

Die differenzielle Rotation der Sonne

Arbeitsgemeinschaft
Astronomie der
Deutschen Schule Málaga
Projekt „Jugend forscht“
2012



Exzellente
Deutsche
Auslandsschule



MÁLAGA
DEUTSCHE SCHULE
COLEGIO ALEMÁN
JUAN HOFFMANN

Inhalt

1. Einführung	4
2. Die Rotation der Sonne (Motivation)	4
3. Die Versuchsdurchführung	5–12
4. Die Berechnungen mit Auswertung	13
5. Ergebnisse	14
6. Abschließende Bemerkungen	14
Danksagung	14

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Astronomie der Deutschen Schule Málaga von Chiara Lageveen, Klasse 10 a, mit Begleitung von Herrn Dr. rer. nat. Hartwig Göpfert für das Projekt „Jugend forscht 2012“ durchgeführt.



Chiara Lageveen

1. Einführung

Unsere Sonne ist der Zentralkörper in unserem Planetensystem. Sie ist physikalisch eine selbstleuchtende Gaskugel. Allgemein sind ihre physikalischen Eigenschaften bekannt. Für den aufmerksamen Leser seien sie hier noch einmal genannt:

Radius (r):	700.000 km
Oberflächentemperatur:	5.800 K
Kerntemperatur:	15.000.000 K
Dichte (Durchschnitt):	$1,41 \frac{g}{cm^3}$
Chemische Beschaffenheit:	73 % Wasserstoff, 23 % Helium
Strahlungsleistung:	$4 \cdot 10^{23} kW$

Allgemein unterteilt man die Sonne in das Sonneninnere und die Sonnenatmosphäre.

Der Sonnenkern hat einen Radius von etwa 175.000 km. Der Sonnenrand beträgt etwa ein Zehntel des Sonnenradius. Die im Kern erzeugte Energie (Fusion) wird durch Strahlung transportiert. Der Weg vom Kern an die Oberfläche hat zur Folge, dass sich die Gase an der Oberfläche abkühlen und wieder in das Innere sinken. Optisch ist dieser Vorgang durch die Granulen sichtbar. Den Prozess nennt man Konvektion.

Die Sonnenatmosphäre unterteilt man grob in drei Schichten:

1. Korona (Strahlungskranz, nur bei totaler Finsternis zu sehen, äußerste Schicht)
2. Die Photosphäre bildet die unterste Schicht der Atmosphäre (relativ scharf definierte Struktur, die sich in ständiger Bewegung befindet).
3. Chromosphäre (mittlere Schicht, befindet sich zwischen Photosphäre und Korona).

In allen drei Sphären sind charakteristische Aktivitäten zu beobachten:

- Sonnenflecken (in Photosphäre, haben eine Temperatur von 4000 K, sind also 2000 Grad kälter als die Oberflächentemperatur).
- Eruptionen und Protuberanzen (Strahlungs- und Gasausbrüche in der Chromosphäre).

Unsere Sonne besitzt ein Magnetfeld. Durch die differenzielle Eigenrotation der Sonne „wickelt“ sich dieses Feld auf. Nach etwa 11 Jahren kommt es schließlich zum „Riss“. Sichtbar werden an diesen Stellen die schwarzen Sonnenflecken. Diese treten immer paarweise auf. Ihre Lebensdauer beträgt einige Tage bis einige Monate. Sie sind damit wichtige Punkte auf der Oberfläche, die zu genauen Messungen dienen können.

Nach dem kompletten Riss des Feldes (nach 11 Jahren) beginnt der Zyklus wieder von vorne. Die Umpolung der Sonne wird 2013 stattfinden. Zur Zeit haben wir eine stark erhöhte Sonnenaktivität. Sichtbar wird dies durch die erhöhte Anzahl von Sonnenflecken, gewaltige Eruptionen und leuchtende Protuberanzen.

Die erhöhten Aktivitäten finden eine natürliche Fortsetzung im Weltraum (Erhöhung der elektromagnetischen Strahlung und Erhöhung der Teilchenstrahlung [Sonnenwind]). Da unsere Erde (zum Glück) ein Magnetfeld besitzt, wird die ankommende Strahlung über die magnetischen Pole (wie über eine Dachrinne) abgeleitet. Zu sehen ist dieser Prozess durch das Polarlicht (Ionisation der Luftschichten in etwa 30 km Höhe). Außerdem finden starke Störungen auf der Erde im Kurzwellenbereich statt.

Im elften Jahr (Jahr der Umpolung) erhöht sich auch die UV-Strahlung. Unter diesem Einfluss wachsen Pflanzen schneller. Beobachter, die mit diesen Kenntnissen durch den Wald gehen, können deutlich sehen, dass der elfte Ring bei Bäumen der breiteste ist. Die Baumringe liegen in Elferpackungen vor.

2. Die Rotation der Sonne (Motivation)

Die Aufgabe unserer Arbeit beinhaltet vier Fragen:

1. Rotiert unsere Sonne?
2. Rotiert unsere Sonne gleichmäßig?
3. Rotiert unsere Sonne differenziell?
4. Wie groß sind die Rotationszeiten in den verschiedenen Breiten?

Wir beobachteten die Sonne über den Zeitraum vom 24. bis 31.07.2012.

Wir benutzten für die Beobachtungen ein H-Alpha-Michelson Interferometer und ein 14-Zoll-Spiegelteleskop mit Chromfilter. Die Aufnahmen wurden mit einer Canon (EOS 1000D) gemacht. Die verwendeten Spezialokulare waren extrastark (mit 10 mm Brennweite). Außerdem verwendeten wir manchmal eine Barlowlinse, um die Struktur der Flecken besser sichtbar zu machen.

Die Belichtungszeiten haben wir zwischen 0,025 s und 0,0125 s gewählt, weil hier die Qualität der Fotos maximal war. Mit dem H-Alpha Gerät haben wir eine unkomplizierte Methode angewendet. Wir haben direkt mit der Kamera (mit Objektiv) in das große Okular fotografiert (die Qualität verbesserte sich noch durch die Abdeckung mit einem schwarzen Tuch). Durch ein wenig Übung und mit Erfahrung entstanden Fotos mit guter Qualität.

