

## Messung magnetischer Sterne mit einem modifizierten Abbe-Komparator

Ewald Gerth · Hans-Jürgen Hubrig · Lore Oetken · Gerhard Scholz · Horst Strohbush · Johann Czeschka

Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Astrophysik Potsdam

Die Bestimmung von Magnetfeldern auf Sternen erfolgt im allgemeinen durch Ausmessung der sehr kleinen Wellenlängenverschiebungen, die die entgegengesetzt zirkulär polarisierten ZEE-MAN-Komponenten der Spektrallinien in einem parallel zur Beobachtungsrichtung verlaufenden Magnetfeld erfahren. An vielen Observatorien wird noch heute der **Abbe-Komparator** aus JENA zur Messung von Wellenlängendifferenzen benutzt.

Durch das **ABBESche** Komparatorprinzip, wonach Meßstrecke und Vergleichsmaßstab auf einem gemeinsamen Träger in einer Linie angeordnet sind, wird bei scharf begrenzten Objekten eine Meßgenauigkeit von  $\pm 1,5\mu\text{m}$  erreicht. Bei unscharf begrenzten Objekten, wie z.B. breiteren stellaren Absorptionslinien, wird die Meßgenauigkeit durch die Unsicherheit beim Einfangen der Linie zwischen die beiden Fäden im Meßokular beziehungsweise beim Einstellen eines Fadens auf die Linienmitte beeinträchtigt und hängt von dem Schätzvermögen der Meßperson ab.

Die im Zentralinstitut für Astrophysik durchgeführte technische Erweiterung des Abbe-Komparators hatte zum Ziel, unter Wahrung der Vorzüge des **ABBESchen** Komparatorprinzips die Einstellung der Linienlage zu objektivieren und damit die für die Bestimmung der Magnetfelder erforderliche hohe Meßgenauigkeit zu erreichen, die Ablesung des Vergleichsmaßstabes zu erleichtern und späterhin die Datenaufnahme und -verarbeitung vollständig zu automatisieren.

### Beschreibung des Gerätes

Die Modifizierungen zum herkömmlichen Abbe-Komparator erfolgten in mehreren Schritten, deren wesentlichster die Objektivierung der Einstellung der Linienposition ist. Zu diesem Zweck sollte ein bereits von **GOLLNOW** [1, 2] angegebenes Prinzip Verwendung finden, wonach auf einem Oszillographenbildschirm Bild und Spiegelbild des Profils einer periodisch abgetasteten Spektrallinie zur Deckung gebracht werden. Die Mitte des durch den Hin- und Rücklauf der Abtastung überdeckten Intervalls definiert beim Zusammenfallen des auf dem Schirm abgebildeten Profils mit seinem Spiegelbild die Lage der Symmetrieachse der Linie.

Die periodische Abtastung der Umgebung einer Spektrallinie des Sternspektrogramms erfolgt bei dem im Zentralinstitut für Astrophysik entwickelten Gerät mit einem elektrodynamisch angetriebenen Schwingspalt [3]. **GOLLNOW** verwendete dagegen eine rotierende planparallele Glasplatte, durch die das Lichtbündel in Abhängigkeit vom Einfallswinkel parallel versetzt wird. Die resultierende Abtastkurve ähnelt einer Sägezahnkurve, wobei aber nur der mittlere Teil annähernd linear ist. Auch die Intensität des durch die planparallele Glasplatte hindurchtretenden Lichtes weist eine Abhängigkeit vom Einfallswinkel auf, die bei großen Winkeln merkbar wird. Für die Einstellung der Linienlage sind spiegelsymmetrische Verzerrungen zur Einstellmitte zwar unwesentlich, sie erschweren aber den Vergleich mit einer Registrierung des Spektrogramms. Der Einsatz eines elektrodynamisch angetriebenen Schwingspaltes hat den Vorzug, daß die Abbildung des Linienprofils prinzipiell verzerrungsfrei erfolgen kann.

<sup>1</sup>Scanned from original publication by E. Gerth in 2011. Internet-address: [www.ewald-gerth.de/49abbe.pdf](http://www.ewald-gerth.de/49abbe.pdf)  
Internet address of an English version – “Jena Review”: [www.ewald-gerth.de/49abbe-engl.pdf](http://www.ewald-gerth.de/49abbe-engl.pdf)

