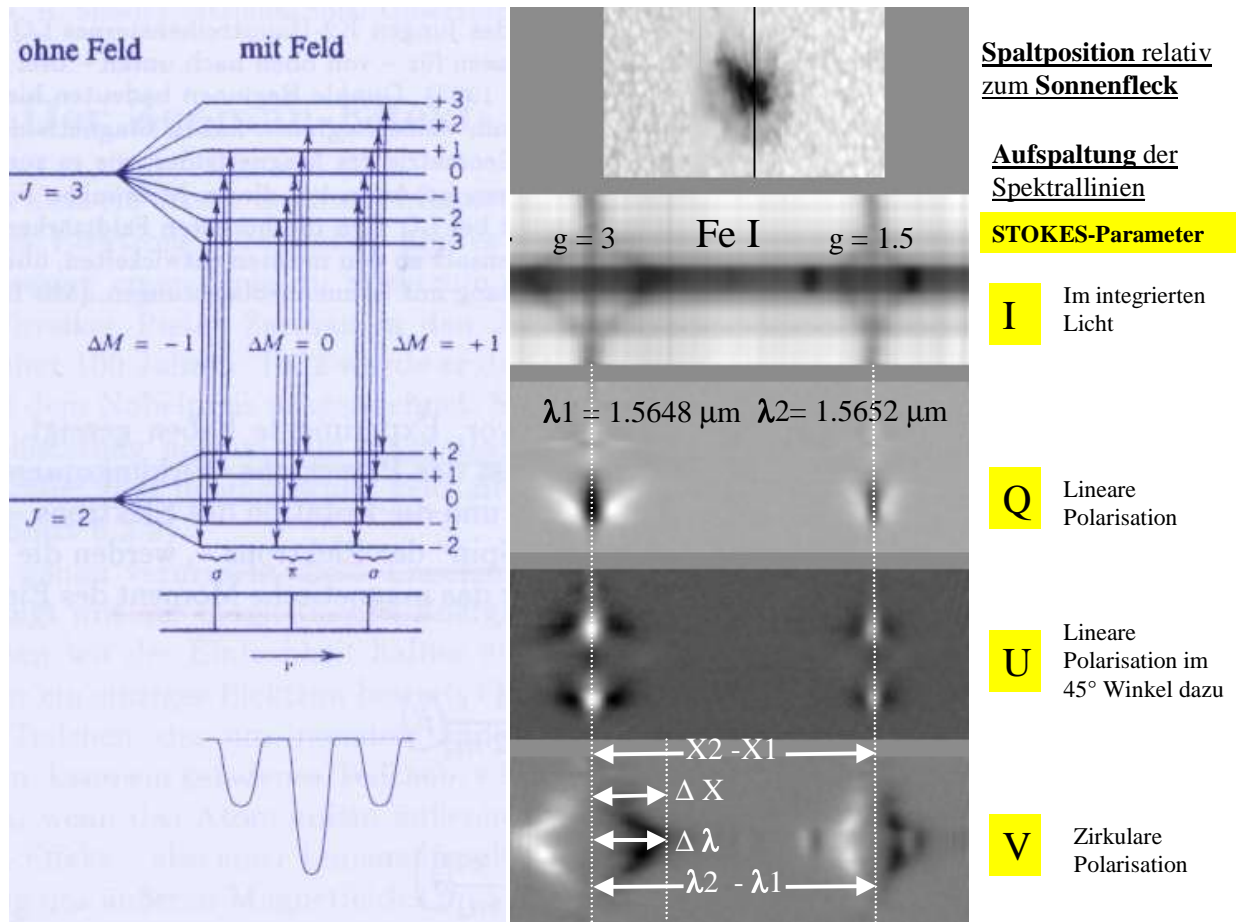


# Messung solarer magnetischer Flussdichten mit Hilfe des Zeeman-Effektes

Ulrich v. Kusserow



Um **starke solare magnetische Flussdichten** in der **Umbra oder Penumbra** eines **Sonnenfleckes** zu ermitteln, wird die auf Grund des **Zeeman-Effektes** zu erwartende **Aufspaltung magnetisch empfindlicher Spektrallinien** vermessen und mit Hilfe der folgenden **Formel** berechnet.