Mit dem 14-Zoll-Spiegel fand die Arbeit professioneller statt. Die Kamera wurde über eine Verbindung an das leistungsfähige Teleskop angeschlossen. Dabei wurde der Spiegel als „Superteleobjektiv“ genutzt. Den Chromfilter (75 mm) bauten wir vor dem Spiegel in eine Pappe ein, der die 14-Zollöffnung vollständig bedecken musste. Die Belichtungszeiten änderten wir bei diesen Aufnahmen nicht.

Die Aufnahmen mit dem H-Alpha Gerät hatten den Vorteil, dass wir die Sonne vollständig in das Gesichtsfeld bekamen. So hatten wir mit dem Sonnenrand immer einen geometrischen Bezug, der notwendig für alle weiteren Berechnungen war. Die Aufnahmen mit dem Chromfilter hatten den Vorteil, dass wir die Abstände zwischen den Sonnenflecken in Abhängigkeit von der Zeit sehr genau in der Veränderung messen konnten. Durch die riesige Vergrößerung fehlte ein Bezug zum Sonnenrand. Aus diesem Grund waren diese Aufnahmen nur bedingt mathematisch brauchbar.

3. Die Versuchsdurchführung

Die Aufnahmen wurden in der Zeit vom 24. bis 31. Juli 2012 gemacht. Dabei konzentrierten wir uns auf vier Flecken. Wir bezeichneten sie auf den Fotos mit 1, 2, 3 und 4.

Die objektiven Probleme bei den Messungen waren:

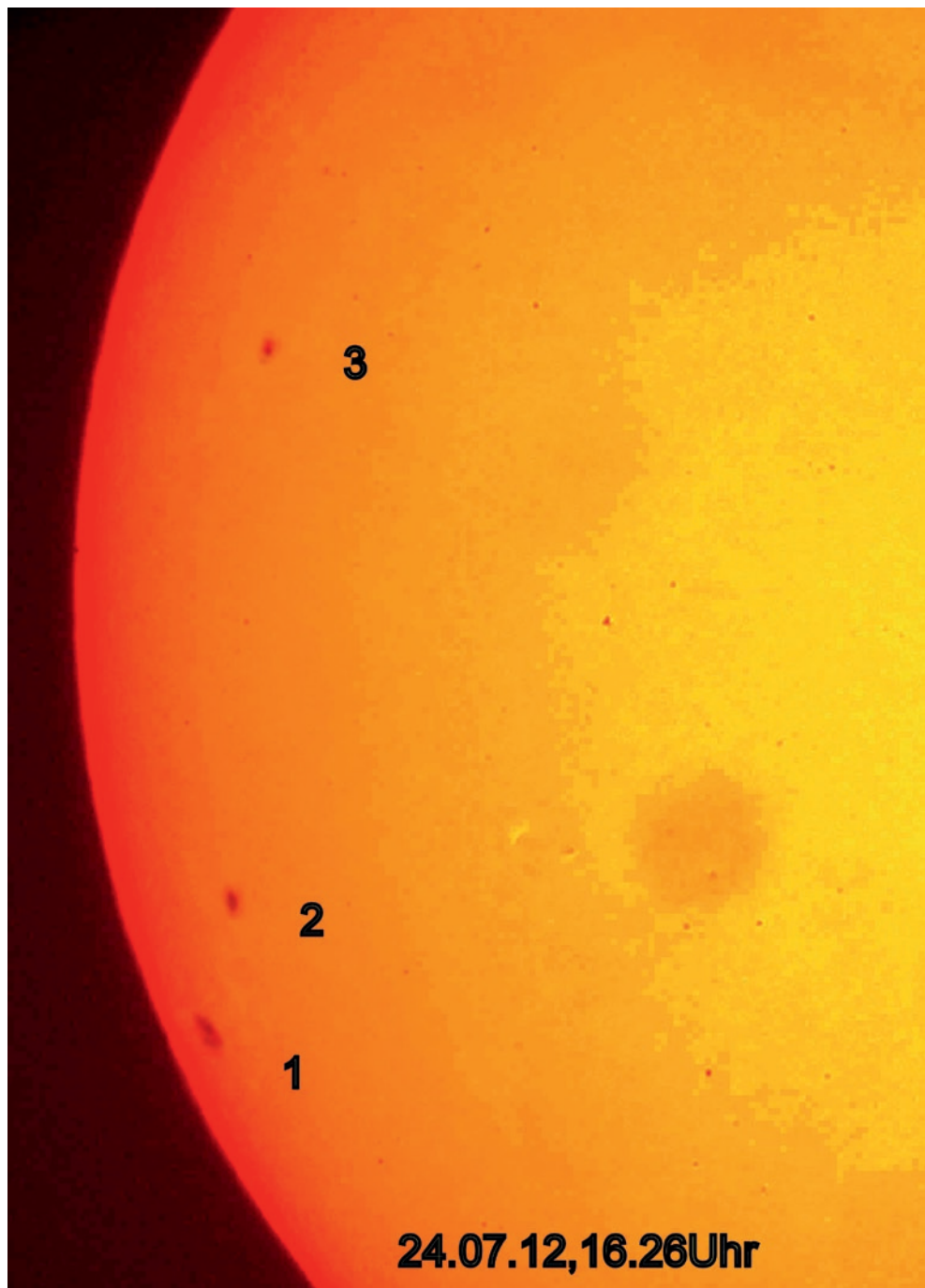
1. Die Sonne als Kugel wird durch das Foto auf eine Kreisfläche abgebildet.
2. Die Flecken am Sonnenrand sind schwer messbar, weil das Koordinatensystem dort in der Ebene sehr eng und damit ungenau in der Messung wird.
3. Die Neigung der Sonnenachse gegen die Erdbahnebene beträgt $7,2^\circ$. Das war eine wirkliche Schwierigkeit bei der Problemlösung.
4. Während der Beobachtung der Sonne in einem bestimmten Zeitraum bewegt sich natürlich auch die Erde zusätzlich um die Sonne.

