

(Mitteilungen des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam Nr. 19.)

Über den Nachweis und die Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche.

Von

H. VON KLÜBER in Potsdam.

Mit 54 Abbildungen.

(Eingegangen am 31. März 1944.)

Es wird berichtet über die seit 1942 in Potsdam regelmäßig durchgeführten Messungen an lokalen Magnetfeldern von Sonnenflecken auf spektroskopischem Wege. Über frühere Arbeiten hinausgehend wurde dabei die inzwischen hinreichend gesicherte Theorie der Zeeman-Effekte stärker herangezogen und es werden Einzelheiten aus der Beobachtungstechnik und -erfahrung mitgeteilt und an einem ausgesuchten Bildmaterial veranschaulicht. In Verbindung mit direkten photometrischen Aufnahmen wurden für einige Beispiele Stärke und Ausdehnung von Magnetfeldern über Sonnenflecken bestimmt. Durch zusätzliche Heranziehung spektrohelioskopischer Beobachtungen wurde ferner insbesondere auf das Verhalten der magnetischen Feldstärken in aktiven und eruptiven Fleckengruppen geachtet.

Einleitung.

Es ist das grundlegende Verdienst G. E. HALES und seiner Mitarbeiter [1 bis 9], in einer Reihe von fundamentalen Arbeiten seit 1908 den Nachweis der Existenz beträchtlicher lokaler Magnetfelder auf der Sonne erbracht und ihre wesentlichsten Eigenschaften in großangelegten Beobachtungsreihen erforscht zu haben. Nachdem wir wissen, daß die klassischen Methoden der Sonnenphysik mit den Mechanismen des Strahlungsdruckes und der Hydrodynamik die zweifellos vorhandenen Abweichungen vom thermischen Gleichgewicht der Sonnenatmosphäre offenbar nicht genügend erklären können, ist unter anderem die nähere Berücksichtigung und Erforschung der magnetischen Felder auf der Sonne von besonderem Interesse geworden [10]. Während auch auf dem Mt. Wilson in dieser Richtung weiter gearbeitet wird [11, 12], ist ein näherer Kontakt mit diesen Arbeiten jedoch durch die Zeitumstände völlig unterbunden. Es schien sehr erwünscht, auch hier die nötige Beobachtungstechnik zu entwickeln und ein für viele Zwecke nützliches Beobachtungsmaterial in diesem Sinne zu sammeln, das im Gegensatz zu den älteren amerikanischen Arbeiten fast ausschließlich auf photographischem Wege beschafft wurde. Es kommt hinzu, daß die grundlegenden Arbeiten HALES und seiner Mitarbeiter bereits zu einer Zeit entstanden, zu der zwar schon wesentliche Erscheinungen des Zeeman-

Effektes bekannt waren, eine in allem wesentlichen abgeschlossene Theorie der magnetischen Aufspaltung der Spektrallinien, wie wir sie heute besitzen, aber noch nicht vorlag. Schließlich sind auch beobachtungstechnisch durch Heranziehung neuer Hilfsmittel manche neuen Gesichtspunkte zu gewinnen.

Bei der Untersuchung der durch direkte spektroskopische Messungen nachweisbaren magnetischen Felder auf der Sonne wird man beobachtungstechnisch im wesentlichen zwei verschiedene Aufgaben vor sich sehen. In den eigentlichen lokalen Feldern von Sonnenflecken treten Feldstärken bis zu mehreren Tausend Gauß auf. Die magnetische Aufspaltung geeigneter Spektrallinien wird hier leicht vollständig erreicht. Es kommen Aufspaltungsbeträge von der Größenordnung bis zu $0,2 \text{ \AA}$ (etwa 4000 Gauß) in $\Delta\lambda$ vor, die mit hinreichend mächtigen spektroskopischen Hilfsmitteln unschwer zu messen sind. Die Größe schwacher Felder außerhalb der eigentlichen Fleckengebiete, wie sie zur Zeit vermutet werden [11] und ein etwaiges allgemeines Magnetfeld der Sonne liegen aber sehr wahrscheinlich unter und möglicherweise wesentlich unter 100 Gauß [1, 12]. Ihr gesicherter Nachweis macht sorgsam angelegte spezielle Beobachtungsreihen von sehr hoher Genauigkeit und wohl-erprobter Beobachtungstechnik erforderlich. Denn die hier zu erwartende magnetische Aufspaltung besonders geeigneter Spektrallinien liegt im visuellen, roten Spektralgebiet bei der Größenordnung von nur noch $0,002 \text{ \AA}$ (um 40 Gauß) in $\Delta\lambda$ oder weniger. Auch die sehr wichtige Frage nach der Gestalt der Magnetfelder in Abhängigkeit von der Schichttiefe innerhalb der Photosphäre und ihre etwaige Abschirmung nach außen bedarf ebenfalls sehr speziell angelegter und empfindlicher Beobachtungsmethoden. Speziell diese letzte Fragestellung muß zur Zeit als noch ganz ungeklärt angesehen werden [9] und auch für die endgültige Festlegung von Stärke und Form eines allgemeinen Magnetfeldes der Sonne, auf deren schwierigen Nachweis die amerikanischen Autoren seinerzeit schon große Mühe und Sorgfalt verwandten, sind neuere Untersuchungen sehr erwünscht.

Der nachfolgende Bericht beschäftigt sich zunächst mit Grundlage und Technik der Beobachtung und Vermessung einiger aus einem großen Material ausgewählter stärkerer lokaler Magnetfelder von Sonnenflecken, nachdem am hiesigen Turmteleskop seit März 1942 regelmäßig an allen erreichbaren Sonnenflecken die Beobachtung von Zeeman-Aufspaltungen auserwählter Spektrallinien durchgeführt wird. Er ist gleichzeitig als Vorarbeit für die bereits laufende Inangriffnahme schwierigerer Messungen auf diesem Gebiete gedacht, die hier und in absehbarer Zeit wohl auch an anderen Stellen geplant sind.

Spektroskopische Grundlagen. Für den direkten spektroskopischen Nachweis von Magnetfeldern in der Sonnenatmosphäre steht uns bisher

leider nur der Zeeman-Effekt der Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum zur Verfügung. Während aber HALE und seine Mitarbeiter seinerzeit weitgehend auf empirische Daten [1, 3, 5] angewiesen waren, die zum großen Teile erst zu diesem Zwecke durch besondere Beobachtungsreihen im Laboratorium gewonnen werden mußten [2, 3], besitzen wir gegenwärtig eine wohlbegründete Theorie des Zeeman-Effektes (z. B. [13, 14]). Von ihr wird man naturgemäß heutzutage für die Linienauswahl und für die Anlage der Beobachtungen ausführlich Gebrauch machen, wie dies neuerdings auch schon R. B. KING [9] versucht hat. Wir brauchen uns für die vorliegenden Aufgaben im wesentlichen nur folgender grundsätzlicher spektroskopischer Tatsachen zu erinnern:

Im Falle des einfachen klassischen Zeeman-Effektes spaltet eine Spektrallinie, deren Lichtquelle sich in einem Magnetfelde befindet, in zwei Komponenten auf, wenn man in Richtung der Kraftlinien blickt. Im Sonnenspektrum erblickt man also an den Stellen eines vorhandenen Magnetfeldes in diesem Falle statt einer einfachen Fraunhofer-Linie im sogenannten Longitudinal-effekt ein Dublett, dessen beide Komponenten symmetrisch beiderseits des Ortes der ursprünglichen Linie liegen und die zueinander entgegengesetzt zirkular polarisiert sind. Dabei gilt folgende konventionelle Polaritätsregel: Wenn, vom Beobachter gesehen der das Magnetfeld erzeugende Strom links kreist (die Elektronen also im Uhrzeigersinn umlaufen), so ist der magnetische Vektor auf den Beobachter zu gerichtet und es liegt ein magnetischer Nordpol (positiver Pol, Quellpunkt) vor. Im Aufspaltungsgebilde ist alsdann die langwellige Komponente rechts zirkular polarisiert. Abb. 1 zeigt im Schema diese Verhältnisse.

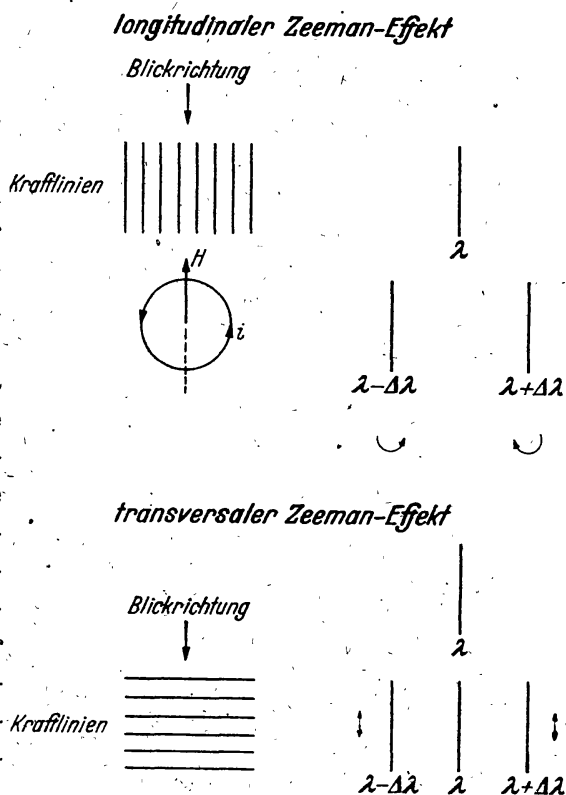


Abb. 1. Schema der Aufspaltung einer Spektrallinie beim Zeeman-Effekt im einfachsten Falle, dem sogenannten normalen Zeeman-Typus (normales Triplett, Lorentz-Triplett). — In der oberen Bildhälfte dargestellt die Verhältnisse bei einem Nordpol.

Beim Einblick senkrecht zu den Kraftlinien, im sogenannten Transversaleffekt, spaltet die gleiche einfache Spektrallinie in ein Triplett

symmetrisch zum Linienorte auf, dessen beide äußere Komponenten einander parallel linear polarisiert sind, und dessen mittelste Komponente ebenfalls linear polarisiert parallel den Feldvektoren und in einer Ebene senkrecht zu den beiden äußeren Komponenten schwingt. Das entsprechende Aufspaltungsbild zeigt ebenfalls Abb. 1. Im praktischen Falle bei Sonnenbeobachtungen blickt man fast immer unter Aufsichtswinkeln auf die Magnetfelder, die nur im Ausnahmefall hinreichend genau 90° oder 0° betragen, und man wird dementsprechend bei Zwischenwerten alle Arten von Mischtypen beobachten. Experimentelle Illustrationen hierzu finden sich in [8], während SEARES [4] die einfachen Formeln für den praktischen Gebrauch gibt. Die Definition der Polarität in den früheren Arbeiten des Mt. Wilson hat wiederholt Verwirrung hervorgerufen. Man wird sich zweckmäßig stets der obigen, physikalisch üblichen Definition erinnern. Die bei den amerikanischen Autoren in diesem Zusammenhange vielfach übliche Bezeichnung V (Violett), ursprünglich offenbar willkürlich aus der von ihnen benutzten polarimetrischen Anordnung entnommen, ist gleichbedeutend mit „Süd“, die Bezeichnung r (red) mit „Nord“.

Für den Aufspaltungsbetrag (vgl. Abb. 1), den wir für die vorliegenden Zwecke am besten in Einheiten von $\Delta\lambda$ ausdrücken (in älteren Arbeiten wird gelegentlich der doppelte Betrag mit $\Delta\lambda$ bezeichnet), ergibt sich im einfachen Falle der normalen Lorentz-Aufspaltung der Ausdruck

$$\Delta\lambda = C H \lambda^2. \quad (1)$$

Darin bedeuten H die magnetische Feldstärke in Gauß, λ die betreffende Wellenlänge in cm und C eine Konstante im Betrage von $4,7 \cdot 10^{-5}$. Die Theorie [13, 14] des Zeeman-Effektes zeigt jedoch, daß dieser einfachste Fall der Formel (1) verhältnismäßig sehr selten erfüllt ist, daß vielmehr ganz überwiegend komplizierte Aufspaltungsbilder mit sehr unterschiedlichen Aufspaltungsbeträgen vorkommen. Es ist verhältnismäßig leicht, unter der sicher erlaubten Annahme von Russell-Saunders-Koppelung an Hand der LANDÉschen Tabelle der g -Faktoren einen Überblick über Form und Größe der Aufspaltungen zu gewinnen. Wenn man die verhältnismäßige Breite und Unschärfe selbst der besten Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum berücksichtigt, die sie sehr unvorteilhaft von sauberen Emissionslinien der Laboratoriumsversuche unterscheiden, so sollte man nach den bisher hier gemachten Erfahrungen möglichst grundsätzlich nur einfache Aufspaltungsbilder von der Form (0) g für Feldstärkenmessungen im Sonnenspektrum benutzen. Selbst wenn man für kompliziertere Aufspaltungsbilder die Intensitätsregeln der Zeeman-Effekte heranzieht (z. B. in [15]), so wird doch bei mäßigen und kleinen Feldstärken eine solche Verschmierung der Aufspaltungs-

bilder eintreten, daß eine Messung der Feldstärken ganz unsicher werden muß. Daß man außerdem Linien mit größtmöglichen g -Faktoren aussucht, ist selbstverständlich und, wie die Erfahrungen an vielen Hunderten von Spektrogrammen hier inzwischen gezeigt haben, auch sehr wesentlich. Unter Berücksichtigung der bekannten Auswahlregeln

$$\begin{array}{l} \nearrow M - 1 \\ M \rightarrow M \\ \searrow M + 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \Delta M \neq 0, \\ \text{wenn gleichzeitig } \Delta J = 0, \end{array}$$

zeigt eine Durchmusterung der Tabelle der g -Faktoren (z. B. [14]) schnell, daß man unter diesen Bedingungen wesentlich auf Termkombinationen aus den ersten beiden senkrechten Kolonnen der J -Symbole (Gesamtimpulse) angewiesen ist, wobei wenigstens eines der beiden g gleich 0 sein muß. Einfache Aufspaltungsbilder resultieren außerdem auch dann, wenn zufällig für beide Terme die g -Faktoren gleiche Werte haben, wobei für unsere Zwecke g möglichst $\geq 1,5$ sein sollte. Solche günstigen Kombinationen, die in manchen Multipletts gehäuft auftreten können, sind z. B. die Übergänge ${}^5D_0 \rightarrow {}^7D_1$ (etwa λ 5250,2 Fe) vom Aufspaltungstypus $\frac{(0)3}{1}$ oder ${}^5P_1 \rightarrow {}^5D_0$ (etwa λ 6302,5 Fe) vom Typus $\frac{(0)5}{2}$ oder ${}^6D_{1/2} \rightarrow {}^6D_{1/2}$ (etwa λ 6258,6 V) vom Typus $\frac{(0)10}{3}$.

Für Kontrollzwecke bei den Messungen ist es manchmal auch angenehm, Spektrallinien ohne magnetische Aufspaltung zu kennen. Solche Linien lassen sich ebenfalls aus den Werten der g -Tabelle als Kombinationen von Termen mit den g -Werten 0 finden, wie etwa der Übergang ${}^5F_1 \rightarrow {}^5D_0$ (etwa λ 5576,1 Fe) oder ${}^5F_1 \rightarrow {}^5F_1$ (etwa λ 5123,7 Fe).

Die Durchmusterung der g -Tabelle lehrt auch, daß die besten Aufspaltungstypen, die man praktisch erwarten darf, im allgemeinen die Form $\frac{(0)5}{2}$, $\frac{(0)3}{1}$ und $\frac{(0)10}{3}$ haben werden, außerdem tritt verhältnismäßig häufig die kleinere Form $\frac{(0)3}{2}$ auf.

Für alle diese einfachen Aufspaltungsbilder errechnet sich also die Größe $\Delta\lambda$ nach Formel (4) einfach dadurch, daß man die rechte Seite der Formel (1) mit dem Werte des betreffenden g -Faktors multipliziert. Beschränkt man sich also aus beobachtungstechnischen Gründen auf das rote oder nahe ultrarote Spektralgebiet, so hat man, um hier eine Größenordnung zu nennen, für 1000 Gauß Feldstärke und $g = 1$ nach Formel (1) einen Betrag in $\Delta\lambda$ von etwa 0,023 Å zu erwarten.

Für die Linienauswahl zu Feldstärkenmessungen auf der Sonne sind aber nun leider noch zahlreiche Zusatzbedingungen zu berücksichtigen, wodurch die tatsächliche Linienauswahl stark beschränkt wird. Offenbar müssen nämlich folgende wesentliche Bedingungen erfüllt sein:

1. Wegen der quadratischen Abhängigkeit des Aufspaltungsbetrages nach Formel (1) von der Wellenlänge wird man wohl grundsätzlich nur Linien im Bereich des roten oder nahen ultraroten Spektrums wählen. Für $\lambda < 5000 \text{ \AA}$ werden die Absolutbeträge der Aufspaltungen in $\Delta\lambda$, wie auch aus dem hiesigen Material immer wieder hervorgeht, gegenüber den Aufspaltungen weiter im Roten rasch zu ungünstig, selbst wenn man mit den größten g -Faktoren arbeiten kann. Da im Ultraroten die immerhin angenehme Möglichkeit zur visuellen Beobachtung und Einstellung fortfällt und bald auch schon manche optische und photographische Schwierigkeiten hinzukommen, so wird man, von speziellen Untersuchungen abgesehen, wohl nur ausnahmsweise ins weite Ultrarot gehen, wozu natürlich die weiten Aufspaltungsbilder dort an sich verlocken.

2. Die betreffende Linie muß im Fraunhofer-Spektrum der Sonne überhaupt vorhanden sein und ihre Qualität muß sie für Präzisionsmessungen hinreichend geeignet machen. Das wird nach hiesigen Erfahrungen im allgemeinen nur für Linienintensitäten zwischen 0 und höchstens 7 der Rowland-Skala der Fall sein.

3. Die Linie muß frei von Blends und allzu engen Nachbarn sein.

4. Wenn man über einen Flecken hinweg bis ins ungestörte Gebiet der Sonnenumgebung oder überhaupt außerhalb von Fleckenfeldern messen will, so muß das Anregungspotential der Linien derart sein, daß sie ohne wesentliche Intensitätsveränderung über einem Sonnenfleck ebenso wie über der ungestörten Umgebung sichtbar bleiben. Durch diese Zusatzbedingung fallen leider sehr viele schöne Linien mit großen Aufspaltungsbeträgen aus, die, wie die Linien der Elemente Ti und V, im vorkommenden Temperaturbereich sehr temperaturempfindlich sind und vorwiegend nur in Fleckenspektren auftreten.

Linienauswahl. Die Auswahl geeigneter Linien für Feldstärkenuntersuchungen wurde auf der Grundlage obiger Überlegungen auf verschiedenem Wege in folgender Weise vorgenommen:

Es wurden erst einmal die in der zugänglichen Literatur veröffentlichten Terme der Spektrallinien aller astrophysikalisch wichtigen Elemente auf Linien mit jenen großen und einfachen Aufspaltungsbildern hin durchgesehen. Als Material hierfür diente in erster Linie das verdienstvolle Tafelwerk von Miss CH. E. MOORE [16], ferner die wichtige Zusammenstellung der Elektronenkonfigurationen von R. F. BACHER und S. GOUDSMIT [17] und viele Originalpublikationen in Verbindung mit der Rowland Revised [18], auf die sich übrigens alle hier angegebenen Wellenlängen beziehen, ferner der Atlas des Sonnenspektrums von C. HIGGS [19], und nach Bedarf zahlreiche eigene Originalaufnahmen des Sonnen- und Sonnenfleckenspektrums mit großer

Dispersion. Für die in diesem Zusammenhange besonders wichtigen Elemente Fe, Ni und Ti wurden insbesondere benutzt die umfangreichen Serieneinordnungen von O. LAPORTE [20], BURNS und WALTERS [21] und von H. N. RUSSELL (für Ni [22] und Ti [23]). Die mit der Nomenklatur von [21] entnommenen Werte sind durch ein Sternchen * beim ungeraden Niveau gekennzeichnet. Vollständigkeit, besonders hinsichtlich der modernsten Literatur, konnte leider infolge der Zeitverhältnisse keineswegs erzielt werden.

Zweitens wurde ganz unabhängig davon in sozusagen empirischer Weise eine Kopie der Spektralaufnahmen sehr großer Dispersion von Sonnenflecken für Feldstärken-Untersuchungen des Mt. Wilson Observatoriums im Wellenlängengebiet von λ 5000 Å bis zu seiner Grenze bei λ 6600 Å auf geeignete Linien großer Aufspaltung hin durchgesehen. Für diese Linien wurde dann das Termschema ermittelt und ihre Eignung für Feldstärkenmessungen nach den gleichen Gesichtspunkten wie oben geprüft. Über den Bereich dieser Mt. Wilson-Aufnahmen hinaus bis etwa λ 8000 Å wurden für den gleichen Zweck eigene Aufnahmen starker lokaler Magnetfelder unter Zwischenschaltung einer Polarisationsoptik, wie weiter unten beschrieben, herangezogen. Ferner wurden aus der Rowland Revised [18] alle möglicherweise brauchbaren Fraunhofer-Linien zwischen λ 6500 Å und λ 9000 Å ausgezogen und in gleicher Weise auf ihre Eignung geprüft. Für verhältnismäßig viele Linien konnten leider die Termkonfigurationen nicht ermittelt werden, da seitens der Spektroskopie viele Linien immer noch nicht in Termschemata eingeordnet sind. Außerdem konnte aus zeitbedingten Umständen ein größerer Teil der erforderlichen Originalpublikationen nicht eingesehen werden. Eine Vollständigkeit ist also keineswegs erzielt worden, es ist sogar sehr möglich, daß sich bei genauer Prüfung mit weiterem Material noch die eine oder andere geeignete Linie wird finden lassen, ohne daß jedoch damit voraussichtlich ein prinzipieller Fortschritt zu erzielen wäre. Vielleicht lassen sich für Spezialuntersuchungen im weiten Ultrarot noch besonders geeignete Linien finden, da ja dort besonders große Aufspaltungsbilder zu erwarten sind. Da das fernere Ultrarot jenseits λ 8000 für die hiesige Apparatur nur durch besondere Maßnahmen zu erreichen wäre, wurde von einer systematischen Prüfung in diesem Sinne noch Abstand genommen.

Die Zahl aller so gefundenen Linien zwischen λ 5000 Å und λ 9000 Å mit großen und einfachen Aufspaltungen ist überraschend klein. Sie sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Kolonne 9 enthält das Produkt $g \cdot \lambda^2$ und stellt ein einfaches, übersichtliches relatives Maß für den Aufspaltungsbetrag der betreffenden Linie dar, mit dem man sich leicht über die Eignung der einzelnen Linien orientieren kann.

Tabelle 1. *Fraunhofer-Linien mit großer, einfacher Zeeman-Aufspaltung.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5131,478	Fe	2	3	2,213	4,618	$a^5P_1 - \gamma^5P_1$	$\frac{(0)5}{2}$	66
5247,576	Cr	3	5	0,957	3,309	$a^5D_0 - z^5P_1$	$\frac{(0)5}{2}$	69
5250,218	Fe	2	3	0,121	2,471	$a^5D_0 - z^7D_1$	$\frac{(0)3}{1}$	83
6173,348	Fe	5	5	2,213	4,212	$a^5P_1 - \gamma^5D_0$	$\frac{(0)5}{2}$	95
6258,578	V	—1	2	0,261	2,233	$a^6D^{1/2} - z^6D^{1/2}$	$\frac{(0)10}{3}$	132
6302,508	Fe	5	4	3,671	5,629	$z^5P_1 - e^5D_0$	$\frac{(0)5}{2}$	100
6733,162	Fe	1	0	4,618	6,451	$\gamma^5P_1 - f^5D_0$	$\frac{(0)5}{2}$	114
8468,417	Fe	2	4	2,213		$a^5P_1 - a^5P_1^*$	$\frac{(0)5}{2}$	180
und ferner 10288,87	Si			4,899	6,098	$s^3P_0 - p^3S_1$	$\frac{(0)2}{1}$	212

Es bedeuten:

Spalte 1: Wellenlängen in Å nach Rowland Rev. [18].
 „ 2: Element [18] [16].
 „ 3: Intensität auf der Sonnenscheibe [18] [16].
 „ 4: Intensität im Fleckenspektrum [18] [16].

Spalte 5: Unteres Anregungspotential.
 „ 6: Oberes „
 „ 7: Multiplettbezeichnung.
 „ 8: Zeeman-Aufspaltung.
 „ 9: Produkt $g \cdot \lambda^2$.

Eine (ebenfalls nicht vollständige) Zahl von Fraunhofer-Linien mit etwas kleineren, aber ebenfalls einfachen Aufspaltungsbildern (0) g , wo $g \geq 1,5$ ist, gibt in der gleichen Weise Tabelle 2. Besondere Eigentümlichkeiten im Aufbau der g -Tabelle bringen es mit sich, daß unter den einfacheren Aufspaltungsbildern mittlerer Größe der Wert $g = 3/2$ vergleichsweise besonders oft erscheint.

Einige für manche Zwecke nützliche Linien, für welche der Aufspaltungsbetrag 0 zu erwarten ist, bringt schließlich in gleicher Anordnung Tabelle 3.

