

Zur Bestimmung der Rotationszeit der Sonne.

Von

Alfred Wolfer.

(Hierzu Tafel I.)

Von mehreren Seiten her sind in den letzten Jahren Untersuchungen darüber angestellt worden, ob das von Carrington aus seinen Beobachtungen der Sonnenflecken abgeleitete, von Faye und Spörer genauer formulierte Rotationsgesetz der Sonne durch die Bewegung der übrigen auf der Sonnenoberfläche sichtbaren Gebilde, zunächst der sog. Fackeln bestätigt werde,¹⁾ und ob es nur als der Ausdruck der Bewegung jener Objekte aufzufassen sei, oder aber für die Bestandteile der ganzen Sonnenoberfläche, bezw. gewisser Schichten derselben gelte.²⁾ Den nach der ersten Richtung gehenden Versuchen habe ich vor kurzem einen weitem hinzugefügt³⁾, welcher sich von jenen durch die Art der Behandlung des Beobachtungsmaterials insofern unterscheidet, als die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne nicht aus den Bewegungen der einzelnen Fackeln selbst, sondern der ganzen Gruppen abgeleitet wird, in welchen diese Gebilde bekanntermassen auftreten. Man macht sich so von gewissen, nicht unzweifelhaften Voraussetzungen über die Dauer und Identität der einzelnen Fackeln unabhängig, und die grössere Unsicherheit, welche den Ortsangaben ganzer Gruppen gegenüber ihren individuellen Bestandteilen der Natur der Sache

1) J. Wilsing. Publ. d. astrophys. Obs. zu Potsdam. Bd. IV.

A. Belopolsky. Mem. spettrosc. vol. 21 und A. N. 3158.

W. Stratonoff. A. N. 3275.

2) N. C. Dunér. Recherches sur la rotation du soleil. Upsal 1891.

H. Crew. On the period of rotation of the sun. Haverford 1889.

3) Astron. Mitteil. Nr. 85. (V. J. S. d. zürch. naturforsch. Ges. Bd. 40).

nach anhaftet, wird durch die nachgewiesene grosse Beständigkeit dieser Gruppen, also durch die Länge des Zeitintervalles, über welches die Bewegung verfolgt werden kann, hinreichend aufgewogen, um den eingeschlagenen Weg als berechtigt, und die in der genannten Untersuchung, wenigstens für die dort behandelte Fackelgruppe gefundene Bestätigung des Rotationsgesetzes als stichhaltig erscheinen zu lassen.

Das Nachfolgende enthält — nach etwas anderer Richtung hin — eine noch allgemeinere Anwendung des damals befolgten Gedankens. Die Veranlassung dazu bot die Zusammenstellung meiner seit Anfang 1887 fortgesetzten Beobachtungen über die heliographische Verteilung der Fackelbildungen auf der Sonnenoberfläche, über deren Organisation man z. B. in Nr. 85 der „Astronomischen Mitteilungen“ näheres angegeben findet. Diese Zusammenstellung sollte in erster Linie Aufschlüsse über die Verteilung der Fackeln nach heliographischer Länge geben; ich hatte deshalb, um von dieser ein übersichtliches Bild auf kleinem Raume zu erhalten, jede einzelne Rotationsperiode durch einen schmalen, nur in der Richtung der heliographischen Länge ausgedehnten Streifen dargestellt, ähnlich wie es früher von Carrington und Spörer in Bezug auf die Verteilung der Fleckengruppen nach heliographischer Breite geschehen ist; es wurden dann in jeder Periode die auftretenden Fackelgruppen durch einfache horizontale Striche bezeichnet, deren Länge die Ausdehnung der Gruppen in der Richtung des Parallels angab, und denen je die mittlere heliographische Breite der Gruppe beigeschrieben war. Hierbei stellte sich zunächst heraus, dass in dem Zeitraum von Anfang 1887 bis Mitte 1889 die sämtlichen Fackelgruppen einer aequatorealen Zone angehörten, deren äusserste Grenzen sich ungefähr 20° nördlich und südlich vom Aequator entfernten, und dass erst von Mitte 1889 an einzelne Fackelgruppen in höhern Breiten (25 — 30°) auftraten. Es liegt darin nur eine Bestätigung der für das Sonnenfleckephänomen längst bekannten Thatsache, dass die nach einem Minimum neu erwachende Thätigkeit in höhern Breiten beginnt, während zugleich die letzten Thätigkeitsgebiete der abgelaufenen Periode in niedern Breiten erlöschen; der enge Zusammenhang, welcher zwischen Fackel- und Fleckenbildungen besteht, erklärt unmittelbar das entsprechende Verhalten der Ersteren.

Das letzte Minimum fiel nach Wolf auf 1889. 6 und diese Epoche entspricht genau dem eben genannten Zeitpunkte; die von August 1889 an in höhern Breiten auftretenden Fackelgruppen würden also die ersten Vorläufer der neuen Thätigkeitsperiode gewesen sein.

