

# SONNE

---

## EINFÜHRUNG IN DIE POSITIONSBESTIMMUNG

– Eine Veröffentlichung der VdS-Fachgruppe Sonne –

**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/>

**Ausgabe:** 1. Auflage, 2017

**Kontakt:**

Klaus-Peter Daub (Hamburg) [klausdaub.kpd@gmail.com](mailto:klausdaub.kpd@gmail.com)

Heinz Hilbrecht (Laufenburg) [scriptorium@fuhrmann-hilbrecht.de](mailto:scriptorium@fuhrmann-hilbrecht.de)

**Autoren dieser Einführungsschrift:**

J. Hoell, E. Junker, G. Schwaab, M. Schwab, H. Hilbrecht

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Ziele der Positionsbestimmung .....	3
2	Das heliographische Koordinatensystem .....	3
3	Methoden der Positionsbestimmung .....	5
4	Tipps für die Praxis .....	6
5	Die Auswertung .....	7
6	Messung mit Software .....	7

# 1 Ziele der Positionsbestimmung

## Die Problematik

Beim Beobachten der Sonne fällt auf, dass die Sonnenflecken von Tag zu Tag von Ost nach West wandern. Außerdem scheint es Gebiete zu geben, wo gar keine Flecken auftreten. Zur genaueren Beobachtung und um gezielt Gesetzmäßigkeiten auf der Oberfläche der Sonne nachweisen zu können, ist es unerlässlich, die Positionen der Flecken auf der Sonne zu bestimmen.

## Möglichkeiten der Auswertung

### A - Bestimmung der Rotationsdauer der Sonne

Beispiel für zwei Positionen eines Fleckes, an zwei aufeinander folgenden Tagen ermittelt:

13.11.1985, 14:15 Uhr UT:

AZM = 243 Grad, B = -11 Grad

14.11.1985, 16:30 Uhr UT:

AZM = 228,5 Grad, B = -12 Grad

Der Fleck hat also in 26 Stunden und 15 Minuten seine Position um 14,5 Grad verändert, pro Stunde um etwa 0,55 Grad und pro Tag (in 24 Stunden) um rund 13 Grad.

Für eine Umdrehung von 360 Grad der Sonne benötigt der Fleck demzufolge:  $360 : 13 = 27$  Tage (ungefähr).

Das ist die synodische Rotationsdauer der Sonne, die sich bereits aus zwei Positionsmessungen abschätzen lässt. Die mittlere Dauer beträgt 27,27 Tage.

Da die Erde auf ihrer elliptischen Bahn mit wechselnder Geschwindigkeit um die Sonne kreist, schwankt der Wert der synodischen Rotation zwischen 27,20 Tagen und 27,34 Tagen.

### B - Differentielle Rotation

Bestimmt man die Rotationsdauer der Sonne mit Positionsmessungen vieler Flecken, so fällt auf, dass Flecken in höheren heliographischen Breiten (also Flecken die näher an den Polen der Sonne auftreten) für einen Umlauf um die Sonne mehr Zeit benötigen als Flecken in der Nähe des Sonnenäquators.

Diese unterschiedliche Rotationsdauer verschiedener Breitenzonen der Sonne nennt man differentielle Rotation. Sie ist möglich, weil die Sonne kein starrer Körper ist, sondern aus Gas besteht.

### C - Fleckenverteilung

Die Positionen von Objekten auf der Sonne können in eine synoptische Karte übertragen werden. Das ist eine zusammenfassende „Landkarte“ der Sonne mit allen Sonnenflecken, die während einer Rotation der Sonne (also in 27,27 Tagen) aufgetreten sind.