Unter den Linien der Tabelle 1 zeichnen sich als in jeder Hinsicht besonders geeignet aus die beiden Eisenlinien λ 6302,508 Å und λ 6173,348 Å. Diese beiden Linien sind auch von den amerikanischen Autoren ganz vorwiegend benutzt worden. Ihre richtige Auswahl in einer Zeit, als alle erst durch die Quantentheorie geschaffenen theoretischen Grundlagen noch unbekannt waren, verdient als besonders beachtlich hervorgehoben zu werden. Insbesondere die Linie λ 6302,508 Å

Tabelle 2. *Fraunhoferlinien mit einfacher, mittelgroßer Zeeman-Aufspaltung.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5082,351	Ni	2	0	3,642	6,070	$z^3P_1 - e^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	39
5145,104	Fe	1	1	2,188	4,587	$a^5P_2 - \gamma^5P_2$	$\frac{(0)11}{6}$	48
5202,351	Fe	4	4	2,167	4,539	$a^5P_3 - \gamma^5P_3$	$\frac{(0)5}{3}$	45
5215,190	Fe	3	4	3,252	5,618	$z^5D_2 - e^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	41
5217,398	Fe	3	4	3,197	5,563	$z^5D_4 - e^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	41
5229,862	Fe	4	4	3,269	5,629	$z^5D_1 - e^5D_0$	$\frac{(0)3}{2}$	41
5253,470	Fe	2	3	3,269	5,618	$z^5D_1 - e^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	41
5263,316	Fe	4	5	3,252	5,596	$z^5D_2 - e^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	42
5273,172	Fe	4	5	3,278	5,618	$z^5D_0 - e^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	42
5283,631	Fe	6	7	3,227	5,563	$z^5D_3 - e^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	42
5302,309	Fe	5	7	3,269	5,596	$z^5D_1 - e^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	42
5324,193	Fe	7	8	3,197	5,515	$z^5D_4 - e^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	42
5339,939	Fe	6	6	3,252	5,563	$z^5D_2 - e^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	43
5393,178	Fe	5	7	3,227	5,515	$z^5D_3 - e^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	43
5473,912	Fe	3	3	4,136	6,391	$\gamma^5D_3 - f^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	45
5476,578	Fe	3	3	4,086	6,339	$\gamma^5D_4 - f^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	45
5522,456	Fe	2	2	4,191	6,426	$z^3P_2 - f^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	46
5525,556	Fe	2	1	4,212	6,446	$\gamma^5D_0 - f^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	46
5543,946	Fe	2	2	4,199	6,426	$\gamma^5D_1 - f^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	46
5563,609	Fe	3	1	4,173	6,391	$\gamma^5D_2 - f^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	47
5586,773	Fe	7	8	3,354		$a^3P_1^* - c^5D_0$	$\frac{(0)3}{2}$	47
5652,330	Fe	1	0	4,242	6,426	$z^3P_1 - f^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	48
5665,566	Si	1	-1	4,899	7,077	$4s^3P_0 - 5p^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	48
5690,435	Si	3	1	4,908	7,077	$4s^3P_1 - 5p^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	48

Tabelle 2. (Fortsetzung.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5701,111	Si	1	—1	4,908	7,077	$4s^3P_1—5p^3P_0$	$\frac{(0)3}{2}$	48
5705,476	Fe	1	1	4,283	6,446	$\gamma^5F_1—f^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	49
5708,408	Si	3	1	4,932	7,094	$4s^3P_2—5p^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	49
5712,782	Cr	0	1	2,998	5,158	$b^5D_4—\gamma^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	49
6421,367	Fe	7	10	2,269	4,191	$a^3P_2—z^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	62
6481,886	Fe	3	4	2,269	4,173	$a^3P_2—\gamma^5D_2$	$\frac{(0)3}{2}$	63
6608,053	Fe	0	0	2,269	4,136	$a^3P_2—\gamma^5D_3$	$\frac{(0)3}{2}$	66
6625,048	Fe	0	3	1,007	2,870	$a^5F_1—a^7F_1^*$	$\frac{(0)3}{2}$	66
6661,090	Cr	—1	0	4,175	6,027	$z^5D_4—e^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	66
6663,470	Fe	3	4	2,414	4,266	$a^3P_1—z^3P_0$	$\frac{(0)3}{2}$	66
6750,173	Fe	3	4	2,414	4,242	$a^3P_1—z^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	68
6861,957	Fe	0	1	2,414	4,212	$a^3P_1—\gamma^5D_0$	$\frac{(0)3}{2}$	71
6914,578	Ni	4	5	1,942	3,727	$a^3P_1—z^3P_0$	$\frac{(0)3}{2}$	72
6945,224	Fe	4	4	2,414	4,191	$a^3P_1—z^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	72
6978,875	Fe	2	3	2,474	4,242	$a^3P_0—z^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	73
7038,238	Fe	1	1	4,199	5,953	$\gamma^5D_1—e^5F_1$	$\frac{(0)3}{2}$	74
7151,485	Fe	—1	—	2,474		$a^3P_0—\gamma^5D_1$	$\frac{(0)3}{2}$	77
7197,022	Ni	0	1	1,927	3,642	$a^3P_2—z^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	78
7207,408	Fe	1	0	4,136		$b^5D_3^*—b^5F_1$	$\frac{(0)3}{2}$	78
7414,512	Ni	1	1	1,977	3,642	$a^3P_0—z^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	83
7714,309	Ni	3	3	1,927	3,527	$a^3P_2—z^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	89
7788,933	Ni	2	1	1,942	3,527	$a^3P_1—z^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	91
8514,082	Fe	1	2	2,188		$a^5P_2—a^5P_2^*$	$\frac{(0)11}{6}$	132
8526,675	Fe	0	0			$c^5D_4^*—c^5D_4$	$\frac{(0)3}{2}$	110

Tabelle 2. (Fortsetzung.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8611,813	Fe	1	1	2,833		$b^3P_1 - a^3P_0^*$	$\frac{(0)3}{2}$	111
8674,757	Fe	1	1	2,819		$b^3P_2 - a^3P_1^*$	$\frac{(0)3}{2}$	113
8688,641	Fe	2	2	2,167		$a^5P_3 - a^5P_3^*$	$\frac{(0)5}{3}$	125
8757,199	Fe	1	1	2,833		$b^3P_1 - a^3P_1^*$	$\frac{(0)3}{2}$	114
8838,449	Fe	1	1	2,846		$b^3P_0 - a^3P_1^*$	$\frac{(0)3}{2}$	117
8999,574	Fe	—1	—	2,819		$b^3P_2 - a^3P_2^*$	$\frac{(0)3}{2}$	121
9088,48	Fe	0				$b^3P_1 - a^3P_2^*$	$\frac{(0)3}{2}$	124
10603,35	Si			4,908	6,072	$s^3P_1 - p^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	169
10660,91	Si			4,899	6,057	$s^3P_0 - p^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	172
10749,27	Si			4,908	6,057	$s^3P_1 - p^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	174
10827,02	Si			4,932	6,072	$s^3P_2 - p^3P_2$	$\frac{(0)3}{2}$	176
10869,48	Si			4,908	6,044	$s^3P_1 - p^3P_0$	$\frac{(0)3}{2}$	178
10979,17	Si			4,932	6,057	$s^3P_2 - p^3P_1$	$\frac{(0)3}{2}$	180

hat, wie die Abb. 43 u. a. zeigen, den geradezu unschätzbaren Vorteil, daß in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft die beiden ausgezeichnet meßbaren terrestrischen Linien λ 6302,771 Å und λ 6302,005 Å liegen, beide mit den Intensitäten 2 aus der atmosphärischen Sauerstoffbande $A^1\Sigma \leftarrow X^3\Sigma$. Sie sind für alle Wellenlängenmessungen, gleichviel ob photographisch oder visuell und zur Kontrolle der jeweils verwendeten optischen und polarimetrischen Anordnung von außerordentlichem

Tabelle 3. Einige Fraunhoferlinien ohne Zeeman-Aufspaltung.

1	2	3	4	5	6	7
5123,732	Fe	3	4	1,007	3,415	$a^5F_1 - z^5F_1$
5434,536	Fe	5	8	1,007	3,278	$a^5F_1 - z^5D_0$
5576,101	Fe	4	4	3,415	5,629	$z^5F_1 - e^5D_0$
5691,508	Fe(Ni)	2	2	4,283	6,451	$\gamma^5F_1 - f^5D_0$
6613,817	Fe	—1	1	1,007	2,873	$a^5F_1 - z^7F_0$
7090,404	Fe	2	2	4,212	5,953	$\gamma^5D_0 - e^5F_1$
7389,391	Fe	2	1	4,283	5,953	$\gamma^5F_1 - e^5F_1$

9*

Werte. Auch in der vorliegenden Arbeit sind fast ausschließlich diese Linien benutzt worden.

Auf die besondere Eignung der Fe-Linie $\lambda 5250,218 \text{ \AA}$ hat schon vor einiger Zeit J. EVERSHERD [24] aufmerksam gemacht. Sie ist wegen ihrer Schärfe und im gut erfaßbaren grünen Spektralbereich etwas besser vermeßbar als die beiden genannten roten Linien. Sie ist aber diesen beiden langwelligeren Linien trotz ihres besonders großen g -Faktors von 3,0 im Aufspaltungsbetrage $\Delta\lambda$ etwas unterlegen. Benutzt man aber als Spektralapparat statt eines Beugungsgitters eine Prismenanordnung, so dürfte diese Linie wahrscheinlich die günstigste Fraunhofer-Linie im visuellen Sonnenspektrum für Feldstärkenmessungen sein. Bei der von HALE und seinen Mitarbeitern unternommenen ersten Bestimmung des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne [2, 3], für die andere Linien aus ihrer unmittelbaren Umgebung benutzt wurden, ist diese Linie merkwürdigerweise nicht verwandt worden.

Für besondere Zwecke sind vielleicht einmal die ultraroten Si-Linien aus den Multipletts $4s^3P - 4p^3S$ und $4s^3P - 4p^3P$ mit ihren schon sehr großen Aufspaltungsbeträgen von Wichtigkeit. Sie dürften im Sonnenspektrum alle gut meßbar sein [25, 26, 27].

Instrumentarium. Als Spektrograph standen wahlweise der große 3-Prismenspektrograph und der Plangitterspektrograph des Potsdamer Turmteleskops zur Verfügung. Für den Prismenspektrographen sprach nur seine große Lichtstärke, die bei $\lambda 6500 \text{ \AA}$ ein gut exponiertes Sonnenspektrum auf Agfa Rot-Rapidplatte schon in etwa 2 bis 4 Sekunden zu erhalten gestattet, wogegen beim Gitterspektrographen in 2. Ordnung etwa die achtfache Zeit nötig ist. Der Prismenapparat [28] liefert jedoch bei $\lambda 6500 \text{ \AA}$ nur noch eine Dispersion von etwa $1 \text{ \AA} = 0,4 \text{ mm}$ bei einem Auflösungsvermögen von etwa 50 000, er ist also dem Gitterapparat in 2. Ordnung durchaus unterlegen, der dort bei einem theoretischen Auflösungsvermögen von 200 000 eine Dispersion von $1 \text{ \AA} = 1,5 \text{ mm}$ gibt. Außerdem zeigte eine Prüfung mit polarisiertem Licht, daß der Prismenapparat selber recht beträchtliche Polarisation erzeugt. Man kann diese unangenehmen Eigenschaften zwar durch geeignete Maßnahmen weitgehend kompensieren oder durch die Beobachtungsmethode unschädlich machen, aber immerhin spricht diese Tatsache doch zu Ungunsten eines Apparates, der in einer polarimetrischen Anordnung Verwendung finden soll.

Alle Untersuchungen über Zeeman-Effekte im Sonnenspektrum sind darum hier mit dem großen Gitterspektrographen [29] in der 2. Ordnung gemacht worden. Das ROWLANDSche Plangitter besitzt 100 000 Linien auf einer Fläche von 12,5 mal 9 cm. Es steht in Autokollimation hinter einer Linse von 1200 cm Brennweite und 13 cm Öffnung.

Für die vorliegenden und in diesem Zusammenhang noch geplanten Untersuchungen, die sich mit sehr kleinen Linienverschiebungen be-

schäftigen müssen, ist es von Wichtigkeit, sich über die Leistungsfähigkeit des benutzten Spektralapparats genau im klaren zu sein. Der große Plangitterspektrograph des hiesigen Turmes ist vor wenigen Jahren sorgfältig untersucht worden [30]. Kontrollaufnahmen wurden weiterhin in gewissen Zeitabständen gemacht. Die Abb. 2 gibt hier die Reproduktion und die Abb. 3 das gleichzeitige Mikrophotogramm einer stark belichteten Aufnahme der durch Isotopieffekt bewirkten Feinstruktur der Quecksilberlinie $\lambda 4047$ Å wieder, die



Abb. 2

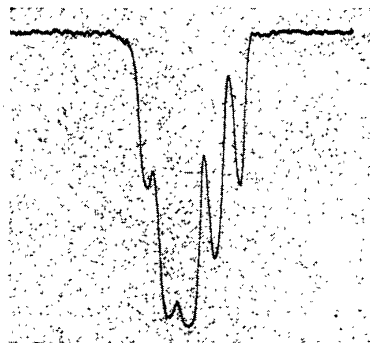


Abb. 3

Abb. 2. Probeaufnahme der Hg-Linie $\lambda 4047$ mit dem Gitterspektrographen in 2. Ordnung zur Prüfung des Auflösungsvermögens. Die Feinstruktur gemäß Abb. 4 wird leicht und deutlich aufgelöst, das praktisch erreichbare Auflösungsvermögen liegt etwa bei 0,02 bis 0,03 Å. Vergrößerung der Originalaufnahme etwa 1:50.

Abb. 3. Mikrophotogramm der Aufnahme von Abb. 2, veranschaulicht die deutliche Auflösung der Feinstruktur der Hg-Linie $\lambda 4047$ gemäß Abb. 4.

zu Beginn der Beobachtungen über Zeeman-Effekte mit einer wassergekühlten Quecksilberlampe gemacht wurde. Zum Vergleich ist das zu er-

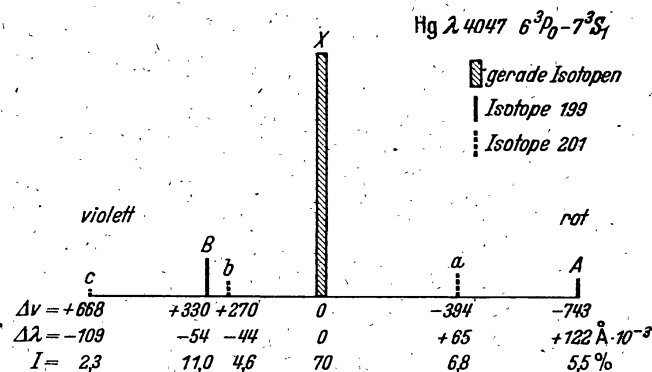


Abb. 4. Schema der zu erwartenden Feinstruktur (Isotopieffekt) der Hg-Linie $\lambda 4047$ nach [31]. Die beige-schriebenen Intensitäten beanspruchen nur ungefähre Gültigkeit, da sie von Lichtquelle und Anregungsbedingungen abhängen.

wartende Schema der Feinstruktur nach interferometrischen Aufnahmen einer speziellen Glimmentladung durch H. SCHÜLER und J. E. KEYSTON [31] beigegeben (Abb. 4). Die beige-schriebenen Intensitätsverhältnisse

beanspruchen nur ungefähre Gültigkeit, da sie bekanntlich weitgehend von den Anregungsbedingungen abhängen [32, 33]. Man sieht auf dem Original sofort, daß z. B. der Abstand der beiden Linien α und A von $0,06 \text{ \AA}$ in $\Delta\lambda$ mit Leichtigkeit vollkommen getrennt erscheint. Das praktisch tatsächlich erreichte Auflösungsvermögen liegt also noch merklich unter dieser Grenze und darf sicher mit 150 000 bis 175 000 veranschlagt werden. Die vorzügliche Qualität der Linien erstreckt sich über die ganze Länge des sorgsam geschliffenen Quarzspaltes von 50 mm Höhe. Aus früher hier vorgenommenen Untersuchungen [30] des gleichen Gitters zeigt Abb. 5 die Form und Lage der bei starker Überbelichtung auftretenden Gittergeister, und Abb. 6 die Apparatkontur des Gitter-



Abb. 5. Aufnahmen einer Emissionslinie mit breitem Spalt mit dem Gitterspektrographen in 2. Ordnung zur Veranschaulichung der Gittergeister. Die Belichtungszeiten sind für jede folgende Aufnahme verdreifacht. Die Intensität des ersten Geistes beträgt etwa $1,5\%$ der Intensität der Hauptlinie.

spektrographen. Die Gittergeister sind verhältnismäßig gering. In der zweiten Ordnung erreicht ihre Summe eine Intensität von etwa 3 bis 4%. Die zusätzlichen polarisierenden Eigenschaften des Gitterspektrographen halten sich ebenfalls in geringen und im allgemeinen unbedenklichen Grenzen. Nach wiederholten Versuchen und Prüfungen wurden alle Aufnahmen zur vorliegenden Untersuchung in der 2. Ordnung gemacht. Die 3. Ordnung bringt trotz größeren Auflösungsvermögens infolge der von Natur unscharfen Fraunhofer-Linien keinen Gewinn an Meßgenauigkeit mehr, wohl aber einen merklichen Verlust an Intensität. Das steht im wesentlichen in Übereinstimmung mit den früheren Befunden amerikanischer Autoren.

Das Turmteleskop liefert mit 1400 cm Brennweite und einer auf 30 cm abgeblendeten Linse von 60 cm freier Öffnung auf der vertikalen Spaltwand ein Sonnenbild von rund 13 cm Durchmesser. Durch ein leicht einschiebbares Vergrößerungssystem kann dieser Durchmesser verdoppelt werden.

Diese Ausrüstung sei kurz mit der auf dem vorliegenden Gebiete bisher fast ausschließlich benutzten amerikanischen Anordnung am 150-Fuß-Tower-Teleskop des Mt. Wilson [8] verglichen. Der wesentlichste Teil, das Plangitter, besitzt die gleichen Abmessungen wie dasjenige auf dem Mt. Wilson und es dürfte ihm, besonders nach seiner vor einigen Jahren in dem Laboratorium der I. G. Farben von Dr. Hochheim erfolgten und vorzüglich gelungenen Reinigung und Aluminisierung,

sicher ebenbürtig sein. Das konnte auch durch einige seinerzeit vom Mt. Wilson überlassene Musterplatten direkt verifiziert werden. Die wesentlich geringere Brennweite der Potsdamer Spektralanlage — 1200 cm gegen 2210 cm am 150-Fuß-Turm — bedeutet keinen nennenswerten Nachteil, da das Auflösungsvermögen des Gitters auch hier voll ausgenutzt wird. Mit der sehr viel größeren Brennweite von 4570 cm und einem entsprechend großen primären Sonnenbilde ist jedoch die amerikanische Anlage, besonders für das hier sehr erwünschte Studium kleiner Einzelheiten auf der Sonnenscheibe, wesentlich günstiger ausgerüstet. Eine solche Brennweite setzt allerdings entsprechend ruhige Sichtbedingungen voraus, wenn sie nutzbringend angewandt werden soll. Solche Bedingungen werden sich in Mitteldeutschland kaum finden lassen. Die langjährige Erfahrung an der hiesigen Anlage in dem für unsere Breiten nicht ungünstigen Klima des Potsdamer Observatoriums lassen keinen Zweifel darüber, daß schon unser mit einer Äquivalentbrennweite von 2800 cm vergrößertes Sonnenbild nur noch an sehr wenigen Beobachtungstagen mit Nutzen verwandt werden kann. Bei der überwiegenden Mehrzahl aller Beobachtungen wurde stets die normale 1400-cm Brennweite

vorgezogen. Da zweifellos Detailstudien der Sonnenoberfläche in Zukunft von Wichtigkeit sein werden, sollten für Neuanlagen ähnlicher Art große Brennweiten in einem sorgsam dafür ausgesuchten Klima unbedingt bevorzugt werden. Abweichend von dem Potsdamer Turmteleskop mit seiner horizontalen Spektralanlage ist das amerikanische Tower-Teleskop mit einer senkrechten Spektralanlage versehen, die es ermöglicht, den Spektralapparat in jeden beliebigen Positionswinkel zum Sonnenbilde zu stellen. Dies ist für die vorliegenden Untersuchungen besonders nützlich und erwünscht. Bei der Potsdamer Anlage ist es leider nur möglich, durch Verstellen der Coelostatenanordnung oben in der Kuppel das Sonnenbild gegenüber dem feststehenden Spalt um verhältnismäßig beschränkte und oft nicht ausreichende Beträge zu drehen. Eine weitere Bildrotation gegenüber dem Spalt kann nur durch ein dicht vor dem Spalt zusätzlich einzuschiebendes Dreispiegelsystem erzielt werden. Die dabei auftretende dreifache Spiegelung an Metalloberflächen erzeugt

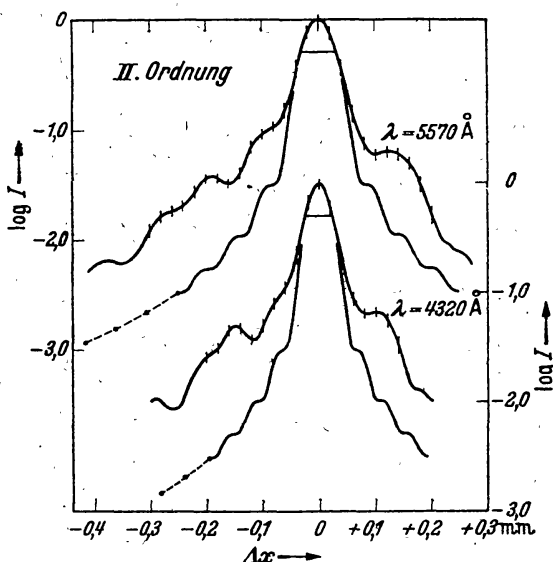


Abb. 6. Apparatekontur des Gitterspektrographen in 2. Ordnung für zwei Wellenlängen nach [30].

aber, wie spezielle Untersuchungen gezeigt haben, beträchtliche zusätzliche Polarisationen, sodaß dies System für die vorliegenden Zwecke nur mit sehr großer Vorsicht benutzt werden kann.

Es ist für die hier in Angriff genommenen Aufgaben erwünscht und nötig, ein gutes, zusammenhängendes Bild der jeweils untersuchten Fleckengruppe zu besitzen, um dort die Stellung des Spektrographenspaltes für die einzelnen Aufnahmen eintragen und um die Lage der ganzen Gruppe auf der Sonne beurteilen zu können. Für diese Zwecke kann das Sonnenbild im Kellerlaboratorium mittels eines speziell angefertigten Schlitzverschlusses [34] im primären Fokus des Hauptobjektivs (Brennweite 1400 cm) auf einem Plattenformat 18 mal 24 cm aufgenommen werden. Wegen der bei einem Turmteleskop mit drehbarem Coelostatensystem etwas unübersichtlichen Orientierung wird durch eine Zusatzeinrichtung jede Platte mit einer Richtungsmarke versehen und außerdem wird gleichzeitig eine abgestufte Skala für Schwärzungsmessungen aufgebracht.

Um schließlich für spezielle Aufgaben der Photometrie Serien geeigneter Aufnahmen, etwa von Fleckengruppen, zu erhalten, können Teilaufnahmen aus dem direkten ($F = 1400$ cm) oder vergrößerten ($F = 2800$ cm) Sonnenbilde auf Kinofilm 24×36 mm mit einer Nettax-Anordnung ebenfalls mit Schlitzverschluß gemacht werden [35]. Auch auf diesen Filmstreifen werden regelmäßig Schwärzungsmarken aufgebracht.

Eine spektrohelioskopische Zusatzeinrichtung der Askania-Werke, Berlin-Friedenau, über die an anderer Stelle [36] ausführlicher berichtet wird, ermöglicht endlich jederzeit, das primäre Sonnenbild im Lichte von H_{α} visuell zu untersuchen und auch in Teilausschnitten zu photographieren. Für die Untersuchung von aktiven Fleckengruppen und chromosphärischen Eruptionen auf etwaige Zeeman-Effekte leistet diese Apparatur im Zusammenhang mit der vorliegenden Aufgabe vorzügliche Dienste.

Für die Vermessung der Spektralaufnahmen standen die üblichen Plattenmeßapparate, auch solche für Vermessung in zwei zueinander senkrechten Koordinaten, zur Verfügung, für die Photometrie das lichtelektrische Registrierphotometer der Firma C. Zeiss [37].

Polarisationsoptik. Linienaufspaltung oder -verbreiterung als Wirkung eines Magnetfeldes wird man im allgemeinen erst dann als solche anerkennen können, wenn der Nachweis der zu erwartenden richtigen Polarisationszustände der Komponenten geführt ist. Bringt man beim Longitudinaleffekt (und in ähnlicher Weise beim Transversaleffekt) bald die eine, bald die andere Komponente zur Auslöschung, so werden auch dann noch kleine, meßbare Linienverschiebungen erkennbar, die sich wegen der Symmetrie des Zeeman-Effektes sonst der Wahrnehmung

schon entziehen würden. Zunächst wurde hierzu vorwiegend eine optische Anordnung benutzt, wie sie in ähnlicher Art schon W. KÖNIG 1897 [38] angab und wie sie auch von den amerikanischen Autoren verwandt wurde. Bei der Beobachtung des longitudinalen Effektes wurde in der bekannten Weise durch ein $\frac{1}{4}\lambda$ -Plättchen und einen linearen Polarisator wahlweise die eine oder die andere der beiden zirkularen Komponenten des Zeeman-Dubletts ausgelöscht. Für den transversalen Effekt benutzt man die gleiche Anordnung mit einer $\frac{1}{2}\lambda$ -Platte und löscht dann wahlweise die mittlere oder die beiden äußeren Komponenten aus. Die Hauptschwingungsebenen der $\frac{1}{4}\lambda$ -Glimmerplättchen und die Schwingungsrichtung des linearen Polarisators stehen dabei unter einem Winkel von 45° . Um den Zeeman-Effekt differentiell noch deutlicher in Erscheinung treten zu lassen, ließ nun KÖNIG zwei Glimmerplättchen scharf aneinandergrenzen, deren Hauptschwingungsebenen um 90° gegeneinander versetzt waren. Selbst sehr geringe Effekte, die man sonst leicht übersehen würde, sind dann an der Grenzstelle als kleine Knicke in dem sonst geradlinigen Verlauf der betreffenden Spektrallinie für das Auge noch deutlich zu sehen. Zur weiteren Verdeutlichung legte HALE eine Anzahl solcher schmalen 2 mm breiten Glimmerstreifen mit abwechselnd um 90° versetzten Hauptschwingungsebenen nebeneinander. Das Schema der Abb. 7 zeigt die auf diese Weise mit solchen „einfachen“ oder mit „zusammengesetzten“ $\frac{1}{4}\lambda$ - oder $\frac{1}{2}\lambda$ -Platten entstehenden Aufspaltungsbilder.

Es sind hier mit zahlreichen verschiedenen Anordnungen Versuche gemacht worden, aber es wurde die sehr anschauliche Methode der zusammengesetzten Glimmerplättchen schließlich doch allen andern vorgezogen. Die Potsdamer Beobachtungen sind darum zum allergrößten Teil mit solchen aus schmalen, 1 mm breiten Streifen zusammengesetzten Glimmerplättchen hergestellt worden [39]. Nur für besondere Zwecke wurden auch homogene Glimmerplättchen vom Durchmesser der ganzen Spalthöhe benutzt.