Die für die Einstellung notwendige Änderung des Strahlenganges am Abbe-Komparator wurde folgendermaßen realisiert (vgl. Bild 1): Mit Hilfe eines Kondensators 3 wird ein Vorspalt 4 von einer weit außen angebrachten Glühlampe 1 homogen ausgeleuchtet. Für die notwendige Wärmedämmung ist ein Wärmeschutzfilter 2 im Strahlengang vorhanden. Weiterhin wird der Wärmetransport von der Glühlampe zu den übrigen Teilen des Gerätes durch eine Luftkühlung stark herabgesetzt. Der Vorspalt 4, der die Teilspektren getrennt in der Höhe begrenzt (entweder die beiden entgegengesetzt zirkulär polarisierten Komponenten des Sternspektrums oder des Stern- und des Vergleichsspektrums - siehe Bild 3), wird in die Ebene des Schwingspaltes 6 abgebildet. Durch die Mikroskopoptik 7 wird dieser Spalt in die Spektrogrammebene projiziert. Oberhalb des Spektrogramms 8 befindet sich – wie üblich – eine zweite Mikroskopoptik 9, mit deren Hilfe ein 12fach vergrößertes Bild des Spektrogramms erzeugt wird, das einerseits über einen im Strahlengang befindlichen Strahlenteilungswürfel 10 auf einer Mattglasscheibe 14 betrachtet werden kann, andererseits aber auf die in Dispersionsrichtung liegende Kante eines Bündelteilungsprismas 18 projiziert wird. Das Licht, das die beiden Teilspektren durchsetzt hat, wird nun getrennt zwei Photovervielfachern 11 und 12 (PM 1 und PM 2 in Bild 5) zugeführt.

Die den Lichtströmen proportionalen elektrischen Signale werden nach angemessener Verstärkung auf die Eingänge eines Zweikanaloszillographen (Bild 5) gelegt. Auf dem Bildschirm des Oszillographen können somit die Linienprofile von den beiden Teilspektren auf einfache Weise verglichen werden.

Zur Übersichtsbetrachtung des auf die Mattglasscheibe projizierten Bildes des Spektrums wird das Spektrogramm durch eine weitere Lampe 19 ausgeleuchtet. Die Umschaltung auf Messung oder Betrachtung wird durch einen Klappspiegel 13 vorgenommen.

Der Schwingspalt 6 ist durch eine Klemmvorrichtung starr mit dem elektrodynamischen Schwingungserreger 5 verbunden. Er befindet sich auf einem drehbaren Aufsatz, der an dem mit dem Schwingungssystem verbundenen Träger in der gewünschten Neigung zur Dispersionsrichtung geklemmt werden kann. Für die Untersuchung der verschiedenen Probleme steht ein Satz von Schwingspalten unterschiedlicher Breite zur Verfügung. Der Schwingungserreger 5 wird von einem Sinusgenerator über einen Leistungsverstärker mit einer Frequenz (35 Hz) angetrieben, die genügend weit von der Eigenresonanzfrequenz des Schwingensystems (24,5 Hz) liegt, um Phaseninstabilitäten zu vermeiden. Der Sinusgenerator liefert unter Einschaltung einer Impulsformerstufe auch die Synchronisierungsimpulse für die Zeitablenkung des Oszillographen, die durch einen Phasenschieber auf die gewünschte Phasenlage eingestellt werden können. Für die Zeitablenkung wird (vorläufig noch) die geräteeigene Kippspannung benutzt, die auf die doppelte Frequenz zum Schwingensystem eingestellt wird, um alternierend auf dem Bildschirm den Hin- und Rücklauf der Abtastung abzubilden.

Der Komparator (Gesamtansicht der Gerätekombination - Bild 2) ist auf einer massiven Grundplatte montiert, die auf dem Trägertisch auf Schwingungsisolatoren gelagert ist, um die Übertragung unerwünschter Schwingungen zwischen Spalt und Spektrogramm zu vermeiden.

Der nächste Schritt zur Verbesserung des Abbe-Komparators, die vollständige Automatisierung, ist noch in Vorbereitung. Zunächst wurde nur zur Erleichterung der Ablesung – entsprechend dem Vorschlag von GOLLNOW [1, 2] – die Abbildung geändert, so daß das Bild des Objektmikrometers 15 und des Spiralmikrometers 16 über Umlenkprismen und -spiegel auf eine Mattglasscheibe 17 projiziert wird. Hierdurch bleibt die Akkomodation des Auges der Meßperson beim Wechsel der Betrachtung der Abbilder des Spektrogramms und des Spiralmikrometers im wesentlichen unverändert.

In diesem Stand der Fertigstellung wurde das Gerät bisher erprobt. Die endgültige Konstruktion sieht noch weitere Verbesserungen des Gerätes vor. So soll eine verzerrungsfreie Abbildung der

Linienprofile durch die Verwendung einer der Spaltbewegung proportionalen Horizontalablenkung des Oszillographen erreicht werden. Die zur Schwingbewegung proportionale Ablenkspannung wird durch einen Adapter am Schwingsystem abgenommen. Diese Spannung kann gleichzeitig zur Steuerung des Vorverstärkers zum Schwingsystem dienen; auf diese Weise wird das Schwingsystem in einer Rückkopplungsschaltung in Eigenresonanz betrieben. Diesbezügliche Versuche am Gerät zeigten, daß die Eigenresonanzschwingung besonders stabil und klirrfrei ist.