### D - Eigenschaften von Fleckengruppen

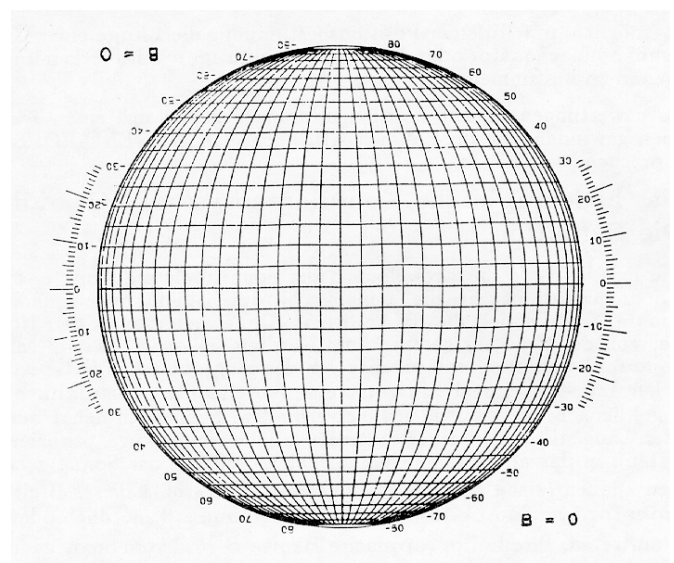
Positionsbestimmungen liefern auch die Länge einer Gruppe, den Winkel ihrer Achse zum Sonnenäquator oder die Eigenbewegungen von Flecken innerhalb einer Gruppe.

# 2 Das heliographische Koordinatensystem

## Die Definition

Genau wie bei der Erde die Erdpole sind die Sonnenpole die Punkte, an denen die gedachte Sonnenrotationsachse die Sonnenkugel „durchstößt“, oder anders gesagt, sind es die Punkte, um die sich die Sonne dreht. Dabei nennt man den Nordpol jenen Punkt, der von der Erde aus gesehen zum Nordhimmel weist.

Mit dieser Richtungsangabe kann man sich – genau wie bei der geographischen Ortsbestimmung auf der Erde – einmal Längengrade (Meridiankreise) auf der Sonnenkugel denken, die beide Pole verbinden. Senkrecht zu den Längengraden werden die Breitenkreise auf die Sonnenkugel projiziert. In dieses Koordinatensystem lassen sich alle Phänomene auf der Oberfläche der Sonne genau eingetragen (Bild 1). Übrigens ist der Größte dieser Breitenkreise der Sonnenäquator (vgl. Bild 1). Flecken können nun z.B. nördlich oder südlich des Äquators auftreten. Ihre heliographische Breite **B** wird vom Sonnenäquator aus als nördliche (+) oder als südliche (-) Breite bezeichnet.



**Bild 1:** Heliographisches Koordinatennetz mit Längen- und Breitenkreisen, für  $B_0 = 0^\circ$  (siehe Bild 2).

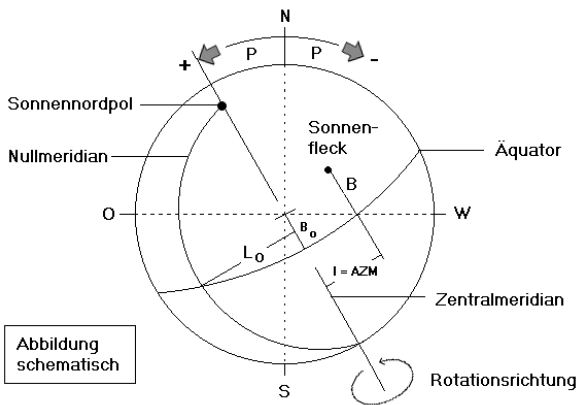


Abbildung schematisch

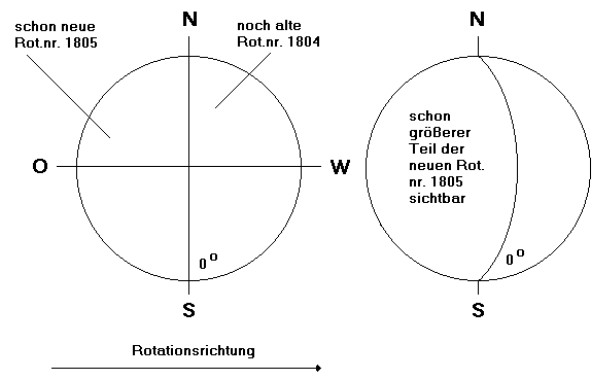
**Bild 2:** Heliographisches Koordinatensystem (perspektivisch; für  $B_0 = + 7$  Grad,  $P = + 26$  Grad, Situation am 1. Oktober). Der Abstand vom Zentralmeridian (AZM, identisch mit I) wird positiv nach Westen gezählt. Die Rotationsachse liegt in der Ebene, die durch den Zentralmeridian und die Senkrechte zur Papierebene gegeben ist; sie durchstößt die Sonnenkugel an den Polen.