Abweichend von den amerikanischen Autoren wurden hier als lineare Polarisatoren nach einigen Vorversuchen mit einem besonders schönen Glan-Thompson-Prisma und mit verschiedenen NICOLSchen Prismen fast stets die neuzeitlichen dichroitischen Polarisatoren benutzt [40], von denen Exemplare aller drei wesentlichster Typen zur Verfügung standen, also sowohl Einkristalle, Vielkristall- als auch Färbungsfilter. Folien dieser Art lagen vor in einigen Exemplaren amerikanischer Herkunft auf steifem Planfilm (was ihre Handhabung außerordentlich erleichtert), ferner in Erzeugnissen der Firma C. Zeiss und der Firma E. Käsemann, Berlin-Machnow. Bei diesen Folien handelt es sich um orientierte dichroitische Kriställchen, meist des Jod-Chininsulfates, eingebettet in ein isotropes Medium. Sie zeigen dementsprechend noch

einen merklichen Tyndall-Effekt. Besonders zweckmäßig haben sich weiterhin erwartungsgemäß die schönen sogenannten Reproduktions-bernotare der Firma C. Zeiss erwiesen, sehr wenig gefärbte Herapathit-

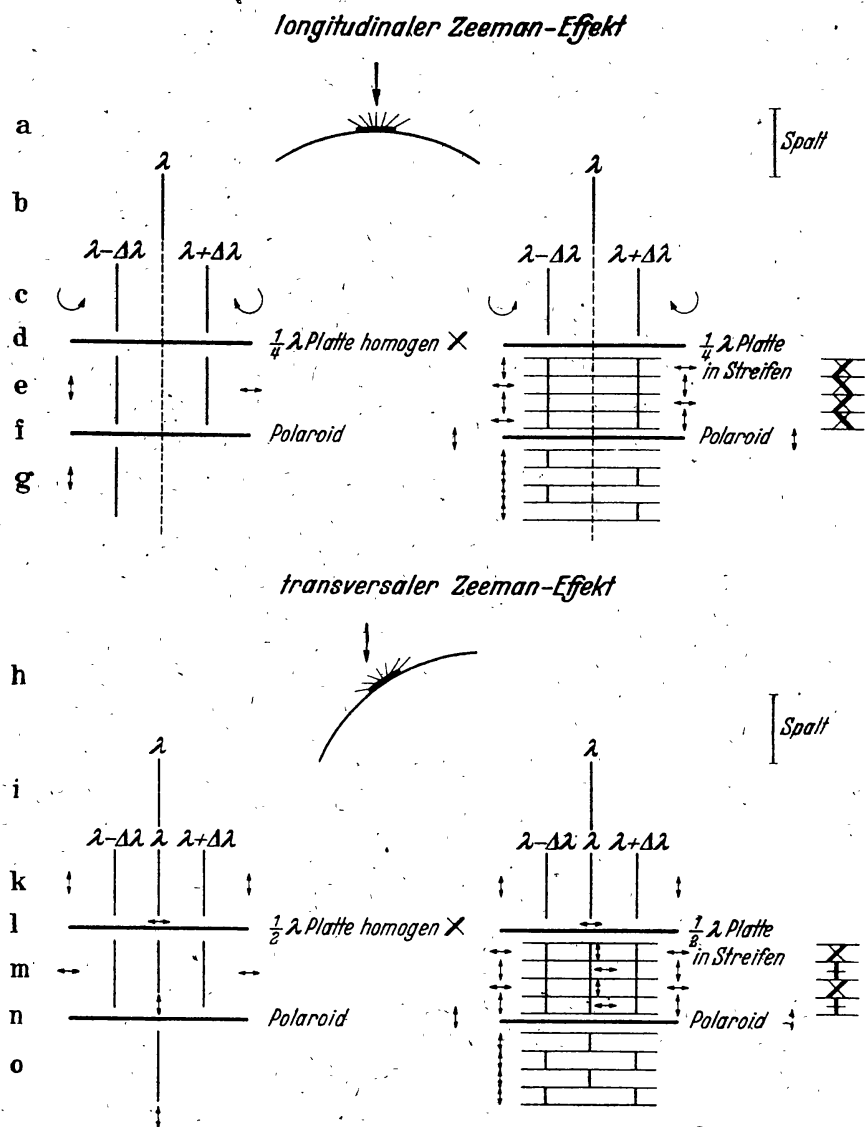


Abb. 7. Schema zur Erläuterung der Wirkung der benutzten Polarisationsoptik beim Vorhandensein eines normalen Zeeman-Effektes gemäß Schema 1 (Nordpol) und bei Anwendung sowohl homogener als auch zusammengesetzter $\frac{1}{4}$ - und $\frac{1}{2}$ - λ -Plättchen.

Beim Longitudinaleffekt (a) wird die im normalen Sonnenspektrum einfache Linie λ (b) im Bereiche des Magnetfeldes aufgespalten in ein Dublett (c). Die $\frac{1}{4}$ - λ -Platte (d) verwandelt das zirkular polarisierte Licht der beiden Seitenkomponenten in linear polarisiertes Licht (e), von dem durch das Polaroid (f) bei Anwendung der homogenen Glimmerplatte (linke Bildhälfte) bei g nur die eine Komponente durchgelassen wird. Bei Benutzung der zusammengesetzten Glimmerplatte (rechte Bildhälfte) bleibt in jeder folgenden Stufe abwechselnd nur die eine oder andere Komponente sichtbar, so daß das charakteristische Meandermuster (g) entsteht.

Beim Transversaleffekt (h) erfolgt die Aufspaltung von λ (i) gemäß (k) als Triplett. Die zusammengesetzte $\frac{1}{2}$ - λ -Platte (l) dreht den linearen Polarisationszustand der Zeeman-Komponenten in jedem folgenden Streifen (m) abwechselnd um 90° , so daß hinter dem Polaroid (n) das charakteristische Muster (o) entsteht.

Polarisationszustände und Achsenrichtungen der Glimmerplättchen sind durch beigesetzte Zeichen angedeutet.

Einkristalle, die in ausgesuchten Stücken von vorzüglicher optischer Qualität sind. Alle diese Polarisatoren haben den Vorteil, leicht in hinreichend großen Stücken verfügbar zu sein, um damit die volle Spalthöhe, hier von 50 mm, ausnutzbar zu machen, was sich für die Untersuchung größerer Gebiete als sehr nützlich erwiesen hat. Die Bildverschlechterung durch die optisch nicht immer vollkommen homogenen Folien ist bei gut ausgesuchten Stücken nur geringfügig, bei den Einkristall-Reproduktionsbernotaren in diesem Zusammenhang überhaupt nicht mehr merklich. Daß sie alle im hier in Frage kommenden Wellenlängenbereiche mit ihren übrigen optischen Eigenschaften mit gewöhnlichen Nicol-Systemen in Wettbewerb treten können, zeigt die folgende Zusammenstellung. Es ist verhältnismäßig wenig und dann noch oft an recht unzugänglichen Stellen über die optischen Eigenschaften solcher Polarisatoren berichtet worden. Die bei vorliegender Gelegenheit vorgenommene Zusammenstellung der wichtigsten erreichbaren Daten wird darum vielleicht nicht überflüssig sein. Wenn man, wie üblich, die Durchlässigkeit eines Polarisators für vollkommen linear polarisiertes Licht in Parallelstellung mit D_p und in gekreuzter Stellung mit D_s bezeichnet, so ist der Polarisationsgrad P in Prozenten gegeben durch $P = \frac{D_p - D_s}{D_p + D_s}$. Die Durchlässigkeit N für gewöhnliches Licht ergibt sich aus $N = \frac{D_p + D_s}{2}$. In der folgenden Tabelle 4 sind erreichbare Daten nach verschiedenen Quellen etwas vereinheitlicht zusammen-

Tabelle 4. *Polarisation P und Durchlässigkeit N verschiedener Polarisatoren.*

λ	Zeiss-Bernotar [41]		Marks-Polarisator [42]		Amerik. Polaroid-Folien [43]		Nicol [41]	
	P	N	P	N	P	N	P	N
4000	100	10	91	37	96	8	100	33
4500	100	20	91	40	98	28	100	43
5000	100	35	83	42	99	37	100	43
5500	100	40	94	43	99	38	100	43
6000	100	40	95	44	99	38	100	43
6500	99,9	41	95	44	99	39	100	43
7000	70	52	95	44	92	43	100	44
7500	26	63	—	—	50	51	100	44
8000	6	80	—	—	—	—	100	44
8500	5	80	—	—	—	—	100	43
9000	4	80	—	—	—	—	100	43

gestellt. Sie dürfen im übrigen nur genäherte Gültigkeit beanspruchen, weil naturgemäß die einzelnen Exemplare je nach Herstellung und Fabrikation gegeneinander merkliche Unterschiede aufweisen können.

Zeiss-Icon-Folien erreichen nach Messungen von H. SAUER [44] für

weißes Licht Polarisationsbeträge zwischen 98 und 100 % bei einer Durchlässigkeit von 40 bis 32 %. Färbungsfilter der Firma E. Käsemann [45] zeigten für weißes Licht Polarisationen von 98,5 bis 99 % und Durchlässigkeiten von 54 bis 63 %. Im Ultrarot sind die meisten Filter nicht mehr brauchbar. Eine Ausnahme scheinen gewisse Markspolarisatoren nach amerikanischen Patenten zu bilden, die durch Verwendung von Jod-Chinonidinsulfat statt des Herapathits auch hier hohe Polarisationsgrade erreichen, die also im Prinzip durch geeignete Substanzen wohl erzielbar sind [46].

Die verhältnismäßig große Wärmeempfindlichkeit der Folien und Einkristalle — es werden von den Herstellern Grenztemperaturen zwischen 50° und 100° C genannt — haben bei den hier nun schon vorliegenden langen Beobachtungsreihen keinerlei Schwierigkeiten gebracht, denn die Erwärmung konnte leicht mit Sicherheit unter 50° C gehalten werden.

Der besondere Vorteil solcher Polarisatoren liegt noch darin, daß sie in Verbindung mit dem jeweiligen Glimmerplättchen ein fast uhrglasdünnes Gebilde darstellen, das sich optisch vor dem Spalt sehr bequem handhaben läßt und das es z. B. leicht gestattet, bei Benutzung der unterteilten Glimmerplatte diese ganz dicht vor den Spalt zu bringen, so daß die einzelnen Trennungstreifen im Spektrum vollkommen scharf werden. Nicols und verwandte Polarisatoren besitzen bei diesen Abmessungen notwendig viel größere Dicken [47], wodurch die schließliche scharfe Abbildung der Sonnenflecken und der Kanten der Glimmerplättchen auf den Spalt schwierig wird. Außerdem bereitet ihre Herstellung und Justierung größere Mühe, da bei einer Drehung ihre optische Achse zuverlässig und genau erhalten bleiben muß, wenn die notwendige Ausleuchtung des Spektrographen nicht verändert werden soll.

Wie man aus Abb. 8 sieht, besitzt die ganze zusätzliche Polarisationsoptik vor dem Spalt eine sehr handliche und ganz dünne Form. Die verschiedenen Glimmerplättchen und linearen Polarisatoren sind alle nach dem bewährten Baukastenprinzip einzeln in austauschbaren und auf Stifte und Zeiss-Reiter aufsteckbaren Fassungen montiert, so daß sie in beliebiger Weise mit wenigen Handgriffen ausgewechselt und in die jeweils gewünschte Reihenfolge gebracht werden können. Das hat sich für sehr viele Zwecke bei den eigentlichen Beobachtungen und auf der optischen Bank bei Vorversuchen bestens bewährt.

Es ist schließlich bei diesen Untersuchungen von Wichtigkeit, sich stets über den Polarisationszustand des jeweils untersuchten Lichtes im klaren zu sein und auch den Drehsinn zirkular polarisierten Lichtes (der die Entscheidung über die Polarität der Felder gibt) stets sicher bestimmen zu können. Verwechslungen kommen bei ausgedehnten Versuchsreihen erfahrungsgemäß sehr leicht vor. Es wurde deswegen ein

kleines Testobjekt in folgender Form hergestellt: Ein $\frac{1}{4}\lambda$ -Plättchen wurde mit einer derart orientierten Polaroidfolie nach Art einer kleinen Diapositivplatte zusammenge kittet, daß das von seiten der Polaroidfolie hindurchtretende gewöhnliche Licht für etwa $\lambda 6000 \text{ \AA}$ möglichst gut links zirkular polarisiert war. Drehsinn und Polarisationszustand dieser Testplatte wurden unabhängig in entgegenkommender Weise vom Laboratorium für Polarimetrie der Physikalisch-Technischen Reichs-

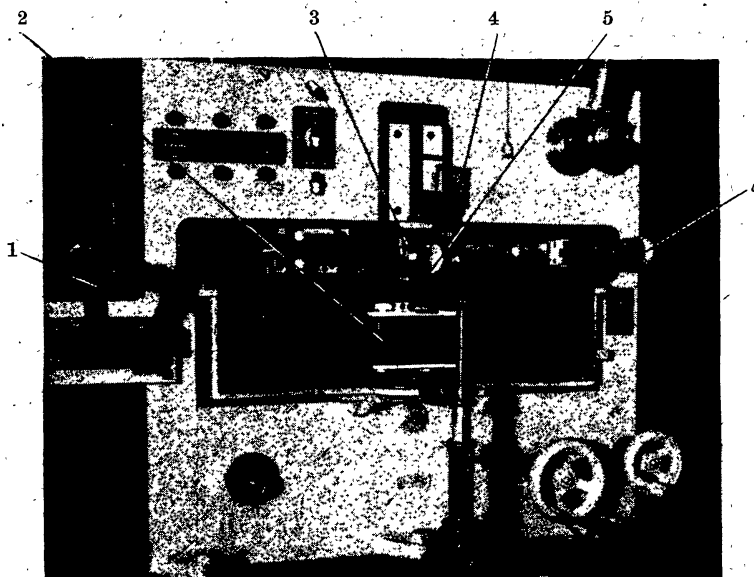


Abb. 8. Spaltwand des großen Gitterspektrographen des Turmteleskops. Die Polarisationsoptik 5 ist auf einem Zeiss-Reiter davorgestellt, sie kann aber zur größeren Handlichkeit auch auf den Filterhalter 4 aufgesteckt werden.

- 1 Optik zur Führung des Fleckes während der Belichtung durch Beobachtung des Spektrums an einer Stelle in der Nähe der eigentlichen Aufnahme.
- 2 Kleinbildkassette (Nettax) mit Filmtransport und Schlitzverschluß, mit der Serien schnell aufeinanderfolgender Aufnahmen auf Kleinbildfilm (Kinofilm) hergestellt werden können.
- 3 In der Wand eingebauter Präzisionsspalt der Spektralanlage (im Bilde von 5 verdeckt).
- 4 Filterhalter zum beliebigen Aufstecken und Ausschwenken verschiedener Licht- oder Wärmefilter, Filter im Bilde hochgeschlagen.
- 5 Polarisationsoptik, bestehend aus Glimmerplättchen (vorn) und Polaroid (dahinter) in gemeinsamer Fassung und beliebig gegeneinander drehbar. Die Glimmerplättchen in Sonderfassung einsteckbar, um schnellstes Auswechseln zu ermöglichen.
- 6 Mikrometrische Einstellung des Präzisionsspaltes.

anstalt in Berlin-Charlottenburg durch Herrn Dr. EINSBORN geprüft. Dies kleine Testobjekt hat außerordentlich gute Dienste geleistet und gestattet z. B. mit einem Griff jederzeit eine Kontrolle der Polarität des eine Zeeman-Aufspaltung erzeugenden Magnetfeldes mit Hilfe des Schemas der Abb. 7.

Da ja bekanntlich die drei vor dem Spalt befindlichen Spiegel des Turmteleskops mit ihren Aluminiumoberflächen die Polarisation und den Drehsinn des an ihnen reflektierten Lichtes je nach dem Reflexionswinkel durchaus verändern können, diente diese Testplatte auch zu folgender Prüfung. Die Testplatte wurde in den normalen, jetzt jedoch

auf ihren eigenen Durchmesser abgeblendeten Weg des einfallenden Sonnenlichtes gebracht, ehe es den ersten Spiegel des Turmteleskops erreichte. Man ist dann sicher, daß zirkular links polarisiertes Licht gleichsam von der Sonne her das optische System des Turmteleskops erreicht und man kann sich dann nach Einschalten aller üblichen Polarisationsmittel in dem schließlich entstehenden Spektrum überzeugen, ob und wie das vom Raume her einfallende zirkular polarisierte Licht bei seinem Laufe durch die gesamte Optik verändert wird. Auf solche Kontrollen beziehen sich auch alle hier gemachten Angaben über den Polaritätssinn von Fleckenfeldern. Es zeigte sich, daß unter normalen Einfallswinkeln keine besonders störende Veränderung im Charakter des einfallenden Lichtes auftrat, wie dies auch F. H. SEARES bemerkt [48], so daß jedenfalls der Polarisationszustand untersuchter Sonnengebiete durch Zeeman-Aufnahmen des Spektrums nicht stark verfälscht sein dürfte. Für die genauere detaillierte Untersuchung der gegenseitigen Komponentenintensitäten, etwa zu Ableitung von Kraftlinienneigungen, liegt hier allerdings eine besonders gefährliche Fehlerquelle vor, die sorgsamster Berücksichtigung bedarf.

Die beschriebene Anordnung mit zusammengesetzten oder homogenen Glimmerplättchen und linearen Polarisatoren in Form von Folien oder Einkristallen wurde hier vorwiegend für die Messung starker, lokaler Magnetfelder benutzt. Sie hat den Nachteil, daß Zeeman-Aufspaltungen und Doppler-Verschiebungen im Longitudinaleffekt nicht ohne weiteres unterscheidbar sind, falls die Mittelkomponente nicht noch schwach sichtbar bleibt, was allerdings meistens der Fall ist. Will man Zeeman-Aufspaltung und Doppler-Effekt sicher trennen, so bedarf es dazu korrekterweise zweier aufeinanderfolgender Aufnahmen, zwischen denen der lineare Polarisator um 90° umgelegt werden muß. Die beiden zeitlich verschiedenen Aufnahmen sind dann aber nicht mehr im strengsten Sinne vergleichbar.

Es sind aber auch Anordnungen möglich, mit denen man mit einer einzigen Aufnahme ans Ziel kommt und man wird solche vorwiegend für schwache und schwächste Felder anwenden. Auf die eine und naheliegende Beobachtungsmethode hat ebenfalls schon W. KÖNIG [38] hingewiesen. Mittels einer der bekannten doppelbrechenden Anordnung, etwa mit einer Kalkspatplatte oder einem Wollaston-Prisma und mit Glimmerplättchen kann man zwei zueinander senkrecht linear polarisierte, sonst aber gleiche Bilder übereinander erzeugen, wodurch man in der Lage ist, den Betrag von $2 \Delta \lambda$ auf einmal messen zu können und keine Verfälschung durch Doppler-Effekte zu befürchten hat. Allerdings wird hierbei die nutzbare Spalthöhe auf die Hälfte herabgesetzt, was für die Untersuchung ausgedehnter Störungsgebiete auf der Sonne nach hiesigen Erfahrungen bedauerlich ist.

Eine andere Methode, die mit einer einzigen Exposition ebenfalls den Betrag von $2 \Delta \lambda$ mit homogenem oder zusammengesetztem Glimmerplättchen und unverfälscht durch Doppler-Effekte zu messen gestattet und welche die ganze Spalthöhe auszunützen erlaubt, ist im Prinzip von R. W. Wood angegeben worden. Sie eignet sich speziell für die Erfassung schwacher und schwächster Felder und wird mit und ohne Kombination mit einer interferometrischen Anordnung ebenfalls seit längerer Zeit in Potsdam benutzt, so daß demnächst an diesem Ort näher darüber berichtet werden wird.

Beobachtungsmaterial.

Das Beobachtungsmaterial, aus dem im nachfolgenden einige ausgewählte Beispiele mitgeteilt werden sollen, umfaßt, soweit es die äußeren Beobachtungsbedingungen nur immer zuließen, im allgemeinen regelmäßig folgende Schritte:

1. Die Sonnenoberfläche wurde zunächst auf dem Projektionsschirm visuell durchmustert und die Positionen von Flecken- und Fackelgebieten in richtigen heliozentrischen Koordinaten aufgenommen, wobei Fleckenrelativzahl und Klassifikation etwaiger Fleckengruppen in der Züricher Nomenklatur [49] bestimmt wurden. Diese Beobachtungen jedes Tages werden regelmäßig in ein heliographisches Sonnennetz eingezeichnet und in einer kleinen Kartothek aufgesammelt.

2. Mittels des Schlitzverschlusses wurde dann ein sehr hart gehaltenes Gesamtbild der Sonne im primären Fokus des Turmteleskops (Sonnendurchmesser = 13 cm) auf Agfa Printon-Platten vom Format 18 mal 24 cm im gewöhnlichen Lichte hinter Filtern BG 12 + GG 3 der Jenaer Farb- und Filterglasserien [50] mit etwa $1/100$ bis $1/200$ sec Belichtungszeit hergestellt und in Methol-Hydrochinon 1 : 2 entwickelt. Jede dieser Aufnahmen trägt eine Richtungsmarke und eine 22stufige Schwärzungsskala, die einen weiten Intensitätsbereich überdeckt. Diese entstanden durch eine zweite gleichartige Belichtung einer Plattenstelle außerhalb der eigentlichen Sonnenaufnahme, wobei hinter der gleichen Filterkombination die Richtungsmarke und das Stufenfilter durch die Mitte des Sonnenbildes exponiert wurden. Das Turmteleskop wurde bei der Sonnenaufnahme auf etwa 10 cm abgeblendet, für die stets sofort anschließende Herstellung der Schwärzungsmarken wurde die Öffnung ein wenig vergrößert, um mit den Schwärzungsmarken sicher den vollen Intensitätsbereich der Hauptaufnahme zu überdecken. Die Filterkombination befand sich ziemlich weit, etwa 200 cm von der Plattenfläche entfernt, weil es in der Praxis erfahrungsgemäß nicht möglich ist, das große Sonnenbild hinreichend frei von den Spuren gelegentlicher Staubpartikel auf den Filtern zu halten. Aus solcher Entfernung verwischen sich aber kleine Filterunreinigkeiten vollständig. Natürlich

wurde geprüft, daß keine merkliche Bildverschlechterung durch diese Anordnung hervorgerufen wurde. Bei hinreichend günstigen Sichtbedingungen zeigen diese Platten schöne Details und eine sehr gute kontrastreiche Granulation von der richtigen Größe von etwa 1 bis 2'' [34, 51, 52].

3. Da diese vornehmlich zu Orientierungszwecken und als Bilddokument gedachten Aufnahmen indessen für genauere photometrische Einzeluntersuchungen naturgemäß viel zu hart sind, wurden anschließend von allen interessierenden Fleckengruppen in der Regel noch besondere, für die photometrische Auswertung gedachte Reihenaufnahmen hergestellt. Diese erfolgten mit der schon früher beschriebenen [35] Kleinbildkamera (Nettax) auf Isopan-FF-Film hinter der gleichen und gleich weit entfernten Filterkombination (BG 12 + GG 3) und bei der gleichen Öffnung des Turmteleskops von etwa 10 cm. In der Regel wurde eine ganze Serie solcher Fleckenaufnahmen mit teilweise verschiedenen Belichtungszeiten zwischen $\frac{1}{500}$ und $\frac{1}{100}$ sec hergestellt. Meist wurde hierbei ebenfalls die primäre Brennweite und nur bei sehr guten Luftverhältnissen gelegentlich die vergrößerte Brennweite (2800 cm) benutzt. Das nutzbare Bildfeld der Nettax mit 24×36 mm entspricht auf der Sonne einem Bildausschnitt von etwa $6'5 \times 8'2$. Ein solcher Bildstreifen trägt ferner jedesmal eine Randaufnahme der Sonne zur Abschätzung des Streulichtes und eine Anzahl (meist 4) wiederum mit der Sonnenmitte aufkopierter Bilder mit je 5 Schwärzungsstufen. Jede Stufengruppe umfaßt einen Bereich von etwa 1^m8 . Die einzelnen Stufengruppen wurden in schneller Folge von etwa je 2^s Abstand hergestellt und dabei die Öffnung des Turmteleskops jedesmal um geringe Beträge verändert, so daß sich die Intensitäten der einzelnen Stufengruppen teilweise überdecken. Durch Aufschieben der logarithmischen Werte bekommt man dann später eine sehr saubere Schwärzungskurve über den erforderlichen großen Bereich von 3 bis 4 Größenklassen. Die Entwicklung dieser Filme erfolgte in Korrex-dösen mit Rodinal 1 : 40 unter beständigem Drehen in 12 Minuten. Für die nachstehenden photometrischen Angaben ist stets das Aufnahmematerial dieser Filme benutzt worden.

4. Interessierende Stellen der Sonnenoberfläche wurden nunmehr mit dem Spektrohelioskop visuell im Lichte von H_α durchmustert, um eine Vorstellung von der Aktivität, speziell der größeren und aktiven Fleckengruppen zu bekommen. Dabei wurde vorwiegend auf helle H_α -Flockuli, auf Fackeln, auf dunkle und bewegte Filamente und natürlich ganz besonders auf chromosphärische Eruptionen geachtet. Diese visuellen Beobachtungen wurden ebenfalls in der von M. WALDMEIER [53] vorgeschlagenen Züricher Skala eingeschätzt. Von besonderen, schnell veränderlichen Gruppen wurden auch mittels der photo-

graphischen Zusatzeinrichtung am Spektrohelioskop photographische Aufnahmen gemacht (z. B. Abb. 36, 37), um Bilddokumente zu besitzen.

5. Anschließend an diese vorbereitenden Beobachtungen wurde nunmehr die jeweils gewünschte und mit wenigen Handgriffen zusammenstellbare Kombination der Polarisationsoptik vor den Spalt des Spektrographen gebracht, die betreffende Fleckengruppe auf den Spalt eingestellt und sorgsam fokussiert. Ebenfalls in dichter Folge konnten nun auf Kleinbildfilm Zeeman-Aufnahmen, fast stets mit der primären Brennweite, hergestellt werden. Für das hier mitgeteilte Material wurde fast immer die Fe-Linie λ 6302,508 in der 2. Ordnung des Gitters meist auf dem hierfür ausgezeichnet geeigneten Aeropan-Film der Agfa aufgenommen. Die Spaltweite konnte nach einigen Vorversuchen und im Hinblick auf die natürliche Unschärfe der Fraunhofer-Linien unbedenklich auf 0,06 bis 0,08 mm heraufgesetzt werden. Die Belichtungszeiten erreichten bei guter Sicht für Sonnenmitte dann 15 bis 20^s, für starke Flecken das Drei- bis Sechsfache. Die größtmögliche Höhe des Spaltes erwies sich als vorteilhaft, weil man dadurch eine möglichst große Ausdehnung auf der Sonne auf einmal überdeckt, was sich wiederholt als sehr nützlich erwiesen hat. Es konnte bei Benutzung von Platten mit einer Spalthöhe von fast 50 mm = 11,5 auf der Sonnenoberfläche gearbeitet werden, ohne daß bei der benutzten Öffnung des Turmteleskops von 30 cm Bedenken für die richtige Ausleuchtung des Gitters auftraten.

Als einführende Arbeit wurde zunächst die Aufgabe vorgenommen, Polarität, maximale Feldstärke und möglichst den Feldstärkenverlauf über alle erreichbaren Flecken und Fleckengruppen hinweg zu bestimmen. Dementsprechend wurde der Spektrographenspalt jeweils in die verschiedensten Lagen zu den Flecken und Fleckengruppen und ihre Umgebung gebracht, große Flecken und Fleckengruppen wurden öfter in engen Schnitten gleichsam abgetastet. Für die sorgsame Lokalisierung der jedesmaligen Spaltlage waren die direkten Sonnenbilder nach 2. oder 3., wie sich bald herausstellte, unentbehrlich. Entsprechende photometrische Schnitte ließen sich dann mittels der Aufnahmen nach 3. herstellen, so daß schließlich jedesmal eine direkte Aufnahme, Zeeman-Aufnahmen und photometrische Schnitte vereinigt werden konnten, wofür weiter unten einige Beispiele gezeigt werden. Der immerhin komplizierte Beobachtungsturnus brachte jetzt nahe dem Aktivitätsminimum der Sonne und in unserem Klima bisher naturgemäß nur eine beschränkte Zahl derartiger Beobachtungssätze. Immerhin konnten vom Dezember 1941 bis zum Winter 1943 trotz einiger größerer zeitlicher Ausfälle aus verschiedenen Ursachen allein über 500 Zeeman-Aufnahmen erhalten werden. Einige größere Fleckengruppen, speziell solche mit schnellen Veränderungen und Eruptionsherden, wurden in Dutzenden von Schnitten untersucht. Dabei wurden je nach Lage des

Falles die Kombinationen mit $\frac{1}{4}$ - oder $\frac{1}{2}$ - λ -Platte homogen oder unterteilt verwendet.

