Über einen persönlichen Fehler beim Messen der Krümmung von Spektrallinien.

Von P. Kempf.

Für die Ausmessung der mit dem Spektroheliographen erhaltenen Sonnenaufnahmen bedurfte ich der Kenntnis der Krümmung der Spektrallinien. Da ich nämlich anfangs mit einem geraden ersten Spalte arbeitete, so müssen für diese Aufnahmen die auf der Sonnenscheibe gemessenen Positionen um den Betrag der Linienkrümmung verbessert werden. Im prismatischen Spektrum erreicht die Krümmung der Linien bei längerem Spalte bekanntlich sehr erhebliche Beträge. In dem Potsdamer Spektroheliographen sind aber zur Erzeugung der Spektren nur Gitter verwendet worden, sodaß sich die Linienkrümmung in wesentlich geringeren Grenzen hält. Immerhin darf man sie auch hier nicht vernachlässigen, und sie mußte daher mit einer hinreichenden Genauigkeit ermittelt werden.

Die Bestimmung der Krümmung wurde auf dem für die Ausmessung der Sonnenphotographien benutzten Meßapparate ausgeführt. Derselbe *) ist mit einem Glasnetz versehen, welches unmittelbar auf der Schicht der zu messenden Platte aufliegt. Die Distanz der Netzlinien voneinander beträgt 2 mm; der Abstand des zu messenden Punktes von der nächsten Netzlinie wird mittels einer Mikrometerschraube bestimmt, für welche $1^r = 1 \text{ mm}$ ist, und deren Trommel bis auf 1μ abgelesen werden kann. In der beigegebenen Figur, in der die Krümmung der Linien stark übertrieben wieder gegeben ist, sind die gemessenen Strecken verstärkt gezeichnet. Das Meßmikroskop ist mit einem Doppelfaden versehen (Distanz der Fäden = 0.3 mm), mit welchem sich die Einstellung auf die Netzlinien sehr genau ausführen läßt. Die Einstellung auf den Schnittpunkt der gekrümmten Spektrallinie mit der horizontalen Netzlinie dagegen erfolgt wesentlich sicherer mit einem einzelnen Faden des Doppelfadens, wie in der Figur 2 angedeutet ist.

Der Sonnendurchmesser beträgt auf meinen Aufnahmen nicht ganz 30 mm; für die Bestimmung der Linienkrümmung stand daher nur eine Höhe der Linien von 28 mm zur Verfügung. Gewöhnlich wurden die Messungen an 11 symmetrisch zum Scheitelpunkte der Krümmung verteilten Stellen der Linien ausgeführt. Die auszumessenden Spektroheliographenaufnahmen sind sämtlich im Lichte der *K*-Linie 4. Ordnung erhalten; die Linienkrümmung mußte also auch für diese Stelle ermittelt werden. Da sich aber die *K*-Linie selbst zur Messung nicht eignet, wurden gewöhnlich die folgenden drei Linien benutzt:

3923.1 *Fe*, 3928.1 *Fe*, 3944.2 *Al*,

welche sämtlich auf den Aufnahmen scharf und kräftig genug sind, um sichere Einstellungen zu gestatten.

Die Aufnahmen sind mit drei verschiedenen Gittern ausgeführt, von denen die Gitter 1 und 3 in ihren Abmes-

sungen und Strichdistanzen genau gleich waren (14436 Linien auf den englischen Zoll; geteilte Fläche $53 \times 80 \text{ mm}$), während Gitter 2 erheblich kleiner war ($36 \times 49 \text{ mm}$), aber ebenfalls sehr nahe die gleiche Strichdistanz besaß.

Die an den drei Linien erhaltenen Messungen wurden zu Mittelwerten zusammengefaßt und diese nach der Formel $x = a + by + cy^2$ mittels der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Für den vorliegenden Zweck interessiert nur die Konstante c , welche die auf den Scheitelpunkt der Krümmungspare bezogenen Beträge der Linienkrümmung gibt. Wird y in Millimetern ausgedrückt, x dagegen in μ , so wird c für meine Aufnahmen sehr nahe = 0.8.

1.

2.