Auf der Sonne gibt es keinen festen Punkt, durch den ein Nullmeridian gelegt werden könnte (wie auf der Erde den Längengrad durch Greenwich). Deshalb muss für jede Beobachtungsreihe ein Meridian als Bezug gewählt werden, von dem die Längen nach Westen (W) oder Osten (E) gerechnet werden (E = „east“, das Englische wird benutzt um eine Verwechslung mit der Zahl 0 zu vermeiden). Gebräuchlich sind:

1. der Mittel- oder Zentralmeridian im Moment der Beobachtung (siehe Bild 2); der Abstand eines Fleckes vom Zentralmeridian (AZM) wird positiv nach Westen gerechnet,
2. ein international festgelegter Nullmeridian.

Der international festgelegte Nullmeridian ist jener Meridian, der am 01.01.1854 um 12 Uhr Weltzeit (UT) durch den aufsteigenden Knoten des Sonnenäquators auf der Ekliptik ging. Dieser Meridian war am 09.11.1853 identisch mit dem Zentralmeridian. Auf diesen einmal festgelegten Zeitpunkt hin können alle Messungen von Längengraden bezogen werden. Dieser Meridian ist der Carrington'sche Nullmeridian. Von diesem aus wird die heliografische Länge in Richtung Westen von 0 Grad bis 360 Grad gezählt.

Immer dann, wenn der Carrington'sche Nullmeridian genau in Richtung zum Beobachter steht (also mit dem Zentralmeridian zusammenfällt), beginnt eine neue synodische Sonnenrotation. So werden die Rotationen fortlaufend gezählt, als „Carrington Rotationen“.



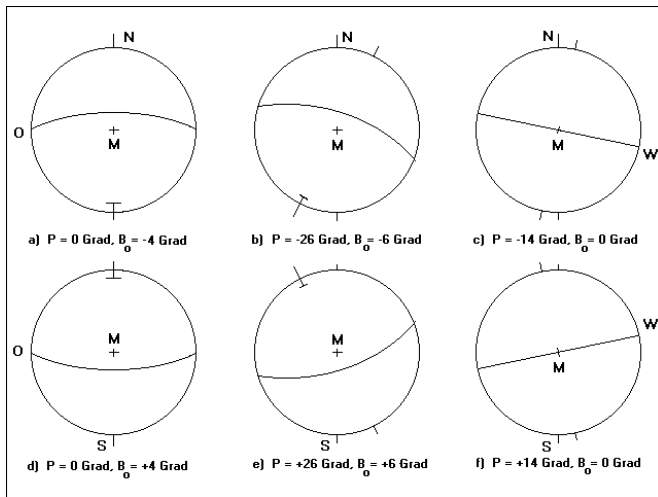
**Bild 3:** Eine Rotation beginnt mit dem Durchgang des nullten Kreises heliografischer Länge durch den Zentralmeridian, so dass dann der westliche Teil der Sonne noch der alten und der östliche Teil bereits der neuen Rotation zuzuordnen ist. Dies bedeutet, es sind Flecken mit  $L = 0 - 90$  Grad (alte Rotation) und solche mit  $L = 270 - 360$  Grad (neue Rotation) zu sehen. Nach z.B. vier Tagen und Beginn einer neuen Rotation sind Flecken von  $L = 0 - 37$  Grad in der alten Rotation sowie Flecken von  $L = 217 - 360$  Grad der neuen Rotation zu sehen. Kurz vor dem Ende einer Rotation ist es natürlich ähnlich, es tauchen dann schon wieder Flecken der neuen Rotation auf.

Zum Zeitpunkt des Beginns einer synodischen Rotation gehören somit alle Flecken westlich des Zentralmeridians noch zur alten Carrington Rotation (siehe Bild 3). Die Rotation Nr.1 begann am 09.11.1853, bis zum 26.11. 2016 sind genau 2184 Rotationen (Durchgänge durch den Zentralmeridian) vergangen.

Für synoptische Karten wird immer der Carrington'sche Nullmeridian als Bezugslängengrad gewählt. Bei der Bestimmung der differentiellen Rotation dagegen benutzt man den momentanen Zentralmeridian.

