagen. Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass nur die Aktivitätszentren („Herde“) erfasst werden, egal ob diese Filamente, Plages, Protuberanzen, oder mehrere dieser Erscheinungen enthalten. Die Sonnenflecken werden als Erscheinungen

nicht berücksichtigt. Da Sonnenflecken aber fast ausnahmslos in Verbindung mit Filamenten, Plages oder Flares auftreten, finden entsprechende Aktivitätszentren ebenfalls ihren Anteil an der H $\alpha$ -Relativzahl.

Die Bestimmung der H $\alpha$ -Relativzahl ist damit sogar einfacher als die Bestimmung der Sonnenflecken-Relativzahl. Es werden nur die Aktivitätszentren gezählt und

anschließend mit dem Faktor 10 multipliziert. Das anschließende Addieren der Einzelercheinungen entfällt. Die allgemeine Gleichung lautet also:

$$R_{H\alpha} = 10 \cdot h \quad (\text{Gl. 4})$$

Dabei ist  $h$  die Anzahl der Aktivitätsherde und  $R_{H\alpha}$  die  $H\alpha$ -Relativzahl.

Auch bei der Beobachtung im  $H\alpha$ -Licht machen größere Instrumente und geringere Halbwertbreite des Filtersystems mehr Erscheinungen sichtbar. Die Unterscheidung zwischen einzelnen Aktivitätszentren entsteht auch mit Erfahrung. Deshalb wird bei Auswertungen auch für die  $H\alpha$ -Relativzahl ein persönlicher Kor-

rekturfaktor errechnet, der die Beobachtungsergebnisse mit denen anderer Beobachter vergleichbar macht.

Dabei gelten die gleichen Schlussfolgerungen, wie für die Sonnenfleckenrelativzahl. Wichtig ist es nicht, einen möglichst kleinen  $k$ -Faktor zu erzielen, sondern einen langfristig stabilen. Dabei sollte das Instrument nicht gewechselt werden. Ein großes Instrument ist nicht nötig. Ursprünglich war das Beobachtungsprogramm ausschließlich für Beobachter mit einem Personal Solar Telescope (PST) gedacht, das nur eine freie Öffnung von 40 mm aufweist. Inzwischen ist das Programm aber auch für andere Instrumente geöffnet – sowohl größere als auch kleinere.

## 5 Der Sonnenfleckenzyklus

Die Sonnenaktivität unterliegt schon im Zeitraum von Wochen unregelmäßigen Schwankungen. Über einen längeren Zeitraum hinweg zeigen sich regelmäßige Veränderungen, die Sonnenfleckenzyklen. Sie haben im Mittel eine Dauer von ungefähr 11 Jahren. Es gibt wahrscheinlich auch längere, deren Dauer aber noch umstritten ist, da erst seit 1750 kontinuierliche Relativzahlbeobachtungen vorliegen.

Bild 9 zeigt die monatlichen Mittelwerte der Relativzahlen des SONNE-Relativzahlnetzes seit 1977. Grundlage sind die Einzelbeobachtungen eines großen Teams. Es ist sichtbar, dass nach einer Zeit sehr geringer Sonnenaktivität (niedriger Relativzahl) die Anzahl der Flecken zunimmt und ein Maximum, das Sonnenfleckenmaximum, erreicht. Danach nimmt die Relativzahl zum nächsten Sonnenfleckenminimum hin wieder ab. Ein vollständiger Zyklus wird von Minimum zu Minimum gezählt.

Die Dauer der Sonnenfleckenzyklen schwankt zwischen acht und 14 Jahren. Die Veränderungen auf der Sonne sind in diesem Zeitraum eindrucksvoll. Im Fleckenmaximum sind große Fleckengruppen häufig, während im Minimum fast nur kleine Gruppen erscheinen. Viele der anderen Erscheinungen auf der Sonne variieren ebenfalls mit dem Aktivitätszyklus. So unterliegt

die Fackelzahl ganz ähnlichen Schwankungen. In der Zeit nach dem Fleckenmaximum erscheinen auch an den Polen der Sonne Fackelgebiete mit kleinen Fackelpunkten – die Polfackeln – die dann einige Jahre vor dem Fleckenmaximum wieder verschwinden. Polfackeln fehlen während des Maximums. Dann gibt es Fackeln nur noch in den Hauptzonen, in denen auch die Flecken liegen.

Diese Hauptzonen verschieben sich während eines Fleckenzyklus in der heliografischen Breite, also dem Abstand vom Sonnenäquator (Breitenwanderung der Sonnenfleckenzonen). Sonnenflecken erscheinen immer in einem Gürtel auf der Nord- und Südhalbkugel der Sonne mit einem bestimmten Abstand zum Sonnenäquator. Diese Gürtel sind die Hauptzonen. Im Minimum der Aktivität haben die Hauptzonen einen großen Abstand vom Äquator. Dieser Abstand verringert sich über das Maximum bis zum Ende des Fleckenzyklus (neues Minimum), bis die Sonnenflecken nur noch in einem schmalen Bereich in Äquatornähe auftauchen. Die ersten Flecken des neuen Zyklus tauchen dann wieder in hohen Breiten auf – ein immer wieder mit Spannung erwartetes Ereignis. Diese Breitenwanderung der Sonnenflecken, über einen Zyklus grafisch aufgetragen, ist das Schmetterlingsdiagramm (siehe auch Bild 17).

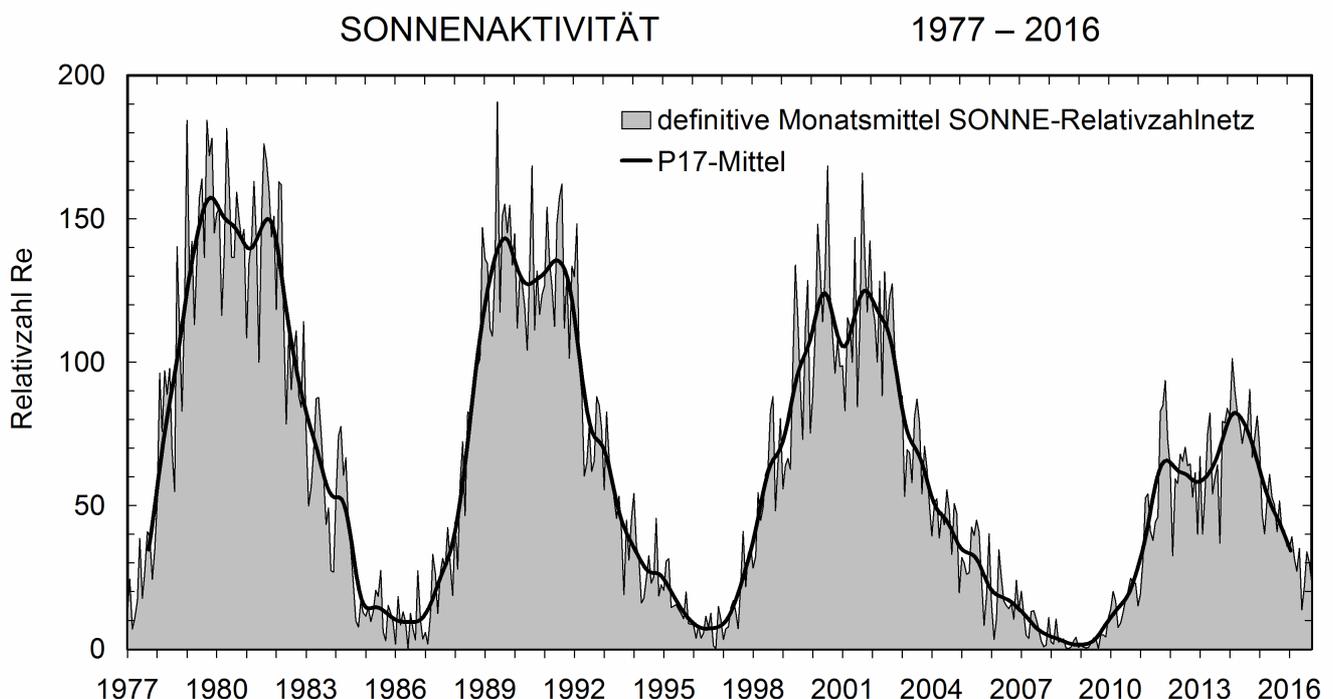


Bild 9: Monatsmittel der Relativzahlen des SONNE-Netzes, einer Gruppe von knapp 100 Amateurastronomen, die ihre Relativzahlen einer zentralen Auswertung zur Verfügung stellt. Dadurch werden Beobachtungsreihen möglich, in denen es keine wetterbedingten Lücken mehr gibt.

## 6 Instrumente und Zubehör für die Sonnenbeobachtung

### 6.1 Linsen- oder Spiegelfernrohr

**Bei der Beobachtung der Sonne – auch mit dem kleinsten Fernrohr oder Fernglas – muss das Sonnenlicht mit geeigneten Mitteln gedämpft. Nur eine Sekunde Beobachtung des grellen Lichts kann zur Zerstörung der Horn- und Netzhaut und damit zum Verlust des Augenlichtes führen. „Geeignete Mittel“ sind dabei nicht solche, die das Licht der Sonne nur dunkler machen. Entscheidend ist eine ausreichende Filterung gegen ultraviolettes und infrarotes Licht, die vom Auge nicht wahrgenommen werden, aber die eigentlichen Zerstörungen anrichten.**

Welches Gerät? – vor dieser Frage steht jeder Einsteiger. Hier sollen nur die Vor- und Nachteile für die Sonnenbeobachtung diskutiert werden. Der folgende Text bezieht sich nur auf kleine Instrumente. Für die Beobachtung der Sonne durch den Amateur gibt es prinzipiell vier Methoden:

- A) Die Beobachtung mit dem Projektionsschirm
- B) Die Beobachtung mit Okularfiltern
- C) Die Beobachtung mit speziellen Sonnenokularen oder Prismen
- D) Die Beobachtung mit Objektivfiltern aus Glas oder Folie

Das Hauptübel bei der Sonnenbeobachtung ist die Luftunruhe, das sogenannte Seeing (Kapitel 7). Sie bewirkt, dass das beobachtete Bild mehr oder weniger unscharf und verwaschen erscheint. Die Luftunruhe entsteht unter anderem, wenn warme und kalte Luftzellen aufeinander treffen und sich vermischen.