Sodann aber zeigte sich die weitere bemerkenswerte Thatsache, dass die Gesamtheit der von 1887—89 in niedern Breiten auftretenden Fackelgruppen mit geringen Ausnahmen sich um zwei ganz bestimmte Stellen der Sonnenoberfläche konzentrierte, welche einander nahe diametral gegenüberstanden, während die von Mitte 1889 an in höhern Breiten sich zeigenden Gruppen in leicht ersichtlicher Weise von diesem Verhalten abwichen und also auch dadurch ihre vollständige Unabhängigkeit von den erlöschenden Thätigkeitsgebieten in der Nähe des Aequators zu erkennen gaben.

Zum Zwecke einer eingehenderen Untersuchung dieser Verhältnisse habe ich das gesamte hiefür in Betracht kommende Beobachtungsmaterial, wie es in meinen heliographischen Karten enthalten ist, in der oben bereits angedeuteten Art zusammengestellt und in der beiliegenden Tafel veranschaulicht. Diese Zusammenstellung beginnt mit Rot. 352, deren Anfang auf 1887 I 23 fällt, und schliesst mit Rot. 391, nämlich 1890 I 10, weil nach dieser Zeit die Thätigkeitsgebiete niederer Breite vollständig erloschen waren. Weggelassen sind in ihr nur die wenigen Gruppen, welche von Rot. 386 (Mitte 1889) an in höheren Breiten auftraten; für alle vorangehenden Rotationen ist sie vollständig, d. h. sie enthält alles, was ich beobachtet habe. In der Tafel entspricht jeder der 4 mm breiten Horizontalstreifen einer Rotationsperiode; die Zahlen am obern und untern Rande bedeuten die in der Richtung der Sonnenrotation, also geocentrisch von Ost nach West gezählten Normallängen, für deren Ableitung der Spörer'sche Rotationswinkel $\xi = 14,2665^\circ$ und die von ihm gewählte Anfangsepoche massgebend sind. Die Zahlen auf den Vertikalseiten geben einerseits die Nummern der einzelnen Rotationsperioden, anderseits ihre Anfangs- und Endepochen an. Jede Fackelgruppe ist durch einen horizontalen Strich bezeichnet, dessen Länge ihrer Ausdehnung in der Richtung des Parallels gleichkommt und dem die mittlere Breite der Gruppe, wie sie aus den detaillierten Ortsverzeichnissen der einzelnen Fackeln durch direkte Mittelbildung folgt, beigeschrieben ist; die

Stärke der Striche deutet einigermaßen die Dichtigkeit an, in welcher die Gruppe mit Fackeln besetzt erschien. Da die eine der beiden Hauptgruppen von Rot. 380 an über den Nullmeridian hinüber greift, so sind die dem letztern im Sinne der Rotation unmittelbar vorausgehenden Einzelgruppen jeweilen in der folgenden Rotationsperiode jenseits des Meridians von 360° nochmals wiederholt worden, wodurch der Sachverhalt sich wesentlich besser überblicken lässt.

In Bezug auf die Vollständigkeit des Materiales ist zu bemerken, dass das Bild einer Fackelgruppe, wie es in den heliographischen Karten vorliegt, ein Mittelresultat aus den bei deren Eintritt und Austritt erlangten Beobachtungen, nämlich aus den heliographischen Ortsbestimmungen aller in der betreffenden Gruppe auftretenden einzelnen Fackeln ist, und da man eine Fackelgruppe in der Nähe des Sonnenraudes immer während 3—4 Tagen verfolgen kann, so sind Unvollständigkeiten nur da vorhanden, wo die Beobachtung Gelegenheiten während längerer Zeit, z. B. einiger Wochen fehlten. Solche Fälle geben sich mehrfach dadurch zu erkennen, dass in der einen oder andern Rotationsperiode die Verbindungsglieder zwischen den in mehreren aufeinanderfolgenden Rotationen wiederkehrenden Fackelgruppen ganz oder teilweise fehlen, und es ist auf dieselben durch die Bemerkung „Keine Beob.“ jedesmal besonders aufmerksam gemacht.

Ein Blick auf die Tafel lässt leicht folgende Thatsachen erkennen:

1. Die vorhandenen Fackelgruppen verteilen sich, wie oben bereits bemerkt wurde, keineswegs gleichmäßig auf die äquatorale Zone, sondern sie bilden zwei vollkommen deutlich geschiedene Hauptgruppen, deren Mittelpunkte um etwas mehr als 180° in der Richtung des Aequators auseinanderliegen. Jede der beiden Gruppen erstreckt sich von ihrer Mitte aus um durchschnittlich 60° nach beiden Seiten hin, umfasst also einen schmalen Gürtel von ca. 120° hel. Länge; es bleiben aber dennoch zwischen ihnen 2 Zwischenräume von je ungefähr 60° Länge, welche nur mit wenigen kleinen Fackelgruppen besetzt sind und die beiden Hauptgruppen hinreichend scharf von einander trennen. In beiden Gruppen herrschen die negativen Breiten vor, die Mittelpunkte beider