### Das heliografische Koordinatensystem im Augenblick der Beobachtung

Die scheinbare Bewegung der Flecken über die Sonnenscheibe hängt vom Standort der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne ab. Sonnenäquator ( $i = 7,25$  Grad) und Erdäquator ( $i = 23,45$  Grad) sind um die angegebenen Winkel  $i$  gegen die Ekliptik geneigt. Deswegen bewegen sich Sonnenflecken von der Erde aus gesehen nicht auf einer Geraden, sondern in kleinen Ellipsen über die Sonnenscheibe.



**Bild 4:** Stellung der Sonnenachse und Fleckenlauf zu verschiedenen Jahreszeiten. M bezeichnet die Mitte des projizierten Sonnenbildes. Bild a) zeigt die Verhältnisse um den 6. Januar, der Positionswinkel ist  $P = 0$  Grad (die Rotationsachse fällt mit der Nord-Süd-Achse zusammen).  $B_0$  beträgt jetzt etwa  $-4$  Grad, die gedachten Flecken auf dem Sonnenäquator ziehen also im Zentralmeridian  $4$  Grad über dem Mittelpunkt der Sonnenscheibe ihre Bahn; der Südpol der Sonne ist näher in Richtung Erde gedreht. Bild b): Um den 7. April hat der Positionswinkel mit  $P = -26,4$  Grad seine größte westliche Abweichung erreicht. Der Mittelpunkt der Sonnenscheibe hat die heliografische Breite von  $-6$  Grad. Bild c): Um den 6. Juni ist  $P$  auf  $-14$  Grad zurückgegangen. Da  $B_0 = 0$  Grad ist, ziehen die Flecken in geraden Linien über die Sonne. Der Sonnenäquator teilt symmetrisch die Nord- und Südhalbkugel. Die Bilder d) bis f) zeigen die Verhältnisse bei positiven  $P$ - und  $B_0$ -Werten, die in der zweiten Jahreshälfte erreicht werden (8. Juli, 11. Oktober und 8. Dezember).

Bild 4 verdeutlicht die jährlichen Schwankungen der Stellung von Sonnenachse und -äquator für den Beobachter auf der Erde. Dabei schwankt die heliografische Breite des Sonnenscheibenmittelpunkts ( $B_0$ ) zwischen  $+7,25$  und  $-7,25$  Grad.

Der Positionswinkel  $P$  – manchmal auch  $P_0$  genannt – der Sonnenachse gegen die Nord-Süd-Richtung schwankt zwischen  $+26,4$  und  $-26,4$  Grad ( $+$  = Neigung der Sonnenachse nach Osten).  $L_0$  gibt die heliografische Länge des Zentralmeridians im Carrington'schen Rotationssystem an. In Bild 2 sind alle wichtigen Größen zur Messung einer Position auf der Sonne dargestellt.  $B_0$ ,  $L_0$  und  $P$  sind in Jahrbüchern für jeden Tag des Jahres tabelliert. Sie können dann für die Beobachtungszeit ausgerechnet (interpoliert) werden. Die jahreszeitlichen Veränderungen dieser Größen machen Augenmaßzuordnungen der Flecken zur Nord- oder Südhalbkugel der Sonne schwierig bis unmöglich. Deshalb ist Sorgfalt nötig, wenn Positionen bestimmt werden sollen.

### 3 Methoden der Positionsbestimmung

Zur Positionsbestimmung ist es wichtig, die Orientierung des vom Teleskop erzeugten Sonnenbildes zu kennen. Sie hängt von der Optik des Teleskop ab (Refraktor, Newton-Reflektor) und der Bilderzeugung (Projektion in optischer Achse, Zenitprisma, Herschel-Keil).

Im Prinzip erfolgt jede Positionsbestimmung nach der gleichen Methode. Sie unterscheiden sich durch den mathematischen Aufwand, Einsatz einer Software, Messung auf einer Zeichnung oder einem digitalen Sonnenbild im Grunde nur durch ihre Genauigkeit.

#### Direkte Markierung

Bei der direkten Markierung verwendet man einen stabilen und senkrecht zur optischen Achse des Fernrohres befestigten Projektionsschirm. Auf diesen legt man eine vorbereitete Schablone. Ihr Kern ist ein exakter Kreis für die Sonnenscheibe. Als Durchmesser haben sich für Amateurastronomen  $11$  cm für Teleskope bis  $10$  cm Öffnung und  $15$  cm für größere Teleskope bewährt. Auch größere Durchmesser werden benutzt,

wenn die Stabilität der Montierung und die Helligkeit des projizierten Bildes das erlauben.