Eine klare Feststellung vorneweg: Für die Sonnenbeobachtung mit den Methoden A, B, C sind Refraktoren (Linsenfernrohre) wesentlich günstiger als Reflektoren (Spiegelfernrohre), und zwar aus folgenden Gründen:

Bei den drei ersten Methoden wird objektivseitig mit dem sehr heißen, ungefilterten Sonnenlicht gearbeitet. Licht und Wärme werden entweder gar nicht (A) oder okularseitig (B, C) gedämpft. Bei einem Refraktor haben wir annähernd ein geschlossenes System aus Objektiv, Tubus und Okular. Die Luftsäule, die im Tubus steht, erwärmt sich bei der Beobachtung langsam, hat aber kaum Gelegenheit, mit der Außenluft in Wechselwirkung zu treten. Anders ist die Situation bei einem Reflektorsystem nach Newton. Hier ist der Tubus offen, die sich erwärmende Luftsäule wird schnell einen permanenten Wärmeaustausch mit der Außenluft eingehen. Bei Reflektoren kommt als Nachteil hinzu, dass der Fangspiegel in der Nähe des Brennpunktes liegt und sich somit ebenfalls stark erwärmt. Diese Wärmequelle trägt zur weiteren Bildverschlechterung bei. Spiegelsysteme haben meist ein höheres Öffnungsverhältnis (Verhältnis von Objektivdurchmesser zu Objek-

tivbrennweite, üblicher Wert eines Refraktors 1:10; Reflektor 1:4 bis 1:10). Die Beleuchtungsstärke und somit die Wärmeentwicklung im Brennpunkt ist bei Reflektoren also höher als bei Refraktoren. Bei den anderen Spiegelfernrohrsystemen (Cassegrain, Schmidt-Cassegrain und Maksutov etc.) sitzen meist Plastikteile im Strahlengang, die bei ungefilterter Beobachtung schmelzen können. Außerdem werden auch hier die Fangspiegel heiß. Deshalb ist von der Beobachtung mit A, B, C (D ist möglich) abzuraten.

Die Nachteile des Refraktors sind: Große Baulänge, höherer Anschaffungspreis und Restfarbfehler (Chromasie) der Objektivlinsen. Das heißt: Wer noch kein Instrument besitzt, dem sei angeraten, sich für die Sonnenbeobachtung einen Refraktor anzuschaffen. Mit Objektivfiltern sind allerdings auch mit Spiegelteleskopen sehr gute Sonnenbeobachtungen möglich.

Wie groß sollte das Fernrohr sein? Die kleinsten Details, die der Amateur auf der Sonne beobachten kann, liegen bei einem Winkeldurchmesser von etwa 1 – 2 Bogensekunden (Granulation), die größten bei etwa 10 bis 150 Bogensekunden (Sonnenflecken). Einfache Faustformeln für die Berechnung des Auflösungsvermögens eines Fernrohrobjektives lauten:

Refraktor:

Auflösungsvermögen (in Bogensekunden)  
= 120 / Objektivdurchmesser (in mm)

Reflektor:

Auflösungsvermögen (in Bogensekunden)  
= 240 / Spiegeldurchmesser (in mm)

Das Seeing lässt für den Amateur tagsüber eine Winkelauflösung von 1 – 2 Bogensekunden zu. Da ein Einsteiger nicht mit der Beobachtung der Granulation anfangen wird, ist für ihn ein Refraktor mit 6 – 8 cm Objektivdurchmesser oder ein Reflektor mit 10 – 15 cm Spiegeldurchmesser ausreichend. Der Fortgeschrittene liegt mit einem 10 – 15 cm Refraktor oder einem 20 – 30 cm Spiegel an einer Grenze, deren Überschreitung nur in wenigen Fällen sinnvoll ist.

## 6.2 Die Beobachtungsmethoden und ihr Zubehör

### A – Beobachtung mit dem Projektionsschirm

Bei dieser Beobachtungsart wird das objektivseitig ungefilterte Licht der Sonne auf einen Schirm projiziert. Die Beobachtung ist gefahrlos und die einfachste. Allerdings steht das Projektionsokular sehr dicht am Brennpunkt des Teleskops und wird sehr heiß. Verkittete Okulare werden durch die Hitze zerstört. Es sollten nur Huygens-, Mittenzwey- oder Ramsden-Okulare zur Anwendung kommen. Ist der Okulartyp unbekannt, sollte dieses Okular nicht zur Sonnenprojektion verwendet werden.

Der Projektionsschirm und seine Befestigung sollten so stabil wie möglich sein (sofern es die Fernrohrmontierung zulässt). Der große Vorteil der Projektionsmethode ist nämlich, dass auch die Form der Flecken und deren Position auf einer Schablone als Zeichnung markiert werden kann. Dafür ist eine stabile Unterlage nötig.

Bild 10 zeigt eine mögliche Konstruktion. Der komplette Schirm wird mit zwei Rohrschellen am Fernrohrtubus befestigt. Der Abstand des Schirmes vom Okular sollte, wenn auf hohe Genauigkeit der Zeichnungen Wert gelegt wird, variabel sein. Die Sonne ändert nämlich durch die Ellipsenbahn der Erde ihre scheinbare Größe am Himmel, wodurch sich auch der Durchmesser des Sonnenbildes verändert. Zwei ineinander geschobene Rohre, die durch eine Schraube miteinander fest verbunden werden, können das ausgleichen. Der Schirm selber kann aus einer runden oder quadratischen Platte bestehen. Wichtig ist, dass die Platte rechtwinklig zur optischen Achse des Fernrohres steht. Ist das nicht der Fall, bekommen wir ein verzerrtes Projektionsbild.

Die Zeichenschablone wird mit kleinen Klammern oder Magneten auf dem Schirm befestigt. Damit kann die Schablone leicht in Ost-West-Richtung justiert werden. Der Kontrast des Sonnenbildes lässt sich durch eine dunkle Umgebung stark erhöhen. Dazu kann der Schattenwurf einer Pappscheibe dienen, die auf dem Fernrohrtubus montiert ist. Etwas aufwendiger ist ein dunkles Tuch, das den hinteren Bereich des Fernrohres mit dem Projektionsschirm vom Sonnenlicht abschirmt (ACHTUNG: nicht mit dem Tuch in den Strahlengang geraten, Feuergefahr!), oder die Projektion in einen dunklen Raum. Zur weiteren Kontraststeigerung sollte ein stärkeres Blatt Papier oder dünne weiße Pappe über das Projektionsbild bewegt werden (in einer Art Zitterbewegung), denn so treten bei der Betrachtung Details auf der Sonne deutlich hervor.

Flecken lassen sich besser erkennen und zählen. Als projizierten Sonnendurchmesser empfehlen wir:

Fernrohre mit 50 – 100 mm Öffnung:

Schablonendurchmesser 11 cm

Fernrohre ab 100 mm Öffnung:

Schablonendurchmesser 15 cm

Ein Sonnenprojektionsschirm kann vor allem vor dem Selbstbau berechnet werden. Die Formel gilt, wenn die Brennweite des Okulars wesentlich kleiner ist, als der Abstand zwischen Okular und Schirm!

$B_1$  ... projizierter Sonnendurchmesser

$A$  ... Abstand, den der Schirm vom Okular hat

$f_{OK}$  ... Okularbrennweite

Außerdem brauchen wir noch den Durchmesser des Sonnenbildes  $D$  im Brennpunkt (Faustformel: 1/100 der Objektivbrennweite).

Dann ist:

$$B_1 = \frac{D \cdot A}{f_{OK}} \quad (\text{Gl. 5})$$

Ein Beispiel: Fernrohr mit 1.000 mm Brennweite,  $D$  ist dann 10 mm.  $B_1$  soll 110 mm betragen. Die Okularbrennweite sei 20mm. Dann ist:

$$A = (110 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}) / 10 \text{ mm} = 220 \text{ mm}.$$

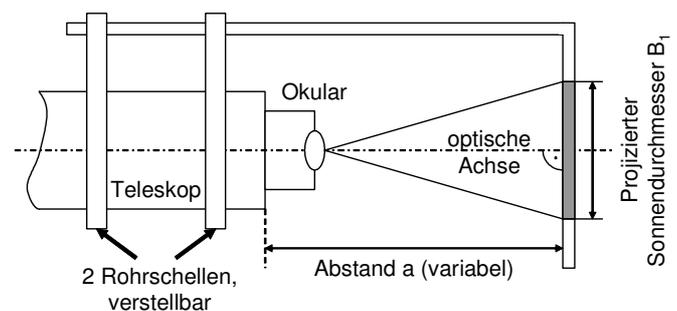


Bild10: Bauskizze eines Sonnenprojektionsschirmes

### B – Beobachtung mit einem Okularfilter

Okularfilter werden oft als Zubehör bei gekauften Instrumenten mitgeliefert. Von ihrer Benutzung sei – auch für Refraktoren – in jedem Fall abgeraten, da diese Filter sehr dicht am Brennpunkt montiert werden und dort sehr heiß werden. Durch die Hitze können diese Filter platzen, was zu schweren Augenschäden führen kann.

### C – Beobachtung mit speziellen Sonnenprismen

Ein Herschelprisma/Herschelkeil (siehe Bild 11) lenkt 95% des Lichts aus dem Strahlengang hinaus, nur 5% erreichen das Okular. Damit sind ausreichend kurz belichtete Fotos möglich. Für die visuelle Beobachtung ist eine weitere Filterung zwingend nötig. Im Handel gibt es Systeme, die mit einem zusätzlichen Polarisationsfilter die Helligkeit stufenlos einstellen lassen, da das reflektierte Licht teilpolarisiert ist. Wer als Refraktor einen Achromaten benutzt, sollte ohnehin einen engbandigen Farbfilter benutzen, um den Farbfehler des Objektivs zu unterdrücken und damit ein schärferes Bild zu bekommen.