Es stellte sich nun gleich bei den ersten Messungen heraus, daß für c je nach der Lage der Platte unter dem Mikroskop merklich verschiedene Werte gefunden wurden, und zwar für die in Fig. 1 (im umkehrenden Mikroskop) dargestellte Richtung der Linienkrümmung kleinere Werte als bei der Lage 2. Diese Differenz trat bei allen drei Gittern in gleicher Weise zu Tage und blieb auch bei den über eine längere Reihe von Jahren verteilten Messungen unverändert. Die folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung der einzelnen Bestimmungen von c . Ich bemerke dazu noch, daß der mittlere Fehler eines Wertes von c , aus

*) Eine eingehende Beschreibung des Apparates findet sich in den Publikationen des Astroph. Observatoriums Bd. IV, Teil 2, S. 489.

den bei der Ausgleichung übrigbleibenden Fehlern berechnet, bei dem Gitter 1, welches von geringerer Güte ist, ± 0.035 beträgt, bei den beiden anderen Gittern, die wesentlich besser sind und sehr schöne Spektren liefern, ± 0.020 .

Gitter	Datum der Messung	Platte Nr.	ϵ		Mittel	$\epsilon_1 - \epsilon_2$
			Lage 1	Lage 2		
1	1899 Juni	117	0.75	0.78	0.77	-0.03
		119	76	88	82	-12
		122	71	85	78	-14
		123	74	90	82	-16
		Mittel:	0.74	0.85	0.80	-0.11
2	1899 Juni	217	0.69	0.79	0.74	-0.10
		226	75	74	74	+1
		229c	71	79	75	-8
		229d	70	78	74	-8
		Mittel:	0.71	0.77	0.74	-0.06
3	1900 Jan.	349	0.73	0.83	0.78	-0.10
		370	75	89	82	-14
		371	72	85	79	-13
		372	68	95	81	-27
		Mittel:	0.72	0.88	0.80	-0.16
3	1903 Nov.	413	0.72	0.88	0.80	-0.16
		425	74	90	82	-16
		431	70	93	81	-23
		435	77	88	83	-11
		438	76	93	84	-17
3	1907 März	Mittel:	0.74	0.90	0.82	-0.16
		1397	0.73	0.89	0.81	-0.16
		1397	74	84	79	-10
		1398	79	81	80	-2
		1405	79	80	80	-1
3	1907 Dez.	1406	74	80	77	-6
		Mittel:	0.76	0.83	0.79	-0.07
		1397	0.74	0.85	0.79	-0.11
		1405	75	82	79	-7
		Mittel:	0.75	0.84	0.79	-0.09
3	1912 April	1397	0.74	0.87	0.80	-0.13
		1398	79	87	83	-8
		1405	81	83	82	-2
		1406	76	77	77	-1
		413	73	91	82	-18
		425	76	93	85	-17
		Mittel:	0.76	0.86	0.81	-0.10

Aus der letzten Spalte geht hervor, daß an der Realität der Erscheinung nicht gezweifelt werden kann. Von den 30 Differenzen zeigt nur eine einzige das positive Vorzeichen, alle übrigen sind negativ. Die Beträge schwanken bei diesen von 0.01 bis 0.27. Diese Unterschiede sind nicht ausschließlich als Messungsfehler aufzufassen; sie sind mindestens zum Teil dem mitunter etwas verschiedenen Aussehen der gemessenen Linien auf den einzelnen Platten zuzuschreiben. So gibt z. B. die Platte Nr. 1397, die im ganzen viermal zu

drei verschiedenen Zeiten gemessen ist, die folgenden untereinander sehr gut übereinstimmenden Werte:

Datum	ϵ_1	ϵ_2	Mittel	$\epsilon_1 - \epsilon_2$
1907 März	0.73	0.89	0.81	-0.16
1907 »	0.74	0.84	0.79	-0.10
1907 Dez.	0.74	0.85	0.79	-0.11
1912 April	0.74	0.87	0.80	-0.13
Mittel:	0.74	0.86	0.80	-0.12

Der reine Messungsfehler dürfte hiernach sogar als recht klein anzusehen und die größeren Schwankungen in der Tat den einzelnen Platten zur Last zu legen sein. So ergeben z. B. die Platten Nr. 413 und Nr. 425 besonders große, Nr. 1398, 1405, 1406 besonders kleine Werte für $\epsilon_1 - \epsilon_2$. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes darf aus der obigen Tabelle wohl der Schluß gezogen werden, daß meine Messungen eine Veränderlichkeit des persönlichen Auffassungsfehlers mit der Zeit nicht erkennen lassen.