Es ist ein gewisser Nachteil der Potsdamer Anlage, daß das Sonnenbild gegenüber dem fest eingebauten Spalt nur in beschränktem Maße und nur durch vergleichsweise umständliche Operationen gedreht werden kann. Das zusätzlich vor den Spalt zu schiebende dreifache Spiegelsystem, das eine beliebige Drehung eines Teilausschnittes des Sonnenbildes erlaubt, bringt naturgemäß durch die in verschiedenen Stellungen sehr verschiedenen Einfallswinkel recht merkliche Veränderungen im Polarisationszustand des einfallenden Lichtes hervor, die erst durch weitere optische Kunstgriffe wieder kompensiert werden müssen. Dieses Zusatzgerät wurde darum nur in sehr wenigen Fällen und nur mit aller Vorsicht benutzt, um von einigen interessanten großen Hofflecken einmal in allen Azimuten Aufnahmen zu machen. In der Regel war es daher leider unmöglich, beispielsweise die Verbindungslinie einer gewöhnlichen bipolaren Fleckengruppe in die Spaltrichtung zu bringen, so daß in allen solchen Fällen mehrere Einzelaufnahmen mit mehr oder minder großer Winkelneigung zu ihr nötig wurden.

Auswertung der Aufnahmen.

Aus dem Material der direkten Aufnahmen wurden in der üblichen Weise genähert Position und Orientierung der untersuchten Gebiete abgeleitet und vergrößerte Reproduktionen hergestellt, in die etwaige spektrohelioskopische Wahrnehmungen und vor allem die jeweilige Lage des Spektrographenspaltes bei den einzelnen Zeeman-Aufnahmen eingetragen wurden. Solche, für die allgemeine Orientierung wichtige Bilder liegen nach Möglichkeit allen Zeeman-Aufnahmen bei (z. B. Abb. 25 u. a.).

Die Zeeman-Aufnahmen selber wurden bei verhältnismäßig kleiner Vergrößerung anfangs mit einem TÖPFERSchen Meßapparat des Instituts, später mit einem speziell hierfür geringfügig veränderten ZEISS'schen Spektrokomparator vermessen. Mit beiden Apparaten konnte in zwei zueinander senkrechten Richtungen gemessen werden. Die Größe $\Delta\lambda$ läßt sich an Orten großer Feldstärke ohne jede Schwierigkeit messen. Bei kleinen Feldstärken erscheinen die Linien durch die Polarisationsoptik nur mehr einseitig verbreitert und es bleibt schließlich nichts übrig, als eine gefühlsmäßige Ausmessung des entstandenen Schwerpunktes, wie dies ja auch bei vielen ähnlichen Messungen nicht zu umgehen ist. Diese Schwerpunktmessungen sind aber entsprechend unsicherer zu bewerten und dürften offenbar nur einen unteren Wert für $\Delta\lambda$ geben. Daß sich im Laufe von Tausenden solcher Messungen naturgemäß eine große Konstanz der persönlichen Auffassung ausbildet und auch diesen Messungen nach einer gewissen Zeit eine recht gute

innere Homogenität innewohnt, ist erfahrungsgemäß nicht anders zu erwarten. Dort, wo ein hinreichend deutlicher Longitudinaleffekt vorhanden war und der Verlauf des Feldes über den Fleck hinweg bestimmt werden sollte, wurden die Aufnahmen in Richtung des Spaltes in Abständen von 0,1 bis 0,2 mm vermessen, die $\Delta\lambda$ dann nach Formel (1) und unter Berücksichtigung des richtigen g in Gauß umgewandelt und gegen Bogensekunden im scheinbaren Sonnenbilde aufgetragen. So sind die Feldstärkenkurven der Abb. 13, 16, 20 u. a. entstanden. Da in der Regel nicht weit vom Zentralmeridian beobachtet wurde, sind keine weiteren Reduktionen angebracht worden, so daß man korrekterweise von scheinbaren Feldstärken sprechen wird. Bei zunehmender Neigung der Fleckengebiete gegen den Visionsradius komplizieren sich die Bilder durch das Auftreten von Mischeffekten mehr und mehr. Diese Fälle, in denen man kleine Feldstärken überhaupt nur noch recht unsicher wird ableiten können, liegen außerhalb des Rahmens dieses Berichtes. Auch die interessante Frage nach der Neigung der Kraftlinien, die von den amerikanischen Autoren schon an einem großen Material studiert wurde, erfordert eine sorgfältige und wegen der experimentellen Einflüsse recht schwierige Diskussion der Intensitätsverhältnisse der Zeeman-Komponenten und bedarf eines wesentlich größeren Materials, als es hier bisher vorliegt. Daß sich die Neigung der Kraftlinien in speziellen Fällen sehr schön erkennen läßt, zeigen die Abb. 43, 44, 46, 47 weiter unten.

Die in der beschriebenen Weise ermittelten Feldstärken können nun noch durch mancherlei Effekte verfälscht sein. Etwaige Fehler der optischen Anordnung, die eine Linienverlagerung vortäuschen könnten, lassen sich bei der Linie λ 6302,508 mit Sicherheit durch Kontrollmessungen an den dicht benachbarten terrestrischen Linien λ 6302,771 und λ 6302,005 erkennen, die für diese Zwecke außerordentlich wertvoll sind.

Gefährlich sind alle Arten von Doppler-Verschiebungen, die durch den Evershed-Effekt [54, 55, 56, 57] und andere schwer kontrollierbare Strömungserscheinungen hineinkommen können. Bei großen Aufspaltungen spielen sie eine geringe Rolle. Da außerdem bei solchen die Mittelkomponente im Longitudinaleffekt meist schwach, scharf und gut meßbar sichtbar bleibt, sind Doppler-Effekte hier fast unschädlich. Bei kleinen Feldstärken lassen sich Doppler-Effekte und Zeeman-Verschiebung bei der vorliegend angewandten Aufnahmemethode nur trennen, wenn zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen hergestellt wurden, zwischen denen der lineare Polarisator um 90° umgelegt wurde, so daß wahlweise die beiden Seitenkomponenten vermessen werden können. Der Evershed-Effekt dürfte übrigens bei den vorgelegten Aufnahmen deswegen eine geringe Rolle spielen, weil der Spektrographenspalt notgedrungen meist ziemlich senkrecht zum Sonnenradius gestanden hat. Bei der schon

erwähnten, seit einiger Zeit benutzten Aufnahmemethode fällt diese mögliche Verfälschung durch Doppler-Effekte zukünftig ganz fort.

Kleine Meßungenauigkeiten dürften übrigens auch noch dadurch entstehen, daß der Schwärzungsgradient auf den Aufnahmen gerade an den wegen der Linienverschiebung interessierenden Stellen nahe einem Fleck besonders stark ist. Sinkt doch die Helligkeit im Innern starker Flecke sehr schnell auf die Größenordnung von gelegentlich 10% ihrer Umgebung ab. Ohne komplizierte und bedenkliche Zusatzeinrichtungen läßt sich dieser Gradient offenbar nicht wohl vermeiden. Um im Spektrum der Umbra noch meßbare Intensitäten zu behalten, muß öfters für die Umgebung schon eine recht kräftige Belichtung in Kauf genommen werden.

Auch eine geringe Änderung der Linienintensität und -breite wegen der etwa um 1000° abgesunkenen Temperatur im Fleckinnern [58] wird die Messung etwas unsicher machen können, obwohl als Zeeman-Effekte grundsätzlich nur solche Verbreiterungen angesehen werden dürfen, die den richtigen Polarisierungseffekt zeigen. Die Linie λ 6302,508 ist übrigens ziemlich temperaturunempfindlich.

Schließlich muß man sich auch daran erinnern, daß bei Belichtungszeiten von $\frac{1}{2}$ bis 2 min durch Luftunruhe, Führungsfehler und allgemeine Streuung eine gewisse schwer abzuschätzende Verschmierung unvermeidlich ist. Die Luftunruhe dürfte das Fleckenbild an guten Tagen immerhin um Beträge von ganzen Bogensekunden hin und her pendeln lassen [59, 60]. Die fast stets schwach vorhandene Mittelkomponente beim Longitudinaleffekt und starker Aufspaltung wird vermutlich zum Teil auf Streulicht zurückzuführen sein, wird aber weiter auch darin ihre Erklärung finden müssen, daß der Sonderfall des exakten Longitudinaleffektes natürlich nur höchst selten verwirklicht sein wird [61].

Aus dem hier bisher vorhandenen Aufnahmematerial kann man schließen, daß Vorhandensein und Polarität von Feldstärken bis herab zu etwa 100 Gauß noch mit einiger Sicherheit feststellbar sind. Doch ist die Bestimmung des Absolutbetrages in Gauß bei so kleinen Feldstärken natürlich schon recht unsicher. Die deutlich vollzogene Aufspaltung bei λ 6302,508 wird bei den hiesigen Aufnahmen im allgemeinen wahrnehmbar oberhalb etwa $0,05 \text{ \AA} = 0,08 \text{ mm} = 1100 \text{ Gauß}$, und von hier ab sollten auch die angegebenen Feldstärken ziemlich zuverlässig sein. Die Polaritäten allein lassen sich ohne alle weiteren Messungen unter der Meßvergrößerung mit zusammengesetzter Glimmerplatte bis herab zu den ganz schwachen Feldern sehr gut und mit großer Sicherheit erkennen, weil das Auge für kleinste Knickungen im Linienverlauf sehr empfindlich ist. Für die lineare Einstellungsgenauigkeit auf den Aufnahmen ergaben sich nach hiesigen Erfahrungen etwa folgende Werte: Die ausgezeichnete terrestrische Linie λ 6302,771, deren Qualität und

Schärfe alle hier sonst benutzten solaren Fraunhofer-Linien bei weitem übertrifft, konnte mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,002$ mm gleich $\pm 0,0015$ Å für eine Einstellung vermessen werden (was einem mittleren Fehler von etwa ± 30 Gauß für die solare Linie λ 6302,508 entsprechen würde). Für die durch Magnetfelder und Flecken nicht gestörte solare Linie λ 6302,508 erreichte die gleiche Größe den Wert von $\pm 0,004$ mm $= \pm 0,003$ Å oder gleich ± 60 Gauß. Dieser Wert stieg bei mangelhafter Aufspaltung in kleinen Feldern auf $\pm 0,006$ mm $= \pm 0,005$ Å $= \pm 100$ Gauß und sank bei voll aufgespaltenen Linien für eine Seitenkomponente wieder auf $\pm 0,004$ mm. Die sehr scharfe Mittelkomponente läßt sich bei deutlicher Aufspaltung mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 0,003$ bis $0,004$ mm einstellen.

Die photometrische Auswertung der mit der Nettax gewonnenen direkten Aufnahmen geschah in der üblichen Weise mit dem ZEISS'schen lichtelektrischen Registrierphotometer des Instituts. Die Aufnahmen wurden sorgfältig in den gleichen Schnitten durchphotometriert, die seinerzeit durch die Lage des Spektrographenspaltes zum Fleck definiert wurden. Der Photometerspalt am Orte des Filmes betrug durchweg $0,05 \times 0,05$ mm, das Übersetzungsverhältnis 1 : 10 oder 1 : 20. Entsprechend wurden in radialer Richtung die zugehörigen Randaufnahmen und ferner die verschiedenen Gruppen von Schwärzungsstufen durchphotometriert. Meist ließen sich alle Registrierungen sehr anschaulich auf einem einzigen Registrierblatt mit Millimeterteilung vereinigen, was die Auswertung bequem und übersichtlich gestaltete. Durch Aufheben der in logarithmischem Maßstabe aufgetragenen einzelnen Stücke der Schwärzungskurve in der üblichen Weise konnte leicht eine den ganzen Schwärzungsbereich überdeckende Kurve zur Verwandlung der Photometerausschläge in Intensitäten abgeleitet werden. Die nötige Eichung des in der Nettax benutzten Platinstufenfilters geschah einmal im Laboratorium durch Anschluß an ein bereits bekanntes, ähnliches Stufenfilter und zum anderen unabhängig davon an einigen sehr klaren Tagen durch mehrere sehr schnell aufeinanderfolgende Serien von Sonnenaufnahmen mit dem wie gewöhnlich vorgesetzten Filter mit der Nettax selber. Dabei wurde die Blende des Objektivs des Turmteleskops zwischen jeder Aufnahme durch eine Hilfskraft in bekannter Weise verändert. Zwischen jeder einzelnen Aufnahme lag nur eine Zeitspanne von jeweils etwa 2 sec. Die Eichung des Filters erfolgte also in der letztbeschriebenen Weise genau unter den gleichen Bedingungen und in der gleichen Anordnung, die auch bei den eigentlichen Aufnahmen vorlagen, und ergab durch die sehr zahlreichen Meßpunkte eine große Sicherheit.

Mittels der erhaltenen Eichkurve konnten bereits alle Registrierungen in Intensitäten umgezeichnet werden. Die so erhaltenen Flecken-

intensitäten sind nun bekanntlich noch durch die Wirkung von terrestrischem, atmosphärischem Streulicht aus der Umgebung der Sonne und aus der Apparatur sowie in geringem Maße durch Luftunruhe verfälscht. Für die hier erforderlichen, mehr quantitativen Bedürfnisse liegt eine exakte Fleckenphotometrie mit dem notwendig damit verbundenen verhältnismäßig großen Aufwand nun außerhalb des Rahmens dieser Arbeit. Doch schien es erwünscht, wenigstens gut genäherte Abschätzungen der auftretenden Fehler vorzunehmen. Diese Aufgabe ist prinzipiell von O. HECKMANN und H. SIEDENTOPF [62] und für diese speziellen Zwecke der Fleckenphotometrie grundsätzlich von A. J. M. WANDERS [63] behandelt und gelöst worden, auf dessen Veröffentlichung hier verwiesen wird. WANDERS setzt eine Zerstreuungsfunktion nach Art einer Wahrscheinlichkeitsfunktion an, mit deren Hilfe sich sehr gut der beobachtete Intensitätssturz vom Sonnenrande auf die umgebende Himmelselligkeit hin darstellen läßt. Umgekehrt kann man aus dem beobachteten scheinbaren Helligkeitssturz am Sonnenrande auf den die Funktion wesentlich gestaltenden wichtigen Parameter a (Bogensec⁻²) schließen, der ein Maß für den Betrag der jeweils vorliegenden Streuung gibt. WANDERS selber gibt eine Reihe solcher Funktionsformen, die den Helligkeitsabfall am Sonnenrande für verschiedene Werte von a zeigen. Aus den beobachteten, zunächst also scheinbaren Intensitätswerten kann man dann, am besten durch Aufschieben der logarithmierten Kurven, die den Beobachtungen entsprechenden Werte von a ermitteln. Um mit der nunmehr bekannten Zerstreuungsfunktion aus den beobachteten auf die wahren Fleckenprofile zu schließen, ist streng genommen die unverhältnismäßig umständliche Lösung einer Integralgleichung erforderlich. Der ganze umfängliche Reduktionsvorgang dürfte sich natürlich nur für ganz besondere Präzisionsphotometrie rechtfertigen. WANDERS selber hat denn auch schon ein vereinfachtes Näherungsverfahren angegeben [63] und schließlich in einer weiteren Veröffentlichung [64] selber ein nochmals wesentlich vereinfachtes Verfahren benutzt. Ein für die Praxis bequemes und bisher auch fast stets benutztes Reduktionsverfahren ist von E. PETTIT und S. B. NICHOLSON [65] angegeben worden. Sie reduzieren das zweidimensionale Problem des flächenhaften Fleckes auf das eindimensionale eines unendlich langen Fleckes, was wegen des ähnlichen Helligkeitsabfalles am Sonnenrande und von der Photosphäre zur Mitte der Umbra hin bis zu einem gewissen Grade gerechtfertigt erscheint. Die Streulichtkorrektion für die Fleckenmitte wird nach diesem Verfahren verhältnismäßig einfach aus der Messung des scheinbaren Intensitätssturzes am Sonnenrande entnommen. Der Korrektionsbetrag für Fleckenmitte wird nämlich gleich dem doppelten Betrage desjenigen Streulichtes, das außerhalb der Sonne gefunden wird in einem Abstände vom Sonnenrande,

der gleich dem halben Fleckendurchmesser ist. WANDERS selber hat für einige praktische Fälle gezeigt [63], daß diese sehr vereinfachte Methode für die Fleckenmitte meist eine sehr brauchbare Annäherung gibt. Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kommt bei der Durchrechnung von Modellflecken auch J. KORN [66], der die verschiedenen Reduktionsmethoden kritisch vergleicht.

Für die vorliegenden mehr allgemeinen Abschätzungen wurde so vorgegangen: Aus der scheinbaren Intensitätskurve für den Helligkeitsabsturz am Sonnenrande wurde zunächst das allgemeine Streulicht in der Umgebung der Sonne in einem Abstände $< 30''$ vom Rande abgeleitet in Einheiten der Photosphärenhelligkeit der Scheibenmitte. Dieser Betrag erweist sich in der näheren Umgebung der Sonne bekanntlich als ziemlich konstant und geht einfach additiv in alle scheinbaren Helligkeiten ein. Er gibt eine wünschenswerte Vorstellung vom allgemeinen Streulicht des Himmels und der Apparatur im Augenblick der Aufnahme. Dieser Betrag schwankt für unsere Aufnahmen zwischen 6 und 9%. KORN [66] fand ihn für die Aufnahmen in Herrsching und München zu etwa 12%, WANDERS [63]

findet für seine Utrechter Aufnahmen den außerordentlich geringen Betrag von 2 bis 3%. Einen ähnlichen Betrag scheinen auch die Beobachtungen auf dem Mt. Wilson anzuzeigen [65]. Ein nicht geringer Anteil dieses Streulichtes dürfte in der Apparatur selber entstehen, bei den vorliegenden Potsdamer Aufnahmen speziell an den Oberflächen der drei Spiegel und der Linse des Turmteleskops, die wegen des gefährlichen harten sandhaltigen Staubes der Mark nur in größeren Zeitabständen gereinigt werden. Weiter wurde auch

versucht, ein Maß für den charakteristischen WANDERSschen Parameter a zu ermitteln. Der beobachtete Randabsturz wurde logarithmisch aufgetragen und durch Aufschieben mit den errechneten Kurven verglichen. Abb. 9 zeigt als Beispiel die Kurven der Abb. 3 bei WANDERS [63] für $a = 0,054$ und darin eingetragen die hier ermittelten Werte aus der Aufnahme von 1943, Oktober 2 (Abb. 48). Man bemerkt eine sehr gute Übereinstimmung. Auch für die übrigen benutzten Aufnahmen schwanken die gefundenen Beträge von a zwischen 0,09 und 0,04 nur wenig um diesen Wert und der Anschluß an die WANDERSschen Kurven ist jedesmal sehr befriedigend. Frühere photometrische Beobachtungen in Potsdam [67] ergaben für a etwa Werte zwischen 0,09 und 0,16, die Herrschinger Be-

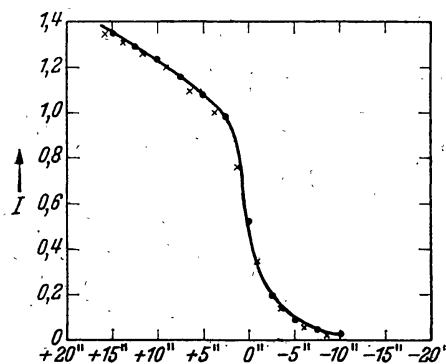


Abb. 9. Intensitätssturz am Sonnenrande. Die ausgezogene Kurve nach A. I. M. WANDERS [63] gerechnet für $a = 0,054$, die eingetragenen Kreuze nach Reduktion einer Potsdamer Aufnahme von 1943, Oktober 2.

obachtungen [66] ergaben $a = 0,0$, die Münchener von besserer Qualität $a = 0,09$. WANDERS [63] fand starke Streuung von Tag zu Tag zwischen $0,02$ und $0,10$ Bogensec⁻². Zu ähnlichen Ergebnissen kommt T. W. WORMELL [68].

Für die in den folgenden Diagrammen mitgeteilten Intensitätsprofile wurden die gewöhnlichen scheinbaren Helligkeiten benutzt, wobei die den Fleck umgebende Photosphärenhelligkeit gleich 1 gesetzt wurde. Es wurde in jedem Falle der Korrektionsbetrag angegeben, der nach dem Verfahren von PETTIT und NICHOLSON [65] als Korrektion an die angegebene scheinbare Restintensität im Fleckenzentrum anzubringen wäre. Auf eine, wie man sieht, noch ziemlich problematische Entzerrung des Fleckenprofils konnte im Rahmen dieser Arbeit unbedenklich verzichtet werden. Auch eine Korrektion wegen Perspektive ist, um in Übereinstimmung mit den Spektralaufnahmen zu bleiben, nicht vorgenommen worden, es sind also auch alle Fleckendimensionen scheinbare Werte und als solche nicht weit von der Wahrheit entfernt, da die Mehrzahl der mitgeteilten Beobachtungen nicht weit vom Zentralmeridian stattfanden. Die Korrektionen könnten übrigens im Bedarfsfalle aus den angegebenen Koordinaten leicht bestimmt werden.

Einige Beispiele und Ergebnisse aus den Beobachtungen.

Im folgenden soll aus einem sehr viel größeren Material eine kleine Zahl von einigen typischen Fällen mitgeteilt werden, die durch Diagramme, Reproduktionen und Photogramme erläutert werden. Sie mögen zunächst einen quantitativen Beitrag für die ungefähre Feldform über Flecken an Hand von wirklichen photographischen Aufnahmen geben, was für theoretische Ansätze sicher von Nutzen ist [10]. Obgleich viele Einzelheiten der Originalaufnahmen bei der Reproduktion verloren gehen, so will das Bildermaterial doch gleichzeitig ein Urteil über die Möglichkeit und die Technik magnetischer Feldstärkenmessungen überhaupt zu vermitteln versuchen und vorbereiten auf den sehr notwendigen Vorstoß zur Feststellung möglichst kleiner Feldstärken. Bei der Wichtigkeit dieser Dinge für die Sonnenphysik werden solche Beobachtungen ja außer auf ihrer klassischen Pflegestätte auf dem Mt. Wilson voraussichtlich auch an anderen Stellen in Angriff genommen werden müssen.

Die hier angegebenen und eingezeichneten Fleckenpositionen beruhen im allgemeinen nicht auf exakten astrometrischen Messungen, sondern sind nur genäherte Werte und nur bestimmt zu einer allgemeinen Lageorientierung.

Fleckengruppe von 1942, März 3. Während der Rotation 1182 entstand eine Fleckengruppe bei 5° Nord und 190° Länge, die in der folgenden Rotation 1183 als äußerst aktive Gruppe vom Typus *F* der Züricher Klassifikation [49] wieder auftauchte und bei 8° Nord und 194° Länge

einen ungewöhnlich großen Doppelfleck zeigte. Die Gruppe konnte März 1 bis 3 in Potsdam ausführlich beobachtet werden; sie ging März 1 durch den Zentralmeridian. Die Abb. 10 und 11 geben zwei Bilder von der Entwicklung der Zentralgruppe. Die Gruppe erwies sich auch am Spektrohelioskop als äußerst aktiv und eruptiv. März 3 kam um 11^h 45^m MZG. in Potsdam eine kräftige chromosphärische Eruption zur Beobach-

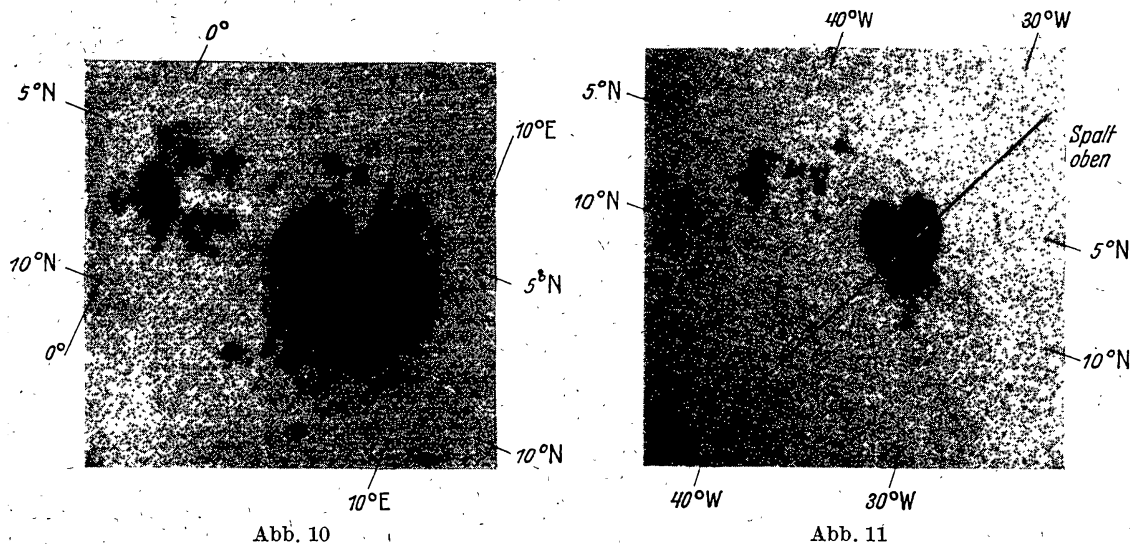


Abb. 10. Sehr große und enge, bipolare Fleckengruppe 1942, Februar 28. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 46 cm. (Aufn. Dr. Haffner.)

Abb. 11. Die gleiche Fleckengruppe 1942, März 3. Am Orte des Kreuzes um 11^h 45^m Auftreten einer chromosphärischen Eruption, die u. a. einen deutlichen Mögel-Dellinger-Effekt zur Folge hatte. Eingezeichnet die Lage des Spektrographenspaltes, wie er den Abb. 12 und 13 entsprach. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 28 cm. (Aufn. Dr. Haffner.)

tung, bei der jedoch keine besonderen magnetischen Wahrnehmungen im Bereich der Gruppe gemacht wurden. Die während ihrer Sichtbarkeit durch diese Gruppe ausgelösten erdmagnetischen Störungen waren ebenfalls bedeutend, wie die Darstellung der betreffenden erdmagnetischen Kennziffern nach den Registrierungen des Potsdamer Geophysikalischen Instituts in Niemeg [69, 70, 71] weiter unten auf Abb. 52 zeigen. Entsprechend traten auch wiederholt starke ionosphärische Störungen und kräftige Dellinger-Effekte auf [72 bis 77].

Die magnetische Aufspaltung über dem großen Doppelfleck war erwartungsgemäß außerordentlich groß und war schon ohne alle Polarisationsoptik deutlich meßbar. Beim Einschalten der Polarisationsoptik zeigte sich, daß die beiden Hauptkerne entgegengesetzte magnetische Polarität besaßen, also sozusagen einen starken magnetischen Dipol darstellten. Aufnahmen in Lage des Spaltes, wie sie Abb. 11 wiedergibt, zeigten dann auch sehr deutlich einen starken Transversaleffekt zwischen den beiden Kernen. Eine wegen der großen Kontraste etwas schwierig herzustellende Kopie solcher Zeeman-Aufnahmen zeigt Abb. 12.

