

# Sternspektren [Fortsetzung]

Autor(en): **Steinlin, U.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **8 (1963)**

Heft 81

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900202>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## STERNSPEKTREN \*

Von U. STEINLIN

### III. RADIALGESCHWINDIGKEITEN

Jedermann kennt den Doppler-Effekt: Wenn nicht den Namen, dann doch die Erscheinung, die er bezeichnet. Fahren wir mit der Eisenbahn an einer eben pfeifenden Fabriksirene oder an der Warnglocke an einem Bahnübergang vorbei, dann wird die Tonhöhe im Augenblick des Vorbeifahrens plötzlich merkbar sinken. Ueberholt uns ein hupendes Auto, dann wird auch sein Ton in dem Moment, da es an uns vorüberfährt, seine Tonhöhe ändern, tiefer werden.

Schall einer Hupe, einer Glocke, das sind Schallwellen, die vom Schallerzeuger ausgesandt sich durch die Luft fortbewegen und schliesslich von unserem Ohr aufgenommen werden. Je kürzer die Wellenlänge, umso höher die Frequenz, d. h. die Zahl der pro Sekunde eintreffenden Schwingungen (denn umso mehr Wellen haben bei der für alle Wellen gleichen Schallgeschwindigkeit im gleichen Raum Platz), umso höher erscheint uns damit der Ton. Fahren wir auf die tönende Sirene zu, dann kommen wir jeder nachfolgenden Schallwelle etwas weiter entgegen als ihrer Vorgängerin und treffen sie so etwas früher als wenn wir stillstünden. Die Wellen treffen in rascherer Frequenz auf unser Ohr: wir hören einen etwas höheren Ton. Fahren wir schliesslich an der Sirene vorbei und weiter und weiter von ihr weg, dann hat jede spätere Schallwelle einen etwas längeren Weg zurückzulegen als die vorangehende, bis sie unser Ohr erreicht. Sie trifft dadurch verspätet ein, die Frequenz der Schallwellen ist gesunken, wir hören einen tieferen Ton.

Auch Licht ist eine Schwingung, ein periodischer Vorgang, auch Lichtwellen zeigen darum diesen Dopplereffekt (so benannt nach dem Physiker Doppler, der ihn als erster untersuchte). Kommt eine Lichtquelle auf uns zu oder fahren wir ihr entgegen, dann erscheinen die Frequenzen aller ihrer Strahlungen erhöht, die Wellenlänge verkleinert, das Licht im Spektrum gegen Violett hin verschoben. Entfernt sich die Lichtquelle, verschiebt sich die Strahlung im Spektrum gegen Rot hin. Das gilt für alle Lichtquellen, für einen Autoscheinwerfer so gut wie

---

\* 1. und 2. Teil siehe « Orion » N° 79 und 80.

für einen Stern, der durch den Weltraum zieht. Nur ist das, was beim Schall leicht und deutlich als Veränderung der Frequenz zu hören ist, beim Licht ein ganz winziger Effekt. Schuld daran ist die enorm grosse Lichtgeschwindigkeit. Die Grösse der Frequenzänderung verhält sich zur ursprünglichen Frequenz so wie die Geschwindigkeit, mit der sich der Körper bewegt, zur Geschwindigkeit der Wellen. Für den Schall mit seiner Geschwindigkeit von 300 Metern pro Sekunde heisst das, dass bei einer Geschwindigkeit des Autos von 30 Metern in der Sekunde die Schallfrequenz um zehn Prozent geändert wird – und das ist ein beachtlicher Unterschied in der Tonhöhe. Bei der Geschwindigkeit des Lichtes von 300 000 km/sec bleibt nicht mehr viel an Aenderung übrig. Für einen Autoscheinwerfer bleibt der Dopplereffekt weit unterhalb aller Grenzen der Messmöglichkeit.