$$\Delta \lambda = \frac{e}{4\pi c m_e} \cdot g^* \cdot \lambda^2 \cdot B$$

**e** Elementarladung

**m<sub>e</sub>** Masse des Elektrons

**c** Lichtgeschwindigkeit

**λ** Wellenlänge in cm

**Δλ** Wellenlängen-Aufspaltung in cm

**B** magnetische Flussdichte in Gauss (1 Gauss = 10<sup>-4</sup> Tesla)

**g\*** (effektiver) Übergangsfaktor ( $g^* = g_1 M_1 - g_2 M_2$ )

**g<sub>i</sub>** Landé - Faktoren

**M<sub>i</sub>** magnetische Quantenzahlen des i-ten Energieniveaus (i=1, 2)

Die Aufspaltung von Spektrallinien im Magnetfeld kommt nach dem **Zeeman-Effekt** dadurch zustande, dass sich die ohne Vorzugsrichtung vielfach **entarteten**, das heißt mehrfach identischen **Energieniveaus in Gegenwart eines** mehr als 1000 Gauss **starken Magnetfeld** nachweisbar je nach Größe der quantenmechanisch zu bestimmenden Landé-Faktoren **g<sub>i</sub>** unterschiedlich stark **in mehrere Energieniveaus** mit unterschiedlicher magnetischer Quantenzahl **M<sub>i</sub>** **aufspalten**. Beim sehr viel seltener vorkommenden **normalen Zeeman-Effekt** sind die Abstände der einzelnen Energieniveaus nahezu konstant. Es entstehen nur Energieübergänge mit drei unterschiedlichen Energiebeträgen. Entsprechend spaltet sich die Spektrallinie bei Blickrichtung senkrecht (**transversal**) zum **Magnetfeld** nur in drei, senkrecht beziehungsweise parallel zueinander **linear polarisierte Spektrallinien** auf. Bei (**longitudinaler**) **Blickrichtung** parallel zum Magnetfeld entfällt sogar die unverschobene Spekt-

rallinie, die beiden aufgespaltenen **Linien sind dabei links- beziehungsweise rechts-zirkular polarisiert**. Beim sehr viel häufiger vorkommenden **anormalen Zeeman-Effekt spaltet** eine magnetisch empfindliche Spektrallinie **theoretisch in mehr als drei**, teilweise aber nur schwer unterscheidbare **Spektrallinien auf**. Häufig kann bei der Auswertung eines solchen Multipletts aber wie beim normalen Zeeman-Effekt vorgegangen werden. Nach geeigneter Mittelung bestimmt ein sogenannter effektiver Übergangsfaktor  $g^*$  wiederum nur die **beobachtbare Aufspaltung in drei Spektrallinien**.

Für die **Auswertung von Messdaten** bieten sich **im Infraroten** erzeugte **Bilder benachbarter Spektrallinien** für magnetisch empfindliche Linien mit großem Übergangsfaktor an. Die **zur magnetischen Flussdichte  $B$  proportionale Aufspaltung** ist ja wegen ihrer zusätzlichen Proportionalitäten zum Quadrat der Wellenlänge  $\lambda$  und zum Übergangsfaktor für große Wellenlängen und große Werte für  $g^*$  besonders groß.

Der **Spektrographenspalt** wird in der gewünschten Position durch das in der Fokalebene des Teleskops erhaltene Bild des Sonnenflecks gelegt. Mit Hilfe eines **Gitterspektrographen** wird ein **Absorptionsspektrum** erzeugt, dass in unterschiedlichen Spektrallinien je nach Blickrichtung relativ (longitudinal oder transversal) zur Ausrichtung des beobachteten Magnetfeldes in den für unterschiedliche Polarisationszustände (Stokes-Parameter) unterschiedlich strukturiert ist beziehungsweise verschiedene starke Aufspaltungen im integrierten und zirkular polarisierten Licht (Stokes-Parameter I und V) zeigt.

Bei vorgegebenen Werten von  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , lässt sich der Unterschied der  $\lambda_2 - \lambda_1$  **in der Maßeinheit cm** leicht bestimmen. Nach Vermessung des realen Abstandes  $X_2 - X_1$  der Spektrallinien sowie der realen Aufspaltung  $\Delta X$  einer Spektrallinie auf dem abgebildeten Spektrum kann dann wegen  $\Delta\lambda / \Delta X = (\lambda_2 - \lambda_1) / (X_2 - X_1)$  auch die Wellenlängen-Aufspaltung  $\Delta\lambda$  direkt ermittelt werden. Nach Umformung der Gleichung für die Wellenlängen-Aufspaltung nach  $B$  und nach Einsetzen der Werte für die bekannten Naturkonstanten  $e$ ,  $m_e$  und  $c$  (*im geeigneten Maßsystem!*) sowie des effektiven Übergangsfaktors  $g^*$  für die betrachtete Spektrallinie der Wellenlänge  $\lambda$  lässt sich die **magnetische Flussdichte** mit Hilfe der folgenden Formel **in der Einheit Gauss** berechnen.

$$B = 2.1413276 \cdot 10^4 \frac{\Delta \lambda}{g^* \cdot \lambda^2}$$

Mit der beschriebenen Methode lässt sich mit Hilfe des Zeeman-Effektes **die Stärke des Magnetfeldes an unterschiedlichen Stellen in der Umbra und Penumbra eines Sonnenflecks** anhand der Aufspaltungen von benachbarten, auch durch unterschiedliche Übergangsfaktoren ausgezeichnete magnetisch empfindliche Absorptionslinien aus dem Sonnenspektrum **bestimmen**.