Offenbar muß man sich vorstellen, daß zwischen den beiden nahe benachbarten, starken Magnetpolen eine kräftige Bündelung von magnetischen Kraftlinien nahe horizontal über die Sonnenoberfläche von einem Pol zum andern verlief, was mit den einzelnen Aufnahmen in bester Übereinstimmung steht.

Die leicht und verhältnismäßig sicher meßbare maximale magnetische Feldstärke betrug etwa 4300 Gauß und gehört damit zu den

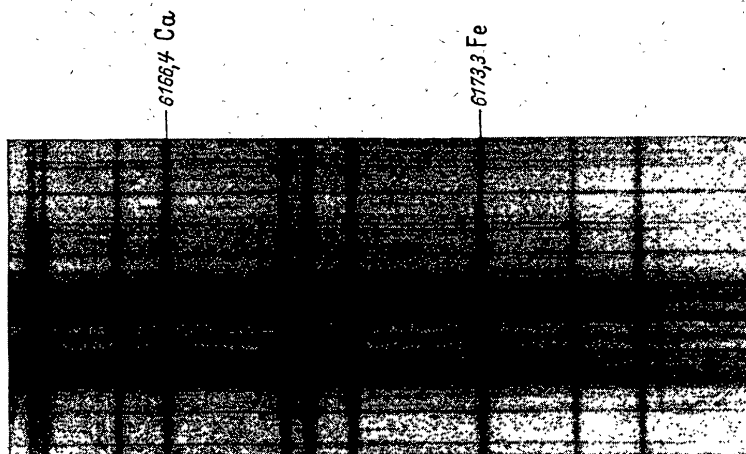


Abb. 12. Besonders starker Transversaleffekt über der Fleckengruppe von Abb. 11. Lage des Spektrographenspaltes wie dort angegeben. Zusammengesetzte $\frac{1}{2}$ - λ -Platte, Fe-Linie λ 6173,3, maximale Aufspaltung $\Delta\lambda = 0,2 \text{ \AA} = 0,3 \text{ mm}$, entsprechend einer Feldstärke von etwa 4300 Gauß. Die horizontale Streifung des Bildes rührt größtenteils von den Kanten der einzelnen Streifen der $\frac{1}{2}$ - λ -Platte her.

größten überhaupt an Fleckenfeldern gemessenen Werten. Ein Diagramm des ungefähren Feldstärkenverlaufes, abgeleitet aus den beiden auch ohne alle Polarisationsoptik gut sichtbaren Seitenkomponenten des Transversaleffektes nach einer Aufnahme von März 3, zeigt Abb. 13, wobei die Spaltstellung derjenigen entsprach, die in Abb. 11 eingetragen ist. Auch bei diesem starken Felde ist der Abfall nach außen außerordentlich steil, wie dies auch sonst bei allen Fleckenfeldern in der Regel zutrifft. Schon nahe den äußeren Grenzen der Penumbra sinkt die Feldstärke auf fast unmerkliche Beträge.

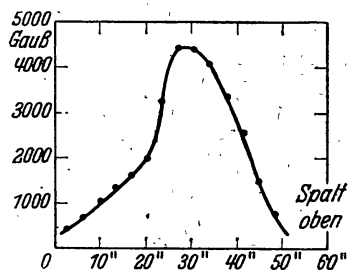


Abb. 13. Ungefähre Feldverteilung über der Gruppe von Abb. 11. Lage des Spektrographenspaltes wie dort eingetragen nach einer Aufnahme von 1942, März 3, ohne Polarisationsoptik.

In der folgenden Rotationsperiode 1184 hatte sich diese Gruppe zu einer ausgedehnten, vielkernigen *E*-Gruppe entwickelt, doch konnten wegen ungünstiger Witterungsverhältnisse hier keine magnetischen Beobachtungen gemacht werden.

Fleckengruppe von 1942, Juli 8. Diese Gruppe wurde in Potsdam zuerst 1942, Juli 4 unter 4° S und 50° E (293° Länge) der Rotation 1188

als A-Gruppe bemerkt. Sie entwickelte sich dann im Laufe einer Woche bis zum Typus *E*, ging Juli 8 durch den Zentralmeridian, verschwand Juli 15 am Westrande und war als *H*-Gruppe noch während der ganzen folgenden Wiederkehrperiode sichtbar. Sie konnte in Potsdam mit dem Spektrohelioskop und mit der Polarisationsoptik täglich von Juli 4 bis 8 beobachtet werden. Chromosphärische Eruptionen wurden dicht neben der Gruppe Juli 7 und 8 wiederholt beobachtet und aufgenommen, ebenso gelangen Spektrogramme von H_α und der benachbarten Spektralgegend über der Gruppe mit großer Dispersion. Die magnetischen Feldstärken wuchsen nach Entstehen der Gruppe sehr schnell an, blieben dann aber während der vier Beobachtungstage ziemlich in gleichen Grenzen. Irgendwelche bemerkenswerten Wahrnehmungen im Verlauf der Feldstärkenverteilungen um die ungefähre Zeit des Auftretens der Eruptionen konnten weder visuell noch photographisch gemacht werden. Im einzelnen konnten am Juli 5 gegen 5^h 20^m MZG. im Spektrohelioskop helle H_α -Fackeln etwa vom Typ b_3 [53] beobachtet werden. Ein Spektrogramm zeigt starke, auf merkliche Bewegungen deutende Verzerrung der H_α -Linie (Abb. 14). Unmittelbar anschließende Zeeman-Aufnahmen

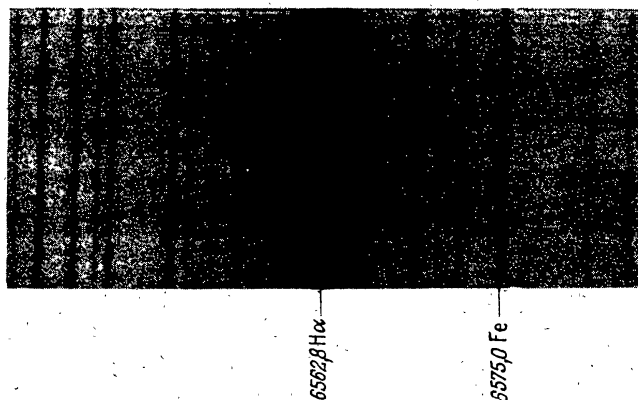


Abb. 14. Verzerrung der H_α -Linie in einem Gebiete heller Wasserstoffwolken innerhalb einer Flecken-Gruppe. Aufnahme 1942, Juli 5, um 5^h 20^m MZG. bei 4° S, 293° Länge, Dreiprismenspektrograph des Turmteleskops. Dispersion des Originals 1 Å = 0,4 mm.

ließen aber nichts Bemerkenswertes erkennen. Der *P*-Fleck zeigte eine maximale Feldstärke von etwa 2300 Gauß, der *F*-Fleck 1500 Gauß, Juli 6, gegen 9^h MZG., wurden über dem *P*-Fleck maximal etwa 2200 Gauß gemessen, über der folgenden komplexen *F*-Gruppe 1500. Juli 7 zeigte die Gruppe am Spektrohelioskop sehr deutlich eruptiven Charakter, der sich z. B. gegen 9^h 50^m MZG. auch durch eine direkte Spektralaufnahme bestätigen ließ, die starke Aufhellung in H_α zeigte. Die Feldstärken waren an diesem Tage praktisch unverändert. Auch Juli 8 war die Gruppe nach Ausweis des Spektroheliokops aktiv und bewegt. Die Zeeman-Aufnahmen um 10^h 50^m sind im Diagramm Abb. 16 dar-

gestellt, ein Bild der sich jetzt schon deutlich bipolar entwickelten Gruppe mit eingetragener Spaltstellung zeigt Abb. 15. Nur wenige Minuten nach diesen Aufnahmen wurde in der Gruppe eine chromosphärische Eruption sichtbar, wobei wiederum magnetisch nichts Bemerkenswerthes auftrat. Zwei Aufnahmen am Spektrohelioskop kurz

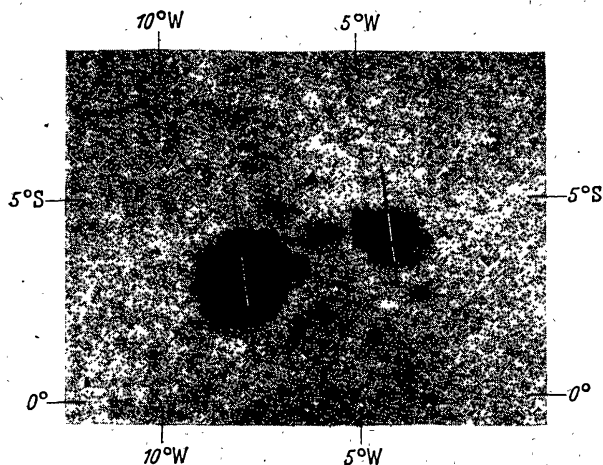


Abb. 15

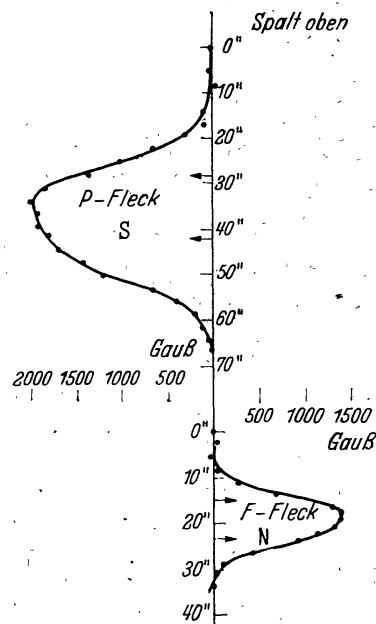


Abb. 16

Abb. 15. Direkte Aufnahme der ausgemessenen Fleckengruppe (4° S, 293° L) von 1942, Juli 8, um 13h MZG. mit den der Abb. 16 entsprechenden eingetragenen Spaltstellungen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 56 cm.

Abb. 16. Diagramm der Feldstärkenverteilung über der Fleckengruppe von Abb. 15. Lage des Spaltes wie auf Abb. 15 eingetragen. Polarisationsoptik: homogene $\frac{1}{4}$ - λ -Platte. Die Pfeile auf der Ordinate geben die Stelle an, an der im Spektrum die Umbra durch ihren starken Helligkeitsabfall deutlich sichtbar wird.

vor und während der Eruption zeigen die Abb. 17 und 18, von denen besonders Abb. 17 auch die für diese Fleckengruppen typische wirbelartige zweipolige Anordnung der H_{α} -Filamente gut erkennen läßt [79].



Abb. 17

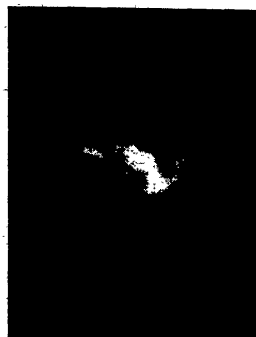


Abb. 18

Abb. 17. Aufnahme der gleichen Fleckengruppe von Abb. 15 im Spektrohelioskop in Mitte H_{α} um 11h 5m MZG. mit deutlich erkennbarer Wirbelstruktur der Filamente [79], aber noch ziemlich unauffälligen Wasserstoffackeln. Positiv.

Abb. 18. Aufnahme wie Abb. 17, aber 10m später, als die chromosphärische Eruption schon deutlich entwickelt war. Positiv. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab beider Abbildungen 28 cm.

Bei ihrer Wiederkehr in der 1189 Rotation erschien die Gruppe ziemlich unverändert als Typus *H* und im Spektrohelioskop um vieles auffälliger. August 2 lag die maximale Feldstärke über dem *P*-Fleck immer noch ziemlich unverändert bei etwa 2000 Gauß, und der gleiche Betrag fand sich auch August 5.

In den Potsdamer erdmagnetischen Kennziffern ist dieser Störungs-herd schon eine Periode vorher deutlich und unzweifelhaft zu erkennen (Abb. 52), während dort auf der Sonne im gewöhnlichen Lichte keinerlei Flecken und nur unbedeutende Fackelgebiete sichtbar waren.

Fleckengruppe von 1942, August 26. Dieser zur Zeit der mitgeteilten Messungen ziemlich unveränderliche und runde Hoffleck mit wohl ausgebildeter Penumbra wurde in Zürich am *E*-Rande 1942, August 19, der Rotation 1189 beobachtet, in Potsdam erstmalig August 22 unter 9° N und nahe 0° Länge gesehen, ging August 26 als *D*-Gruppe durch den Zentralmeridian und verschwand am W-Rande als *J*-Gruppe September 1, um nicht wieder aufzutauchen. Die Gruppe zeigte bei

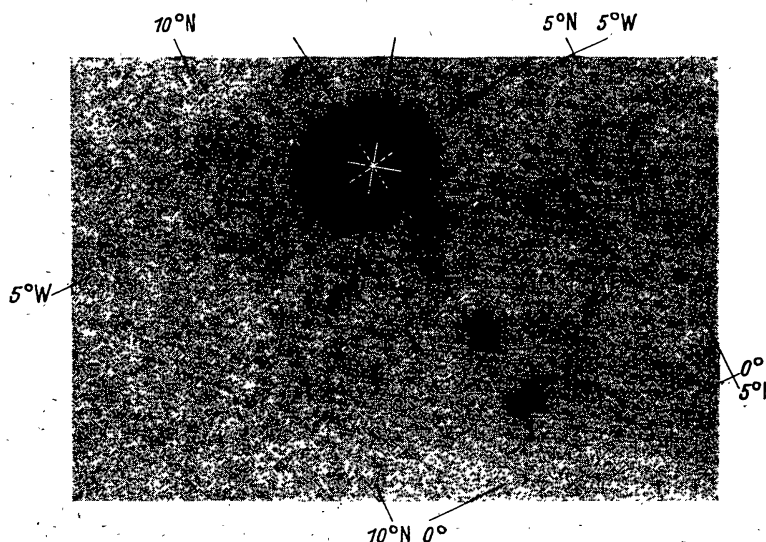


Abb. 19. Fleckengruppe von 1942, August 26, 8° N und 6° W. Unter Verwendung des Drehspiegelsystems wurde der Fleck nacheinander in die mit *A* bis *D* bezeichneten und eingetragenen Stellungen des Spektrographenspaltes gebracht, Spalt oben ist jedesmal mit einem Pfeil auf dem Markierungsstrich gekennzeichnet. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 100 cm.

Beobachtungen in Potsdam, August 22, 25, 26, 27 und 28, im Spektrohelioskop mäßig helle, bis b_2 geschätzte H_α -Fackeln mit reichem Detail und langen, dunklen Filamenten, schien aber verhältnismäßig ruhig zu sein.

Dieser ziemlich symmetrische Hoffleck wurde u. a. August 26 mit Hilfe des oben (S. 146) erwähnten Drehspiegelsystems in vier symmetrische Lagen auf den Spektrographenspalt gebracht, wie Abb. 19 zeigt, um einen ungefähren Anhaltspunkt für die Feldverteilung rund um den Fleck zu bekommen. Die Meßergebnisse zugleich mit der Aus-

wertung der hier ebenfalls vorhandenen photometrischen Aufnahmen zeigt Abb. 20. Wie man sieht, folgt die Feldverteilung rund um den Fleck, wie zu erwarten, sehr gut den photometrischen Grenzen. Beim Vergleich der Feldstärkenkurven mit den Intensitätskurven muß man sich daran erinnern, daß die photometrischen Aufnahmen mit etwa $\frac{1}{300}$ sec exponiert wurden, die Zeeman-Aufnahmen bei diesem Fleck

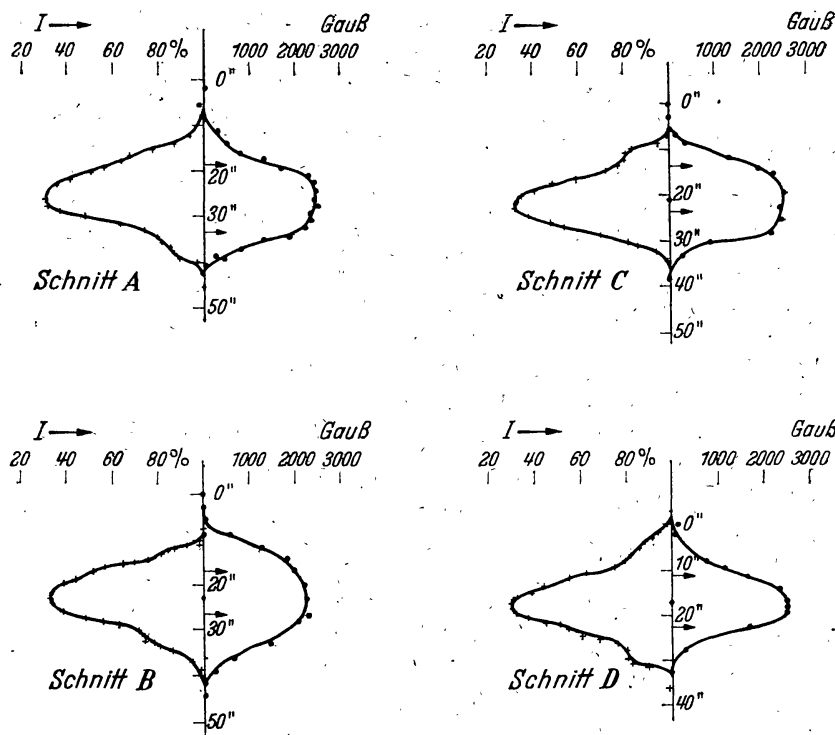


Abb. 20. Magnetische Feldverteilung und photometrische Intensitäten über dem Fleck von Abb. 19 und entlang den dort angegebenen Schnitten A bis D. Magnetische Feldstärken sind nach rechts (nordpolar) aufgetragen, Intensitäten in Prozenten der umgebenden Photosphärenintensität nach links. Korrektur der Restintensität -12% (vgl. S. 151).

mit etwa 90 sec, so daß im letzteren Falle eine gewisse Verschmierungswirkung wohl unvermeidlich ist.

Die maximalen Feldstärken blieben ganz ähnlich wie das Aussehen des Fleckes selber während der Beobachtungstage ziemlich gleich. Es wurde auf den entsprechenden Aufnahmen gefunden: August 22: 1900 Gauß, August 25: 2400 Gauß, August 26: 2100 bis 2300 Gauß, August 27: 2400 Gauß, August 28: 2300 Gauß.

Fleckengruppe von 1942, Oktober 14. Dieser verhältnismäßig große Hoffleck mit schöner, weit ausgedehnter Penumbra wird in den Züricher heliographischen Übersichtskarten [78] zuerst 1942, Oktober 10, der Rotation 1191 aufgeführt, wo er nahe dem E-Rande zur Beobachtung gelangte. In Potsdam wurde er wegen der Witterungsverhältnisse Oktober 12 erstmalig gesehen. Er wurde in Übereinstimmung mit

Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche. 159

Zürich als *H*-Fleck klassifiziert, stand bei der genäherten Position 11° S und 50° Länge, ging Oktober 16 durch den Zentralmeridian und wurde in Potsdam nahe dem W-rande zuletzt Oktober 16 gesehen. Das teilweise ausgedehnte Fackelgebiet dieser Gegend, gelegentlich mit sehr kleinen Flecken darin, konnte schon in den vorangehenden Rotationsperioden 1189 und 1190 und bei den folgenden Umläufen 1192 und 1193 beobachtet werden. Der Fleck selber wurde weder bei den vorhergehenden noch nachfolgenden Umläufen wieder gesehen. Er machte

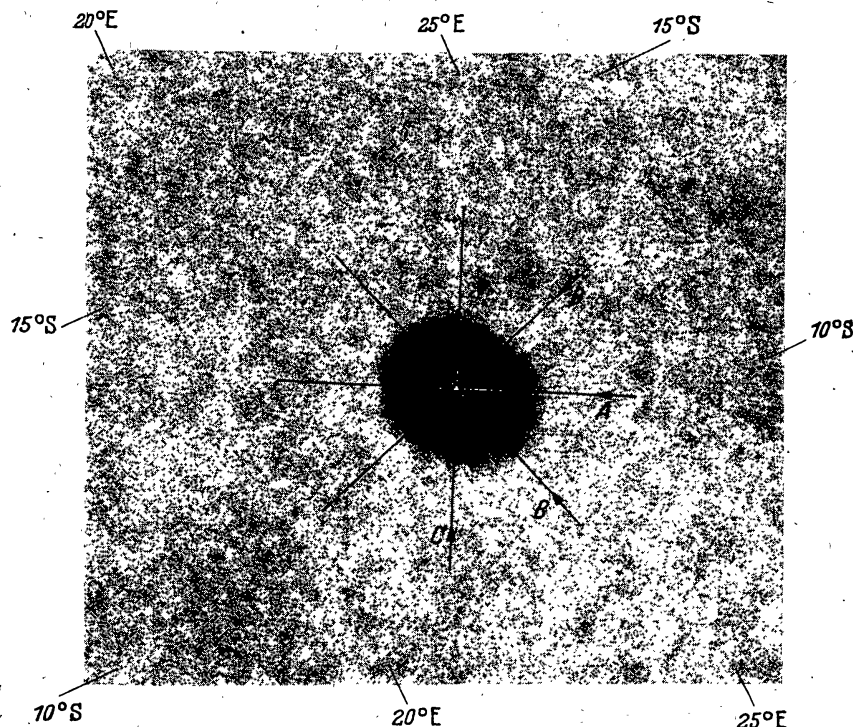


Abb. 21. Direkte Aufnahme des Sonnenfleckes von 1942, Oktober 14, bei 11° S, 24° E. Die den Diagrammen der Abb. 22 entsprechenden Spaltstellungen sind eingetragen, Spalt oben ist durch einen Pfeil gekennzeichnet. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 90 cm.

geringe, unregelmäßige Formveränderungen durch, blieb aber im übrigen als nahezu isolierter Einzelfleck ohne merkliche Begleiter bestehen. Spektrohelioskopisch verhielt er sich ganz unauffällig. In den Potsdamer erdmagnetischen Kennziffern scheint sich die Gruppe über mehrere Umläufe deutlich bemerkbar zu machen.

Die gewöhnlichen photographischen magnetischen Polaritätsbestimmungen mit zusammengesetzter $\frac{1}{4}\lambda$ -Platte in Potsdam zeigten Oktober 12, 13, 14, 19 und 20 ein deutliches südpolares Gesamtfeld von der Größenordnung um 2000 Gauß maximal. Jedoch ließ bereits die Aufnahme Oktober 12 erkennen, daß es sich trotz der optisch scheinbar einheitlichen Fleckenform vermutlich um einen Fleck mit Polwechsel bei schrägem Blick auf die Kraftlinien handeln mußte. Unter den zahlreichen Zeeman-Aufnahmen dieses Fleckes konnten Oktober 14 unter

günstigen Beobachtungsbedingungen auch solche mit dem Spiegeldrehsystem in verschiedenen Positionsstellungen des Fleckes zum Spalt gemacht werden. Ihre Ausmessung ist zusammen mit den zugehörigen photometrischen Werten auf Abb. 22 wiedergegeben. Den Fleck selber und die entsprechenden Spaltstellungen zeigt Abb. 21. Der Polwechsel im Felddiagramm tritt nur bei einem Schnitt (*D*) deutlich hervor

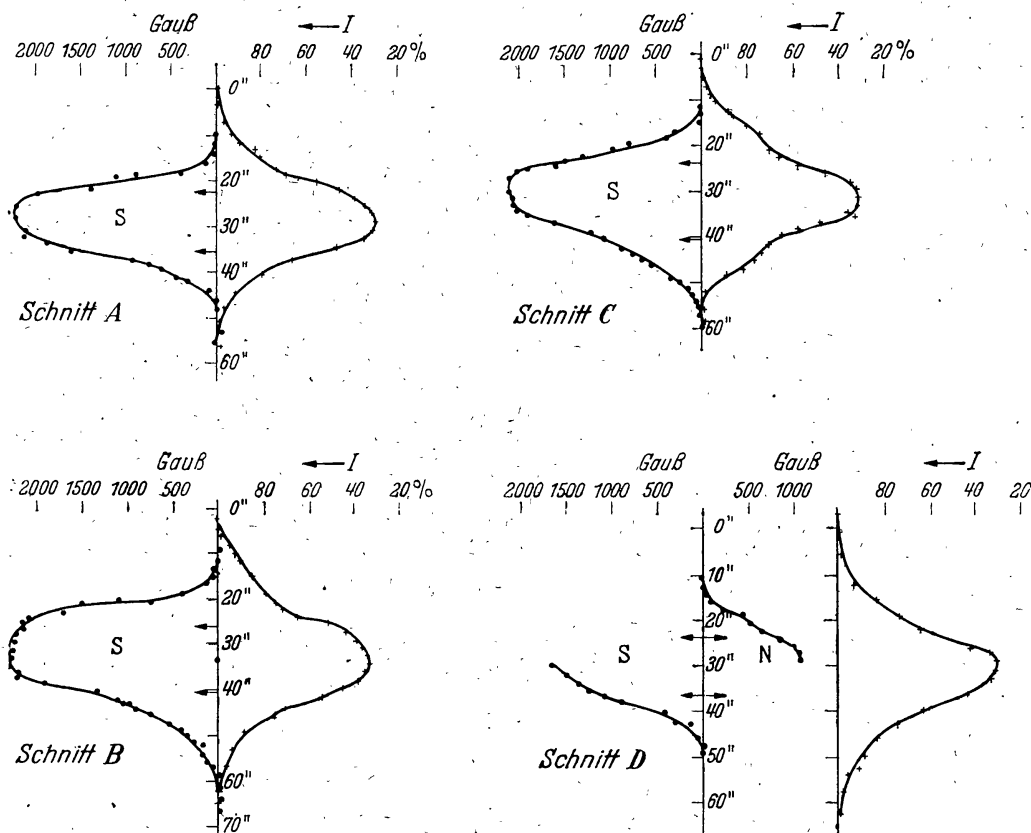


Abb. 22. Magnetische Feldverteilung und photometrische Intensitäten über dem Fleck von Abb. 21 und entlang den dort angegebenen Schnitten *A* bis *D*. Intensitäten in Prozenten der umgebenden Photosphärenhelligkeit sind nach rechts aufgetragen. Schnitt *D* zeigt deutlich den bipolaren Charakter des Fleckes. Korrektur der Restintensität — 21%.

(Abb. 22), doch verrät er sich auch bei einigen Aufnahmen in anderer Stellung durch geringe Asymmetrie der Aufspaltungsbilder, die in den etwas deformierten Kurven der Feldstärkenverteilung nur unvollständig zum Ausdruck kommen. Trotzdem zeigt z. B. die Aufnahme in Stellung *C* eine recht saubere Südpolarität, wie Abb. 23 zeigt, auf der die Zeeman-Komponente auf der langwelligen Seite praktisch ungestört durchläuft und von der anderen Komponente so gut wie nichts zu bemerken ist.