Um diese aufgezählten objektiven Fehlerquellen klein zu halten, haben wir folgende Entscheidungen getroffen:

1. Wir verwenden nur Fotos für die Berechnungen, wo die Sonnenflecken in der Nähe des Kreisflächenmittelpunktes sind.
2. Um die Erdbewegung zu vernachlässigen, haben wir den Zeitraum für die Messungen auf den 27.07. bis 31.07.2012 eingeschränkt.

Veranschaulichung

Wenn die Sonne einen Durchmesser von 1,40 m hätte, dann würde sich die Erde in einer Entfernung von 150 m mit der Größe eine Fingerhutes um 4° bewegen. Durch den Zeitraum von nur vier Tagen ist die Bewegung der Erde gegenüber der Sonne vernachlässigbar.



Die Größe der Sonne haben wir auf allen Fotos auf genau 14 cm transformiert. Damit entspricht 1mm auf dem Foto genau 10.000 km in der Realität. Analog verfahren wir mit der Eintragung der Sonnenflecken in die Kreisflächen und in das heliozentrische Koordinatensystem.

Es folgen die markanten Einzelfotos der Sonne vom 24.07. bis 31.07.12.2012.

Bild 1

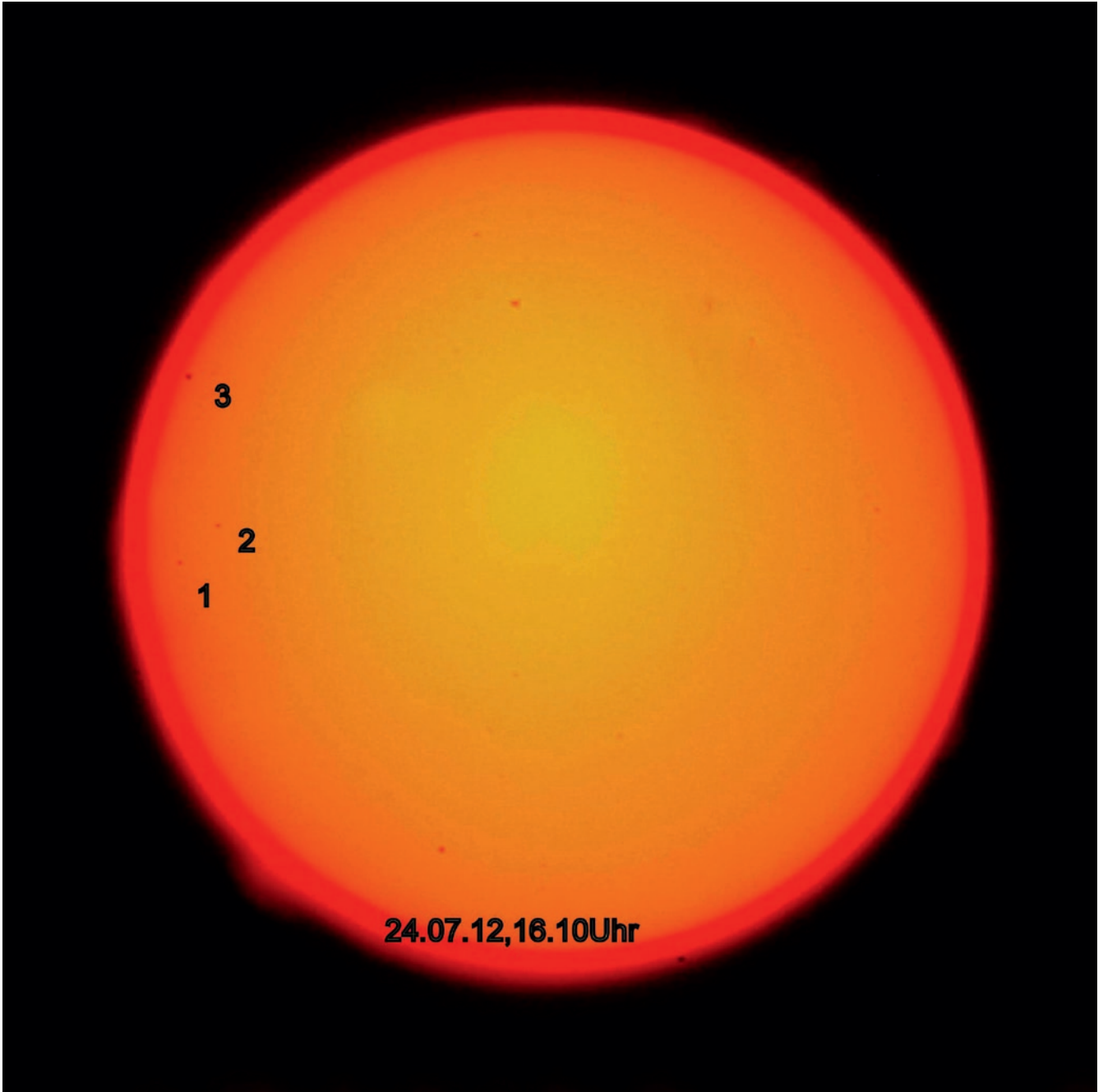


Bild 2

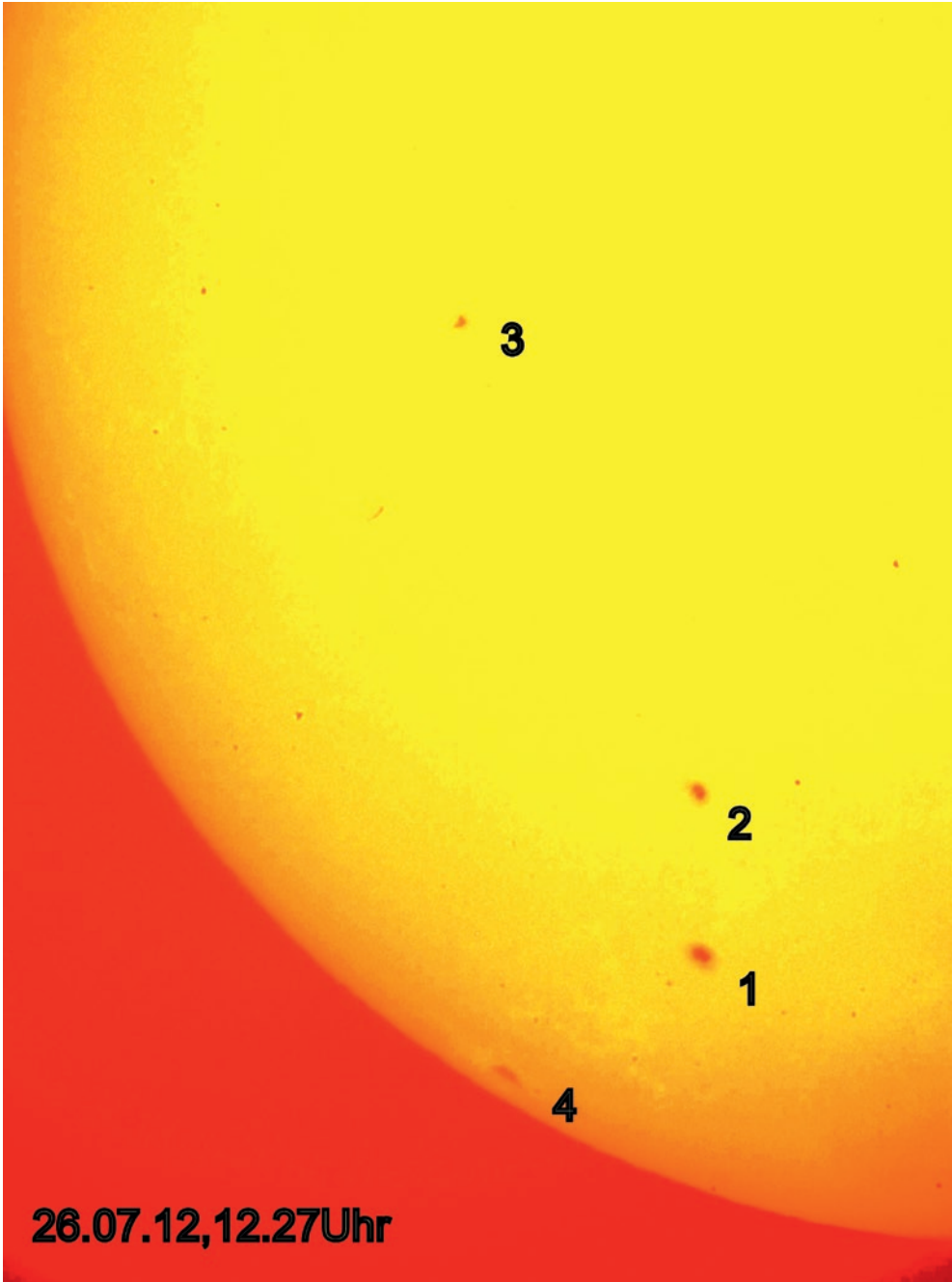


Bild 3

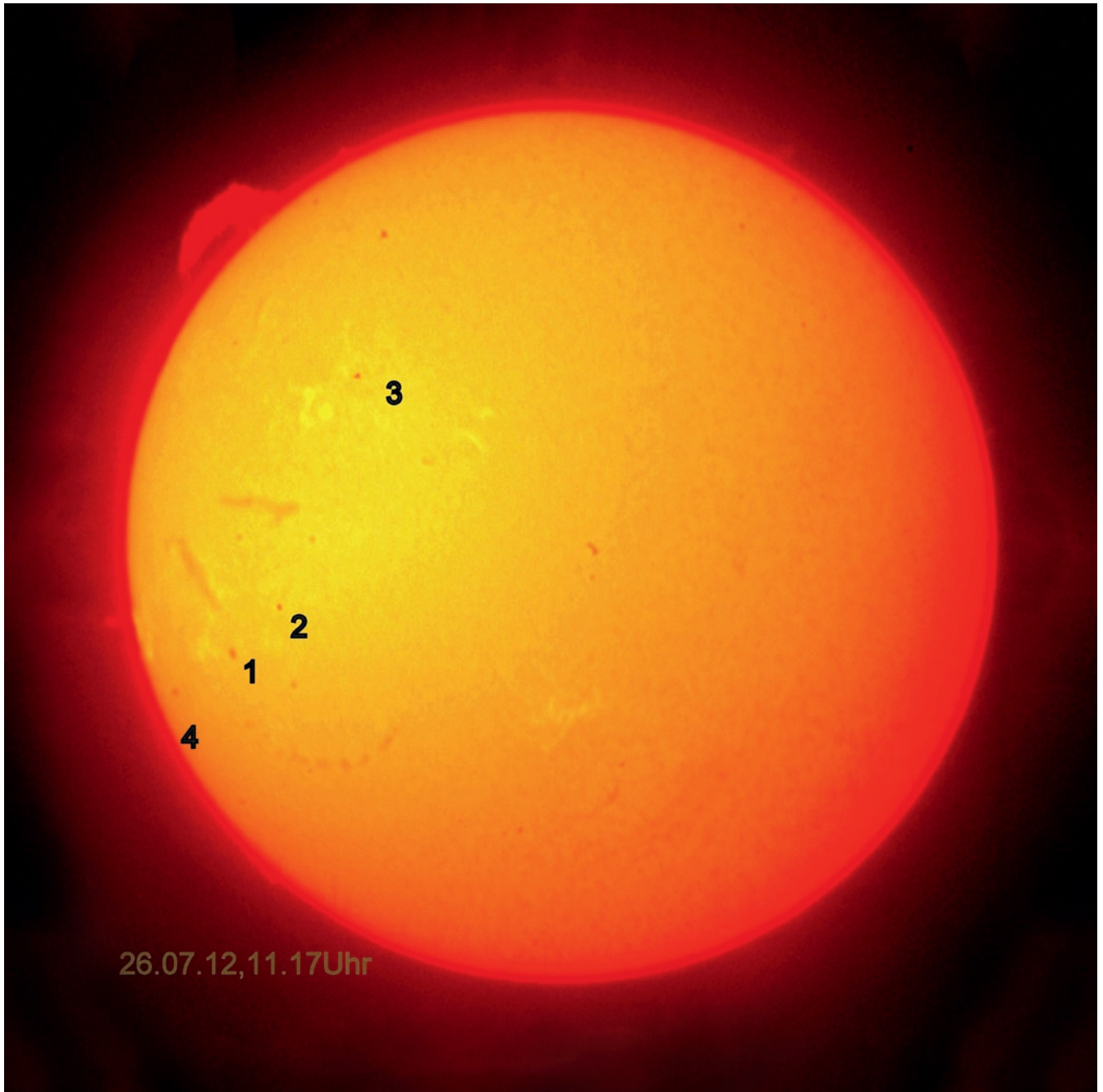


Bild 4

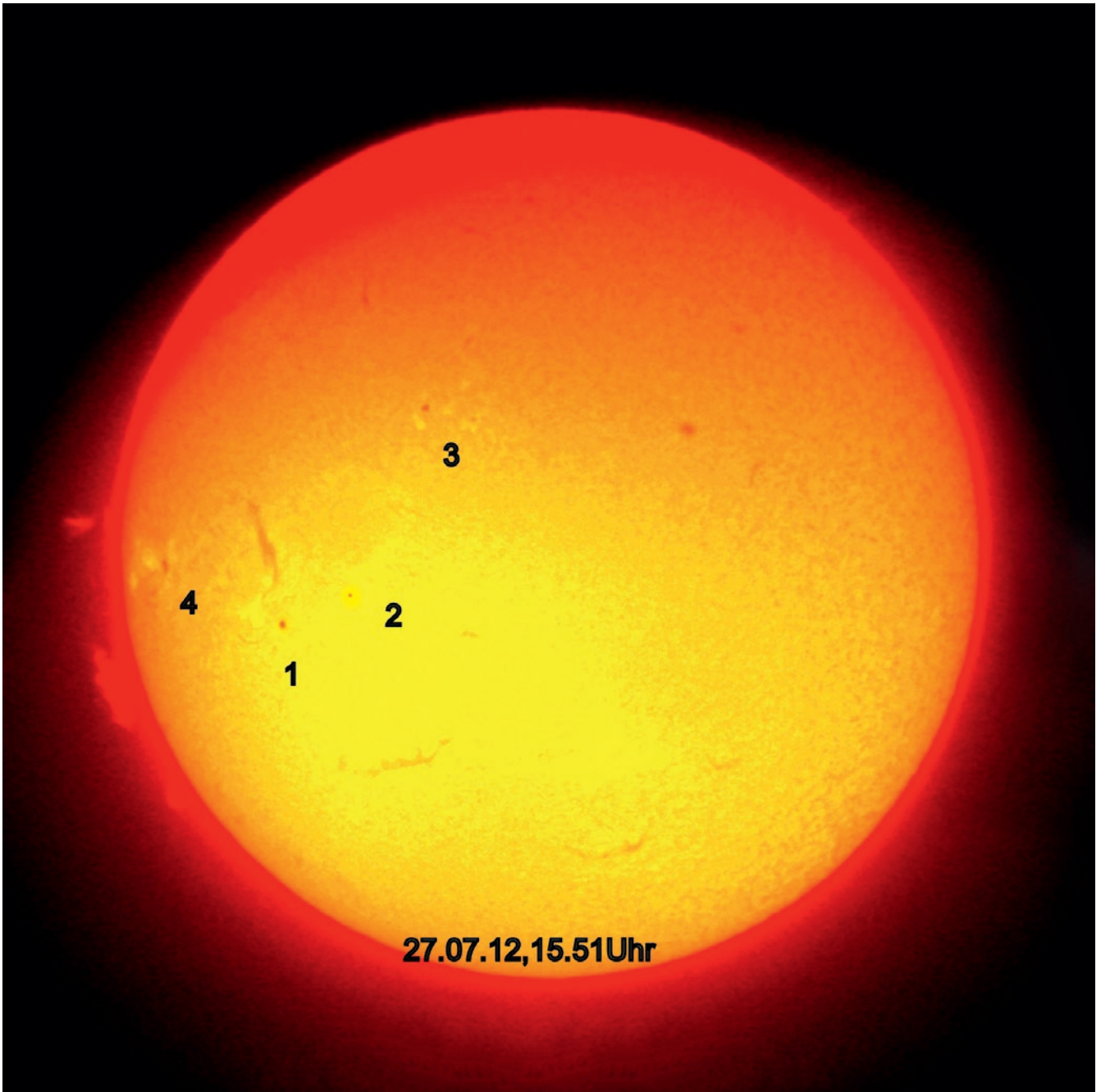


Bild 5