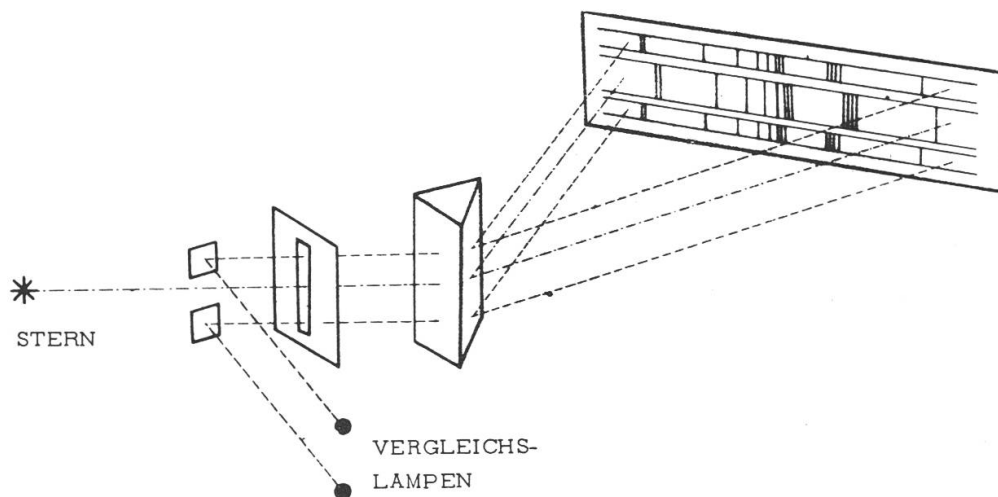


Abbildung 1: Spektrograph (Schema). Durch zwei kleine Spiegel wird das Licht von zwei Vergleichslampen parallel zum Licht des Sternes in den Apparat geworfen, sodass zu beiden Seiten des Sternspektrums je ein Spektrum der Vergleichslampen entsteht.

Die Sterne aber ziehen mit für unsere Begriffe unheimlichen Geschwindigkeiten durch den Weltraum. Man hat sie auf den Dopplereffekt hin untersucht und die Verschiebung der Absorptionslinien im Spektrum des Sternes nach rot oder violett hin – je nach dem ob der Stern von uns weg oder auf uns zu läuft, sind ja alle Frequenzen, also auch die der absorbierten Stellen im Spektrum, verschoben – zu messen unternommen. Das ist nicht so einfach, denn es fehlt ja in dem Spektrum, in dem alle Wellenlängen verschoben sind, der feste Bezugspunkt, dem gegenüber sich die Verschiebung ablesen lässt. Man braucht gewissermassen eine Marke, die zeigt, wo die vielen Linien bei ruhender Licht-

quelle eigentlich liegen würden und der gegenüber man die Verschiebung messen kann. Da der Stern diesen festen Vergleichspunkt nicht liefert, muss er eben irgendwie künstlich angebracht werden. Man lässt hierfür durch das Prisma des Spektralapparates, parallel zum Licht des Sternes, das Licht einer irdischen Lichtquelle, einer am Fernrohr angebrachten Lampe, die sich ja sicher relativ zum Spektrographen nicht bewegt, fallen (Abbildung 1). Auf der photographischen Aufnahme entsteht so parallel zum Spektrum des Sternes ein sogenanntes Vergleichsspektrum. Meistens wird man sogar zwei Spektren, von zwei gleichen Lichtquellen erzeugt, zu beiden Seiten des Sternspektrums aufnehmen, um eine grössere Genauigkeit bei der Messung der Verschiebung des Sternspektrums gegenüber den Vergleichsspektren zu gewinnen. Beliebte ist für diese Vergleichsspektren das Licht einer Bogenlampe mit Eisenelektroden, um in ihm die vielen über seine ganze Länge verteilten Eisenlinien zu erhalten, die in den meisten Sternspektren gleichfalls gut zu erkennen sind. Aber auch einige andere Lichtquellen (Neonlampen und ähnliche) finden in gewissen Fällen Verwendung. Auf der Photographie muss dann in einem Messmikroskop die Verschiebung der Linien im Sternspektrum relativ zu denen des Vergleichsspektrums sorgfältig gemessen werden, wobei es sich meistens um Beträge in der Grössenordnung von Hundertstel oder Tausendstel von Millimetern handelt (Abbildung 2). Die Geschwindigkeit des Sternes ergibt sich dann daraus, dass die Frequenzänderung einer Linie, die ja in der Verschiebung zum Ausdruck kommt, sich zur normalen Frequenz dieser Linie verhält wie die Geschwindigkeit des Sternes zur Geschwindigkeit des Lichtes. Was hierbei noch gemessen werden kann, ist eine Abweichung von rund einem Hunderttausendstel von der Normalfrequenz – bei der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/sec also eine Geschwindigkeit des Sternes von einigen wenigen