Einige Tage später und damit auch schon unter merklich anderem Aufsichtswinkel verrät sich der Polwechsel in den Zeeman-Aufnahmen sehr deutlich. Ein solches Beispiel zeigt Abb. 24, die mit einer homo-

genen $\frac{1}{4}$ - λ -Platte aufgenommen wurde. Man erkennt auf dem Original deutlich, wie die eine Zeeman-Komponente mitten im Fleck verschwindet und schwach auf der einen Seite erscheint, statt auf der gleichen Seite durchzulaufen (Abb. 23), wie dies bei einem homogenen Feld der Fall sein müßte.

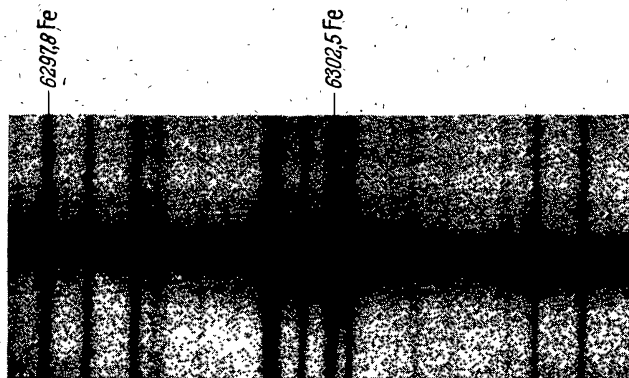


Abb. 23. λ 6302,5 über dem Fleck von Abb. 21, Schnitt C, mit homogener $\frac{1}{4}$ - λ -Platte aufgenommen, so daß nur die langwellige und Reste der Mittelkomponente des Zeeman-Triplets sichtbar sind.

Die Aufnahmen von Oktober 20, als der Fleck schon 50° vom Zentralmeridian abstand, zeigen schon einen sehr deutlichen Longitudinaleffekt, der eine maximale Feldstärke von etwa 2200 Gauß anzeigt.

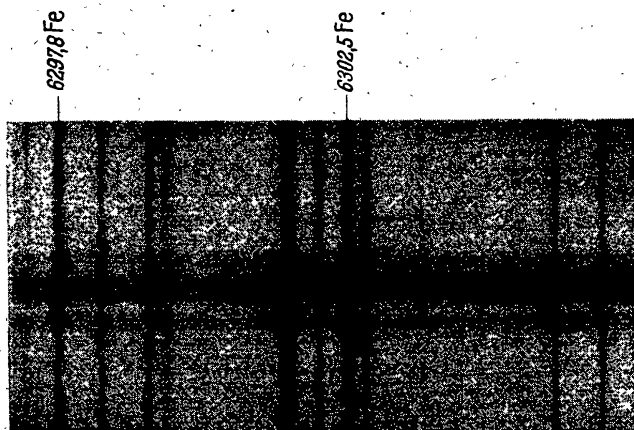


Abb. 24. λ 6302,5 über dem gleichen Fleck 1942, Oktober 13, in einer Stellung, die auf den schrägen Einblick in die Kraftlinien einer bipolaren Gruppe schließen läßt. Aufgenommen mit homogener $\frac{1}{4}$ - λ -Platte. Die Feldlinie spaltet nahe der Fleckenmitte auf.

Der vorliegende Fall und die Prüfung anderer mehr oder minder isolierter Einzelflecke legt den Gedanken nahe, daß bei genauer Analyse solche scheinbar einfache Flecke sich vielleicht verhältnismäßig oft in Wahrheit als sehr engstehende magnetische Bipole enthüllen mögen.

Fleckengruppe von 1943, April 21. Diese ausgedehnte, interessante komplexe Fleckengruppe, möglicherweise aus zwei verschiedenen Gruppen entstanden, konnte in Potsdam am April 17, 19 und vom

April 20 bis 27 täglich beobachtet werden. Sie stand bei 10° N und ging April 21 mit einer Länge von etwa 101° durch den Zentralmeridian. Über ihre Aktivität konnte nach zahlreichen Beobachtungen am Spektrohelioskop kein Zweifel bestehen. Im ganzen gelang es, während der Beobachtungszeit über 80 Zeeman-Spektrogramme, Serien von H_α -Aufnahmen am Spektrohelioskop und einige Spektrogramme von Eruptionen von dieser Gruppe zu erhalten. Maximale Feldstärken von etwa 3200 Gauß wurden beobachtet. Eine kleine Eruption konnte schon

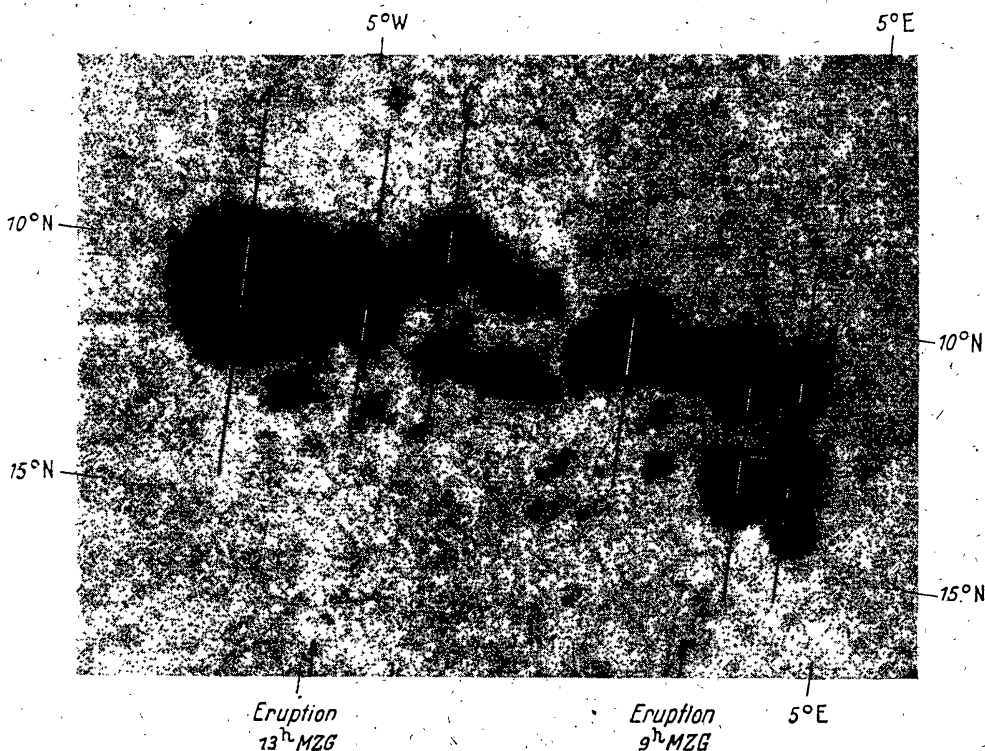


Abb. 25. Fleckengruppe von 1943, April 21, gegen 8h 35m MZG. Die Lagen des Spektrographenspaltes für eine erste Serie von Zeeman-Aufnahmen sind eingetragen. Die beiden Kreuze kennzeichnen die hellsten Stellen der am Rande mit den genäherten Zeiten ihres Aufleuchtens bezeichneten Eruptionen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 70 cm.

April 17 für 7h 30m MZG. gemeldet werden, eine zweite tauchte gegen 11h MZG. auf; Aufnahmen an einer dritten gelangen wiederholt April 21. April 19 herrschten hier ungünstige Sichtverhältnisse, doch scheint die Gruppe auch an diesem Tage mäßig aktiv und auch eruptiv gewesen zu sein. Nachhaltige ionosphärische Störungen, offenbar durch diese Gruppe ausgelöst, sind ebenfalls bekanntgeworden. Die wiederholte Wahrnehmung dunkler, eruptiver Filamente, sehr schön z. B. April 21 (Abb. 36), vervollständigten den aktiven Charakter der Gruppe. In den Potsdamer erdmagnetischen Charakterzahlen tritt sie merkwürdigerweise nicht besonders auffällig hervor. April 20 wird bei Durchsicht der erdmagnetischen Registrierungen von Niemege eine mittlere

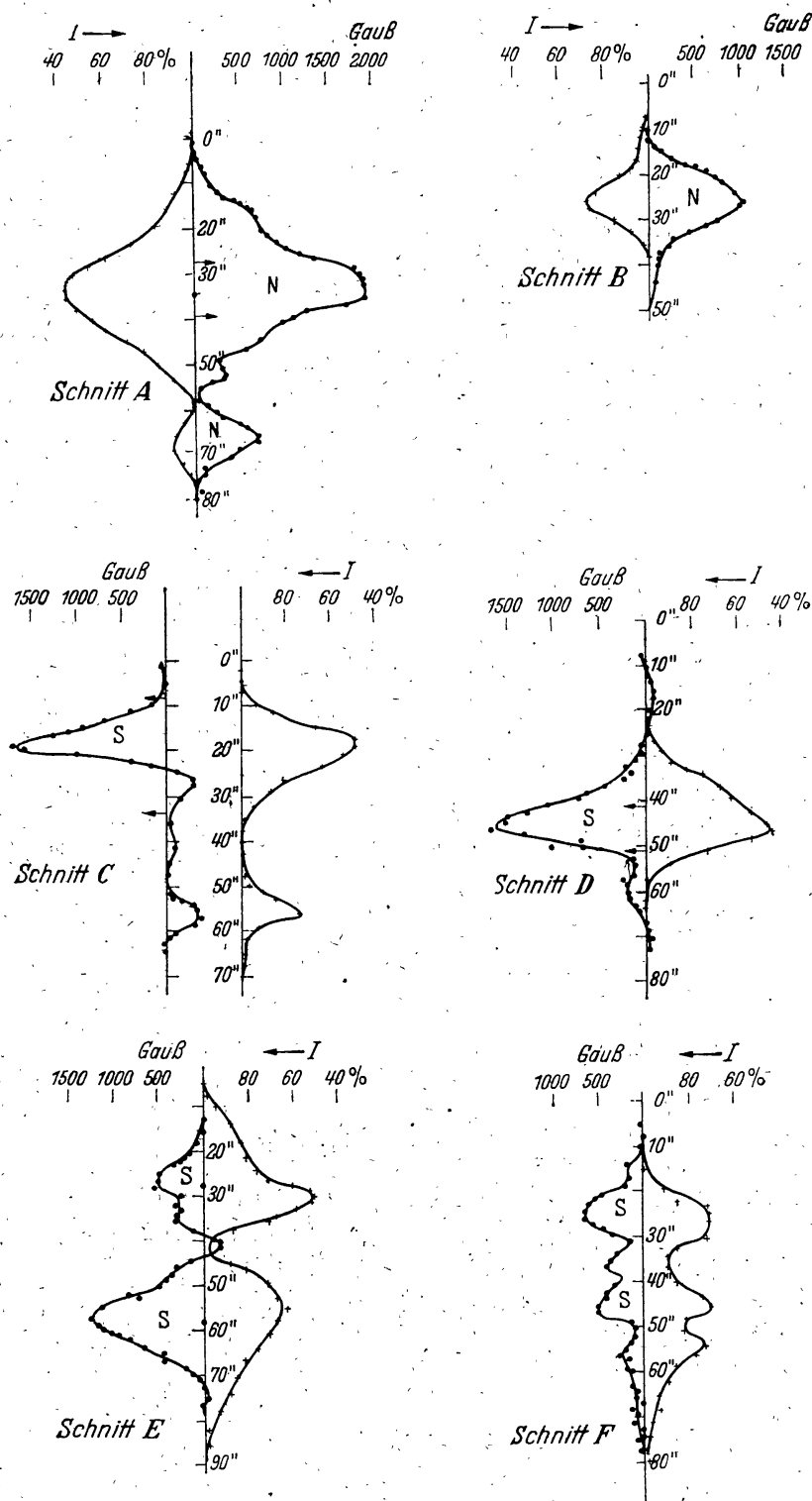


Abb. 26 bis 31. Diagramme der genäherten magnetischen Feldstärkenverteilung und der photometrischen Intensitäten über der Fleckengruppe von Abb. 25, entlang den dort eingetragenen Schnitten A bis F. Nordpolarität nach rechts, Südpolarität nach links aufgetragen; Intensitäten in Prozenten der umgebenden Photosphärenhelligkeit. Aufnahmezeit um 6h 45m MZG. Korrektur der Restintensität Schnitt A —16%.

Störung durch Korpuskularstrahlung deutlich, die bis zum April 25 und 26 unregelmäßig anhält.

Aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial beschränken wir uns hier im wesentlichen auf die Wiedergabe einiger Beobachtungen aus langen Aufnahmereihen von April 21 und 24. April 21 zeigte die Gruppe bereits um 6^h 30^m MZG. auf einer Aufnahme am Spektrohelioskop starke Aktivität und Entwicklung gegen den Vortag, so daß mit Eruptionen gerechnet werden konnte. Gegen 6^h 45^m MZG. wurde eine lange Serie von Zeeman-Spektrogrammen von der Gruppe aufgenommen. Aussehen der Gruppe zu dieser Zeit und die einzelnen Spaltstellungen zeigt Abb. 25, die Ausmessung der Spektrogramme und die Auswertung der entsprechenden photometrischen Aufnahmen bringen die Abb. 26 bis 31. Gegen 9^h wurde die Gruppe rasch eruptiv (Abb. 32) und die in Abb. 25 markierte Stelle wurde mit e_2 [72] geschätzt. Es konnten sofort mehrere Eruptionsspektren gewonnen werden, von denen Abb. 33 die Gegend

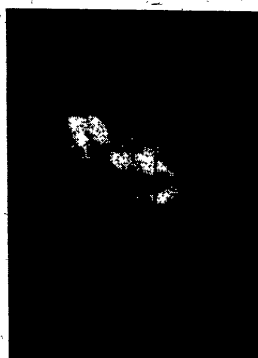


Abb. 32

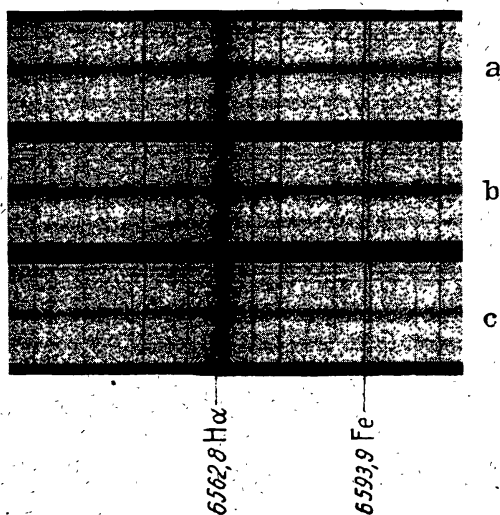


Abb. 33

Abb. 32. Aufnahme (Positiv) der Fleckengruppe von Abb. 25 am Spektrohelioskop in der Mitte von H_α um 9^h 2^m während des Aufleuchtens einer Eruption von der geschätzten Intensität 2. Die in Abb. 33 dargestellten H_α -Spektrogramme wurden unmittelbar nach dieser Aufnahme mit der in Abbildung 32 eingetragenen Spaltstellung über dem scheinbar hellsten Teile der Eruption gewonnen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 22 cm. Belichtungszeit 30s.

Abb. 33 Drei verschiedene Spektralaufnahmen von H_α und Umgebung über der in Abb. 32 dargestellten Eruption mit der dort angegebenen Spaltstellung. Drei-Prismenspektrograph, Dispersion 1 Å = 0,4 mm, Belichtungszeit je 5s, Aufnahmezeit um 9^h 9^m MZG.

bei H_α zeigt und Abb. 34 ein Mikrophotogramm der Emission in H_α von einer dieser Aufnahmen bringt, womit der Charakter der Erscheinung als Eruption etwa von der Intensität 2 eindeutig gesichert ist.

Die Eruptionsaufnahmen trugen noch keine Schwärzungsmarken, die in Abb. 34 angegebenen Intensitäten wurden vielmehr nach dem photometrischen Atlas des Sonnenspektrums von M. MINNAERT, G. F. W.

MULDERS und J. HOUTGAST [80] aus charakteristischen Stellen der Registrierung nach Ausschluß der zahlreichen atmosphärischen Linien dieser Spektralgegend abgeleitet. Sie sind also nur als Näherungswerte zu betrachten, genügen aber für diese mehr qualitative Abschätzung natürlich vollständig. Die Ähnlichkeit der Linienkontur von H_α in der Eruption mit derjenigen von H_α in der Chromosphäre ist unverkennbar [81 bis 85, 86]. Im übrigen ist eine interessante geringe Rotverschiebung der H_α -Emission gegenüber dem Orte der ungestörten H_α -Emission erkennbar.

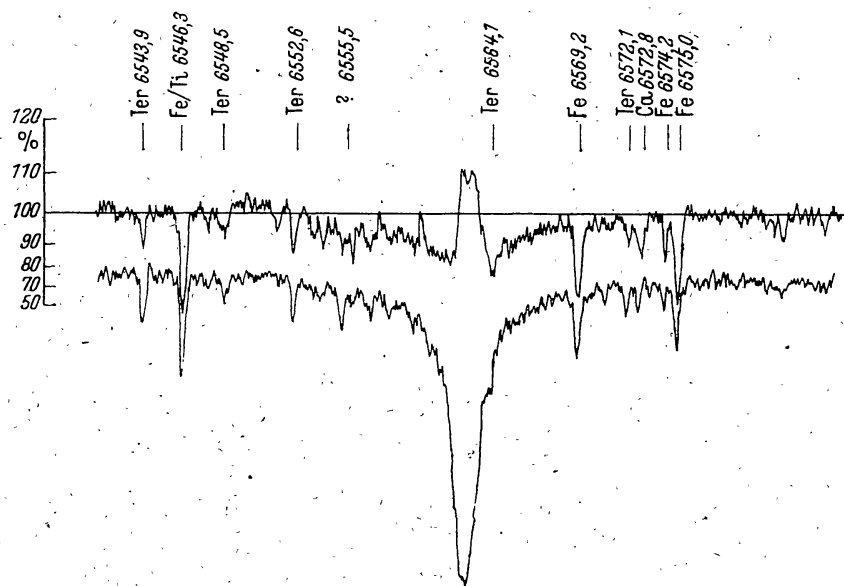


Abb. 34. Registrierung von H_α in der Eruption von Abb. 32 im Spektrum α von Abb. 33 (obere Kurve) und an einer ungestörten Stelle des gleichen Spektrums (untere Kurve). Die am Rande beige-schriebenen nur genäherten Intensitätsprozent beziehen sich nur auf die Registrierkurve der Eruption und auf die Intensitätsangaben von [80].

J. EVERSLED hat einmal von einer Beobachtung berichtet [87], wonach über einer offenbar chromosphärischen Eruption ein extrem starkes Magnetfeld von schätzungsweise 10000 Gauß aufgetreten sei. Er hat sich dabei allerdings im wesentlichen auf die beiden violetten Eisenlinien $\lambda 3922,9$ und $\lambda 3930,4$ Å beschränken müssen und keine Polarisationsoptik benutzt. Die Termsymbole der beiden Linien sind $a^5D_3 - z^5D_4$ bzw. $a^5D_2 - z^5D_3$; daraus folgen die einfachen Zeeman-Aufspaltungen gemäß dem Symbol $\frac{(0)3}{2}$ für beide Linien.

Die Wahrnehmung solch großer Felder wäre mit der angewandten großen Dispersion von $1 \text{ mm} = 0,44 \text{ Å}$ also durchaus möglich gewesen. Auf den hier mit unserem Prismenspektrographen erhaltenen Eruptionspektren ist eine ganze Anzahl für Zeeman-Aufspaltungen empfindlicher Linien enthalten, darunter auch die beiden wichtigen Eisenlinien $\lambda 6173,3$ und $\lambda 6302,5$ Å, die auch ohne spezielle Polarisationsoptik (die

bei der Aufnahme der Eruptionsspektren nicht benutzt wurde) schon Felder von einigen Tausend Gauß mit Sicherheit hätten erkennen lassen, die aber davon im vorliegenden Falle keine Spur zeigen. Die Abb. 35 zeigt eine Vergrößerung der Gegend um die Linien 6302,5 aus

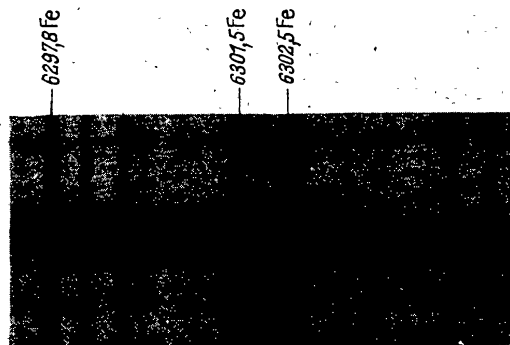


Abb. 35. Die Stelle bei λ 6302,5 nach einer starken Vergrößerung aus dem Spektrum α der Abb. 33 (Prismenspektrograph). Sie zeigt, daß im Augenblick der Aufnahme über einer Stelle, an der nach Ausweis der Abb. 33 und 34 zweifellos eine Eruption stattfand, nennenswert große Feldstärken von einigen Tausend Gauß sicher nicht bestanden haben. Die Aufnahme läßt im Vergleich etwa zu den Abb. 23 und 24 die starke Unterlegenheit des Prismenspektrographen gegenüber dem Gitterspektrographen in 2. Ordnung in diesem Wellenbereich erkennen. Vergrößerung des Originals 1:12.

dem gleichen Spektrum, das die H_{α} -Emission der Abb. 33 und die Registrierung der Abb. 34 geliefert hat. Obwohl die Dispersion und das Auflösungsvermögen des benutzten Prismenspektrographen mit 2,5 Å pro mm wesentlich geringer als die des Gitterspektrographen in der 2. Ordnung ist, so lassen doch diese Bilder keinen Zweifel, daß im Augenblick der Aufnahme jedenfalls an dieser Stelle der Eruption magnetische Feldstärken von bemerkenswerter Größe mit Sicherheit nicht aufgetreten sind.

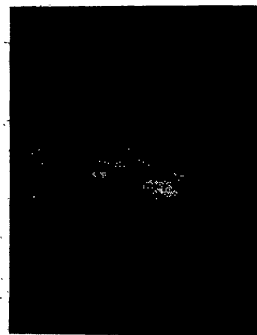


Abb. 36. Aufnahmen (Positiv) der gleichen Fleckengruppe von Abb. 25, mit dem Spektrohelioskop in der Mitte von H_{α} um 9h 58m und um 10h 34m MZG. In der Mitte der Gruppe ein schnell veränderliches dunkles Filament mit bedeutenden Radialgeschwindigkeiten. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildungen je. etwa 22 cm. Belichtungszeiten je 30s.

Zwischen 9h und 11h wurde am Spektrohelioskop in der Gruppe u. a. auch ein dunkles, stark eruptives Filament sichtbar (Abb. 36), das Radialgeschwindigkeiten in H_{α} von $\pm 1,7$ Å ($= \pm 80$ km/sec) zeigte. Gegen 11h 25m wurde eine weitere lange Serie von Zeeman-Spektrogrammen in engbenachbarten Schnitten über die ganze Gruppe hinweg aufgenommen, wobei nacheinander alle im Spektrohelioskop interessanten Stellen auf den Spalt gebracht wurden. In der Feldstärkenverteilung

Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche. 167

wurde aber nichts Bemerkenswertes gefunden, insbesondere sicher keine größeren anomalen Felder oder gar extrem große Feldstärken. Gegen 13^h wurde die Gruppe nahe dem Hauptfleck wieder eruptiv (Abb. 37) und es wurden von den hellsten Stellen der chromosphärischen Eruption noch einmal Spektren erhalten. Größere Feldstärken traten wiederum nicht auf.

Auch April 22 war die Gruppe im Spektrohelioskop weiterhin deutlich aktiv. Der Hauptfleck hatte eine riesige Penumbra entwickelt (Abb. 38), die ihn

Abb. 37. Aufnahme (Positiv) der gleichen Gruppe von Abb. 25, 32, 36 um 13^h 3^m MZG. mit Spektrohelioskop in H_{α} , als die Gruppe wiederum eruptiv wurde. Spektralaufnahmen und Zeeman-Aufnahmen wurden besonders von der hellsten Stelle nahe dem Hauptfleck gemacht, die entsprechende Spaltstellung ist im Bilde eingetragen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung etwa 22 cm. Belichtungszeit 30s.



auch an den folgenden Tagen umgab, die Feldstärken erschienen im Hauptfleck etwas gestiegen, eine Vermessung quer über den Fleck weg zeigt Abb. 39. Die Feldform folgt wieder merkwürdig genau dem op-

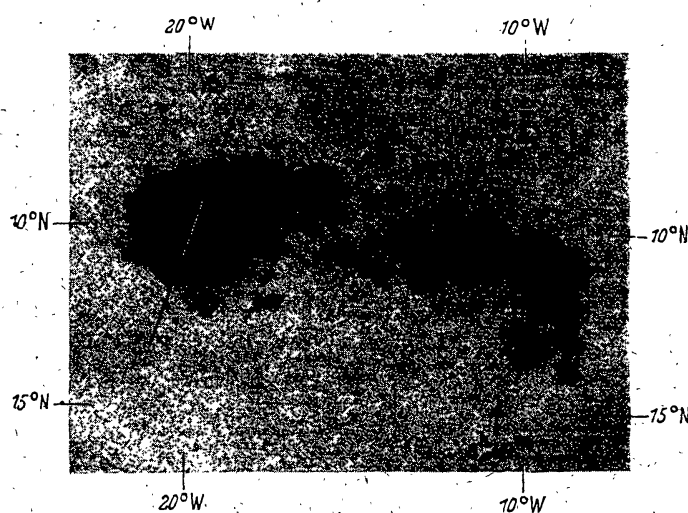


Abb. 38

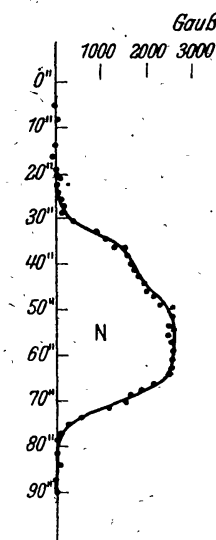


Abb. 39

Abb. 38. Aufnahme der Fleckengruppe 1943, April 22, um 8^h 20^m MZG. Zeeman-Aufnahmen des stark entwickelten Hauptfleckes wurden in der angegebenen Stellung gemacht, einige im Spektrohelioskop als kleine eruptive Stellen erkennbare Punkte sind mit ihren ungefähren Beobachtungszeiten eingetragen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 46 cm.

Abb. 39. Magnetische Feldstärkenverteilung über dem in Abb. 38 dargestellten Fleck. Stellung des Spektrographenspaltes, wie dort eingetragen. Aufnahme gegen 9^h 50^m MZG.

tischen Aussehen des Fleckes. Spezielle photometrische Aufnahmen liegen von diesem Tage nicht vor.

April 23 gelangen ebenfalls lange Reihen guter Aufnahmen mit vielen Einzelheiten, jedoch ohne daß auffällige Veränderungen festgestellt werden konnten. Den Feldstärkenverlauf durch den großen Hauptfleck (Abb. 40) mit seiner stattlichen Penumbra zeigt Abb. 41.