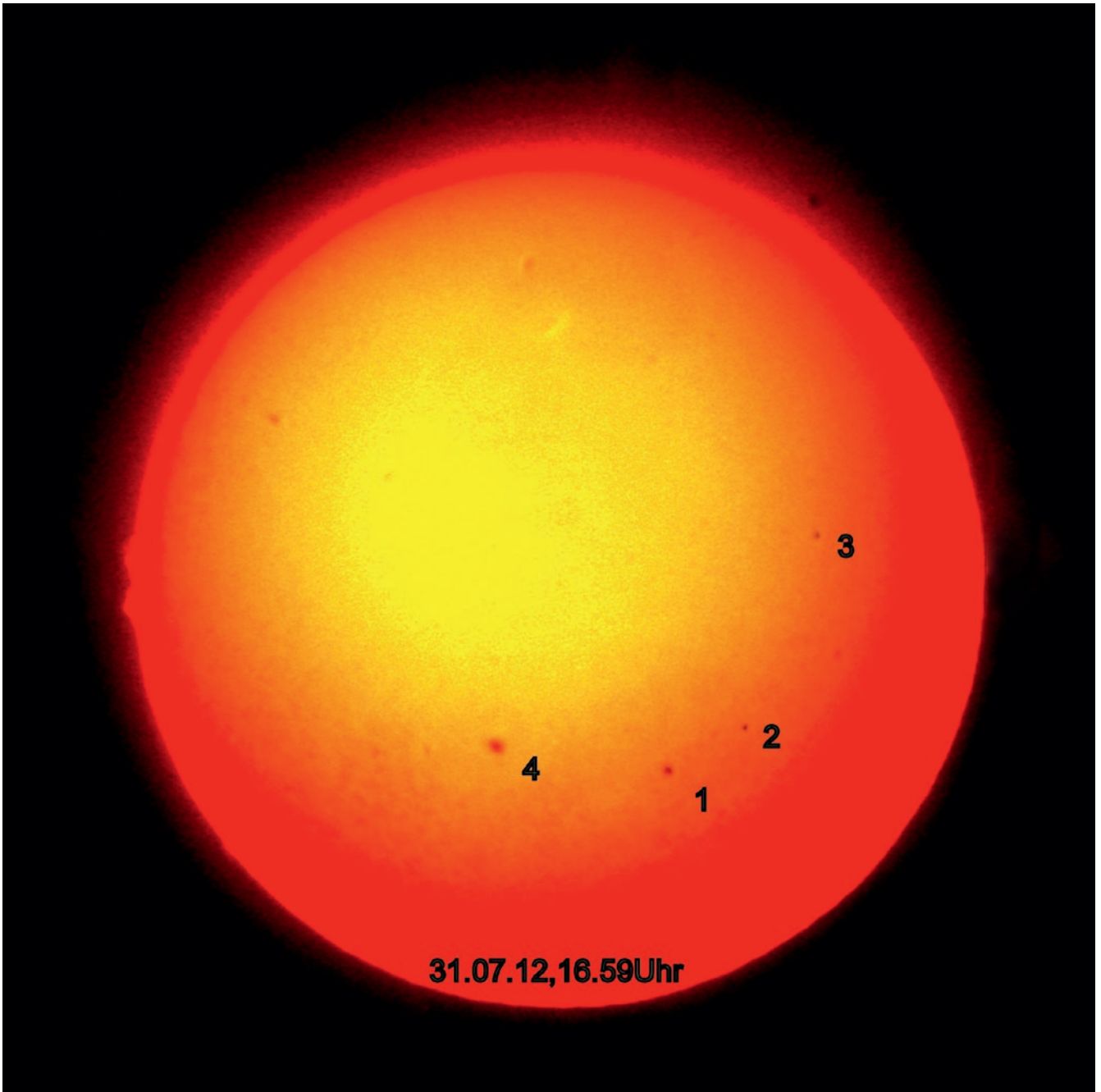
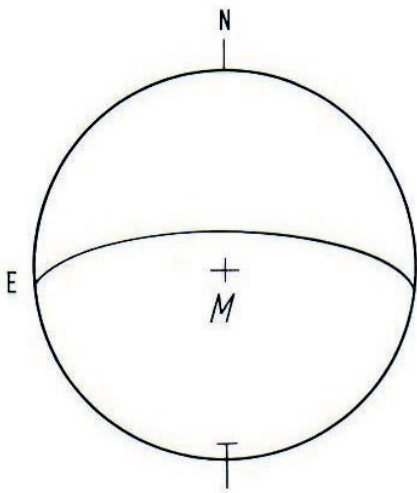
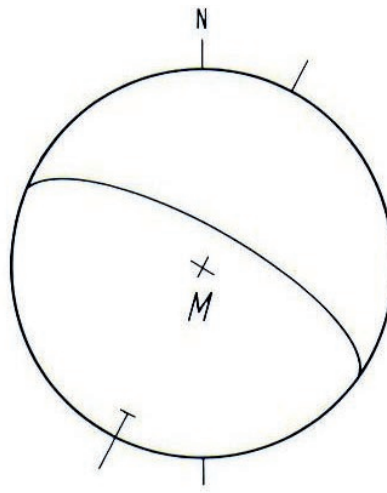


Bild 6

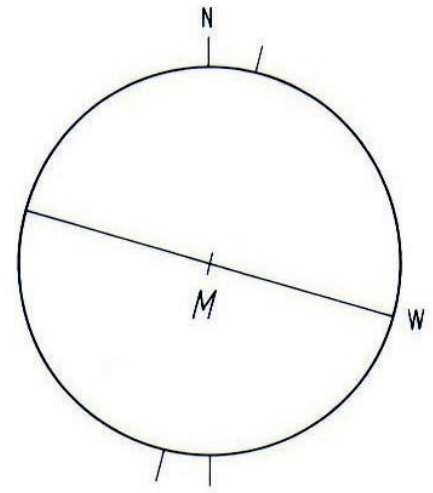
Die Neigung der Rotationsachse der Sonne



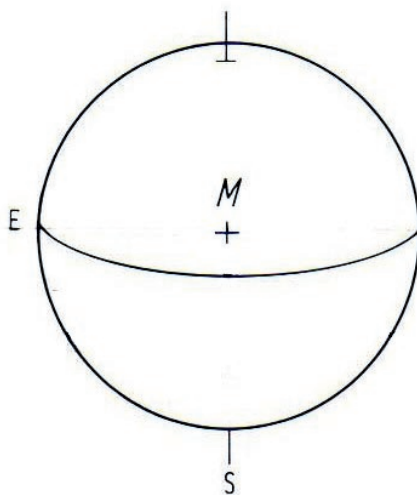
I. 6. Januar
 $P=0^\circ$, $B_0=-4^\circ$



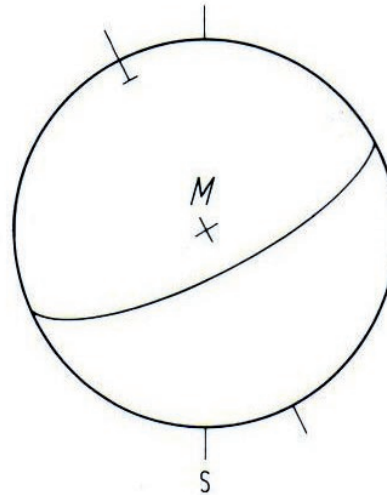
II. 7. April
 $P=-26^\circ$, $B_0=-6^\circ$