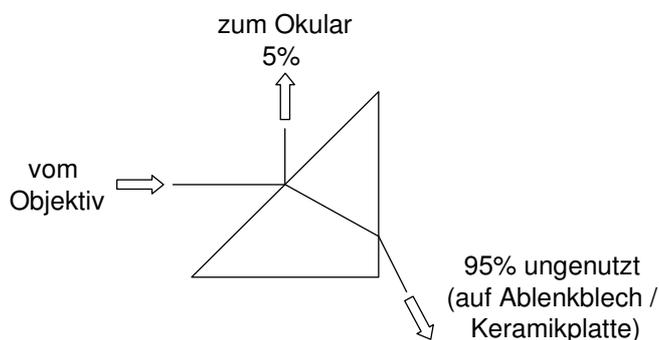


Bild 11: Strahlengang in einem Sonnen- bzw. Herschelprisma

### D – Beobachtung mit Objektivfilter bzw. -folie

Bei der Beobachtung mit einem guten Objektivfilter oder -folie entstehen keine thermischen Probleme mehr im Teleskop. Das am Okular ankommende Sonnenlicht ist „kalt“. Bei einem Refraktor sitzt das Filter bzw. die Folie vor dem Objektiv, bei Reflektoren in der Lichteintrittsöffnung.

Objektivfilter sind planparallele Glasplatten, die z.B. mit einer Chrom- oder Aluminiumschicht bedampft sind. Da

diese Filter eine sehr genaue Oberfläche haben müssen (sie sitzen vor dem Objektiv und müssen mindestens gleiche optische Qualität besitzen) sind diese Filter teuer und der Preis steigt mit wachsendem Durchmesser rasch an. Das ist der einzige Nachteil.

Folienfilter sind die preiswerte Alternative. Dabei handelt es sich um aluminiumbedampfte Folien mit einer Dicke von wenigen Mikrometern. Sie sind damit so dünn, dass sie keine wesentliche Bildverschlechterung bemerken lassen. Sehr verbreitet sind die AstroSolar-Folien der Firma Baader. Eine Bastelanleitung für eine stabile Pappfassung wird vom Hersteller mitgeliefert.

**Generell abzuraten ist von Eigenkonstruktionen wie z.B. berußten Glasplatten (wie in älterer Literatur immer wieder erwähnt wird), unterbelichtete oder schwarz entwickelte Filmstreifen etc. Sie haben alle den Nachteil, dass die für das Auge schädliche Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) nicht oder nur ungenügend absorbiert wird!**

Als Maß für die Lichtdurchlässigkeit aller Filtermethoden gelten die Begriffe: Optische Dichte (D), Transmission (T), Filterfaktor (F) und Absorption (A, in astronomischen Größenklassen). Ein Filter z.B. der optischen Dichte 3 lässt noch 0,1% des Sonnenlichtes passieren (Transmission) und reflektiert 99,9% der eintreffenden Licht und Wärmestrahlung.

Optische Dichte	Transmission T [%]	Filterfaktor F	Absorption [mag]
3	0,1	1:1.000	-7,5
4	0,01	1:10.000	-10,0
5	0,001	1:100.000	-12,5

Tabelle 2: Gebräuchliche Filterwerte

## 6.3 Instrumente für die Beobachtung im monochromatischen Licht

Amateurastronomen beobachten monochromatisch normalerweise in der roten  $H\alpha$ -Linie oder in Call („Calcium-2“). Call liegt im Grenzbereich zwischen Blau und Ultraviolett. Dieses Licht kann nur von jungen Menschen schwach gesehen werden. Die Beobachtung erfolgt deshalb fotografisch.

Komplettgeräte zur Beobachtung in der  $H\alpha$ -Linie sind ebenso erhältlich wie Filtersysteme, die auf vorhandene Teleskopsysteme adaptiert werden können. Erfahrene Beobachter haben sich sogar selbst mit Erfolg an den Umbau gewagt.

Die  $H\alpha$ -Linie liegt bei einer Wellenlänge von 656 nm. Um Oberflächendetails zu sehen, müssen Filter einen Durchlassbereich („Halbwertsbreite“) von weniger als 0,1 nm (= 1 Ångström) haben. Je kleiner die Halbwertsbreite ist, desto besser und kontrastreicher werden die Erscheinungen auf der Sonne sichtbar. Einsteigergeräte haben eine Halbwertsbreite von meist 0,8 – 1,0 Ångström. Es gibt Filter auch mit einer Halbwertsbreite von weniger als 0,5 Ångström, im Normalfall jedoch für einen Aufpreis von mehreren tausend Euro.

Die verschiedenen Systeme beruhen auf Interferenzfiltern, die letztlich zwei eng gefilterte Bereiche erzeugen.

Der unerwünschte Bereich wird mit einem „Blockfilter“ beseitigt, der meist vor dem Okular in den Strahlengang eingebaut ist.

Weil dabei kein herkömmlicher Objektivsonnenfilter verwendet wird, ist darauf zu achten, dass ein zusätzlicher Energiesperrfilter vor dem Objektiv den Infrarot-Anteil aus dem Spektrum entfernt. Sonst können – wie bei der Beobachtung im Weißlicht mit Okularfilter – schlimmstenfalls Schäden am Augenlicht des Beobachters, aber auch am Instrumentarium auftreten. Wenn Sie ein Gerät erwerben, sollten Sie sich entsprechend beraten lassen und die Herstellerangaben befolgen.

Die Herstellung solcher Filter ist vergleichsweise teuer. Oft ergeben sich vier- oder gar fünfstelligen Summen für die Anschaffung. Alternativen sind komplette Sonnen-teleskope, wie das Personal Solar Telescope („PST“) oder das Lunt LS50, die einen vergleichsweise kleinen Blockfilter mit oft etwas größerer Halbwertsbreite verwenden und dadurch auch schon im Bereich um ca. 1.000 € angeboten werden können. Auf diese Komplettsysteme mit Interferenzfilter wird hier Bezug genommen. Prinzipiell lassen sich die Aussagen aber auch auf andere Systeme übertragen.

Mit einem solchen System ist es prinzipiell möglich, alle bereits genannten Erscheinungen – Protuberanzen, Filamente, chromosphärische Fackeln und Flares zu sehen. Zur Markteinführung waren die Geräte in der Qualität sehr variabel, allerdings konnte die hohe Serienstreuung laut Händlernaussagen deutlich reduziert werden. Fehlerhafte Geräte tauchen nur noch selten auf. Trotzdem ist der Einstieg nicht immer intuitiv, sieht man auf den ersten Blick häufig nicht mehr als eine rote Sonnenscheibe. Erst das genaue Justieren der H $\alpha$ -Linie am Einstellring oder -knopf und die genaue Einstellung des Schärfepunktes (z.T. durch Verschieben des Okulars in der Steckhülse) führen zum Erfolg. Nochmals verbessern lässt sich der Anblick durch ein schwarzes Tuch über dem Kopf des Beobachters, um Streulicht zu minimieren.

Wichtig ist, dass auch bei der H $\alpha$ -Beobachtung nicht alle Okulartypen gleichermaßen geeignet sind. Einfache Typen, wie Huygens- oder Plössl-Okulare führen oft eher zum Erfolg, als schwere Okulare mit vielen Einzellinsen. Auf eine gute Farbkorrektur kommt es bei der H $\alpha$ -Beobachtung nicht an, da nur in einem sehr engen Farbbereich beobachtet wird.

## 7 Beobachtungsalltag

Zur Sonnenbeobachtung gehört nicht nur etwas Wissen über die Sonne selbst. Der Beobachtungsalltag lässt sich mit einigen Hilfen auch so organisieren, dass möglichst viel Zeit für die Beschäftigung mit der Sonne bleibt und dass die Beobachtung unter möglichst günstigen Bedingungen durchgeführt wird.

Die Qualität der Beobachtungen hängt von vielen Faktoren ab: der Verfassung des Beobachters, seiner Sorgfalt, der zur Verfügung stehenden Zeit und vielem mehr, aber ganz besonders natürlich von der Bildqualität während der Beobachtung.

Die Qualität des Sonnenbildes hängt entscheidend von der Luftunruhe (Seeing) ab, also von Ruhe (dem Zittern) und Schärfe (der Bildverschmierung) des Sonnenbildes. Diese Störfaktoren hat Karl Otto Kiepenheuer mit seiner Skala zur Beurteilung der Bildqualität erfassbar gemacht. Für Amateurastronomen wurden die einzelnen Stufen leicht modifiziert.

Für viele Zwecke, z.B. bei der langfristigen Auswertung von Relativzahlen, sind Informationen über die Abweichung von den durchschnittlichen Beobachtungsbedingungen sehr wichtig. Relativzahlen sollen im Idealfall immer unter den gleichen Bedingungen beobachtet werden. Auf diese Anforderungen ist eine Skala ausgelegt, die die Qualität der Beobachtung angibt (Tabelle 3). Bei der Beurteilung sollte der Beobachter Luftunruhe, Bildschärfe, Durchsicht (Dunst, Nebel, dünne Wolken) und andere Gegebenheiten berücksichtigen, die die Sichtbarkeit von Details begrenzen. Die Genauigkeit der Beobachtung kann aber auch durch Unterbrechungen, die Verfassung des Beobachters (z.B. Krankheit) etc. gestört werden. Solche Störungen sollten als besondere Bemerkung notiert werden.

Die Luftunruhe ist nicht über den ganzen Tag gleich. Sie wird am größten, wenn die Umgebung sich am stärksten erwärmt, also etwa zur Mittagszeit und am frühen Nachmittag. In dieser Zeit findet der Beobachter die schlechtesten Beobachtungsbedingungen vor, weil das Sonnenbild durch Luftunruhe stark gestört wird. Die geringste Luftunruhe im Tageslauf entsteht meistens etwa 1 – 2 Stunden nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang. Die beste Beobachtungszeit für die Sonne ist also nach Möglichkeit der frühe Vormittag oder der späte Nachmittag. Es lohnt sich auch, den Tagesgang der Luftunruhe einmal zu beobachten, denn lokale Gegebenheiten wirken auch.

---

### Ruhe

- 1 Keine Bildbewegung erkennbar, weder am Rand noch auf der Scheibe.
- 2 Bildbewegung kleiner gleich 2 Bogensekunden ("), nur am Rand nachweisbar, auf der Scheibe meistens unbemerkt.
- 3 Bildbewegung kleiner gleich 4", gut am Rand und auf der Scheibe sichtbar, wallender oder pulsierender Rand.
- 4 Bildbewegung kleiner gleich 8", verhindert nahezu die Unterscheidung zwischen Umbra und Penumbra (und damit die Schärfebeurteilung), stark wallender oder pulsierender Rand.
- 5 Bildbewegungsamplitude größer 8", erreicht Durchmesser von Flecken, heftig pulsierender Rand.