April 24 stand die Gruppe schon unter einem Winkel von 46° gegen die Gesichtslinie geneigt. Der Spektrographenspalt wurde für die Zeeman-Aufnahmen in verschiedene Stellungen zu dem großen Haupt-

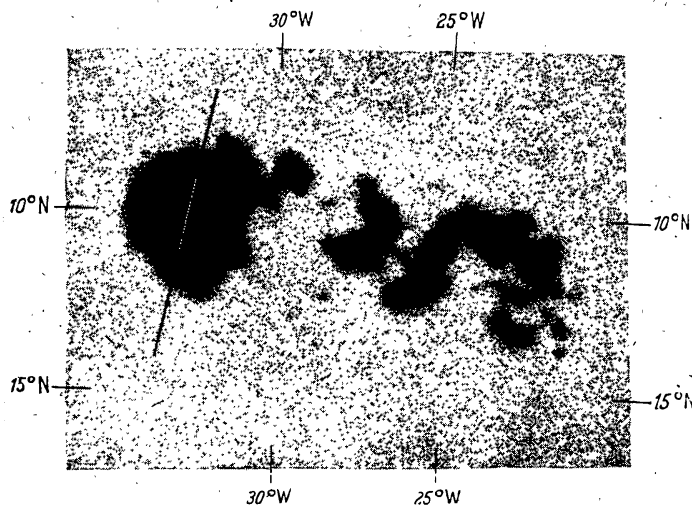


Abb. 40

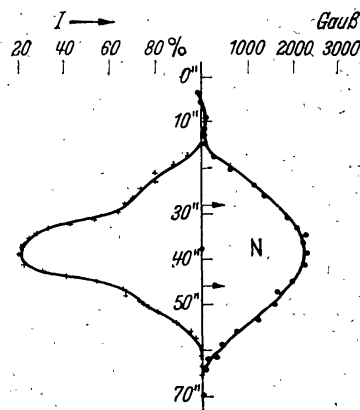


Abb. 41

Abb. 40. Aufnahme der Fleckengruppe 1943, April 23, um 6h 45m MZG. Hauptfleck zeigt sehr stark entwickelte Penumbra. Die für das Diagramm der Abb. 41 benutzte Spaltstellung ist eingetragen. Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 46 cm.

Abb. 41. Magnetische Feldstärkenverteilung und photometrische Intensitäten über dem Hauptfleck der Gruppe von Abb. 40 mit der dort eingezeichneten Spaltstellung. Aufnahmezeit um 8h MZG. Korrektur der Restintensität in Fleckenmitte -12% .

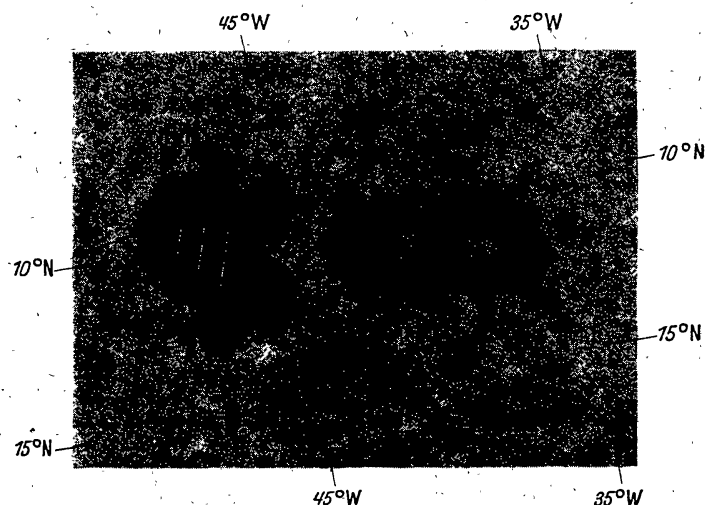


Abb. 42. Aufnahme der Fleckengruppe 1943, April 24, um 6h 45m MZG. Neigung der Blickrichtung gegen den Visionsradius 46° . Zeeman-Aufnahmen mit den Spaltstellungen A bis E lassen sehr deutlich die verschiedene Neigung der magnetischen Kraftlinien über den einzelnen Teilen des Fleckes erkennen. Dementsprechende Aufnahmen zeigen Abb. 43 und 44. Größe des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung 46 cm.

fleck gebracht, wie Abb. 42 zeigt. Die verschiedene Neigung der Kraftlinien an den beiden Seiten des Fleckes war unter diesen Umständen sehr schön und instruktiv zu beobachten. Abb. 43 zeigt als Zeeman-Aufnahme im Schnitt B mit nunmehr zusammengesetzter

$1/2$ - λ -Platte einen wohlausgebildeten Transversaleffekt, die Abb. 44 zeigt die Aufnahme entsprechend dem Schnitt *D* mit $1/4$ - λ -Platte mit einem

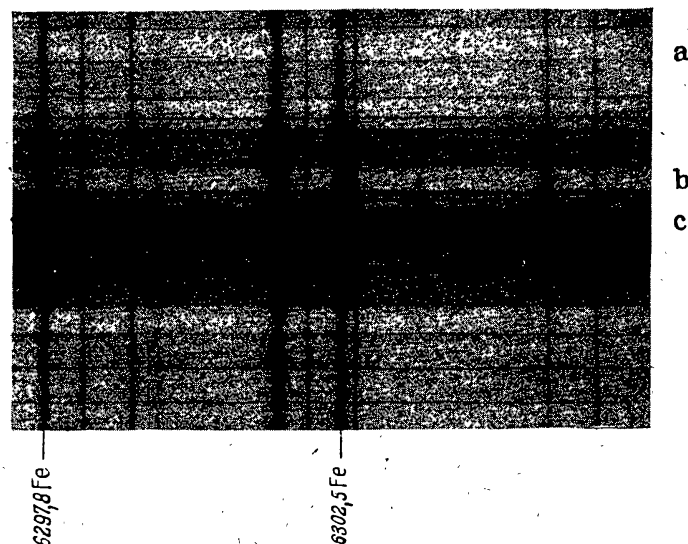


Abb. 43. Zeeman-Aufnahme über dem Fleck der Abb. 42 mit Spaltstellung *B*. Polarisationsoptik, zusammengesetzte $1/2$ - λ -Platte; die Horizontalstreifen werden durch die Kanten der einzelnen Glimmerstreifen verursacht. Auf der randnahen Fleckenseite blickt man fast senkrecht auf die Richtung der Kraftlinien, die Zeeman-Aufspaltung zeigt deutlich den Transversaleffekt. Aufnahmezeit um 8h 10m MZG. — Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung etwa 50 cm.

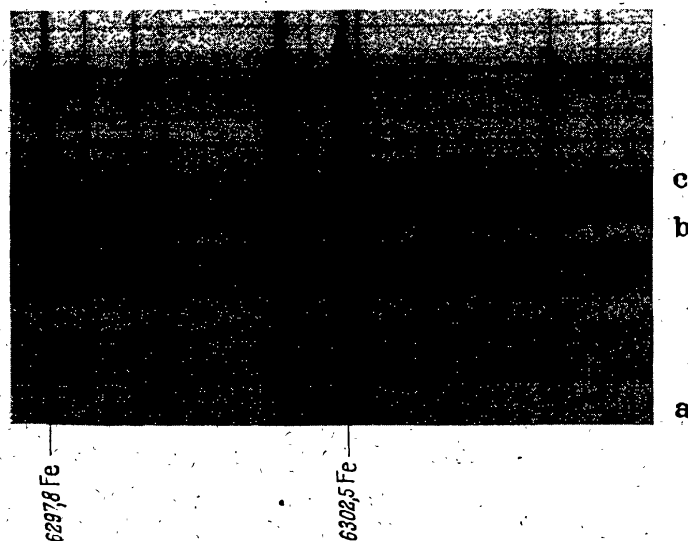


Abb. 44. Zeeman-Aufnahme über dem Fleck der Abb. 42 mit Spaltstellung *D*. Polarisationsoptik, zusammengesetzte $1/4$ - λ -Platte. Auf der randabgewandten Fleckenseite blickt man fast parallel zur Richtung der Kraftlinien, die Zeeman-Aufspaltung zeigt deutlich den Longitudinaleffekt. Die Mittelkomponente bleibt überall sichtbar. Aufnahmezeit um 8h 15m MZG. — Durchmesser des Sonnenbildes im Maßstab der Abbildung etwa 50 cm.

schönen Longitudinaleffekt. Die übrigen Aufnahmen lassen auch die Zwischenformen gut verfolgen, so daß sich hier unschwer ein Kraftlinienbild ergibt, wie es die amerikanischen Autoren [8], nach ver-

schiedenen Methoden und aus einem großen Material als ungefähren Durchschnitt abgeleitet haben. Es besteht aber wohl kein Zweifel, daß die einzelnen individuellen Fälle von diesem durchschnittlichen Schema öfters merkliche Abweichungen zeigen, die bei enger Nachbarschaft stärkerer bipolarer Felder ja zu erwarten sind.

Die Neigung der Kraftlinien am Ort der Beobachtung drückt sich bekanntlich bei dem gewählten Beobachtungsverfahren im Intensitätsverhältnis der drei Zeeman-Komponenten aus. F. H. SEARES [3] hat bereits die entsprechenden Formeln für die relativen Intensitäten der drei Zeeman-Komponenten in Abhängigkeit von der Neigung der Kraftlinien abgeleitet, wie sie innerhalb eines individuellen Glimmerstreifens unserer Anordnung mit $1/4$ - λ -Platte zu erwarten sind. Es seien γ der Winkel zwischen dem Visionsradius und den Kraftlinien, $J_{\lambda-1\lambda}$, J_{λ} und $J_{\lambda+1\lambda}$ die relativen Intensitäten der violetten, der mittleren und der roten Zeeman-Komponente in einem normalen einfachen Zeeman-Triplett und es gelte schließlich die Normierungsbedingung

$$J_{\lambda-1\lambda} + J_{\lambda} + J_{\lambda+1\lambda} = 1,$$

dann gelten die Gleichungen

$$J_{\lambda-1\lambda} = \frac{1}{4} (1 - \cos \gamma)^2,$$

$$J_{\lambda} = \frac{1}{2} \sin^2 \gamma,$$

$$J_{\lambda+1\lambda} = \frac{1}{4} (1 + \cos \gamma)^2.$$

Die graphische Darstellung der drei Ausdrücke zeigt Abb. 45. Nun ist grundsätzlich eine photometrische Auswertung von Zeeman-Aufnahmen der hier vorliegenden Art sehr wohl möglich. Die beiden den Abb. 43

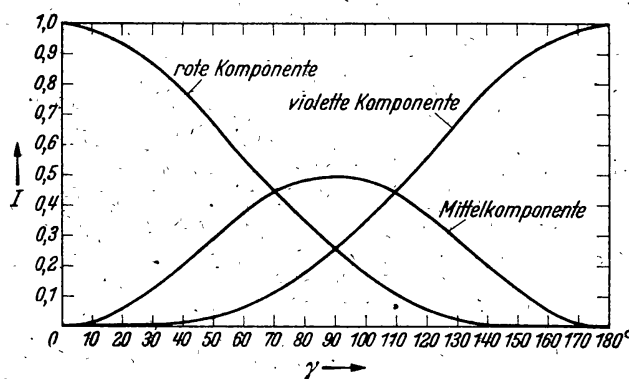


Abb. 45. Intensitäten (I) der drei Komponenten eines normalen Zeeman-Triplets innerhalb eines Streifens der zusammengesetzten $1/4$ - λ -Platte in Abhängigkeit vom Winkel γ zwischen Blickrichtung und Richtung der magnetischen Kraftlinien.

und 44 zugrunde liegenden Originalaufnahmen sind als Beispiel in verschiedenen Schnitten mit dem Zeiss'schen Registrierphotometer photometriert worden. Abb. 46 und 47 zeigen einige solche Registrierungen,

Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche. 171

aus denen man ersieht, daß sowohl eine photometrische Auswertung als auch die Feststellung der Wellenlängenverschiebungen ohne weiteres möglich wäre. Die hiesigen Aufnahmen tragen allerdings noch keine hierfür geeigneten Intensitätsmarken. Außerdem müßten solche Messun-

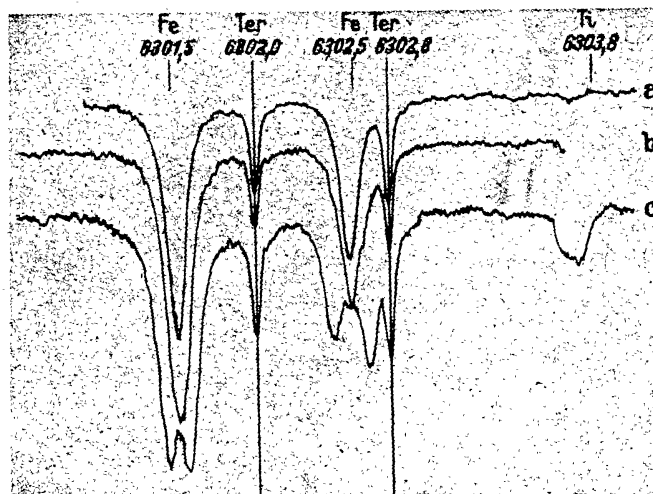


Abb. 46. Drei Registrierungen aus dem Spektrogramm der Abb. 43, Umgebung der Zeeman-Linie λ 6302,5 mit Polarisationsoptik und $\frac{1}{4}$ - λ -Platte. Kurve *a* normales Sonnenspektrum außerhalb des Sonnenfleckes, aufgenommen im Streifen *a* der Abb. 43. Kurve *b* im Sonnenfleck, aufgenommen im Streifen *b* der Abb. 43, in dem nur die fast saubere Mittelkomponente des Zeeman-Transversaleffektes sichtbar ist. Kurve *c* im Sonnenfleck, aufgenommen im Streifen *c* der Abb. 43, in dem die beiden Seitenkomponenten des Transversaleffektes sichtbar werden. Die beiden verschieden intensiven Zeeman-Komponenten deuten noch eine geringe Neigung der Kraftlinien an. Die benachbarte Fraunhofer-Linie λ 6301,5 Fe zeigt entsprechend ihrem Aufspaltungstypus (2), (4), 7, 9, 11, 13 die gleichen Effekte undeutlicher und in wesentlich geringerem Maße. 6

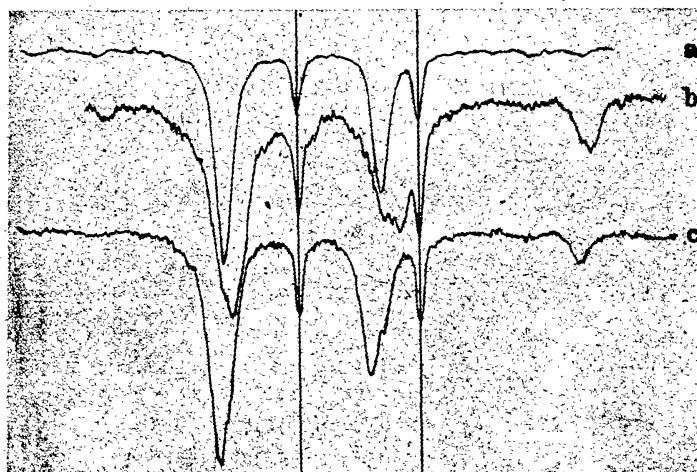


Abb. 47. Drei Registrierungen aus dem Spektrogramm der Abb. 44, ebenfalls Umgebung der Linie λ 6302,5 mit Polarisationsoptik und zusammengesetzter $\frac{1}{4}$ - λ -Platte. Kurve *a*, aufgenommen im Streifen *a* der Abb. 44, normales Sonnenspektrum außerhalb des Fleckes. Kurve *b* im Sonnenfleck, aufgenommen im Streifen *b* der Abb. 44; Reste der Mittelkomponente und eine starke langwellige Seitenkomponente sind sichtbar. Kurve *c* im Sonnenfleck, aufgenommen im Streifen *c* der Abb. 44; Reste der Mittelkomponente und eine starke kurzwellige Zeeman-Komponente sind sichtbar. Die Asymmetrie der beiden Komponenten läßt wieder eine geringe Neigung der Kraftlinien erkennen, so daß der Longitudinaleffekt nicht völlig rein erscheint. Die Linie λ 6301,5 wiederholt alle Erscheinungen in geringerem Maße.

gen offenbar sehr sorgsame und spezielle Untersuchungen der betreffenden Fleckenfelder in verschiedenen Richtungen und insbesondere der gesamten optischen Einrichtung vorangehen, worauf schon oben hingewiesen wurde.

Die verschiedenen Wahrnehmungen an dieser Gruppe sprechen jedenfalls deutlich dafür, daß die magnetischen Feldstärken außerordentlich gut dem Aussehen der Fleckenverteilung im gewöhnlichen Licht folgen, so wie sie jede gewöhnliche Sonnenaufnahme zeigt. Kleinere chromosphärische Eruptionen und eruptive dunkle Filamente scheinen Einfluß auf die Gestalt der im Zeeman-Effekt wahrnehmbaren magnetischen Felder nicht auszuüben. Selbstverständlich bedürfen diese an einigen wenigen Fällen festgestellten Befunde noch der Nachprüfung an weit größeren Beobachtungsreihen und durch speziell angelegte Beobachtungssätze, die um diese Zeit des Aktivitätsminimums nur sehr langsam zu gewinnen sein werden.

Fleckengruppe von 1943, Oktober 2. Diese Gruppe lag am Ort einer bemerkenswert lange aktiven Störungsquelle auf der Sonne. Schon während der Rotation 1200 von Juni 15 bis 18 konnte an etwa dieser Stelle unter 15° N und 76° Länge eine kleine, mit *B* bis *A* klassifizierte Fleckengruppe beobachtet werden, die nichts Besonderes zu bieten schien und Juni 16/17 im Zentralmeridian stand. Bei ihrer Wiederkehr in der 1201-Rotation konnte hier von Juli 9 bis 19 an nahe der gleichen Stelle (14° N, 80° L) eine ausgedehnte, vielkernige Gruppe vom geschätzten Typus *E* bis *G* beobachtet werden, die sich indessen im Spektrohelioskop merkwürdig inaktiv verhielt. Magnetisch gehörte sie zu dem gerade ablaufenden Fleckenzyklus und zeigte deutlich bipolaren Charakter. Die maximale Feldstärke des stark entwickelten *P*-Fleckes lag bei 2200 Gauß. Bei der folgenden Wiederkehr stand an ungefähr der gleichen Stelle zwischen August 6 und 16 eine sehr inaktive, unauffällige *J*-Gruppe, die nichts Bemerkenswertes zeigte. Beim folgenden Umlauf in der Rotation 1203/4 erschien die gleiche Stelle bei etwa 80° Länge auf den Aufnahmen im direkten Licht noch September 6 völlig fleckenfrei. Am nächsten Tage stand an der gleichen Stelle bereits eine vielkernige *C*-Gruppe, die sich in den folgenden Tagen stark entwickelte und mit *E* klassifiziert wurde. Im Spektrohelioskop zeigte die Gruppe September 9 zahlreiche veränderliche Einzelheiten, eine deutliche bipolare Wirbelstruktur der Filamente, dunkle bewegte Filamente und helle, mit b_4 geschätzte H_{α} -Fackeln und wiederholt kleine eruptive Stellen, deren eruptiver Charakter auch durch einige direkte Spektrogramme wieder bestätigt werden konnte.

Die Gruppe kehrte dann in der Rotation 1204 wieder, wurde in Potsdam sehr nahe dem E-Rand zuerst 1943, September 27, unter 15° N und 80° L erneut beobachtet und konnte weiterhin von September 28

bis Oktober 9 hier ständig gesehen werden, bis sie am W-Rande verschwand. Sie ging Oktober 3 durch den Zentralmeridian und wurde während ihrer ganzen Sichtbarkeit auf G bis H geschätzt. Die Gruppe war am Spektrohelioskop sehr wenig aktiv und unterlag auch im Bilde bei gewöhnlichem Licht sehr wenig Veränderungen. Insbesondere der große vorausgehende Hauptfleck blieb fast unverändert bestehen (Abb. 48). Dementssprechend änderten sich auch die Feldstärken, die um knapp 3000 Gauß gefunden wurden, während der ganzen Beobachtungsperiode nach Ausweis zahlreicher Aufnahmen nur wenig. Über zahlreiche interferometrische und differentielle Messungen, die an

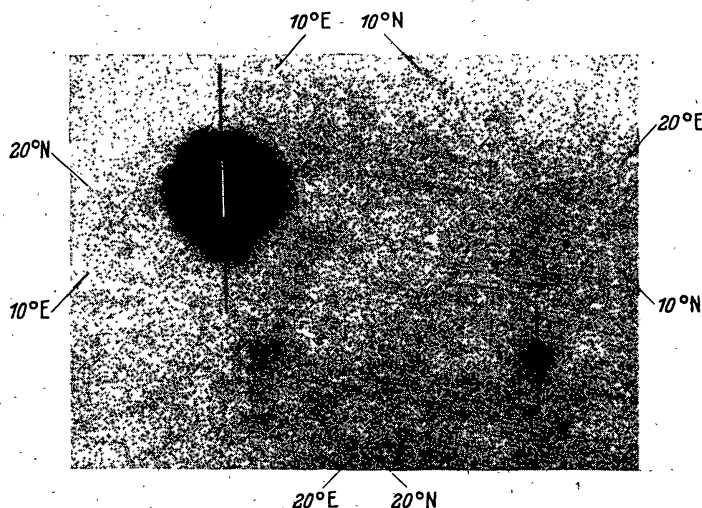


Abb. 48: Direkte Aufnahme der Fleckengruppe von 1948, Oktober 2, gegen 8h 35m MZG. bei 15° N und 80° L (= 10° E vom Zentr.-Mer.). Die dem Diagramm von Abb. 49 entsprechenden Spaltstellungen sind eingetragen. Durchmesser des Sonnenbildes 43 cm.

dieser Gruppe bereits vorgenommen werden konnten, soll später in anderem Zusammenhange berichtet werden. Die spektroskopischen Beobachtungen zeigten sehr schnell, daß die Restintensität dieses Fleckes außerordentlich gering war, was die photometrischen Aufnahmen (Abb. 49) auch bestätigten, die eine scheinbare Restintensität im Zentrum der Umbra von etwa 10 % ergaben, die also schon hart an das allgemeine Streulicht der Sonnenumgebung herankommt und daher nur noch unsicher zu bestimmen ist. Diese besonders geringe Restintensität ist auch die Ursache, warum hier die Messungen an diesem Fleck mitgeteilt werden. Denn im Verhalten der magnetischen Feldverteilung schienen sich keine Besonderheiten zu zeigen. Man sieht aber an dem mitgeteilten Beispiel (Abb. 49) vom Oktober 2, die auch die Feldverteilung des kleinen, ziemlich weit entfernten F -Fleckes bringt, sehr schön, daß die Summe der nördlichen und südlichen Magnetkräfte innerhalb der auch optisch als Flecke erkennbaren stärkeren Felder nicht im geringsten gleich ist. Der Anblick des P -Fleckes auf den zahlreichen direkten hiesigen Aufnahmen, die nur gelegentlich

geringe Andeutungen von Brückenbildung zeigen, läßt nicht darauf schließen, daß es sich etwa um einen ganz engen bipolaren Doppelfleck wie im Beispiel von 1942, Oktober 14 handelt. Auch die zahlreichen Zeeman-Aufnahmen scheinen nicht auf Bipolarität zu deuten. Merk-

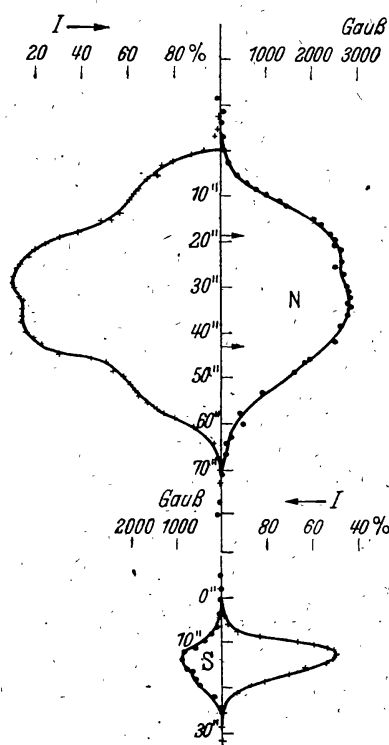


Abb. 49

liche sogenannte unsichtbare Fleckenfelder konnten in der Umgebung der Gruppe mit hierfür allerdings noch nicht ganz vollständigen Hilfsmitteln nicht gefunden werden. Wenn man sich also das magnetische Kraftliniensystem als geschlossen vorstellen will, so bleibt wohl nichts übrig, als sich stärkere Felder in größerer Tiefe

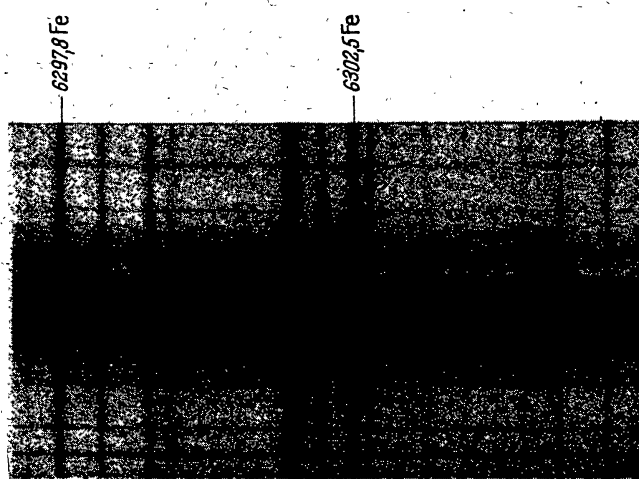


Abb. 50

Abb. 49. Scheinbare magnetische Feldstärkenverteilung und scheinbare photometrische Intensitäten über der Fleckengruppe von Abb. 48 entlang den dort eingetragenen Spaltstellungen. Korrektur der Restintensität im Hauptfleck etwa -10% , so daß die Restintensität in der Mitte der Umbra mit der vorliegenden Aufnahme nicht mehr sicher erfaßt werden kann.

Abb. 50. λ 6302,5 mit zusammengesetzter $\frac{1}{4}$ - λ -Polarisationsoptik, aufgenommen 1943, Oktober 2, gegen 9h MZG. über dem Hauptfleck von Abb. 48. Wohlaufgespaltener sauberer Longitudinaleffekt, in dem die Mittelkomponente als besonders scharfe, feine Linie sichtbar bleibt.

vorzustellen, die dann unbemerkt bleiben, oder aber sehr schwache, entsprechend ausgedehnte Felder in weiterer Umgebung der Gruppe anzunehmen. Es wird die Aufgabe einer speziell entwickelten Beobachtungstechnik sein müssen, Nachforschungen nach solchen Feldern anzustellen, über deren Vorhandensein bereits Vermutungen geäußert worden sind [11].