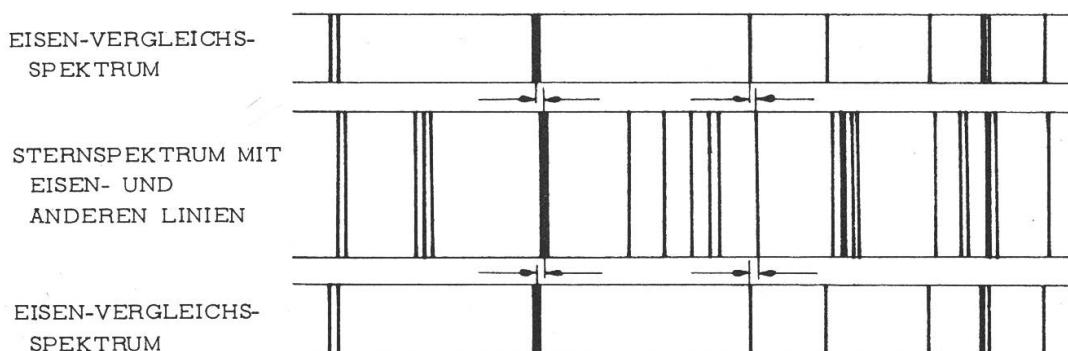


Abbildung 2: Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten. Die kleinen, durch Pfeile markierten Abweichungen in der Stellung der Spektrallinien im Sternspektrum und in den Vergleichsspektren zeigen die Wellenlängenänderung des Sternlichtes und damit die Geschwindigkeit des Sternes.

Kilometern pro Sekunde. Natürlich hängt diese Grenze des noch Messbaren von der Grösse und Art des Fernrohres und des Spektrographen ab. Die individuellen Geschwindigkeiten der Sterne in unserer Umgebung liegen in der Grössenordnung von einigen wenigen bis zu rund 50 km/sec (auf uns zu oder von uns weg), mit einzelnen Ausnahmen, die bis zu 300 km/sec reichen. Gross werden jedoch diese Geschwindigkeiten im Falle der aussergalaktischen Sternsysteme. Nimmt man Spektren der Spiralnebel auf, dann findet man die Linien weit, oft über das halbe sichtbare Spektrum hinweg verschoben, und zwar immer nach der roten Seite hin und in umso grösserer Masse, je schwächer das Sternsystem leuchtet, also je weiter es von uns entfernt ist. Man hat diese Rotverschiebung in den Spektren der Spiralnebel als eine Flucht dieser Systeme, als eine allgemeine Expansion des Weltalls gedeutet – allein ganz geheuer ist einem bei diesen enormen Geschwindigkeiten, die die Hälfte der Lichtgeschwindigkeiten erreichen, nicht mehr, und man hat schon des öfters nach andern Gründen gesucht, die diese Verschiebung der Spektrallinien erklären könnten.

Mit dieser sogenannten Radialgeschwindigkeit, der Bewegung des Sternes in der Blickrichtung, auf uns zu oder von uns weg, ist noch nicht alles über die Bewegung eines Sternes im Raume gesagt. Die Bahnen der Sterne, die beinahe wie die Mücken in einem Schwarme durcheinanderwimmeln, können in irgend einer beliebigen Richtung im Raume liegen und mit der Blickrichtung von der Erde aus alle möglichen Winkel einschliessen. Die Bewegungen lassen sich darum in zwei Komponenten zerlegen: einmal die Radialgeschwindigkeit und als zweites, dazu senkrecht, die sogenannte «Eigenbewegung», die Bewegung quer zur Blickrichtung. Erst wenn wir beide Bewegungskomponenten gemessen haben, kennen wir die Bewegung des Sternes im Raum. Die Eigenbewegung ist jedoch auf ganz andere Art als die Radialgeschwindigkeit zu messen.