---

### Schärfe

- 1 Granulation sehr gut sichtbar, Feinstrukturen in der Penumbra erkennbar.
- 2 Granulation gut erkennbar, Penumbra gut sichtbar, aber nahezu ohne Feinstrukturen, Umbra-Penumbra-Grenze und Übergang zur Photosphäre scharf.
- 3 Granulation nur andeutungsweise erkennbar, aber Strukturen der Oberfläche bei Bewegung des Sonnenbildes leicht nachweisbar, Umbra und Penumbra noch gut trennbar, aber ohne Feinstruktur, Übergang zur Photosphäre schwer zu begrenzen.
- 4 Granulation nicht sichtbar, Umbra und Penumbra nur noch bei großen Flecken trennbar. Übergang zur Photosphäre verwaschen.
- 5 Granulation nicht sichtbar, selbst bei großen Flecken kann zwischen Umbra und Penumbra kaum mehr unterschieden werden.

---

### Qualität

- E excellent/sehr gut – reserviert für Tage, an denen außergewöhnlich deutliche Details sichtbar sind.
- G good/gut – durchschnittliche Sichtbarkeit von Oberflächendetails der Sonne, entsprechend den individuellen Erfahrungen und Gegebenheiten des Einzelbeobachters.
- F fair/befriedigend – unterdurchschnittliche Bedingungen, aber noch keine wesentlichen Beeinträchtigungen.
- P poor/schlecht – erhebliche Bildstörungen, die den Wert der Beobachtung stark einschränken.
- W worthless/wertlos – Sichtbedingungen so schlecht, dass eine Auswertung der Beobachtung nicht sinnvoll ist.

---

Tabelle 3: Bewertung von Ruhe (R), Schärfe (S) und Qualität (Q)

Erwärmung erzeugt also Luftunruhe und verdirbt dadurch die Abbildung. Die meiste Luftunruhe entsteht unmittelbar in der Nachbarschaft des Teleskops. Verhindern Sie also nach Möglichkeit Aufheizungen in der Nähe Ihres Beobachtungsortes. Abhilfe schafft hier z.B. Begrünung und Weißen von dunklen Flächen in der Nähe des Teleskops. Eine Blende um das Objektiv des Fernrohres verhindert eine Erwärmung des Instrumentes und verbessert zusätzlich auch den Kontrast auf dem Projektionsschirm. Nützlich ist auch der Schutz des Beobachters vor Sonnenbrand, bei der Visuellen Beobachtung.

Für das Notieren der Beobachtungen hat sich das sonst sehr sinnvolle Beobachtungsbuch bei der Sonnenbeobachtung nicht bewährt. Bild 13 zeigt stattdessen ein Beobachtungsprotokoll, in das alle interessanten Angaben eingetragen werden: Datum, Uhrzeit – UT ist Weltzeit, also MEZ -1 h, MESZ -2 h, Instrument, Luft – R, S, Q sowie der Name des Beobachters. Die Nummer der Sonnenrotation steht in astronomischen Jahrbüchern. Der Positionswinkel der Sonnenachse (P), die Lage des Sonnenäquators gegenüber dem scheinbaren Äquator des Sonnenbildes ( $B_0$ ) und der Längengrad auf der Sonne, der zu einem bestimmten Tag durch das Zentrum der Sonnenscheibe verläuft ( $L_0$ ) sind wichtige Angaben, die z.B. für eine Positionsbestimmung und andere Auswertungen benötigt werden.

Auch für Fotografen empfiehlt es sich, eine tägliche Skizze der Sonnenoberfläche anzufertigen. Die genauesten Ergebnisse liefert der Projektionsschirm, indem die Zeichenschablone mit kleinen Magneten oder Klammern auf dem Projektionsschirm befestigt wird. Wichtig ist dann eine gute Ausrichtung.

Die Sonnenflecken wandern bei abgeschalteter Fernrohrnachführung entlang der Ost-West-Richtung (sofern die Montierung gut justiert ist). Damit, wird die Schablone sorgfältig ausgerichtet. So sind auch nachträgliche Positionsbestimmungen auf der Zeichnung möglich. Es ist wichtig zu bedenken, dass die jetzigen Interessen sich ändern können. Wer bei der Beobachtung z.B. keine Positionsbestimmungen anstrebt und deshalb auf die genaue Ausrichtung der Schablone verzichtet, verschenkt unter Umständen wertvolles Beobachtungsmaterial für die Zukunft. Oft interessieren sich auch andere Sternfreunde mit entsprechendem Auswertungsinteresse dafür. Genauso sollten auch Fotografen planen, wenn sie die ganze Sonne abbilden können. Fotografieren Sie die Sonne nicht nur zentral im Gesichtsfeld, sondern auch am Rand, schalten Sie die Nachführung ab und machen Sie ein zweites Bild, kurz bevor die Sonne am Rand des Gesichtsfeldes

verschwindet. Mit solchen Fotos lassen sich Positionen messen.

In die Spalte unter der Zeichnung („Flecken“) wird die Anzahl der Fleckengruppen, der Einzelflecken und die Relativzahl eingetragen. Bei Fackeln wird zwischen den Fackeln der Hauptzone und kleinen Fackeln nahe den Polen (Polfackeln) unterschieden.  $F_0$  und  $F_M$  sind Abkürzungen für Fackelgebiete ohne und solche, die mit Fleck(en) auftreten.

Ein solches Beobachtungsprotokoll enthält alle wichtigen Angaben über die allgemeine Erscheinung der Sonne für einen bestimmten Tag und erlaubt auch nach Jahren, sich wieder ein Bild davon zu machen. Die Zeichenschablone für das Sonnenbild gibt es mit 11 cm und 15 cm Durchmesser. Besitzer von Fernrohren bis zu 100 mm Öffnung sollten die kleineren benutzen, da sonst das stark vergrößerte Sonnenbild nicht kontrastreich genug ist und auch zu weit hinter dem Okular projiziert werden muss.

Wer darüber hinaus an spezielleren Programmen arbeitet, hat andere Protokolle auf Papier und in elektronischer Form zur Verfügung, die von den überregional arbeitenden Beobachtergruppen entworfen wurden. Solche Protokollbögen gibt es z.B. auch von der Fachgruppe Sonne für die Sammlung der Relativzahlen, der Fleckenpositionen, der Fackeln oder der Lichtbrückenbeobachtung.

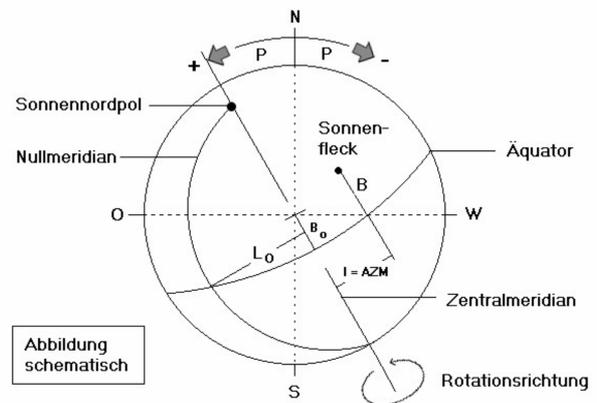
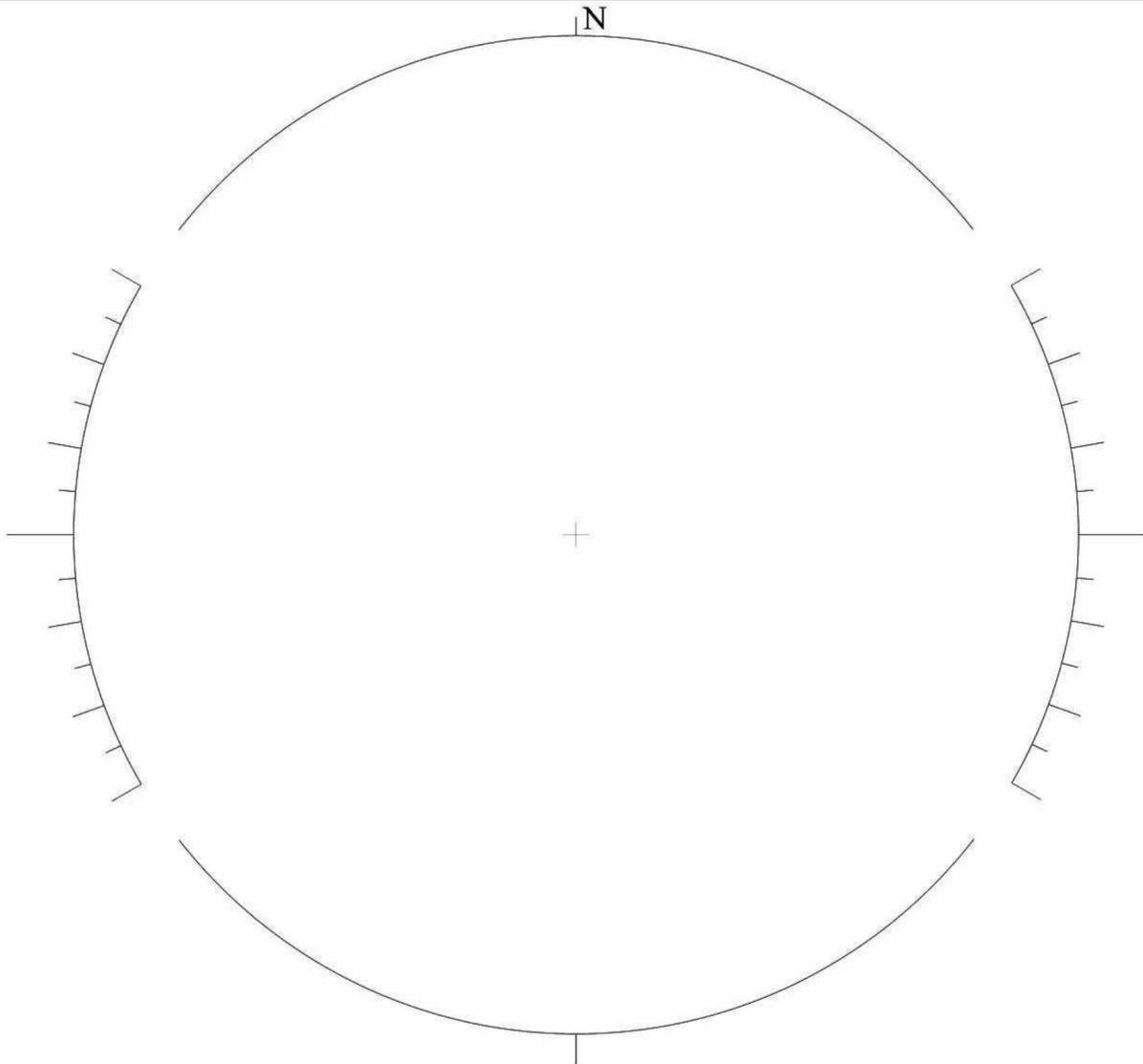