Zuerst wird der Abstand des Projektionsschirms vom Okular so eingestellt, dass die projizierte Sonne exakt den Kreis für die Zeichnung ausfüllt. Der scheinbare Durchmesser der Sonnenscheibe ändert sich im Lauf eines Jahres durch die verschiedene Entfernung der Sonne von der Erde.

Die Schablone muss für Positionsmessungen genau in Ost-West-Richtung ausgerichtet werden, sie trägt deshalb entsprechende Markierungen. Diese Richtung ist die Rotationsrichtung der Erde. Sie entspricht deshalb dem Lauf eines Sonnenflecks, wie er sich bei abgeschalteter Montierung über den Projektionsschirm bewegt. Die Schablone wird so gedreht (gehalten von Klammern oder kleinen Magneten), bis die Bewegung eines Sonnenflecks den Ost-West – Markierungen auf der Schablone entspricht.

Bei eingeschalteter Nachführung werden nun mit einem weichen spitzen Bleistift die Positionen der Flecken auf der justierten Schablone markiert (auf diese Methode kommen wir später noch mal zurück).

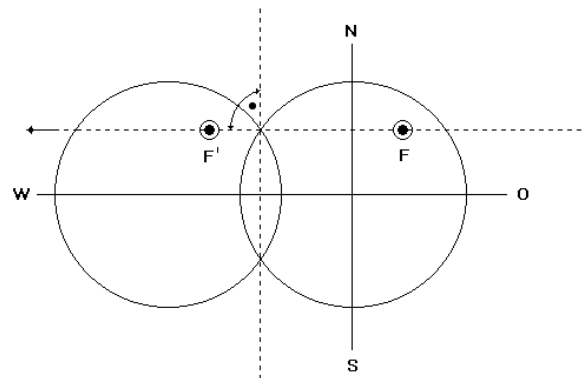
### Die Positionsfotografie

Zur Positionsfotografie wird die Kamera am Okularauszug im Primärfokus angebracht, also ohne Okular. Ziel ist, die gesamte Sonnenscheibe abzubilden. In Zeiten von Analogkameras wurde dafür das gleiche Negativ im Abstand von 1 – 2 Minuten zweifach belichtet – das Ergebnis war ein Doppelbild der Sonne. Dabei wird das Teleskop nicht nachgeführt. So ergaben sich zwei Sonnenbilder auf demselben Negativ, die sich zu einem gewissen Teil überdeckten. Die Verbindungslinien derselben Sonnenflecken auf den beiden Bildern ergab die Ost-West-Richtung (Bild 5).

Diese „Doppelbelichtung“ ist auch mit Digitalkameras die Grundlage für Positionsbestimmungen. Sie funktioniert bei der Vermessung mit Software aus zwei getrennt aufgenommenen Bildern. Dafür wird ein erstes

Bild aufgenommen, bei dem die Sonne vollständig sichtbar am Rand des Gesichtsfelds der Kamera steht. Dann wird die Nachführung abgeschaltet. Das Sonnenbild wandert nun zum gegenüberliegenden Rand des Gesichtsfelds. Hier wird ein zweites Bild aufgenommen. Für die Genauigkeit der Messungen ist die exakte Position der Sonnenscheibe auf den Bildern entscheidend. Üblicherweise werden für Fotografien einige tausend Bilder aufgenommen, die mit Software zu einem hochwertigen Bild „gestackt“ werden. Dieser Vorgang der Bildaufnahme braucht Zeit. Für Positionsbestimmungen ist das nur dann kein Problem, wenn eine sehr stabile, mechanisch exakte und genau ausgerichtete Montierung zur Verfügung steht. Ist das nicht der Fall, ist es besser, schnell nur wenige Fotos zu machen und daraus gute Einzelaufnahmen zu vermessen.

Die Gerade, die denselben Fleck des linken bzw. des rechten Sonnenbildes verbindet, ist die Ost-West-Richtung auf der Sonne. Senkrecht zu dieser Geraden liegt die Nord-Süd-Richtung.