Die beiden Gitter 1 und 3 zeigen offenbar genau das gleiche Verhalten. Ob der etwas geringere Wert von ϵ und der Differenz $\epsilon_1 - \epsilon_2$, der sich bei dem Gitter 2 ergibt, wirklich eine reelle Abweichung darstellt oder durch die geringe Zahl der benutzten Platten zu erklären ist, wäre erst durch eine größere Reihe von Messungen zu prüfen. Läßt man sie außer Betracht und faßt die übrigen 26 Bestimmungen zu Mittelwerten zusammen, so folgt:

$\epsilon_1 =$	0.75	m. F. = ± 0.006
$\epsilon_2 =$	0.86	0.010
Mittel =	0.80	0.004
$\epsilon_1 - \epsilon_2 =$	-0.12	0.013

Aus diesen Zahlen ergeben sich z. B. für eine Entfernung vom Scheitelpunkt der Krümmung von 5, 10, 15 und 20 mm die folgenden Beträge:

y	Krümmung der Linien	Auffassungsfehler
5 mm	0.020 mm	0.001 mm
10 »	0.080 »	0.006 »
15 »	0.180 »	0.013 »
20 »	0.320 »	0.024 »

Um festzustellen, ob andere Beobachter den gleichen Auffassungsfehler begehen wie ich, bat ich seinerzeit Herrn Dr. *Schweydar*, der in den Jahren 1903 und 1904 am Astrophysikalischen Observatorium tätig war, ebenfalls eine Anzahl von Messungen auszuführen. Er erhielt zunächst (1903 Nov.) mit Gitter 3 die folgenden Werte:

Platte Nr.	ϵ_1	ϵ_2	Mittel	$\epsilon_1 - \epsilon_2$
413	0.77	0.87	0.82	-0.10
431	0.74	0.91	0.82	-0.17
435	0.76	0.81	0.78	-0.05
438	0.74	0.90	0.82	-0.16
Mittel:	0.75	0.87	0.81	-0.12

also dem Sinne und Betrage nach in guter Übereinstimmung mit meinen Resultaten. Herr Dr. *Schweydar* hatte diese Messungen in vollständiger Unkenntnis des zu erwartenden Fehlers, also gänzlich unbeeinflusst, ausgeführt. Etwas später führte er eine weitere Messungsreihe durch, die die folgenden Resultate lieferte:

Platte Nr.	c_1	c_2	Mittel	$c_1 - c_2$
856	0.80	0.81	0.80	-0.01
860	0.77	0.81	0.79	-0.04
861	0.80	0.83	0.81	-0.03
862	0.81	0.80	0.80	+0.01
Mittel:	0.79	0.81	0.80	-0.02

Hier ist also bei Kenntnis des zu begehenden Fehlers derselbe fast zum Verschwinden gebracht worden, im Gegensatz zu meinen Messungen, die keine Änderung erkennen lassen.

Der Mittelwert $\frac{1}{2}(c_1 + c_2)$ wird wohl als fehlerfrei angesehen werden dürfen. c_1 ist kleiner als dieser Mittelwert, c_2 größer; d. h. in der Lage 1 wird die Krümmung der Linien zu flach gemessen, in der Lage 2 zu stark. Da bei den obigen Messungen der Faden im Gesichtsfelde des Mikroskops stets bei rechtsgedrehter Schraube von links nach rechts bewegt worden ist, so heißt das also, daß die Schraube beidemal nicht weit genug gedreht, der Faden zu weit nach links gestellt wurde. Die Annahme liegt nahe, daß man einen gleichen Fehler, aber im entgegengesetzten Sinne, begehen wird, wenn man den Faden von rechts nach links bewegt, d. h. die Schraube links dreht. Es müßte dann auch das Mittel $\frac{1}{2}(c_1 \text{ rechtsdrehend} + c_1 \text{ linksdrehend})$ sowie das entsprechende $\frac{1}{2}(c_2 \text{ rechtsdrehend} + c_2 \text{ linksdrehend})$ den richtigen Wert ergeben. Um dies zu prüfen habe ich den letzten Satz der in der obigen Tabelle mitgeteilten Messungen gleichzeitig auch mit linksdrehender Schraube gemessen und dabei die folgenden Resultate erhalten:

1912 April, Gitter 3.				
Platte Nr.	c_1	c_2	Mittel	$c_1 - c_2$
1397	0.83	0.83	0.83	0.00
1398	0.83	0.82	0.82	+0.01
1405	0.81	0.81	0.81	0.00

Potsdam, Astrophysikalisches Observatorium, 1912 Juni 10.

P. Kempf.

Das Zodiakallicht im Monat April. Von F. Schmid.