Bild 12: Heliografisches Koordinatensystem; der Abstand vom Zentralmeridian (AZM) wird positiv nach Westen gezählt, die Rotationsachse liegt in der Ebene, die durch den Zentralmeridian und die Senkrechte zur Papierebene gegeben ist, sie durchstößt die Sonnenkugel an den Polen

# SONNE 20\_\_ WEISSLICHTPROJEKTIONSZEICHNUNG

Datum: _____ <sup>a</sup> _____ <sup>m</sup> _____ <sup>d</sup> _____ <sup>h</sup> _____ <sup>m</sup> UT	Instr.: _____	Okular: _____ mm
Luft: R: _____ S: _____ Q: _____	Beobachter: _____	
Sonnenrotation Nr.: _____	P: _____ °	B: _____ ° L: _____ °



Flecken			Fackeln		Pol		
	Nord	Süd	Gesamt		Hauptzone	Nord	Süd
Gruppen	_____	_____	_____	Flächen- gruppen } FEF	Fo: _____		
Flecken	_____	_____	_____		Fm: _____		
Re	_____	_____	_____	FEP	_____	_____	_____
Re'	_____	_____	_____	FEP	_____	_____	_____

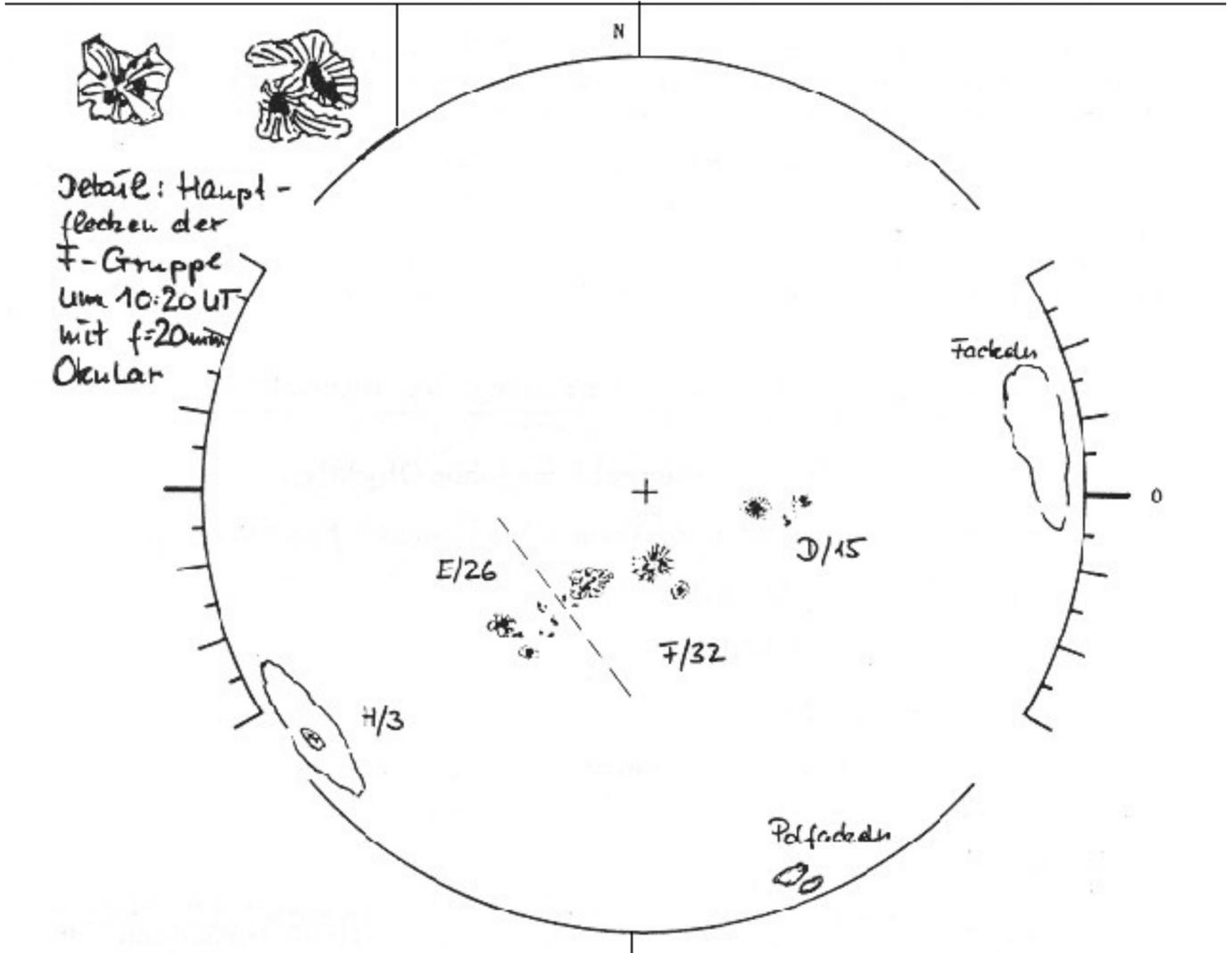
Fotos: Weißlicht: ja  nein     H $\alpha$ : ja  nein     Kalzium: ja  nein

Bemerkungen: \_\_\_\_\_

Bild 13: Vorlage für die tägliche Zeichenschablone

SONNE 1984 WEISSLICHTPROJEKTIONSZEICHNUNG

Datum: 84 a 04 r 29 d 10 h 12 m UT Instr.: 8° Refraktor Okular: 50 mm  
 Luft R: 3 S: 2 Q: G Beobachter: PAECH / HANNOVER  
 Sonnenrotation Nr.: 1748 P: -24,48° B: -4,32° L: 333,32°



Flecken	Nord	Süd	gesamt
Gruppen	/	4	4
Flecken	/	77	77
Re	/	117	117
Re'	—	—	—

Fackeln	Hauptzone	Pol		gesamt
		Nord	Süd	
Gruppen	Fo: <u>1</u>	/	2	4
	Fm: <u>1</u>	—	—	—
Fackeln	—	—	—	—

Bild 14: Beispiel für eine Sonnenfleckenzeichnung

## 8 Dokumentation der Beobachtung

### 8.1 Fotografieren oder Zeichnen?

Mit welchem dieser Verfahren soll der Beginner in die Sonnenbeobachtung einsteigen? In fast allen Fällen ist die Antwort klar und eindeutig: mit dem Zeichnen und zwar aus folgenden Gründen:

- A) Man braucht für die Beobachtung nur einen Projektionsschirm, eine Zeichenschablone, einen nicht zu harten oder weichen Bleistift (etwa 2B), einen Anspitzer und einen Radiergummi. Will man später die Position von Details messen, braucht man einen Satz Gradnetzschablonen. Das ist die komplette Ausrüstung.
- B) Der Einsteiger kann alle im Abschnitt 2.1 beschriebenen Details kennenlernen und sich so in Ruhe in die Sonnenbeobachtung einarbeiten.
- C) Mit den Zeichnungen können schon diverse Auswertungen bearbeitet werden, wie z.B. die Relativzahlbestimmung (Flecken und Fackeln), Positionsbestimmung (und damit Schmetterlingsdiagramm, Eigenbewegung von Flecken etc.). Die Zeichenmethode hat natürlich auch Nachteile, vor allem die Subjektivität des Beobachters.

Es ist nicht möglich, alle Einzelheiten zu zeichnen, die auf dem Schirm sichtbar sind, man muss sozusagen „mitteln“ – und das bei allen Zeichnungen möglichst gleichmäßig. Zeichnen schult deshalb aber auch das genaue Beobachten.

Die Vorteile der Fotografie sind:

Die Objektivität der Beobachtung ohne persönliche Fehler. Bei guten Beobachtungsbedingungen und größeren Teleskopen höhere Detailausbeute, höhere Genauigkeit bei Positionsbestimmungen.

Die Nachteile der Fotografie sind:

Der Computer kann nicht schnell genug sein, denn die Bilder müssen prozessiert werden. Oft brauchen Fotografen dafür soviel Zeit, dass sie zu anderem auf der Sonne nicht mehr kommen. Alle Verfahren liefern jedoch wertvolles Beobachtungsmaterial, auch für spätere Auswertungen, sofern es sorgfältig archiviert wurde. Fotos sind auch sehr leicht austauschbar, zwischen Fotografen und Auswertern – Sonnenbeobachter arbeiten gern im Team.

### 8.2 Die Sonnenzeichnung

Mit etwas Übung sind Sonnenzeichnungen leicht angefertigt.

1. Den Projektionsschirm am Fernrohr befestigen und das Teleskop auf die Sonne richten. Dazu den Schatten des Instrumentes auf dem Boden benutzen (Niemals direkt schauen oder den Sucher benutzen!).
2. Die Zeichenschablone auf den Schirm legen, eventuell das Fernrohr nachjustieren und die Sonne in die Mitte der Schablone bringen. Dabei sollten sich die Sonne und damit die Schablone nicht am Rand des Okularbildfeldes befinden, sondern möglichst in der Mitte, da die Verzerrung des Bildes durch die Bildfeldwölbung des Okulars zum Rand hin zunimmt.
3. Wenn nötig, den Abstand zwischen Okular und Schirm so verändern, dass das projizierte Sonnenbild genau in den Schablonenkreis passt (bei scharf fokussiertem Sonnenbild).
4. Zeichenschablone in Ost-West-Richtung justieren. Das geht folgendermaßen: Deklinationsschse des Instrumentes festklemmen. Die Schablone so drehen, dass sich ein Sonnenfleck, durch

Hin- und Herschwenken des Fernrohres in der Stundenachse, auf der O-W-Verbindungsline der Zeichenschablone entlang bewegt. Ist der Fleck sehr groß oder kompliziert aufgebaut, so sollte man die Ober- oder Unterkante des Fleckes benutzen (zur Orientierung des Sonnenbildes siehe Bild 15).