**Bild 5:** Bei ausgeschalteter Nachführung wandern Sonnenscheibe und Sonnenflecken durch das Gesichtsfeld. Die Verbindungslinie der beiden Bilder desselben Sonnenflecks ist dann die Ost-West-Richtung. Senkrecht dazu steht die Nord-Süd-Richtung

## 4 Tipps für die Praxis

Die Positionsbestimmung mit der Projektionsmethode (direkte Markierung) sollte mit einem parallaktisch aufgestellten Fernrohr durchgeführt werden. Im Laufe des Tages ändert sich die Position des Sonnenbildes relativ zur Teleskopachse und führt damit zu Bilddrehungen. Für die Positionsfotografie eignet sich auch ein azimutal montiertes Fernrohr mit einer Brennweite, die eine Abbildung der ganzen Sonnenscheibe auf dem Chip erlaubt.

Die Genauigkeit beider Methoden, Projektion oder Fotografie, ergibt Messfehler von rund +/- 1 Grad. Fotografisch, mit Doppelbelichtungen, sind auch bessere Ergebnisse möglich. Wer höchste Genauigkeiten anstrebt, muss ein Teleskop für die rein fotografische Beobachtung reservieren. Voraussetzung dafür ist eine sehr stabile und mechanisch exakte Montierung, für ein stationär aufgestelltes Teleskop. Genauso wichtig sind ein Okularauszug und eine Kamerabefestigung, die

jede mechanische Durchbiegung verhindern. In einem solchen Fall kann die Kamera dauerhaft in Ost-West – Richtung ausgerichtet und so fixiert werden. Auch dafür dient die „Durchlaufmethode“ mit Sonnenflecken bei abgeschalteter Nachführung.

### **Praktische Positionsbestimmung am Beispiel der direkten Markierung**

Das Fernrohr ist parallaktisch aufgestellt und auf die Sonne ausgerichtet. Auf unserer Schablone ist die Sonnenscheibe scharf gestellt, und ein Sonnenfleck ist zu sehen. Mit einem weichen Bleistift (z.B. Härte 5B) markieren wir diesen Fleck. Nun stellen wir die Nachführung ab und warten etwa eine Minute. Dabei sehen wir,

dass die Sonnenscheibe langsam aus dem Gesichtsfeld verschwindet. Bevor der Fleck aber verschwunden ist, markieren wir ihn schnell an seiner jetzt beobachteten Stelle auf dem Papier. Ziehen wir mit einem Lineal eine Verbindungslinie durch beide Flecken, so erhalten wir auf einfache Weise die Ost-West-Richtung. Senkrecht zu dieser Linie können wir die Nord-Süd-Richtung einzeichnen (Bild 5). Somit haben wir die Lage des Fleckes auf der Sonnenscheibe bestimmt.

Diese Messungen müssen nun in heliographische Koordinaten umgewandelt werden. Das sind die wirklichen Koordinaten auf der Kugel; bis hierhin haben wir nur die Projektionsebene betrachtet.

## **5 Die Auswertung**

Es gibt zwei Möglichkeiten die heliographischen Koordinaten  $B$  und  $L$  zu bestimmen: mit Hilfe von Gradnetzschablonen oder über eine Rechnung.

Für beide Fälle werden benötigt: der Positionswinkel der Sonnenachse ( $P$ ), die heliografische Breite der Sonnenscheibenmitte ( $B_0$ ) und die heliographische Länge ( $L_0$ ) des Zentralmeridians. Diese Werte können aus jedem astronomischen Jahrbuch entnommen werden. Das Computerprogramm errechnet die Angaben aus dem Datum, der Uhrzeit und der geografischen Position des Beobachters. Im Internet gibt es den Ephemeriden-Rechner des Observatoriums Kanzelhöhe der Universität Graz:

[www.kso.ac.at/beobachtungen/ephemeris.php](http://www.kso.ac.at/beobachtungen/ephemeris.php)

### **Gradnetzschablonen**

Gradnetzschablonen erlauben eine graphische Positionsbestimmung mit begrenzter Genauigkeit, aber gut genug für viele Zwecke. Die Grundlage kommt aus der „direkten Markierung“ auf der Zeichenschablone.