- liegen also etwas südlich vom Aequator. Die nähere Vergleichung der einzelnen Fackelgruppen nach ihrer Lage lässt deutlich erkennen, dass manche derselben während einer Reihe aufeinanderfolgender Rotationen bestehen geblieben sind, dass aber immerhin zahlreiche Neubildungen und Auflösungen stattgefunden haben. Die Gruppe in den grössern Normallängen, welche in der Folge mit I bezeichnet ist, erscheint etwas schwächer mit Einzelgruppen besetzt als II und zwar ist die Verschiedenheit nicht einer teilweisen Unvollständigkeit des Materials zuzuschreiben, sondern sie ist reell.
2. In beiden Hauptgruppen zeigt sich eine ausgesprochene, nahe der Zeit proportionale Zunahme ihrer heliographischen Normallängen, also eine scheinbare Ortsveränderung der beiden Gruppen auf der Sonnenoberfläche und zwar für beide in nahe gleichem Betrage. Dieselbe Tendenz lässt sich auch bei der Mehrzahl derjenigen Einzelgruppen wahrnehmen, welche durch mehrere aufeinanderfolgende Rotationen hindurch sich erhalten haben; doch kommen in einigen solchen Fällen auch beträchtliche Abweichungen von dieser Regel vor, am auffälligsten bei der in den Rotationen 369—380 in $L = \text{ca. } 330^\circ$ und $B = \text{ca. } +15^\circ$ auftretenden Gruppe.

Es hat sich somit spätestens von 1887 an bis zum Erlöschen der Thätigkeit in niedern Breiten die Bildung von Fackeln um zwei Hauptcentren gruppiert, welche in unmittelbarer Nähe des Aequators einander nahe diametral gegenüber lagen, und in deren Umgebung die Ursache, auf welche die Entstehung der Fackeln zurückzuführen ist, sich während der ganzen 3 Jahre in wenig veränderter und erst in der zweiten Hälfte von 1889 abnehmender Stärke erhalten haben muss. Nur im kleinern Teil der in diesen beiden Gebieten auftretenden Fackelgruppen fanden zugleich Fleckenbildungen statt und diese würden weder ihrer Zahl, noch ihrer Beständigkeit nach hinreichen, um für sich allein eine ähnliche systematische Verteilung, wie sie für die Fackeln konstatiert ist, erkennen zu lassen. Es liegt darin ein neuer Hinweis darauf, ein wie viel vollständigeres und deutlicheres Bild, als es durch das Fleckenphänomen allein geboten wird, man durch die Fackelbildungen von der Verteilung und dem zeitlichen Verlaufe der Sonnenthätigkeit erlangt.

Obschon man dem oben Gesagten zufolge in den beiden Hauptgebieten nicht mit Objekten zu thun hat, welche während des ganzen dreijährigen Zeitraumes bestehen geblieben sind, und wegen der verhältnismässig weiten Verbreitung der Einzelgruppen innerhalb der Hauptgebiete auch nicht an eine bestimmte Lokalisierung ihrer Ursache zu denken ist, so liegt die Erklärung der systematischen Zunahme der Normallängen beider Gebiete immerhin nahe. Sie ist unter allen Umständen darin zu suchen, dass der rein willkürlich angenommene Rotationswinkel der Sonne, welcher den Normallängen zu Grunde liegt, nicht genau derjenigen Rotationsgeschwindigkeit entspricht, welche durch die mittlere Bewegung des gesamten hier betrachteten Fackelkomplexes ausgedrückt ist; diese Geschwindigkeit war, da ein Vorrücken im Sinne der Normallängen, also im Sinne der Sonnenrotation stattgefunden hat, etwas grösser als der nach Spörer angenommene tägliche Wert von $14,2665^\circ$. Ob diese grössere Geschwindigkeit nur den Fackelgruppen selbst, oder ihrer erzeugenden Ursache oder endlich der ganzen Zone der Sonnenoberfläche, in welcher jene auftraten, zuzuschreiben ist, lässt sich nicht mit Sicherheit entscheiden; der Umstand aber, dass der allgemeine Charakter der Bewegung nicht bloss je innerhalb der beiden Hauptgruppen; sondern auch für beide Gruppen derselbe ist, macht die letzte Annahme etwas wahrscheinlicher. Eine Untersuchung über die Abhängigkeit der Rotationsbewegung von der heliographischen Breite kann hier nicht beabsichtigt sein; wenn auch bei einigen, in mehreren Rotationen wiedergekehrten Fackelgruppen ein etwas verschiedener, von der Breite abhängiger Gang in der Aenderung der mittleren Normallänge angedeutet erscheint, so ist deren Zahl doch zu gering und der Unterschied in der Breite zu klein, als dass sich zuverlässige Resultate gewinnen liessen. Neben der Ermittlung der ungefähren heliographischen Lage der Mittelpunkte beider Hauptgruppen, in deren Umgebung die Ursache der Fackelbildung vorwiegend bestanden haben muss, kann es sich also nur um die Bestimmung desjenigen mittlern Rotationswinkels handeln, welcher der scheinbaren Bewegung der gesamten hier behandelten Fackelgruppen am besten entspricht, d. h. durch welchen die Normallängen der Mittelpunkte beider Gruppen für das betrachtete Zeitintervall nahe konstant werden. Eine derartige Zusammen-