5. Jetzt kann man vorsichtig beginnen, die äußeren Formen von Umbren und Penumbren auf der Schablone mit dem Bleistift nachzuzeichnen. Bei kleinen Flecken kann Unsicherheit entstehen, ob es Sonnenflecken oder nur Schmutzpartikel im Okular sind. Ein leichtes Anstoßen des Fernrohres lässt das projizierte Sonnenbild „zittern“. Sonnenflecken „zittern“ mit, während Schmutzpartikel sich nicht bewegen. Zum Schluss werden noch die Fackelgruppen und evtl. die Einzel-fackeln eingezeichnet.
6. Hat man alle Details eingezeichnet, sollten sofort, noch während der Beobachtung, die Gruppen klassifiziert und die Einzelflecken gezählt und auf der Zeichnung neben den Flecken notiert werden (z.B. H/3, E/26, F/32 und D/15 – siehe dazu Bild 14).

7. Zum Schluss wird notiert: Der Zustand der Luftgüte (R, S, Q) während der Beobachtung und sämtliche anderen Angaben zur Beobachtung. Später eintragen kann man: Die Nummer der Sonnenrotation, P, B<sub>0</sub>, L<sub>0</sub> (alle Werte aus dem astronomischen Jahrbuch oder z.B. vom Ephemeridenrechner des Observatoriums Kancelhöhe, www.kso.ac.at).

Sind auf der Sonne sehr große oder besonders interessante Flecken sichtbar, kann mit höherer Vergrößerung eine Detailzeichnung entstehen, z.B. zum Eintragen von Lichtbrücken oder ähnlichem.

Die anderen Eintragungen in die untere Leiste der Schablone können später kommen. Man sollte sich aber angewöhnen, es bald nachzuholen, am besten gleich nach der Beobachtung am Schreibtisch, denn sonst geht leicht der Überblick verloren.

Eine solche Zeichnung sollte mit einiger Übung nicht länger als zehn Minuten dauern. Abzuraten ist von Zeichnungen, die in direkter Beobachtung mit einem

Objektiv- oder Okularfilter angefertigt werden. Die wenigsten Beobachter dürften in der Lage sein die Positionen und die Proportionen der Flecken zueinander maßstäblich aufzuzeichnen. Eine Ausnahme sind Detailzeichnungen einzelner Flecken.

Bild 15 zeigt links die normale Bildorientierung mit dem bloßen Auge und mit dem Amicliprisma, in der Mitte den Anblick im Refraktor (und allen Zwei-Spiegel-Systemen) im gestreckten Strahlengang und rechts die Bildorientierung wie Mitte, jedoch mit einem zusätzlichen Zenitprisma im Strahlengang.

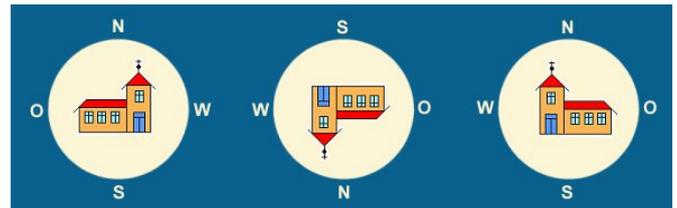


Bild 15: Die Orientierung des Sonnenbildes während der Beobachtung

### 8.3 Die Sonnenfotografie

Neben der visuellen Beobachtung bietet auch die Sonnenfotografie ein umfassendes Betätigungsfeld für Amateure. Schon mit kleinen Instrumenten kann man aussagekräftige Bilder erhalten, wobei kein großer Instrumentenaufwand erforderlich ist.

Die ersten misslungenen Ergebnisse sollten nicht entmutigen, sondern dazu dienen, die eigenen Techniken zu verbessern. Die Sonnenfotografie ist ein schwieriges Gebiet und erfordert Erfahrung. Die Fokussierung des Sonnenbildes ist genauso schwierig wie die Beurteilung der Luftgüte. Auch die Wahl der Kamera ist ausschlaggebend für die Qualität der Ergebnisse. Im Folgenden deshalb einige Worte zur Ausrüstung.

#### Ausrüstung

##### 1) Kamera

Prinzipiell ist jede digitale Spiegelreflex-Kamera, Astrokamera, Webcam oder Autoguider-Kamera brauchbar. Einige Anforderungen sind jedoch zu stellen. Vorweg ist zu bedenken, dass eine herkömmliche Digitalkamera und vor allem Webcams und Autoguider-Kameras ein wesentlich kleineres Aufnahmeformat haben als eine Vollformat-Kamera.

Die ganze Sonne mit Webcam oder Autoguider-Kameras am Teleskop abzubilden, ist wegen des kleinen CCD-Chips nur bei sehr kurzen Brennweiten möglich. Details der Sonne lassen sich damit aber sehr gut abbilden. Allerdings gilt: Je größer der Chip, desto höher

der Preis und desto mehr Computerleistung ist für die Bildverarbeitung nötig.

##### 2) Kameraadapter

Dieser stellt die feste Verbindung zwischen Kamera und Teleskop her. Für die kommerziell gefertigten Instrumente gibt es solche Adapter serienmäßig für alle Kameragehäuse zu kaufen. Sie heißen z.B. T2-Adapter. Sie sind ein sehr wichtiges Detail. Von Basteleien aus Pappe oder Holz sei abgeraten. Sie bringen nur Enttäuschungen.

Autoguider-Kameras werden meist wie ein Okular in den Okularauszug gesteckt. Adapter sind also nicht nötig.

##### 3) Lichtdämpfung

Empfehlenswert sind nur die Methoden mit Objektivfilter oder -folie und das Herschel- bzw. Pentaprisma (siehe Abschnitt 6.2). Für Gesamtaufnahmen (Übersicht) hat sich das Objektivfilter bewährt, für hochauflösende Detailaufnahmen das Herschel- oder das Pentaprisma. Beide haben eine höhere Lichttransmission, so dass bei hoher Bildvergrößerung noch kurze Belichtungszeiten möglich sind. Üblicherweise werden für Sonnenfotografie Filter der optischen Dichte 3,5 benutzt.

#### 4) Telekonverter

Ein praktisches Zubehör ist der Telekonverter (Barlow-Linse). Er verdoppelt (2x) oder verdreifacht (3x) die Primärbrennweite des Teleskops. Damit entsteht ein entsprechend vergrößertes Bild in der Bildebene. Haben Sie z.B. ein Fernrohr mit 900 mm Brennweite, so verlängert sich die Brennweite bei Verwendung eines 2x-Konverters auf 1800 mm, bei einem 3x-Konverter auf 2700 mm. Bei der Erhöhung der Brennweite geht natürlich die Bildhelligkeit zurück, was eine Verlängerung der Belichtungszeit erfordert. Ein Telekonverter wird zwischen Adapter und Kamera montiert. Bei der Verwendung ist zu beachten, dass die Sonne auf ein Kleinbild-Vollformat (24 mm x 36 mm) nur noch bis zu einer Brennweite von 2500 mm vollständig abgebildet wird. Die Größe des Sonnenbildes auf dem Chip ( $d$  in mm) kann überschlagsweise berechnet werden, indem man die Brennweite ( $f$  in mm) durch 100 teilt. Die genaue Formel lautet:

$$d [\text{mm}] = (0,00917 \dots 0,00948) \times f [\text{mm}] \quad (\text{Gl. 6})$$

Der Faktor in der Klammer bestimmt den scheinbaren Sonnendurchmesser am Himmel. Er ändert sich durch die Ellipsenbahn der Erde um die Sonne.

### Allgemeine Methoden der Sonnenfotografie

#### 1) Die Fokalfotografie

Hier wird das normale Kameraobjektiv praktisch durch das Teleskop (ohne Okular) ersetzt. Die Kamera hat dann beispielsweise ein Teleobjektiv mit 900 mm Brennweite. Die Fokalfotografie ist empfehlenswert für Übersichtsaufnahmen der Sonne (mit oder ohne Telekonverter), für die Verfolgung der Entwicklung von Fleckengruppen oder für fotografische Positionsbestimmung. Sie stellt keine besonderen Anforderungen an die Stabilität des Fernrohres und seine Montierung. Durch die kurzen Belichtungszeiten (1/500 bis 1/1000 Sekunde sollten angestrebt werden) kann für Einzelbilder ohne Motornachführung gearbeitet werden (auch azimutal montiert). Die Lichtdämpfung kann wahlweise mit Objektivfilter oder Herschel- bzw. Pentaprisma erfolgen.

#### 2) Die Projektionsfotografie

Bei der Projektionsfotografie arbeitet man eigentlich wie beim Zeichnen, nur sitzt an der Stelle des Projektionsschirmes der Chip im Kameragehäuse. Die Projektionsfotografie ist anzuraten für die Erfassung von Strukturveränderungen in Flecken (z.B. Lichtbrücken) u.ä.; Beobachtungen, die hohe Detailauflösung fordern. Zur Lichtdämpfung empfehlen wir das Herschel- oder das Pentaprisma. Beide Methoden erfordern eine entsprechende Lichtdämpfung. Versuchen Sie nie, ohne

Filterung mit kurzen Belichtungszeiten zu arbeiten. Die Folge ist eine sofortige Zerstörung des Kameraverschlusses oder des Chips! Die Wärmeentwicklung im Brennpunkt eines Refraktors mit 100 mm Öffnung und 1300 mm Brennweite reicht aus, um Papier zu entzünden.

### Die Digitalkamera

Von diesen Kameras gibt es sehr verschiedene Modelle, die sich auch preislich stark voneinander unterscheiden. Gebraucht wird nur das Kameragehäuse, denn ein Objektiv hat ja bereits das Fernrohr. Digitale Spiegelreflexkameras haben oft auswechsel- und damit abnehmbare Objektive, alle anderen Digitalkameras hingegen sind untrennbar mit ihrem Objektiv verbunden. Beide Kameratypen benötigen einen Adapter zur Befestigung am Teleskop, wobei die Kameras mit Fixobjektiv für die Fokussierung oft noch ein afokales Projektiv (Astro-Fachhandel, z.B. Baader) benötigen. Weitere Probleme bei Digitalkameras sind der Autofokus (bei Fixobjektiv) und die schwingungsfreie Auslösemöglichkeit. Am besten eignen sich Kameras mit manueller Fokussiermöglichkeit und der Möglichkeit auszulösen zu können, ohne die Kamera berühren zu müssen (Drahtauslöser).