Gradnetze sind für verschiedene Werte der Breite erhältlich. Üblicherweise sind sie im Grad-Abstand gestuft von 0 Grad bis +7 Grad. Für negative Werte der Breite werden die Schablonen um 180 Grad gedreht (vgl. Bild 4). Der „Gradnetzdrucker“ der VdS Fachgruppe Sonne ist eine Software, die auch höhere Genauigkeiten liefert und zum Download bereitsteht: [www.vds-sonne.de/de/download.html](http://www.vds-sonne.de/de/download.html)

Zur Positionsbestimmung wird das Gradnetz mit dem passenden Wert für die Breite ( $B_0$ ) so auf die Positionszeichnung gelegt, dass die Mittellinie gegen die bereits ermittelte Nord-Süd-Richtung um den Positionswinkel gedreht ist (Positionswinkel positiv in Richtung Osten). Die heliographische Breite  $B$  des Sonnenflecks und sein Abstand vom Zentralmeridian (AZM) können so direkt abgelesen werden. Die heliographische Länge im Carringtonsystem ergibt sich aus der Addition von  $L_0$  zum AZM-Wert:

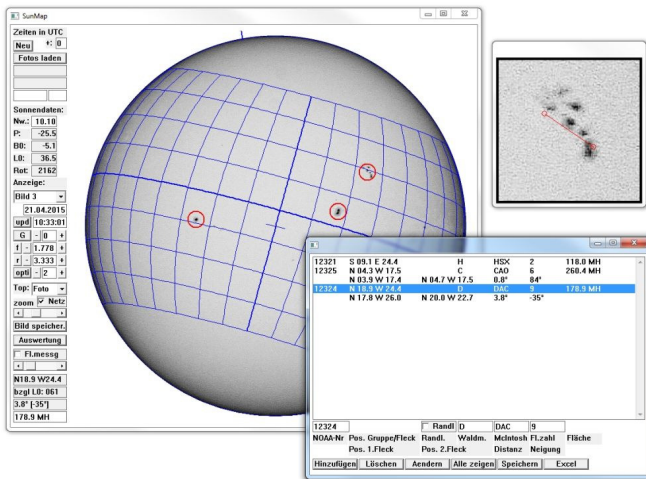
$$L = L_0 + \text{AZM}$$

## **6 Messung mit Software**

Die Software „SunMap“, entwickelt von Ralf Pagenkopp und Klaus-Peter Daub (beide Hamburg) kann Zeichnungen und Bilder in verschiedenen Datenformaten verarbeiten. Sie erlaubt die gleichzeitige Messung von Sonnenflecken-Flächen und einer Position im Schwerpunkt der Fläche. Einzelpositionen können Auswerter auch interaktiv durch Anklicken messen. Hinzu kommt eine Funktion, die Orientierungen ausgibt, z.B. die Orientierung von Fleckenachsen.

SunMap ist Freeware, läuft unter Windows und kommt mit einem gut dokumentierten Handbuch. Eine kurze Beschreibung und die Bezugsmöglichkeit steht im Internet: [ralfpagenkopp.de/sunmap.html](http://ralfpagenkopp.de/sunmap.html).

Eine Beschreibung der Funktionen steht auch in [SONNE 139 \(2016\)](#).



**Bild 6:** Die Software „SunMap“ erlaubt Positionsbestimmungen und Flächenmessungen auf der Sonne halbautomatisch und interaktiv. Voraussetzung ist das Vorliegen der Beobachtungen in digitaler Form. Zeichnungen können gescannt werden, Bilder liegen schon in digitaler Form vor.

### Gemeinsam ist besser

Positionsbestimmungen sind ein zentrales Arbeitsgebiet von Amateur-Sonnenbeobachtern. Projekte zur Verfolgung der Sonnenaktivität und der Entwicklung von Sonnenfleckengruppen hängen entscheidend davon ab. Auch Filterbeobachtungen der Chromosphäre (zum Beispiel in H-Alpha, Call) sind damit auswertbar.

Der Einsatz von Software macht dabei genaue Messungen leicht, die in früheren Tagen sehr viel Arbeit und Zeitaufwand erforderten. Die „Positionsgemeinde“ wächst deshalb rasch und nimmt verschiedene Themengebiete ins Visier. In der VdS-Fachgruppe Sonne liegt die Erfahrung vor, auch bei neuen Projekten zu beraten und Zusammenarbeit zu vermitteln. Allein Wetterlücken in den Beobachtungen machen Zusammenarbeit äußerst sinnvoll, neben dem „Spaßfaktor“, der beim Hobby unter Gleichgesinnten entsteht. Hier kommen auch Ideen aus der Gruppe, die den Ertrag der Messungen verbessern.