Im Monat April verschwindet das westliche Zodiakallicht in unseren Breiten schon bald nach Eintritt der Nacht in den Tiefen des Horizontes. Die zunehmende Tageslänge gestattet vor abends 9 Uhr keine Beobachtungen mehr an dieser so hochinteressanten Lichterscheinung, und gar leicht gelangen wir zur Auffassung, daß in unseren Breiten erfolgreiche Untersuchungen nun für längere Zeit ausgeschlossen seien. In diesem Glauben lebte auch ich lange Zeit und schloß meine langjährigen Beobachtungen gewöhnlich mit Ende März ab.

Das Resultat meiner Zodiakallichtbeobachtungen gelangte in verschiedenen Publikationen zur Veröffentlichung¹⁾. Aus ihnen geht hervor, daß ich das Zodiakallicht als ein rein geophysikalisch-optisches Phänomen unserer bedeutend abgeplatteten Erdatmosphäre erkläre. Da auch die sommerliche Nachtdämmerung am Nordhimmel als die Reflexwirkung hoher Atmosphärenschichten aufgefaßt werden muß, so wären Zodiakallicht und dieser nördliche Dämmerungsbogen unserer Breiten miteinander identisch, da uns beide aus hohen Atmo-

Platte Nr.	c_1	c_2	Mittel	$c_1 - c_2$
1406	0.74	0.80	0.77	-0.06
413	0.81	0.81	0.81	0.00
425	0.86	0.75	0.80	+0.11
Mittel:	0.81	0.80	0.81	+0.01

Die obige Annahme bestätigt sich also nicht, vielmehr ist der Unterschied zwischen c_1 und c_2 beim Linksdrehen der Schraube fast ganz zum Verschwinden gebracht. Das Mittel aus diesen beiden Messungen liefert auch den richtigen Wert von c , nicht aber das Mittel aus den beiden mit verschiedener Schraubendrehung bei gleicher Plattenlage erhaltenen Einzelwerten.

Das Ergebnis dieser letzten Messungsreihe ist etwas überraschend. Der persönliche Fehler kommt doch sicherlich dadurch zustande, daß durch die Krümmung der Linie das Auge bei der Auffassung des Schnittpunktes der Spektrallinie mit der Netzlinie in einer bestimmten Richtung abgelenkt wird. Es leuchtet also ohne weiteres ein, daß bei umgekehrter Richtung der Krümmung auch der Auffassungsfehler das Vorzeichen wechselt, und ebenso würde es durchaus plausibel sein, wenn eine Änderung der Richtung der Schraubendrehung auch eine Umkehr des persönlichen Fehlers bewirkte. Die Tatsache aber, daß bei linksdrehender Schraube der Fehler ganz verschwunden ist, deutet darauf hin, daß noch andere Ursachen bei der Entstehung des Fehlers mitwirken.

Jedenfalls zeigen meine Messungen, daß der hier besprochene Fehler unter Umständen Beträge erreicht, die nicht vernachlässigt werden dürfen, und es wird daher für alle Messungen an gekrümmten Linien erforderlich sein, daß sich der Beobachter davon überzeugt, ob seine Auffassung auch von diesem Fehler beeinflusst wird.

sphärenschichten Sonnenlicht bis zur Erde reflektieren. Auch *Newcomb* und *Barnard* sind in neuerer Zeit zu dem Schlusse gekommen, daß das Zodiakallicht an der sommerlichen Norddämmerung mitbeteiligt sei. Um diese Beziehungen genauer zu untersuchen, stellte ich mir die Aufgabe, namentlich das Übergangsstadium des westlichen Zodiakallichts zur sommerlichen Norddämmerung, das in die Zeit der Monate April und Mai fällt, genauer festzustellen.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen dürfte von besonderem Werte sein; denn es zeigt sich im Monat April mit dem Zodiakallichte eine hochinteressante Begleiterscheinung. Über dem versinkenden Zodiakallichte erhebt sich zu dieser Zeit eine weitere, sehr zarte Dämmerungszone, welche die Form des Zodiakallichts nachahmt, also ebenfalls gegen Süden geneigt ist und den inneren Hauptkegel wie ein Mantel von $17^\circ - 25^\circ$ Breite umschließt. Die südliche Begrenzung dieser Dämmerungspyramide erhebt sich vom untergehenden Sternbilde des Orion fast senkrecht in den Westhimmel hinauf, um in der Gegend von Castor und Pollux

¹⁾ 1903. Ein Versuch zur Lösung der Zodiakallichtfrage. Verlag von Raschers Erben, Zürich. — 1908. Ein Versuch zur Lösung der Zodiakallichtfrage. Beiträge zur Geophysik, Bd. 9. — 1911. Neue Beobachtungen über das Zodiakallicht. Beiträge zur Geophysik, Bd. 11.