fassung wird um so eher gestattet sein, als in unmittelbarer Nähe des Aequators die Aenderung des Rotationswinkels mit der Breite nach Massgabe der bekannten Formeln von Spörer und Faye sehr langsam stattfindet; zugleich fällt auch die Notwendigkeit einer getrennten Behandlung der nördlich und südlich vom Aequator auftretenden Fackelgruppen weg.

Es würde nicht schwierig sein, auf Grund der graphischen Darstellung, wie sie in der Tafel vorliegt, durch eine einfache Konstruktion schon zu nahe richtigen Werten für die gesuchten Grössen zu gelangen; ich habe zum Zwecke einer vorläufigen Orientierung diesen Weg auch wirklich eingeschlagen, dann aber für die definitive Bestimmung eine Ausgleichung durch Rechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt. Hierbei war einige Rücksicht auf die Unterschiede im Umfang und der Dichtigkeit der einzelnen Fackelgruppen zu nehmen und ich habe als Gewicht einer solchen das Produkt aus der ihrem Umfange entsprechenden, nach Quadraten von 10° Seite abgeschätzten Fläche und der nach 3 Stufen bemessenen Dichtigkeit, mit welcher das betreffende Gebiet von Fackeln besetzt war, angenommen. Mittlere Länge und Breite jeder Fackelgruppe sind durch wirkliche Mittelbildung aus den detaillierten Ortsverzeichnissen der einzelnen Fackeln gebildet, hätten übrigens auch mit nahe gleicher Sicherheit aus den heliographischen Originalkarten entnommen werden können, da die Verteilung der Fackeln innerhalb einer Gruppe im allgemeinen keine allzugrossen Ungleichmässigkeiten zeigt. Das folgende Verzeichnis enthält die der Rechnung zu Grunde liegenden Zahlen und zwar sind in dasselbe nur diejenigen Gruppen aufgenommen, deren Mittelpunkte nicht mehr als ca. $\pm 30^\circ$ in Länge von der Mitte der Hauptgruppen sich entfernten; hierüber gab eine provisorische Einzeichnung der ungefähren Mittellinien beider Hauptgruppen genügenden Anhalt.

<i>Rot.</i>	<i>Hauptgruppe I</i>			<i>Hauptgruppe II</i>		
	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>p</i>	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>p</i>
352	252 ⁰	- 4 ⁰	2	149 ⁰	-11 ⁰	1
353	289	+12	6	38	-10	2
	255	- 5	6	64	- 6	1
354	290	+11	4	37	-13	2
	259	0	2	42	- 9	1
	264	-10	4	15	-12	1
	199	+ 3	1			

Rot.	Hauptgruppe I			Hauptgruppe II		
	L	B	p	L	B	p
355	297 ⁰	+14 ⁰	2	111 ⁰	+13 ⁰	2
	258	- 4	3	81	- 6	4
	249	+13	3	41	- 9	2
	216	+ 3	2	36	+13	6
356	338	- 2	1	87	- 8	3
	306	+12	1	33	+14	4
	283	- 9	2	17	-12	4
	272	- 3	2			
	226	+ 2	1			
	227	- 8	1			
357	297	-10	15	132	- 6	3
	259	- 1	6	91	- 8	6
	231	+ 1	3	19	-10	6
	192	+16	4			
358	346	-20	4	97	- 7	9
	287	-10	15	20	-13	9
	247	+ 6	12			
359	336	-18	6	63	+ 6	1
	292	-12	15	16	-15	4
	290	+11	1			
	258	+ 5	2			
360	287	- 8	12	108	-11	15
	261	+ 9	9	97	+20	2
				72	+ 3	4
				73	- 6	3
			30	- 8	4	
361	299	- 8	12	—	—	—
362	330	+ 1	2	126	- 6	2
	326	-12	1	63	+10	4
	303	- 5	1	62	-11	4
	282	- 8	4			
	244	+ 3	2			
	350	-19	2	138	0	1
363	317	- 4	4	121	- 9	2
	291	- 7	12	117	-15	2
	270	0	2	44	- 9	12
	317	- 3	1	127	+ 4	1
364	293	-10	2	129	- 6	1
	267	- 8	4	89	- 4	6
	241	-12	2	57	- 5	2
				32	+11	1
				33	-11	1
365	338	-12	2	122	- 6	1
	286	0	1	94	- 8	1
	266	-11	6			
366	347	-10	1	118	- 6	6
				78	- 8	1
				53	- 9	1
				125	- 6	12
367	301	0	1	41	-11	3
	259	-18	4			
	246	+11	2			
368	347	+ 4	2	163	- 6	1
	268	-20	1	121	- 5	12
				68	- 9	6