Jede Berührung kann den Fokus bzw. das Fernrohr verstellen oder in Schwingung versetzen, misslungene Aufnahmen sind die Folge.

### Webcam oder Autoguider-Kameras

Webcams und Autoguider-Kameras sind im Preis vergleichsweise günstig, ihr Nachteil ist der kleine Chip. Im Fachhandel für Astro-Bedarf werden solche Kameras auch als „Planeten-Kamera“ angeboten. Sie bieten den Vorteil einer sehr hohen Aufnahmezeit in sehr kurzer Zeit. Bei Webcams muss das Objektiv herausschraubbar sein, damit sie ans Teleskop gesetzt werden kann. Auf einem Monitor kann die Sonne in Echtzeit betrachtet und überwacht werden, ohne Aufnahmen machen zu müssen. Das andauernde Betrachten eines winzigen Displays wie bei der Digitalkamera entfällt. Eine Aufnahmeserie kann jederzeit vom PC aus gestartet oder beendet werden.

Gegenüber einer Digitalkamera hat die Webcam ein sehr geringes Eigengewicht, die Fernrohrmechanik wird dadurch entlastet. Ein USB-Kabel vom PC versorgt die Kamera mit Strom, Batterie- und Akkuwechsel während der Beobachtung gibt es nicht. Ein Adapter, der die Webcam fest mit dem Fernrohr verbindet, kann über den Astro-Fachhandel bezogen werden. Er passt fernrohrseitig z.B. in eine 1,25-Zoll-Okularsteckhülse, kameraseitig besitzt er das feine Gewinde des Webcam-Objektivs. Man achte jedoch darauf, den Adapter

nicht andauernd hinein- und herauszuschrauben, da sonst Plastikpartikel des Kameragewindes auf die Glasschutzscheibe über dem Aufnahme-Chip geraten und als dunkle unscharfe Punkte auf der Aufnahme zu sehen sind. Diese Partikel sind nicht einfach zu entfernen.

Der Adapter hat außerdem ein Innengewinde für ein Infrarot-Ultraviolett-Sperrfilter aus dem Astro-Fachhandel, das unbedingt eingesetzt werden sollte. Im Infraroten hat der Aufnahme-Chip nämlich seine höchste Empfindlichkeit, darum wären ohne Filter die Aufnahmen überbelichtet. Nur im sichtbaren Teil des Spektrums ist ein Fernrohrobjektiv normalerweise korrigiert, so dass ohne das IR-UV-Filter nicht einmal ein scharfes Bild zustande käme.

Außer der Webcam wird ein mindestens USB2-fähiger PC (je schneller, desto besser) mit einer Festplatte ab 80 GB gebraucht, damit die Bilder ausreichend schnell aufgenommen, gespeichert und verarbeitet werden können. In der Regel werden innerhalb weniger Minuten einige tausend Aufnahmen gemacht zu dem Zweck, die schärfsten davon mit einem geeigneten Programm herauszusuchen zu lassen und dann zu überlagern („stacken“). Anschließend wird das überlagerte Gesamtbild gefiltert und geschärft, so dass Details sichtbar werden. Ein sehr empfehlenswertes Programm zur Bildver- und Bildbearbeitung ist GIOTTO von Georg Dittié. Auf seiner Webseite

[www.videoastronomy.org/giotto.htm](http://www.videoastronomy.org/giotto.htm)

findet sich dieses kostenlose Programm, zahlreiche Tipps und Links. Es gibt weitere und beliebte, kostenlose und gute Programme im Web (z.B. RegiStax, AviStack, Autostakkert). Tatsächlich ist es auch von den Bearbeitungsaufgaben und vom persönlichen Geschmack abhängig, welche Software praktikabler oder besser scheint. Viele Beobachter stacken beispielsweise mit einer Software und bearbeiten dann die Bilder mit einer anderen.

Weitere Informationen und Links zum Thema Bildaufnahme und -bearbeitung gibt es auf der Webseite von Wolfgang Paech:

[www.sbig.de/universitaet/hm/softwaretips.htm](http://www.sbig.de/universitaet/hm/softwaretips.htm).

Eine Webcam ist auch für Zeitrafferfilme gut geeignet, da sich die Anzahl der Aufnahmen pro Sekunde einstellen und an die Dynamik der Veränderungen anpassen lässt. Bei Einzelaufnahmen wird allerdings die Luftunruhe „mitfotografiert“, was oft enttäuschend ist.

## Die Videokamera

Auch aus Videoaufnahmen lassen sich quasi stationäre Phänomene (Flecken, ruhende Protuberanzen, Filamente) festhalten und daraus gute, geschärfte Standbilder gewinnen. Dazu nimmt man einen Film z.B. eines Sonnenflecks auf und überspielt den Film in den PC. Liegt er dort in einem geeigneten Video-Format (z.B. avi) vor, wird er mit Hilfe der oben erwähnten Programme (GIOTTO, RegiStax, AviStack) in Einzelbilder zerlegt und die besten entsprechend den eigenen Vorgaben ausgesucht und überlagert. Anschließend erfolgt die Filterung und Schärfung, so dass gute Einzelbilder dabei herauskommen können.

## Bildbearbeitung

Wichtiger Hinweis zur Bearbeitung der Bilder: Bei jeder Bearbeitung der überlagerten Bilder sollte Vorsicht walten und nichts 'herbeigeschärft' werden, was nicht vorhanden war. Am besten, man orientiert sich bei der Bearbeitung an einem guten unbearbeiteten Rohbild der Aufnahmeserie, also an der Wirklichkeit.

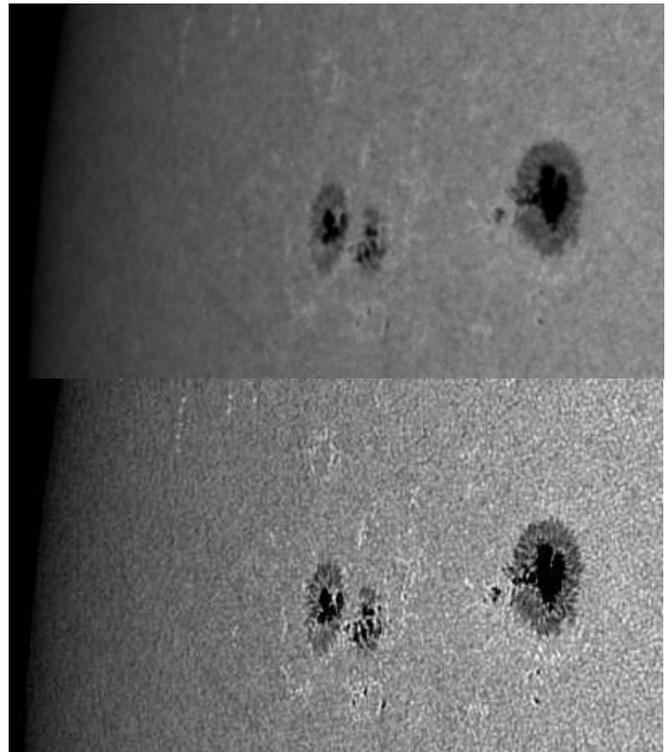


Bild 16: Ein Beispiel für misslungene Bildbearbeitung. Das scheinbar „verwaschene“ Bild vom Weltraumteleskop SDO (oben) wurde durch übertriebenes „Schärfen“ nur scheinbar aufgewertet. Tatsächlich täuscht das prozessierte Bild Auflösung vor, wo es keine gibt, es steckt voller Artefakte und stellt die Sonne unnatürlich dar. (Bild: NASA/SDO/HMI)

## 9 Aller Anfang ist schwer

Sie haben ein Fernrohr und nun das zur Sonnenbeobachtung nötige Grundwissen um sich auch mit der Beobachtungstechnik etwas vertraut gemacht. Trotzdem bleiben Enttäuschungen und Misserfolge nicht aus. Kurzum: machen Sie sich nichts daraus. Sie sollten wissen, dass jeder Sonnenbeobachter mit genau Ihren Problemen zu kämpfen hatte. Sieglinde Hammerschmidt (Solms) schrieb im „Handbuch für Sonnenbeobachter“ über die Probleme, die auch sie zu Anfang überwinden musste. Leicht gekürzt berichtete sie folgendes: „Drei Wochen später stand ein länglicher Karton vor mir, und darin befand sich mein bestellter Refraktor 60/900 mm oder anders ausgedrückt, mit 6 cm Objektivdurchmesser und 90 cm Brennweite. Es war ein Versandhausgerät und hatte ca. 120 Euro (1973) gekostet. Wie aber sollte ich nun die einzelnen Teile, die mich so hoffnungsvoll anschauten, zum Leben erwecken? Ein Sternfreund half mir dabei. Außer Jupiter mit seinen Monden, der Venus mit ihren Phasen und einem Kometen hatte ich nichts Rechtes beobachten können – kam ich doch so gut mit meinem kleinen Fernglas 8 x 25 zurecht. In jenen Tagen wurde auch noch eine Neonlampe in der Nähe unseres Balkons installiert! Jetzt aufgeben? Da fiel mir der noch kaum benutzte Projektionsschirm ein – sollte ich es mit der Sonne versuchen? Ich hatte ein Ziel! Die Sonne wurde mein Arbeitsgebiet. Nachdem ich in die Vereinigung der Sternfreunde (VdS) eingetreten war, schloss ich mich der Fachgruppe Sonne an. Die Positionsbestimmung von Sonnenflecken hat mir seitdem viel Freude bereitet. Sie werden sich fragen, was aus dem wackligen Fernrohr wurde? Nun, es entpuppte sich zu einem brauchbaren Gerät, und auch für die anderen Probleme gab es Lösungen. Alleine hätte ich es nicht geschafft. Ich fand Sternfreunde, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen“.

Nachstehend sind einige Mängel aufgeführt, die es zu beseitigen galt und noch einige Tipps dazu.