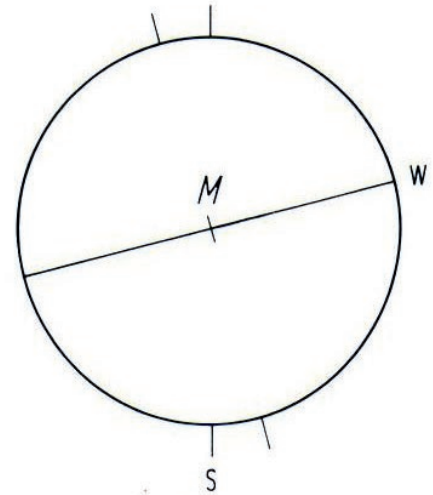
III. 6. Juni
 $P=-14^\circ$, $B_0=0^\circ$



IV. 8. Juli
 $P=0^\circ$, $B_0=+4^\circ$



V. 11. Oktober
 $P=+26^\circ$, $B_0=+6^\circ$



VI. 8. Dezember
 $P=+14^\circ$, $B_0=0^\circ$

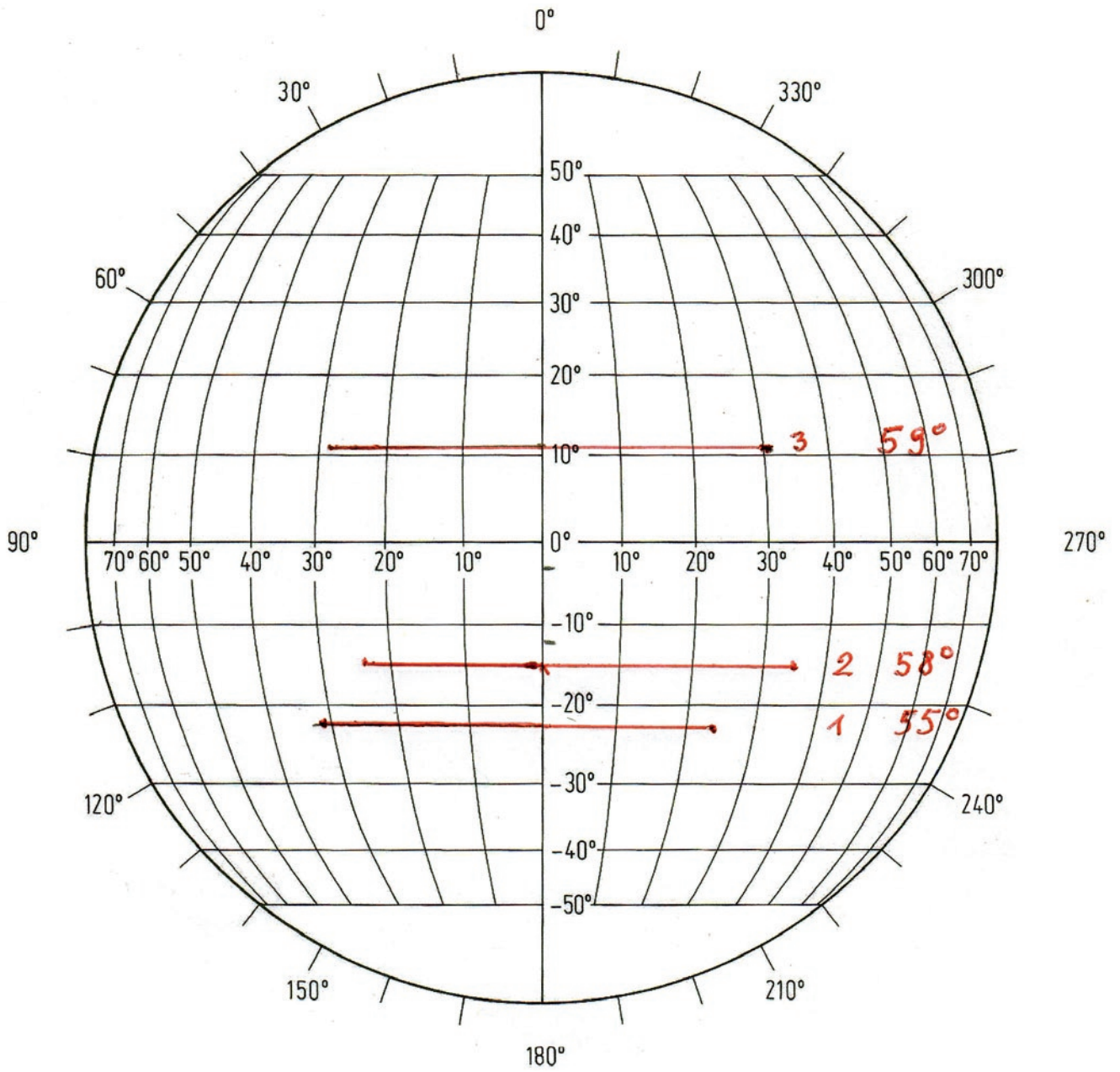


Bild 8

4. Die Berechnungen mit Auswertung

Wir zeichneten die Flecken 1; 2; 3 in einen Kreis mit dem Radius von 7 cm. Die zugehörigen Fotos beziehen sich für alle drei Flecken auf:

1. 27.07.2012 15.51 Uhr (Anfang)
2. 31.07.2012 16.59 Uhr (Ende)

Damit ergeben sich für die Zeit genau 4,04 Tage.

Beim Einzeichnen der Fleckenwege stellten wir Parallelität fest. Aus diesem Grund ließ sich der Äquator als größte Sekante innerhalb der Kreisfläche leicht finden.

Wir drehten aus praktischen Gründen das System (siehe Bild 8). Nun konnten wir endlich mit den wichtigen Berechnungen beginnen.

Sonnenfleck 1

Entfernung zum Äquator - 22°. Der Weg betrug $\alpha = 55^\circ$ entlang des Breitenkreises. Der Radius dieses Kreises wurde mit 635.000 km gemessen.