Rot.	<i>Hauptgruppe I</i>			<i>Hauptgruppe II</i>		
	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>p</i>	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>p</i>
369	357 ⁰	- 3 ⁰	2	152 ⁰	- 7 ⁰	6
	328	-14	2	123	- 5	12
	322	+ 1	4	89	- 6	9
370	333	-16	1	177	- 6	2
				152	- 6	4
				139	0	2
				119	7	6
				81	-11	6
371	328	-11	1	186	-12	1
				312	+ 6	2
				292	- 7	1
				133	- 6	6
				107	- 5	9
372	340	-14	4	81	- 9	9
				151	- 1	2
				121	- 7	6
				80	- 8	9
				188	-12	1
373	306	- 3	1	113	- 5	6
				82	- 7	9
374	350	0	6	179	- 8	14
				331	-13	9
375	331	-16	2	159	- 6	4
				150	+ 8	2
				79	- 6	4
376	338	-17	2	61	+ 8	4
				178	- 2	6
				84	- 8	10
377	329	-10	16	176	- 4	4
				142	- 4	12
				89	- 6	2
378	328	-12	4	154	- 6	9
				67	+ 7	2
379	313	-14	3	189	- 5	4
				151	-10	10
				109	- 5	2
380	322	-16	1	154	-10	10
				106	- 8	6
				90	+ 5	6
381	---	---	---	158	- 8	5
				100	+ 6	4
				163	- 6	4
382	390	- 7	3	109	+ 6	4
				356	0	1
383	361	- 3	6	168	-10	1
				199	-10	2
384	361	- 5	3	169	- 8	8
				217	- 7	6
385	369	- 2	2	174	- 9	15
				351	- 8	4
				330	-12	1
386	426	+ 1	6	238	-10	1
				373	- 5	1
				337	- 5	6
387	---	---	---	221	-11	9
				175	- 8	9
				139	-13	4

Rot.	Hauptgruppe I			Hauptgruppe II		
	L	B	p	L	B	p
388	441°	+ 5°	2	258°	-11°	1
	412	- 8	1	216	- 9	1
	383	+19	1	182	- 9	2
389	392	- 3	1	—	—	—
390	—	—	—	132	- 2	1
391	—	—	—	—	—	—

Ordnet man zunächst die einzelnen Fackelgruppen nach ihrer heliographischen Breite in Zonen von 5 zu 5°, so erhält man für ihre Verteilung in Breite folgende Uebersicht (die erste Zahl ist je die Breite, die zweite das Gewicht p):

Gruppe I								Gruppe II								
+				-				+				-				
20-15	15-10	10-5	5-0	0-5	5-10	10-15	15-20	20-15	15-10	10-5	5-0	0-5	5-10	10-15	15-20	
16.4	14.2	9.9	4.2	0.2	5.3	10.4	16.1	20.2	14.4	8.2	4.1	0.1	5.2	7.6	10.2	15.4
19.1	13.3	8.4	3.1	0.2	5.1	10.15	16.2	13.2	8.4	3.4	1.2	5.12	7.6	10.6	15.2	
	12.6	6.12	3.2	0.1	5.6	10.15	16.1	13.6	7.2	0.2	2.6	5.12	7.9	10.11		
	12.1	6.2	3.2	1.6	5.6	10.2	17.2	11.1	6.1	2.1	5.9	7.6	10.10			
	11.4	5.2	2.1	2.2	5.1	10.1	18.6	10.4	6.4	4.6	5.6	8.3	10.1			
	11.1	5.2	1.3	2.1	7.3	10.16	18.4		6.4	4.4	5.4	8.6	10.2			
	11.2		1.2	3.6	7.12	11.6	19.2		5.6	4.12	5.2	8.4	10.1			
			1.4	3.1	7.1	11.1	19.1				6.1	8.1	11.1			
			1.6	3.2	8.4	12.4	20.1				6.4	8.1	11.15			
			0.1	3.1	8.1	12.15	20.4				6.3	8.9	11.4			
			0.1	3.2	8.1	12.1					6.3	8.14	11.1			
			0.6	3.1	8.12	12.2					6.2	8.4	11.3			
				3.1	8.12	12.2					6.1	8.10	11.6			
				4.2	8.4	12.4					6.1	8.6	11.9			
				4.3	8.4	13.9					6.6	8.5	11.1			
				4.4	9.2	14.2					6.12	8.8	12.1			
						14.4					6.1	8.9	12.4			
						14.3					6.9	9.1	12.1			
											6.2	9.2	12.2			
											6.4	9.2	12.1			
											6.6	9.12	13.2			
											6.4	9.1	13.9			
											6.4	9.6	13.4			
											6.2	9.9				
											6.9	9.15				
											6.4	9.6				
											7.9	9.1				
											7.6	9.2				