Wer aufmerksam die Sonne studiert, wird schon nach kurzer Zeit feststellen, dass sie sich dreht. Rotation der Sonnenkugel bedeutet aber, dass sich ein Punkt aus einem Sonnenrand auf uns zu bewegt, am andern Sonnenrand von uns weg, während Punkte in der Mitte der Sonnenscheibe sich weder gegen uns, noch von uns weg (jedoch quer zur Blickrichtung) bewegen. Verschiedene Punkte der Sonne zeigen also verschiedene Radialgeschwindigkeiten. Wir können Spektren dieser verschiedenen Punkte aufnehmen, und sie zeigen genau den zu erwartenden Effekt. Im Spektrum der Sonnenmitte liegen die Linien genau an ihrem normalen Platz, während die Spektren vom linken und rechten Sonnenrand die Linien nach violett und nach rot hin verschoben zeigen. Die Aufnahmen von irgendwelchen dazwischenliegenden Punkten zeigen

natürlich alle möglichen zwischen diesen Extremen liegende Fälle. Bei allen anderen Sternen ausser der Sonne bekommen wir immer nur ein Spektrum der Gesamtstrahlung und nie eines von einzelnen Punkten der Oberfläche. Das Spektrum besteht gewissermassen aus der Ueberlagerung aller möglichen einzelnen Spektren, von der Mitte, vom Rande und von dazwischenliegenden Punkten. Durch diese Ueberlagerung von nach links, nach rechts und nicht verschobenen Linien werden die Linien im Spektrum eines rasch rotierenden Sternes nicht mehr scharf und schmal, sondern breit und verwaschen, und zwar umso breiter, je rascher der Stern rotiert (Abbildung 3). Diese Linienform gibt ein direktes Mass für die Rotationsgeschwindigkeit eines Sternes. Für die Sonne findet man so eine Rotationsgeschwindigkeit an der Oberfläche von etwa 2 km/sec; die Hauptreihensterne der Klassen G, K und M haben so gut wie alle Rotationsgeschwindigkeiten unter 20 km/sec; die heisseren Typen zeigen bedeutend höhere Geschwindigkeiten von 20 km/sec aufwärts bis zu rund 200 km/sec.

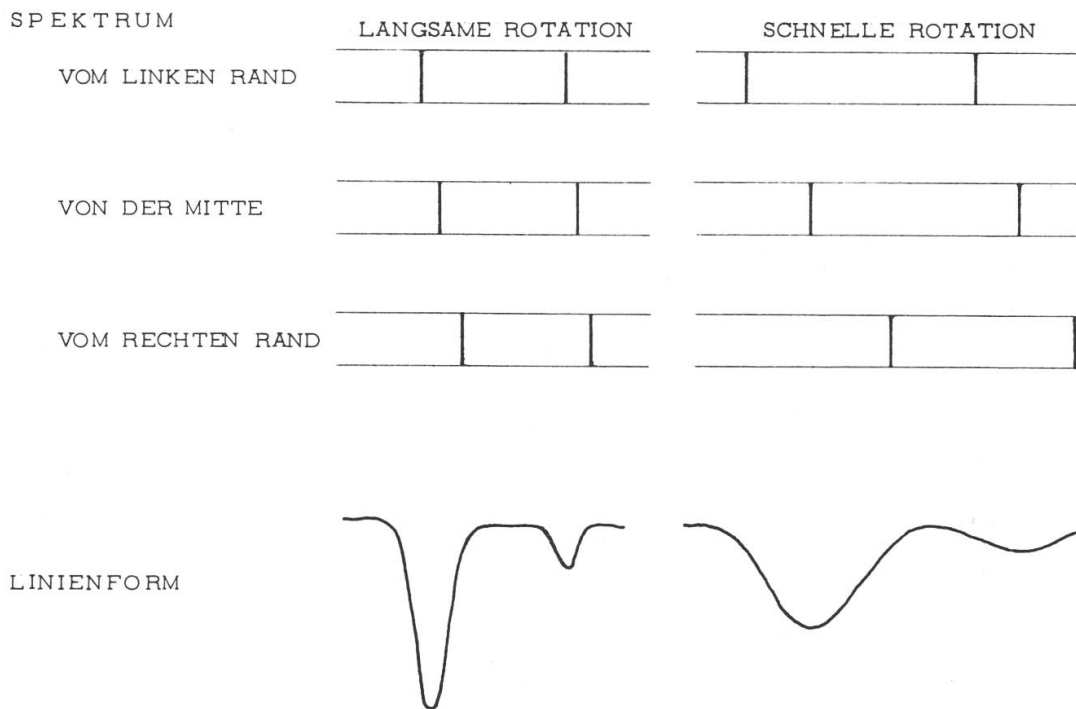


Abbildung 3 : Verbreiterung («Verschmierung») der Spektrallinien durch Rotation des Sternes.