Die Abb. 50 und 51 zeigen die Linie λ 6302,5 und als Beispiel auch einmal die grüne Fe-Linie λ 5250,2 über diesem Fleck. Bemerkenswert erscheint an diesen Aufnahmen die außerordentlich feine, scharfe Mittelkomponente bei dem sonst sehr reinen Longitudinaleffekt, auf deren Auftreten gelegentlich auch schon J. EVERSLED [61] hinwies. Man gewinnt den Eindruck, als sei diese Mittelkomponente nicht lediglich durch verschiedene Arten von Streulicht und durch Führungsfehler entstanden, und ihre geringe Intensität erklärt auch nicht befriedigend

ihre außerordentliche Schärfe, die auf den Originalaufnahmen besonders schön hervortritt. Es ist möglich, daß ihre Existenz eine besondere Erklärung erforderlich macht.

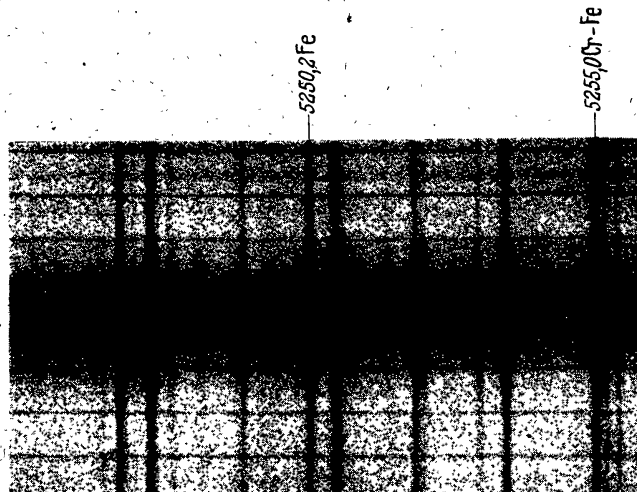


Abb. 51. λ 5250,2 mit zusammengesetzter $\frac{1}{4}$ - λ -Polarisationsoptik über dem gleichen Hauptfleck von Abb. 48 von 1943, Oktober 1, gegen 13h 30m MZG. als Beispiel für die gute Eignung auch dieser Linie für Feldstärkenmessungen.

In der folgenden Rotation 1205 fand sich zwischen Oktober 24 und November 4 an der gleichen Stelle ein ruhiger, fast unveränderlicher *J*-Fleck mit der maximalen Feldstärke von etwa 2100 Gauß. Bei der abermaligen Wiederkehr lag an der gleichen Stelle wieder eine mehrkernige Gruppe vom Typus *D* bis *G*, die November 26 durch den Zentralmeridian ging und von der Einzelheiten hier wegen ungünstiger Witterung nicht beobachtet werden konnten. Auch Dezember 20, nach einem abermaligen Umlauf, stand am gleichen Ort noch ein unauffälliger *A*-Fleck, der in den folgenden Tagen verschwunden war.

Allgemeine Bemerkungen.

Zum Schluß mögen noch einige allgemeine Bemerkungen Platz finden:

Für die Beurteilung, für die Prognose und für die Wiedererkennung von Fleckengruppen und Tätigkeitsherden auf der Sonne haben sich die erdmagnetischen Kennziffern als ein außerordentlich nützliches, wenn auch nicht immer eindeutiges Kriterium erwiesen [69, 88]. Da das erdmagnetische Feld in Deutschland in Niemeg seit langem fortlaufend registriert wird [71], sind die Kennziffern den oft lückenhaften astronomischen Sonnenbeobachtungen durch ihre lückenlose kontinuierliche Reihe in vieler Hinsicht überlegen. Weil sie auch für die vorliegenden Untersuchungen von großem Nutzen sein dürften und tatsächlich neben den astronomischen Beobachtungen auch ständig herangezogen wurden, bringt Abb. 52 zwei nützliche Schaubilder [70]

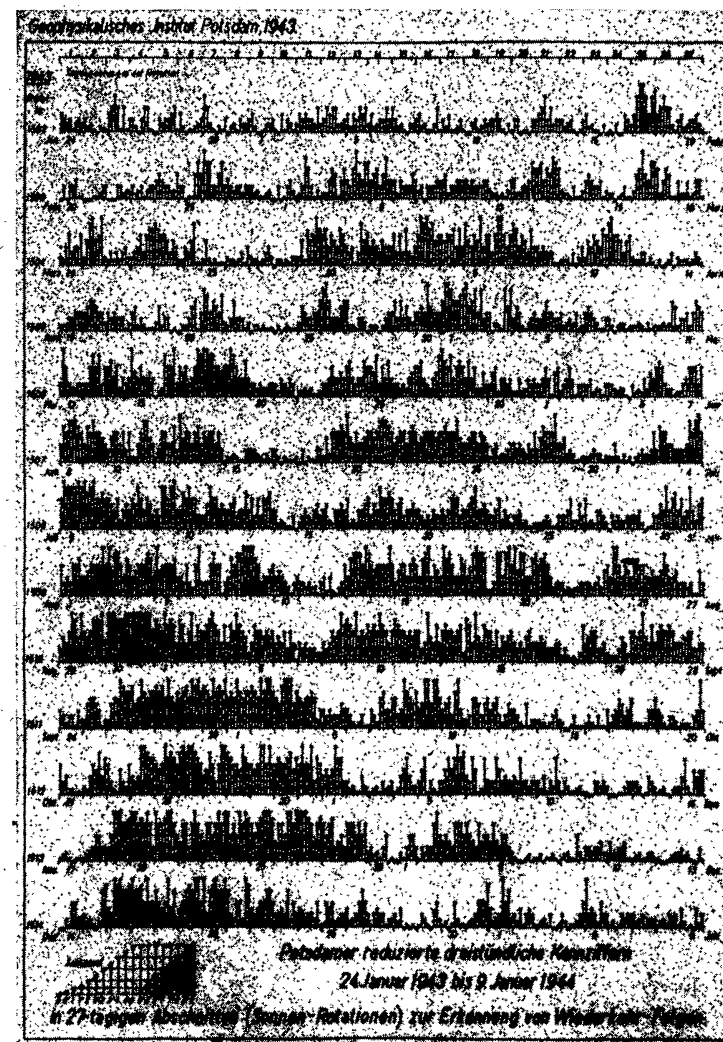
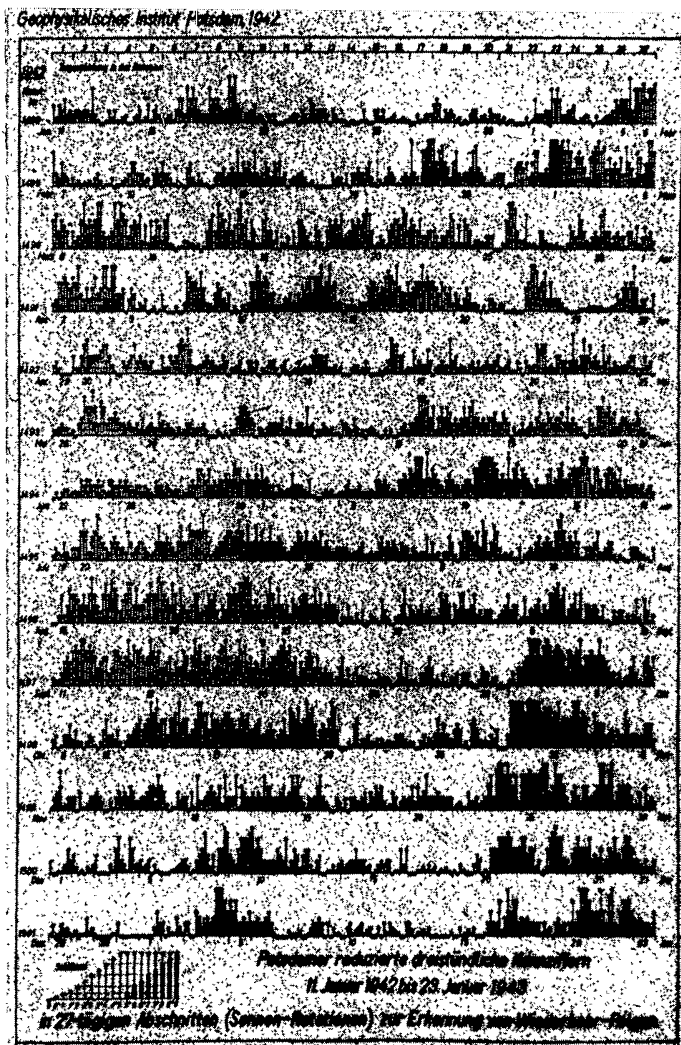


Abb. 52. Verkleinerte Reproduktionen der Potsdamer erdmagnetischen Kennziffern für die Jahre 1943 und 1944, herausgegeben vom Geophysikalischen Institut Potsdam, die zur Erkennung von Wiederkehrfolgen und von solaren Aktivitätszentren vorzügliche Dienste leisten.

Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche. 177

der reduzierten erdmagnetischen Kennziffern für die Jahre 1943 und 1944, wie sie vom Potsdamer Geophysikalischen Institut regelmäßig angefertigt, jedoch zur Zeit in dieser graphischen Form noch nicht veröffentlicht werden. In diesen Darstellungen sind Perioden von genau 27 Tagen, entsprechend genähert einer Sonnenrotation, untereinander gesetzt, so daß Wiederholungen durch die Sonnenrotation sofort ins Auge fallen können. Die Rotationszählung weicht dementsprechend von der in der Astronomie gebräuchlichen internationalen Zählung ab. Der Nullpunkt für diese in der Geophysik sich einbürgernde Zählweise liegt bei 1852, Februar 8, 0[89]. Zum Zeitpunkt 1942, Dezember 1, 0 begann nach dieser Zählung demnach die Rotation 1500.

S. B. NICHOLSON hat einmal [90] an einem großen Material den Zusammenhang zwischen den maximalen Feldstärken im Zentrum von Sonnenflecken und der Größe der Flecken selber in Form eines Schaubildes (Abb. 53) dargestellt. Es hat sich im allgemeinen gezeigt, daß sich auch die hiesigen Werte dieser Kurve gut anpassen. Eine Anzahl von Werten nach Potsdamer Messungen ist in die Kurve der Abb. 53 eingetragen. Nur die sehr starken, seltenen Felder scheinen merklich aus dem Diagramm herauszufallen, das bei seinem asymptotischen

Verlauf in Richtung der größeren Feldstärken für diese keinen Platz mehr bietet. Nur für einige der hier vermessenen Zeeman-Aufnahmen konnten bis zur Drucklegung ungefähr entsprechende Werte der Mt.

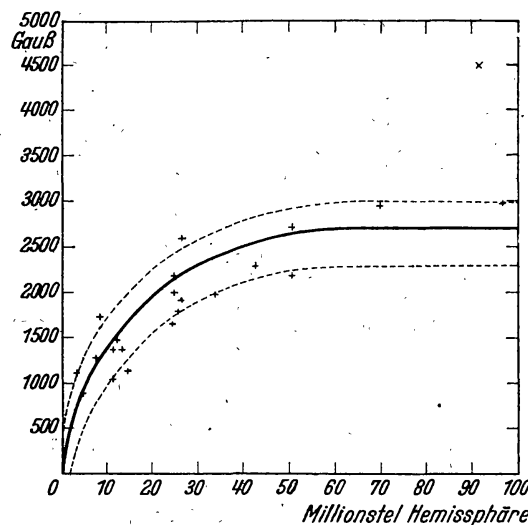


Abb. 53. Beziehung zwischen der maximalen magnetischen Feldstärke von Sonnenflecken und der Größe ihrer Umbra. Ausgezogene Kurve: Mittelwert nach S. B. Nicholson[90], gestrichelte Kurven: normale Streuung um den Mittelwert nach [90], eingetragene Kreuze: Potsdamer Beobachtungen 1942 und 1943. Der Fleck von März 1942 fällt mit seiner extrem hohen Feldstärke völlig aus dem Diagramm heraus.

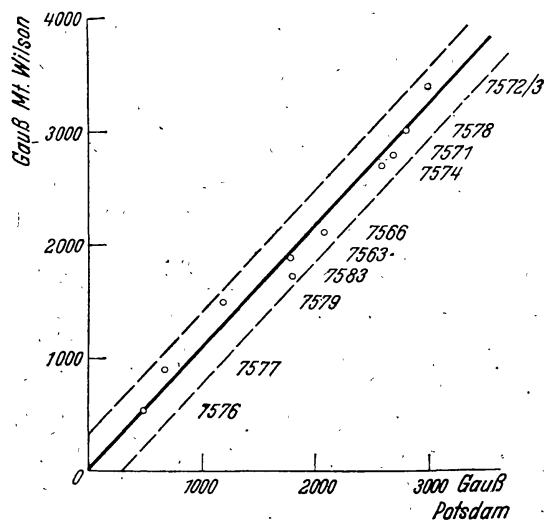


Abb. 54. Vergleich einiger sowohl am Mt. Wilson als auch in Potsdam gemessener Feldstärken über Sonnenflecken.

Wilson-Messungen in Erfahrung gebracht werden. Abb. 54 zeigt den Vergleich zwischen diesen sowohl in Potsdam als auch auf dem Mt. Wilson beobachteten Werten. Die im Diagramm eingesetzten Zahlen sind die Mt.-Wilson-Fleckennummern, die gestrichelten Begrenzungslinien entsprechen einer als ohne weiteres zulässig geschätzten Streubreite von etwa ± 300 Gauß. Die Werte sind in vollster Unabhängigkeit und nach verschiedenen Methoden, nämlich visuell auf dem Mt. Wilson und photographisch in Potsdam, und außerdem zu etwas verschiedenen Zeiten gewonnen worden. Dadurch würden sich auch gelegentliche größere Abweichungen untereinander ohne weiteres rechtfertigen. Für die bisher vorliegenden gemeinsamen Werte ist die Übereinstimmung, wie man aus dem Diagramm ersieht, sehr befriedigend.

Bekanntlich wechselt die magnetische Polarität der normalen bipolaren Fleckengruppen von einem Sonnenfleckenzyklus zum andern [5, 8]. Für den gerade ablaufenden Zyklus 1933 bis 1944 war für die Sonnen-Nordhalbkugel zu erwarten: Nord-Polarität im vorangehenden *P*-Fleck und Süd-Polarität im nachfolgenden *F*-Fleck und entsprechend umgekehrt auf der Südhalbkugel. Diese Regel hat sich bei hiesigen Aufnahmen bestätigt. Im Jahre 1943 traten aber bereits in höheren Breiten die ersten Flecke des neuen Zyklus auf, wie sie nach dem sogenannten „Schmetterlingsdiagramm“ zu erwarten waren [91]. Es ist naturgemäß von Interesse, den zu erwartenden Polaritätswechsel zu prüfen und gleichzeitig ein weiteres Kriterium zu gewinnen, welche Flecke nach ihrem magnetischen Verhalten dem neuen Zyklus zuzuteilen sind. Abgesehen von einigen kleinen und sehr kurzlebigen Flecken, alle in hohen südlichen Breiten, die in Potsdam nicht beobachtet werden konnten [92], kamen hier zunächst zwei Fleckengruppen zur Untersuchung, die wohl zweifellos magnetisch dem neuen Zyklus angehören. Die erste Gruppe wurde in Potsdam erstmalig 1943, Mai 16, unter 40° S und 170° L in der Rotation 1199 gesehen. Sie verriet am Spektrohelioskop bereits eine gewisse Aktivität [93]. Bei ungünstigen Beobachtungsbedingungen konnten hier immerhin zahlreiche Zeeman-Aufnahmen von verschiedenen Stellen der Gruppe gemacht werden. Aus ihnen ergab sich für die vorangehende Teilgruppe deutlich Nordpolarität, für die nachfolgende Südpolarität.

Eine weitere starke Gruppe wurde dann durch die Sonnenrotation 1943, Dezember 13/14, am Ostrande unter etwa 22° S und 135° L sichtbar. Nach Zeeman-Aufnahmen vom Dezember 17 und 20 gehörte auch sie dem neuen Zyklus an.

Die besonders langlebige Gruppe im Tätigkeitsherd bei 15° N und 75° L, die von 1943, Juni bis Dezember mit kleinen Unterbrechungen sichtbar blieb (vgl. S. 170) und über deren Zugehörigkeit gewisse Zweifel bestehen konnten, gehörte andererseits magnetisch trotz ihres

Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche. 179

nicht immer ganz klaren komplexen Charakters wohl sicher noch zum alten Zyklus.

Der für den neuen Fleckenzzyklus charakteristische Polaritätswechsel konnte hier inzwischen (bis September 1944) noch für folgende Gruppen bestätigt werden:

Beobachtungsdatum	Breite	Länge
1944 März 23—25	25 S	314
Mai 29	23 S	219
Juli 3	29 N	98
August 26	21 S	52
September 12—13	23 S	165
September 23	24 S	53

Literatur.

- [1] HALE, G. E.: Mt. Wilson Contr. 30 = Astrophysic. J. **28**, 315 (1908). — [2] HALE, G. E. Mt.: Wilson Contr. 71 = Astrophysic. J. **38**, 27 (1913). — [3] SEARES, F. H.: Mt. Wilson Contr. 72 = Astrophysic. J. **38**, 99 (1913). — [4] HALE, G. E., F. H. SEARES, A. v. MAANEN, F. ELLERMAN: Mt. Wilson Contr. 148 = Astrophysic. J. **47**, 206 (1918); vgl. auch EPSTEIN P.: Physic. Rev. **53**, 862 (1938). — [5] HALE, G. E., F. ELLERMAN, S. B. NICHOLSON, A. H. JOY: Mt. Wilson Contr. 165 = Astrophysic. J. **49**, 153 (1919). — [6] KING, A. S.: Mt. Wilson Contr. 34 = Astrophysic. J. **29**, 76 (1908); Mt. Wilson Contr. 180 = Astrophysic. J. **51**, 107 (1919). — [7] HALE, G. E., S. B. NICHOLSON: Mt. Wilson Contr. 300 = Astrophysic. J. **62**, 270 (1925). — [8] HALE, G. E., S. B. NICHOLSON: Magnetic Observations of Sunspots 1917–1924, 2 Teile, Washington 1938. — [9] KING, R. B.: Mt. Wilson Contr. 497 = Astrophysic. J. **80**, 136 (1933). — [10] Z. B.: KIEPENHEUER, K. O.: Z. Astrophysik **20**, 332 (1941). — [11] Annual Report Mt. Wilson Obs. 1939/40. — [12] BABCOCK, H. D.: P. A. S. P. **53**, 237 (1941). — [13] Z. B.: BACK, E., A. LANDÉ: Zeeman-Effekt. Berlin 1925. — [14] LAPORTE, O.: Handbuch der Astrophysik III, 2, 1930. — [15] Z. B.: CANDLER, A. C.: Atomic Spectra. Cambridge 1937. — [16] MOORE, CH. E.: A Multiplet Table of Astrophysical Interest. Princeton, N. J., 1933. — [17] BACHER, R. F., S. GOUDSMIT: Atomic Energy States. New York u. London 1932. — [18] Revision of ROWLANDS Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths, 1928. — [19] HIGGS, G.: Photographic Atlas of the Normal Solar Spectrum. — [20] LAPORTE, O.: Z. Physik. **23**, 135 (1924); **26**, 1 (1924). — [21] BURNS, K., F. M. WALTERS, Jr.: Publ. Allegh. Obs. **6**, 159 (1929). — [22] RUSSELL, H. N.: Physic. Rev. **34**, 821 (1929). — [23] RUSSELL, H. N.: Astrophysic. J. **66**, 347 (1927). — [24] EVERSHERD, J.: M. N. **99**, 217, 438 (1939). — [25] BABCOCK, H. D.: P. A. S. P. **41**, 274 (1929); H. W. BABCOCK **47**, 321 (1935); **48**, 206 (1936). — [26] BABCOCK, H. D.: Obs. **57**, 261 (1934). — [27] Handbuch der Astrophysik **7**, 356 (1936). — [28] WURM, K.: Z. Astrophysik **2**, 133 (1931). — [29] FREUNDLICH, E.: Das Turmteleskop der Einsteinstiftung. Berlin 1927. — [30] BRUGGENCATE, P. TEN, J. HOUTGAST u. H. v. KLÜBER: Publ. Astrophys. Obs. Potsdam **96** (1939). — [31] SCHÜLER, H. u. J. E. KEYSTON: Z. Physik **72**, 423 (1931). — [32] RUARK, A. E.: Phil. Mag. **1**, 7, 977 (1926). — [33] KAYSER, H.: Handbuch der Spektroskopie **5**, 521 (1910). — [34] KLÜBER, H. v. u. H. MÜLLER: Z. Astrophysik in Vorbereitung. — [35] BRUGGENCATE, P. TEN: Z. Astrophysik **19**, 59 (1939). — [36] KLÜBER, H. v.: Z. Astrophysik **23**, 57 (1944). — [37] Lichtelektrisches Registrierphotometer, Zeißwerk, Werkveröffentlichung Meß 469 G. — [38] KÖNIG, W.: Wied. Ann. **62**, 240 (1897). — [39] Hersteller Firma: B. Halle Nachf., Berlin-Steglitz, 1938. — [40] HAASE, M.: Zeiß-Nachrichten **2**, 55 (1936). — ROESCH, S.:

180 H. VON KLÜBER: Nachweis und Messung lokaler Magnetfelder.

- Z. Instrumentenkunde **58**, 181 (1938); INGERSOLL, L. R., J. G. WINANS, H. E. KRAUSE: J. Opt. Soc. America **26**, 233 (1936); STRONG, J.: J. Opt. Soc. America **26**, 256 (1936). — [41] WEMPE, J.: Astr. Nachr. **269**, 331 (1940). — [42] NÄHRING, E.: Filmtechnik **13**, 145 (1937); Photogr. Industrie **38**, 599, 629 (1940). — [43] GRABAU, M.: J. Opt. Soc. America **27**, 420 (1937). — [44] SAUER, H.: Z. Ver. deutsch. Ing. **82**, 201 (1938). — [45] Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Erg.-Werk **1**, 305, Wien 1943. — [46] JÖRGENSEN, S. M.: J. prakt. Chem. **14**, 213 (1876); **15**, 65, 418 (1877). — [47] Z. B.: Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Erg.-Werk **1**, 296, Wien 1943. — [48] SEARES, F. H.: Astrophysic. J. **38**, 99 (1908). — [49] Publ. d. Eidgenössischen Sternwarte **7**, 1, Zürich 1939. — [50] Jenaer Farb- und Filterglas; Jenaer Glaswerk, Schott u. Gen., Jena. — [51] WALDMEIER, M.: Helv. Physic. Acta **13**, 14 (1940). — [52] WALDMEIER, M.: Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung, S. 81, Leipzig 1941. — [53] WALDMEIER, M.: Z. Astrophysik **14**, 91 (1937). — [54] EVERSHED, J.: M. N. **69**, 454 (1909); **70**, 212, 1910. — [55] JOHN, CH. E. ST.: Mt. Wilson Contr. **69** = Astrophysic. J. **37**, 322 (1917); **38**, 341 (1913). — [56] ABETTI, G.: Publ. R. Oss. Arcetri **50** (1932). — [57] CALAMAI, G.: Publ. R. Oss. Arcetri **52** (1934). — [58] MOORE, CH. E.: Mt. Wilson Contr. **446** = Astrophysic. J. **75**, 222, 298 (1931); P. TEN BRUGGENCATE u. H. v. KLÜBER: Z. Astrophysik **18**, 284 (1939). — [59] MINNAERT, M. u. J. HOUTGAST: Z. Astrophysik **10**, 86 (1935). — [60] SIEDENTOPF, H.: Die Sterne **19**, 145 (1939). — [61] EVERSHED, J.: Obs. **64**, 154 (1941). — [62] HECKMANN, O. u. H. SIEDENTOPF: Veröff. d. Sternw. Göttingen **8** (1929). — [63] WANDERS, A. J. M.: Z. Astrophysik **8**, 108 (1934). — [64] WANDERS, A. J. M.: Z. Astrophysik **10**, 15 (1935). — [65] PETTIT, E. u. S. B. NICHOLSON: Mt. Wilson Contr. **397** = Astrophysic. J. **71**, 153 (1930). — [66] KORN, J.: Astr. Nachr. **270**, 3 (1940); Veröff. d. Sternw. München **2**, Nr. 6 (1940). — [67] Auch TEN BRUGGENCATE, W. GROTRIAN u. E. v. d. PAHLEN: Z. Astrophysik **16**, 99 (1938). — [68] WORMELL, T. W.: M. N. **96**, 736 (1936). — [69] FLEMMING, J. A.: Terrestrial Magnetism and Electricity, 1939. — [70] CHAPMAN, S. u. J. BARTELS: Geomagnetism, 2. Bd., Oxford 1940. — [71] BARTELS, J.: Abh. preuß. Akad. Wiss.; math.-naturw. Kl. Nr. 12, 1941; Erdmagn. Kennziffern im Zbl. Geophysik — [72] WALDMEIER, M.: Z. Astrophysik **16**, 276 (1938); **20**, 46 (1941). — [73] WALDMEIER, M.: Z. Astrophysik **14**, 229 (1937). — [74] WALDMEIER, M.: Scientia, Jan. 1943. — [75] GROTRIAN, W.: Naturwissen. **27**, 555, 569 (1939). — [76] BECKMANN, B.: Die Ausbreitung der elektrischen Wellen. Leipzig 1940. — [77] KLÜBER, H. v.: Funk, Heft 3/4, 49 (1943). — [78] Publ. der Eidgen. Sternwarte Zürich. — [79] HALE, G. E.: Mt. Wilson Contr. **26** = Astrophysic. J. **28**, 100, (1908). — [80] MINNAERT, M., G. F. W. MULDER u. J. HOUTGAST: Photometric Atlas of the Solar Spectrum. Utrecht 1940. — [81] UNSÖLD, A.: Z. Physik **46**, 782 (1927). — [82] KEENAN, PH. C.: Astrophysic. J. **75**, 277 (1932). — [83] KEENAN, PH. C.: Astrophysic. J. **76**, 134 (1932). — [84] KEENAN, PH. C.: Astrophysic. J. **83**, 47 (1935). — [85] WOOLLEY, R. v. d. R.: M. N. **98**, 3 (1937). — [86] WALDMEIER, M.: Z. Astrophysik **20**, 46 (1940). — [87] EVERSHED, J.: Kodaikanal. Obs. Bull. **22**, 265 (1910). — [88] WALDMEIER, M.: Z. Astrophysik **21**, 275 (1942). — [89] Sammlung Phys., chem. u. techn. Zahlenwerte, Bd. 4, Beitrag BURMEISTER-BARTELS (in Vorbereitung). Berlin, Springer. — [90] NICHOLSON, S. B.: P. A. S. P. **45**, 51 (1933). — [91] MAUDER, E. W.: M. N. **82**, 534 (1922). — [92] Nach brieflicher Mitteilung W. BRUNNER, Zürich. — [93] KLÜBER, H. v.: Beob. Zirk. d. Astr. Nachr. von 1943, Juni 3, Nr. 12. — In Fortsetzung dieser Arbeit inzwischen im Druck: KLÜBER, H. v.: Zum Nachweis schwacher Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche (1944) Z. Astrophysik **24**, 1 (1947). — Zur Bestimmung von Zeeman-Effekten im Sonnenspektrum (1946) Z. Astrophysik. — Beobachtung magnetischer Felder auf der Sonne. Field Information Agency, Technical 1947.