Es liegt also die weit überwiegende Mehrzahl der Gruppen zwischen den Breiten +15° und -15°, jedoch herrscht die südliche Hälfte der Zone vor, wie sich auch in den Mittelwerten zeigt; man findet nämlich mit Berücksichtigung der Gewichte:

	Gruppe I	Gruppe II
Mittlere heliogr. Breite	-5.1°	-6.2°
und andererseits für den mittleren Abstand vom Aequator ohne Rücksicht auf das Zeichen	+8.6°	+7.9°

Für die weitere Rechnung habe ich nun innerhalb jeder Rotationsperiode für jede der beiden Gruppen I und II die oben aufgeführten Normallängen der Einzelgruppen nach Massgabe ihrer Gewichte, ohne Rücksicht auf die betreffenden Breiten je zu einem Mittel vereinigt, und diese Mittel in der folgenden Tabelle, nebst den zugehörigen resultierenden Gewichten zusammengestellt.

Gruppe I			Rot.	<i>n</i>	Gruppe II		Gruppe I			Rot.	<i>n</i>	Gruppe II	
<i>L</i>	<i>p</i>				<i>L</i>	<i>p</i>	<i>L</i>	<i>p</i>				<i>L</i>	<i>p</i>
252°	2	352	-19.5	75°	3	331°	8	372	+ 0.5	103°	17		
272	12	353	-18.5	46	3	317	2	373	+ 1.5	100	16		
267	11	354	-17.5	29	2	339	15	374	+ 2.5	156	18		
255	10	355	-16.5	60	14	331	2	375	+ 3.5	107	14		
276	8	356	-15.5	42	11	338	2	376	+ 4.5	119	16		
267	28	357	-14.5	70	15	329	16	377	+ 5.5	143	18		
279	31	358	-13.5	59	18	328	4	378	+ 6.5	138	11		
300	24	359	-12.5	25	5	313	3	379	+ 7.5	155	16		
274	21	360	-11.5	87	28	322	1	380	+ 8.5	123	22		
299	12	361	-10.5	.	.	.	.	381	+ 9.5	132	9
291	10	362	- 9.5	75	10	373	4	382	+10.5	136	8		
301	20	363	- 8.5	67	17	361	6	383	+11.5	168	1		
273	9	364	- 7.5	81	12	361	3	384	+12.5	175	10		
284	9	365	- 6.5	108	2	353	7	385	+13.5	186	21		
347	1	366	- 5.5	105	8	379	13	386	+14.5	182	7		
261	7	367	- 4.5	108	15	.	.	387	+15.5	187	22		
321	3	368	- 3.5	106	19	419	4	388	+16.5	210	4		
332	8	369	- 2.5	118	27	392	1	389	+17.5	.	.		
333	1	370	- 1.5	122	20	.	.	390	+18.5	132	1		
304	5	371	- 0.5	109	27	.	.	391	+19.5	.	.		

Bezeichnet dann L_0 die Normallänge des Mittelpunktes der Gruppe I oder II für die mittlere Epoche des ganzen in Betracht gezogenen Intervalles, nämlich für die Zeit 1888 VII 18, welche die Rotationen 371 und 372 trennt, und wählt man als Zeiteinheit die mittlere Dauer einer synodischen Rotation der Sonne, versteht also unter $\Delta\xi$ die gesuchte Verbesserung des entsprechenden Rotationswinkels (360°) und unter n den in der obigen Tabelle bereits angegebenen zeitlichen Abstand der Mitte irgend einer Rotationsperiode von der angenommenen mittleren Epoche, so hat man:

$$L = L_0 + n \Delta\xi,$$

oder wenn für Gruppe I $L_0 = L'_0 + 250^\circ$ gesetzt wird,

$$\text{Gruppe I } L - 250^\circ = L'_0 + n \Delta\xi$$

$$\text{„ II } L = L_0 + n \Delta\xi$$

Diese Bedingungsgleichungen, durch Multiplikation mit \sqrt{p} auf gleiche Gewichte gebracht, sind nachstehend für jede der beiden Gruppen, samt den nach der Methode der kleinsten Quadraten daraus folgenden Werten L_0 und $\Delta \xi$ und deren mittleren Fehlern, wie sie aus den Differenzen Δ zwischen Beobachtung und Rechnung folgen, zusammengestellt.