Ein Stern rotiert nicht nur als Ganzes, sondern die Gasmassen, die ihn aufbauen, sind in dauernder, heftiger Turbulenzbewegung. An der einen Stelle steigen sie aus tieferen Schichten an die Oberfläche, an

ändern sinken sie wieder gegen das Sterninnere zurück. So zeigt die Sonne an ihrer Oberfläche dies dauernd wechselnde Bild der Bewegungen, deren Geschwindigkeit in der Richtung auf die Erde zu als Radialgeschwindigkeit in Erscheinung tritt und im Spektrum der Sonne untersucht werden kann. Für jeden einzelnen Punkt der Sonnenoberfläche, für jedes sogenannte «Turbulenzelement» liegen die Spektrallinien ein bisschen anders – einmal ein wenig nach rot, an einer andern Stelle oder zu einem andern Zeitpunkt ein wenig nach violett hin verschoben. Im Spektrum eines Sternes überlagern sich wie im Falle der Rotation alle diese verschiedenen Absorptionen zu einer nunmehr durch die Turbulenz ebenfalls etwas verbreiterten, verwaschenen Spektrallinie.

Noch manches liesse sich so aus einer genaueren Untersuchung der Spektrallinien herauslesen; zum Abschluss sei jedoch nun noch dem interessierten Leser die Abbildung 4 als Denksportaufgabe gestellt:

In manchen Spektren kann man beobachten, wie sich die Linien in zwei gleiche oder verschieden kräftige Linien aufspalten, diese Komponenten sich langsam in entgegengesetzter Richtung im Spektrum verschieben, in einiger Distanz voneinander stehen bleiben, wieder zurückkehren, sich überkreuzen, in der entgegengesetzten Richtung auseinanderlaufen und wieder zurück zur Ausgangslage kommen, um diesen Zyklus in einem regelmässigen, von allen Linien eingehaltenen Rhythmus mit einer Periode von vielleicht einigen Tagen oder Wochen beständig zu wiederholen. Abbildung 4 zeigt die Beobachtung. Ihre Erklärung folgt in nächster Nummer.

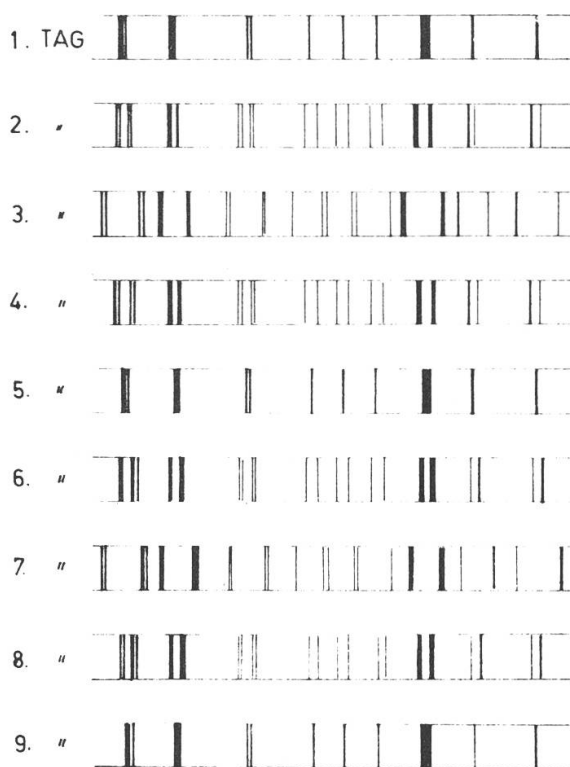


Abbildung 4: Denksportaufgabe (vgl. Text).

Adresse des Verfassers:

Astronomisch-meteorologische Anstalt, Binningen-Basel.