Damit ergibt sich ein Bogen von:

$$\frac{b}{\alpha} = \frac{u}{360^\circ}$$

$$b = \frac{3.989.823\text{km} \cdot 55^\circ}{360^\circ} = 609.556\text{km}$$

Nun folgt für die Rotationszeit des Sonnenfleckes 1:

$$t_{\text{rot1}} = \frac{4,04\text{d} \cdot 3.989.823\text{km}}{609.556\text{km}} = 26,5\text{d}$$

Sonnenfleck 2

Entfernung zum Äquator - 15°. Der Weg betrug $\alpha = 58^\circ$ entlang des Breitenkreises. Der Radius dieses Kreises wurde mit 670.000 km gemessen.

Damit ergibt sich ein Bogen von:

$$b = \frac{58^\circ \cdot 4.209.734\text{km}}{360^\circ} = 678.235\text{km}$$

Nun folgt für die Rotationszeit des Sonnenfleckes 2:

$$t_{\text{rot2}} = \frac{4,04\text{d} \cdot 4.209.734\text{km}}{678.235\text{km}} = 25,1\text{d}$$

Sonnenfleck 3

Entfernung zum Äquator + 12°. Der Weg betrug $\alpha = 59^\circ$ entlang des Breitenkreises. Der Radius wurde mit 685.000 km gemessen.

Damit ergibt sich ein Bogen von:

$$b = \frac{59^\circ \cdot 4.303.982\text{km}}{360^\circ} = 705.375\text{km}$$

Nun folgt für die Rotationszeit des Sonnenfleckes 3:

$$t_{\text{rot3}} = \frac{4,04\text{d} \cdot 4.303.982\text{km}}{705.375\text{km}} = 24,7\text{d}$$

Damit ergeben sich folgende Geschwindigkeiten:

Sonnenfleck 1:

$$v_1 = \frac{3.989.823\text{km}}{26,5\text{d}} = 6273,3 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,74 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Entfernung vom Äquator - 22°

Sonnenfleck 2:

$$v_2 = \frac{4.209.734\text{km}}{25,1\text{d}} = 6988,3 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,94 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Entfernung zum Äquator - 15°

Sonnenfleck 3:

$$v_3 = \frac{4.303.982\text{km}}{24,7\text{d}} = 7260,4 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2,02 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Entfernung zum Äquator + 12°

5. Ergebnisse

1. Unsere Sonne rotiert.
2. Die Rotation unserer Sonne ist differenziell und abhängig vom Breitengrad. Am Äquator ist die Rotationszeit am geringsten. Sie nimmt mit wachsenden Breitengraden zu. So beträgt sie bei 12° etwa 24,7 d, bei -15° beträgt sie etwa 25,1 d und bei -22° etwa 26,5 d.

Setzt man in der näheren Umgebung Linearität zwischen Breitengrad und Rotationszeit voraus, so kommt man zum Ergebnis:
Bei 10° beträgt die Rotationszeit etwa 24 d und bei 30° etwa 27,3 d.
3. Die Rotationsgeschwindigkeiten sind am Äquator am größten. Sie betragen in dieser Region etwa 2 km/s. Um den 15. Breitengrad sinkt die Rotationsgeschwindigkeit auf etwa 1,9 km/s. Um den 22. Breitengrad beträgt sie nur noch 1,74 km/s.

6. Abschließende Bemerkungen

Wenn man die Fleckenuntersuchungen in der Sonnenmitte durchführt kommt man zu brauchbaren Ergebnissen. Dabei ist die Dauer von etwa vier Tagen optimal, weil die Flecken maximal 60° in der Länge überwinden. Diese Bedingungen beeinflussen wesentlich die Ergebnisse.

Vergleicht man unsere Ergebnisse mit denen in der Fachliteratur, so liegen die Abweichungen in der Umgebung vom 12. Breitengrad bei etwa -5 %, vom 15. Breitengrad bei etwa -4,56 %, vom 22. Breitengrad bei etwa +0,37 %.

Beim 30. Breitengrad geht die Abweichung gegen Null.

Die Abweichungen in der Äquatorgegend sind objektiv mit der Neigung der Rotationsachse zu begründen. Drückt man diesen Sachverhalt positiv aus, so folgt:

„Möchte man die Rotationszeit unserer Sonne in Abhängigkeit vom Breitengrad auf weniger als 5% Abweichung genau bestimmen, dann sollte man die Messungen in der Sonnenmitte im Zeitraum von maximal vier Tagen durchführen. Für diesen Zeitraum und der angegebenen Fehlergrenze ist dann sogar die Achsenneigung zu vernachlässigen. Die Berechnungen vereinfachen sich dann wesentlich.“

Danksagung

Durch die Unterstützung des „Freundeskreis STERNWARTE“, die Schulleitung unserer Schule und das Patronat war die wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Astronomie wieder möglich geworden. Damit waren die äußeren Bedingungen für erfolgreiche Untersuchungen gegeben.

Unser Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. Werner, der unser Projekt stets hilfreich in der Beratung unterstützte. Damit wurden die Ergebnisse unserer Arbeit in eine Form gebracht, die durch diese Broschüre einer breiten Öffentlichkeit zugänglich wird.

Herr Professor M. Hirt begleitete unser Projekt durch technische und fachliche Beratung. Vielen Dank.

Ein Dank gilt den Eltern unserer Gruppe. Sie ermöglichten die Beobachtungen auch zu den ungewöhnlichsten Tageszeiten. Die Summe dieser wirksamen Kräfte erzeugt in der Tat die optimalen Experimentierbedingungen.

Diese Menschen reden nicht, sondern sie packen mit an und fragen: „Wie kann ich helfen?“ Dadurch verschwindet die Mauer zwischen Schülern, Eltern und Lehrern.

Die Atmosphäre ist gesund. Nur auf diesem Boden kann das Feuer der wissenschaftlichen Arbeit entzündet werden.

Dr. rer. nat. Hartwig Göpfert
Leiter der Gruppe „Jugend forscht“ an der DS Málaga
Marbella, 01.10.2012



DEUTSCHE SCHULE
COLEGIO ALEMÁN
JUAN HOFFMANN



Exzellente
Deutsche
Auslandsschule