- Einstellen auf den Polarstern: Das Sonnenbild auf dem Projektionsschirm mit Hilfe des Okularbildfeldrandes im wahren Mittag (dieser Begriff ist in Textheften von drehbaren Sternkarten erklärt) zentrieren. Für den betreffenden Tag die Deklination der Sonne aus einem astronomischen Jahrbuch entnehmen und die Stundenachse, die nun zum Polarstern zeigt, ausrichten
- Der Polwinkel verstellt sich oft: Markierungen an der Polachse anbringen
- Auffinden der N-S-Richtung: Im wahren Mittag muss die Stange, die das Gegengewicht trägt, waagrecht liegen (kleine Wasserwaage auflegen)
- Die N-S-Richtung geht verloren: Durch einen Pinselstrich als Markierung für die richtige N-S-Orientierung kann bei einer Dejustierung das Gerät leicht neu eingestellt werden
- Das Fernrohr ist zu leicht, es zittert: Das Stativ durch mehrere Gewichte auf der Ablageplatte beschweren – Durch das Hin- & Hertragen bleibt das Gerät nicht in der Waage: Eine kleine runde Wasserwaage inmitten der Ablageplatte montieren
- Die Stativfüße finden am Aufstellungsort keinen Halt: Stativfüße in Vertiefungen von aufgeklebten Plastikscheiben stellen und einen Fuß kennzeichnen
- Die mitgelieferte Stange, die den Projektionsschirm hält, ist zu kurz, der Schirm ist zu klein: Es empfiehlt sich, eine längere Metallstange und einen runden Projektionsschirm (aus magnetischem Material) von ca. 150 mm Durchmesser zu montieren
- Die Zeichenschablone hat keinen Halt und liegt nicht glatt auf dem Schirm: Der Projektionsschirm erhält in der Mitte einen kleinen Stift, kleine Magneten oder Klammern lösen das zweite Problem
- Durch Abdunklungsmaßnahmen und Magnete geht das Gleichgewicht verloren: Das große Gegengewicht verschieben und den vorderen Teil des Tubus beschweren
- Der Rand des Bildfeldes ist unsichtbar: Er liegt dann außerhalb des Projektionsschirmes; nach dem Auflegen einer größeren Kartonscheibe zeigt er sich

**LETZTER TIPP: BLEIBEN SIE GUTEN MUTES!**

Sieglinde Hammerschmidt hatte es mit ganz alltäglichen Problemen zu tun. Geht es aber an die eigentliche Beobachtung und die Auswertung dieser Beobachtungen, fühlen sich die meisten Amateurastronomen zu Recht überfordert. Sie geben ihr neues Hobby oft schon nach kurzer Zeit auf. Das muss nicht sein. Ein Hobby wird schnell langweilig, wenn es nicht mit Gleichgesinnten geteilt wird. Der Austausch mit anderen, in einer astronomischen Arbeitsgemeinschaft an der Schule, einer Volkssternwarte, überregionalen Gruppen oder auch das Internet, macht das Hobby erst schön. Jeder bringt Erfahrungen mit, die er anderen zur

Lösung ihrer Probleme zur Verfügung stellen kann und erhält selbst Hilfe.

Die Sonnenbeobachter haben sich in den verschiedenen Ländern zu Gruppen zusammengeschlossen. In Deutschland ist die VdS-Fachgruppe Sonne der Ansprechpartner. Über diese Gruppen gibt es Anschluss an überregionale Beobachter- und Auswerternetze. Nur in der Gruppe werden Schlechtwetter-Lücken in der eigenen Beobachtungsreihe gefüllt. Viele Sonnenbeobachter kennen Gleichgesinnte auf allen Erdteilen durch Zusammenarbeit und sind mit ihnen gut befreundet. E-Mail und Skype machen das möglich.

Auch Sieglinde Hammerschmidt hat innerhalb der Fachgruppe Sonne Beobachtungen gemacht. Elf Jahre nach ihrem Anfang, nach einem Sonnenfleckenzyklus, hatte sie ein komplettes Schmetterlingsdiagramm des 21. Sonnenfleckenzyklus aus eigenen Beobachtungen. Jeder kann zu guten Ergebnissen kommen – es kommt nicht auf Geld, Zeit oder besondere Leistungen an.

Leistungsdruck hat hier keinen Platz. Ausdauer und Teamgeist sind die Eigenschaften, die ein Sonnenbeobachter braucht. Hat der eine Spaß mit der Auswertung am Computer, beobachtet der andere die Sonne vielleicht „nur“ mit dem bloßen Auge. Beide haben Spaß. Dafür sind wir Amateure.

Ein kleines Fernrohr und die vielen Freunde sind die Jahre wert. Die Sonne wird an keinem einzigen Tag wieder so aussehen, wie sie einmal war. Die Ansprechpartner der Arbeitsgruppen beobachten mit großer Sorge, dass viele Einsteiger und Amateure denken, ohne Computer, teure Spezialgeräte und komplizierte Beobachtungsprogramme keine sinnvollen Beobachtungen mehr leisten zu können. Das ist mit Sicherheit falsch! Wir wünschen uns, dass bei Ihren ersten Beobachtungen neben dieser Einführungsschrift auch gute Freunde zur Seite stehen, die helfen, Schwierigkeiten aus dem Weg zu räumen. Wir hoffen, dem gemeinsamen Ziel zu nützen, die Sonnenbeobachtung populär zu erhalten und weiter zu entwickeln.

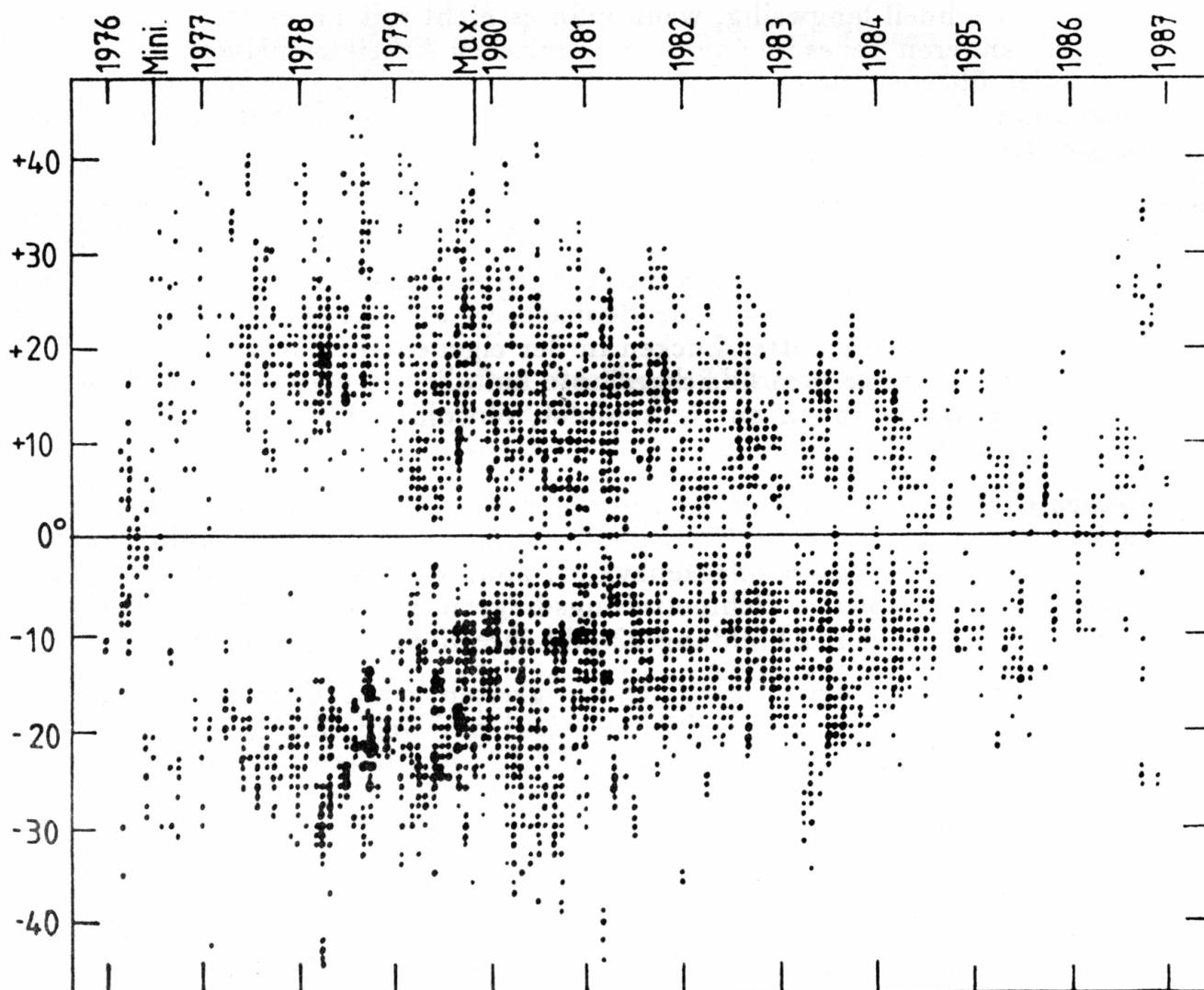


Bild 17: Schmetterlingsdiagramm von Sieglinde Hammerschmidt

## 10 Weiterführende Literatur

- Reinsch, K.; Beck, R.; Hilbrecht, H.; Völker, P. (Hrsg.): Die Sonne beobachten; Spektrum Verlag, 1999
  - SONNE – Mitteilungsblatt der Amateursoronnenbeobachter, herausgegeben von der Fachgruppe Sonne
  - VdS-Journal für Astronomie, herausgegeben von der Vereinigung der Sternfreunde e.V.
  - Mattig, W.: Die Sonne; C. H. Beck, 1995
  - Kerrod, R.: Die Sonne, Jugendbuch ab 8 Jahre; Franck-Kosmos Verlag, 2001
- Weiterführende Informationen und Links zur Sonne im Internet: <http://www.vds-sonne.de>
- Nur noch antiquarisch erhältlich:
- Ekrutt, J. W.: Die Sonne; Gruner und Jahr, Hamburg, 1981
  - Giovanelli, R. G.: Geheimnisvolle Sonne; VCH Verlag, Weinheim, 1987
  - Kiepenheuer, K. O.: Die Sonne; Springer-Verlag, Berlin, 1957
  - Nicolson, I.: Die Sonne; Herder Verlag, Freiburg, 1982
  - Eddy, J. A.: The new sun; NASA SP/402, Washington, 1979
  - Waldmeier, M.: Sonne und Erde; Zürich, 1959