<i>Rot.</i>	<i>Gruppe I</i> $\Delta = B-R$				<i>Gruppe II</i> $\Delta = B-R$					
352	$3^0 = L_0'$	1.4	-	$\Delta \xi$. 27.3	- 10 ⁰	128 ⁰ = L_0	1.7	-	$\Delta \xi$. 33.2	+ 59 ⁰
53	77	3.5	-	64.8	+ 33	78	1.7	-	31.5	+ 2
54	56	3.3	-	57.8	+ 4	41	1.4	-	24.5	- 27
55	16	3.2	-	52.8	- 45	222	3.7	-	61.1	+ 29
56	74	2.8	-	43.4	+ 12	139	3.3	-	51.2	- 46
57	90	5.3	-	76.9	- 44	273	3.9	-	56.6	+ 39
58	162	5.6	-	75.6	+ 2	248	4.2	-	56.7	- 21
59	245	4.9	-	61.3	+ 90	55	2.2	-	27.5	- 94
60	110	4.6	-	52.9	- 50	461	5.3	-	61.0	+ 81
61	172	3.5	-	36.8	+ 39	.	.	-	.	.
62	131	3.2	-	30.4	- 1	240	3.2	-	30.4	- 14
63	230	4.5	-	38.3	+ 31	275	4.1	-	34.9	- 66
64	69	3.0	-	22.5	- 74	284	3.5	-	26.3	- 21
65	102	3.0	-	19.5	- 50	151	1.4	-	9.1	+ 23
66	97	1.0	-	5.5	+ 43	294	2.8	-	15.4	+ 28
67	29	2.6	-	11.7	-119	421	3.9	-	17.6	+ 36
68	121	1.7	-	6.0	+ 19	466	4.4	-	15.4	+ 14
69	230	2.8	-	7.0	+ 53	614	5.2	-	13.0	+ 60
70	83	1.0	-	1.5	+ 6	549	4.5	-	6.8	+ 52
71	119	2.2	-	1.1	- 34	567	5.2	-	2.6	- 28
72	227	2.8	+	1.4	+ 23	422	4.1	+	2.1	- 63
73	94	1.4	+	2.1	- 12	400	4.0	+	6.0	- 89
74	347	3.9	+	9.8	+ 38	655	4.2	+	10.5	+126
75	113	1.4	+	4.9	- 2	396	3.7	+	13.0	- 85
76	123	1.4	+	6.3	+ 3	476	4.0	+	18.0	- 59
77	316	4.0	+	22.0	- 38	601	4.2	+	23.1	+ 23
78	156	2.0	+	13.0	- 27	455	3.3	+	21.5	- 12
79	107	1.7	+	12.8	- 54	620	4.0	+	30.0	+ 38
80	72	1.0	+	8.5	- 26	578	4.7	+	40.0	-124
81	.	.	+	.	.	396	3.0	+	28.5	- 64
82	246	2.0	+	21.0	+ 37	381	2.8	+	29.4	- 59
83	266	2.4	+	27.6	+ 8	168	1.0	+	11.5	+ 7
84	189	1.7	+	21.3	+ 1	560	3.2	+	40.0	+ 33
85	268	2.6	+	35.1	- 28	856	4.6	+	62.1	+ 80
86	464	3.6	+	52.2	+ 43	473	2.6	+	37.7	+ 24
87	.	.	+	.	.	879	4.7	+	72.9	+ 49
88	338	2.0	+	33.0	+ 91	420	2.0	+	33.0	+ 59
89	142	1.0	+	17.5	+ 15	.	.	+	.	.
90	.	.	.	.	.	132	1.0	+	18.5	- 56
91	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.

$L_0' = 71.2$	$L_0 = 321.2^0 \pm 3.0^0$	$L_0 = 116.3^0 \pm 3.8^0$
$\Delta \xi = +3.159^0 \pm 0.249$		$\Delta \xi = +3.879^0 \pm 0.406^0$

Der beträchtlich grössere mittlere Fehler, mit welchem der Wert von $\Delta \xi$ in Gruppe II behaftet ist, rührt zum grossen Teil von den für Rot. 374 und 380 geltenden Bedingungsgleichungen her; es treten dort, wie man aus der Tafel ersehen kann, bedeutende Fackelgruppen in verhältnismässig weitem Abstände vom mittlern Thätigkeitscentrum und in unsymmetrischer Verteilung auf, durch welche die betreffenden Schwerpunkte gegenüber dem allgemeinen Mittel stark versetzt werden. Die Ausschliessung jener beiden Gleichungen würde den mittleren Fehler von $\Delta \xi$ auf $\pm 0,250^\circ$, also auf den gleichen Betrag wie in Gruppe I herabsetzen; da aber die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung für die Rotationen 374 und 380 bei nahe gleicher Grösse entgegengesetzte Zeichen haben, so ist von der Ausschliessung Umgang genommen worden.

Dividiert man die oben gefundenen Werte $\Delta \xi$ durch die mittlere Dauer einer synodischen Rotation der Sonne ($27,107^d$), so findet man die Verbesserung des angenommenen täglichen Rotationswinkels ($14,2665^\circ$) für die beiden Gruppen:

$$\begin{array}{ll} \text{Gruppe I} & \Delta \xi = +0,117^\circ \pm 0,009^\circ \\ \text{„ II} & \Delta \xi = +0,143^\circ \pm 0,015^\circ \end{array} \quad \text{somit:} \quad \begin{array}{l} \xi = 14,384^\circ \pm 0,009^\circ \\ \xi = 14,410^\circ \pm 0,015^\circ \end{array}$$

Es sind also die mittlern Lagen der Centren der beiden Thätigkeitsgebiete und ihre Bewegungsverhältnisse durch die folgenden Schlussresultate ausgedrückt:

Gruppe I	Ep. 1888 VII 18	Gruppe II
$L_0 = 321^\circ \pm 3^\circ$		$L_0 = 116^\circ \pm 4^\circ$
$B_0 = -5^\circ$		$B_0 = -6^\circ$
$\xi = 14,384^\circ \pm 0,009^\circ$		$\xi = 14,410^\circ \pm 0,015^\circ$

Um den mittlern Verlauf der scheinbaren Bewegung der beiden Thätigkeitscentren noch besser hervortreten zu lassen, sind in der Tafel mit Hilfe der Werte L_0 und $\Delta \xi$ die beiden geraden Linien I und II eingezeichnet worden, welche jenen Verlauf darstellen und um welche sich die einzelnen Fackelgruppen in deutlich ausgesprochener Weise zusammendrängen. Die gegenseitige Stellung der beiden Hauptcentren ist, wie aus den L_0 und B_0 hervorgeht, keine genau diametrale; der Gegenpunkt von I fällt

auf $L = 141^\circ$ und $B = +5^\circ$ und es würde somit der Durchmesser des Aequators, welcher von $L = 129^\circ$ nach $L = 309^\circ$ führt, den beiden Centren zugleich am nächsten kommen; in der That weichen seine Endpunkte von jenen nur um etwas mehr als 13° im Bogen des grössten Kreises ab, so dass man wohl von einer wirklichen Diametralstellung sprechen und diese für mehr als einen blossen Zufall halten darf.

Die beiden Werte von ξ kommen gerade noch innerhalb ihrer Fehlergrenzen zusammen; betrachtet man also ihren Unterschied als zufällig und verbindet sie zu einem Mittel, so folgt:

$$\xi = 14,40^\circ$$

als mittlerer Rotationswinkel der beiden Fackelkomplexe, gültig für deren mittlere Breite von ca. $-5\frac{1}{2}^\circ$. Für diese geben aber die Rotationsformeln von Spörer und Faye:

$$\text{Spörer } \xi = 8,548^\circ + 5,798^\circ \cos B = 14,32^\circ$$

$$\text{Faye } \xi = 14,37^\circ - 3,10^\circ \sin^2 B = 14,34^\circ,$$

und es besteht also auch in diesem Falle wieder eine bemerkenswerte Uebereinstimmung zwischen der durch Fackelbewegung gegebenen Rotationsgeschwindigkeit der Sonne und dem aus Fleckenbewegungen abgeleiteten Rotationsgesetz. Dagegen entspricht nach den Beobachtungen von Dunér und der dieselben darstellenden Formel

$$\xi = 8,591^\circ + 5,525^\circ \cos B - 0,757^\circ \sin B$$

der obigen Breite ein Rotationswinkel von $14,02^\circ$ für die Sonnenoberfläche selbst und dieser bleibt um $0,38^\circ$ hinter dem oben gefundenen zurück; eine entsprechende Differenz in gleichem Sinne, von nur wenig grösserem Betrage ($0,52^\circ$) hatte ich in meiner zu Anfang citierten Untersuchung für eine Fackelgruppe von -24° Breite gefunden.

Die Resultate der vorliegenden Untersuchung sind somit wie folgt zusammenzufassen:

1. Während der 3 Jahre 1887—89 ist die durch Fackelbildungen bezeichnete Thätigkeit der Sonne zum weit überwiegenden Teile von der Umgebung zweier bestimmter Stellen der Sonnenoberfläche ausgegangen, welche sich nahe diametral gegenüberlagen und einen neuen überzeugenden Beweis dafür

liefern, dass die jene Gebilde erzeugende Ursache sich sogar durch jahrelange Zeiträume hindurch an nahe denselben Orten der Sonnenoberfläche erhalten kann, eine Thatsache, welche durch die hier konstatierte und wohl kaum zufällige gegenseitige Diametralstellung der beiden Hauptcentren noch wesentlich an Interesse gewinnt.

2. Durch Verfolgung der scheinbaren Bewegung ganzer Fackelkomplexe statt ihrer einzelnen Bestandteile ist hier neuerdings die Möglichkeit erwiesen, Schlüsse auf die Rotationsverhältnisse der Sonne zu ziehen, wem auch die gefundenen Geschwindigkeiten sich weniger auf die untersuchten Gebilde selbst als auf die Ursache ihrer Entstehung beziehen und auch die Frage zunächst offen bleibt, wie weit diese Geschwindigkeiten mit denjenigen der entsprechenden Teile der Sonnenoberfläche übereinstimmen. Hievon abgesehen, liefert der oben behandelte Fall, wenigstens für eine specielle Zone der Sonnenoberfläche, eine weitere Bestätigung der aus den Sonnenfleckenbeobachtungen gewonnenen Resultate hinsichtlich des Rotationsgesetzes der Sonne.



Heliographische Verteilung der Fackelbildungen auf der Sonnenoberfläche in den Jahren 1887-1889

nach den Beobachtungen in Zürich.