Des Weiteren soll die Datenaufnahme der Einstellwerte, die zur Zeit noch von Hand nach Ablesung des Spiralmikrometers erfolgt, automatisiert werden, so daß die Daten unmittelbar für die anschließende elektronische Datenverarbeitung bereitstehen.

### Erprobung des Gerätes

Die Erprobung des verbesserten Abbe-Komparators erfolgte bisher hauptsächlich durch Messung von Spektrogrammen magnetischer Sterne. Wie eingangs bereits erwähnt, waren im Zentralinstitut für Astrophysik Änderungen an dem herkömmlichen Abbe-Komparator vor allem deshalb vorgenommen worden, um die durch ein Magnetfeld verursachten sehr kleinen Wellenlängendifferenzen zwischen den rechts- und linkszirkular polarisierten Komponenten der Sternlinien besser messen zu können. Für ein normales Zeeman-Triplett besteht folgende Beziehung zwischen der Wellenlängendifferenz  $\Delta\lambda$  und der magnetischen Feldstärke  $H$ :

$$\Delta\lambda = \pm 4.67 \cdot 10^{-13} \lambda^2 H,$$

wenn  $\lambda$  in Å und  $H$  in Gauß gemessen werden. Bei einem für magnetische Sterne repräsentativen Magnetfeld von  $10^3$  Gauß und einer mittleren Wellenlänge von  $4500\text{Å}$  beträgt die Wellenlängendifferenz also nur  $\pm 0.95 \cdot 10^{-2}\text{Å}$ . Dieser Wert entspricht bei der im Zentralinstitut für Astrophysik häufig benutzten Dispersion der Sternspektren von  $8\text{Åmm}^{-1}$  einer Verschiebung der Linienschwerpunkte von  $1,2\mu\text{m}$ . Auch beim anomalen ZEEMAN-Effekt tritt sehr selten eine Verschiebung auf, die diejenige beim normalen ZEEMAN-Effekt um das Dreifache übertrifft. Um diese kleine Differenz bei der groben Körnigkeit der empfindlichen Photoplatten überhaupt nachweisen zu können, wurden die oben genannten meßtechnischen Veränderungen am Abbe-Komparator eingeführt, die vor allem die Einbeziehung des ganzen Linienprofils zur Objektivierung der Einstellung und die gleichzeitigen Beobachtbarkeit der entgegengesetzt zirkulär polarisierten Spektren ermöglichten.

Die erreichbare Genauigkeit hängt wesentlich von der Struktur des Linienprofils ab. Sie ist am größten bei streng symmetrischen Linien, bei denen durch das neue Meßverfahren der Koinzidenz von Bild und Spiegelbild die ganze Kontur an der Bestimmung der Linienmitte beteiligt ist, wodurch das störende Plattenrauschen unschädlicher wird als bei der herkömmlichen Methode. Sehr problematisch werden die Messungen dagegen bei asymmetrischen Konturen.

Als Testobjekt diente der magnetische Stern 53 Camelopardalis. Die Linien dieses Sterns haben zeitlich variable Breite ( $0,15$  bis  $0,40\text{Å}$ ); ihre Struktur ist leider häufig asymmetrisch. Es bot sich jedoch an, Spektren von 53Cam als Testplatten für das neue Gerät zu verwenden, da für diesen Stern umfangreiches, mit dem herkömmlichen Abbe-Komparator gewonnenes Meßmaterial zum Vergleich zur Verfügung stand [4]. In Bild 3 ist ein Ausschnitt aus der Aufnahme Nr. 1551 von 53Cam wiedergegeben, die mit dem Coudé-Spektrographen des 2m-Universal-Spiegelteleskops in Tautenburg von ZIENER und LOCHNO gewonnen wurde. Die reziproke lineare Dispersion des Spektrogramms beträgt  $8\text{Åmm}^{-1}$ . Zur Untersuchung des Magnetfeldes waren ein BABCOCK-Analysator und der zur Kompensation der instrumentellen Polarisation notwendige Kompensator in den Strahlengang gebracht worden. Gemessen werden muß einerseits die Verschiebung der Liniemitten (oder -schwerpunkte) zwischen den entgegengesetzt zirkulär polarisierten Sternspektren zur Bestimmung der effektiven magnetischen Feldstärke, andererseits die Differenz zwischen Stern- und Vergleichslinien zur Identifikation der Sternlinien und Ermittlung der Radialgeschwindigkeit.

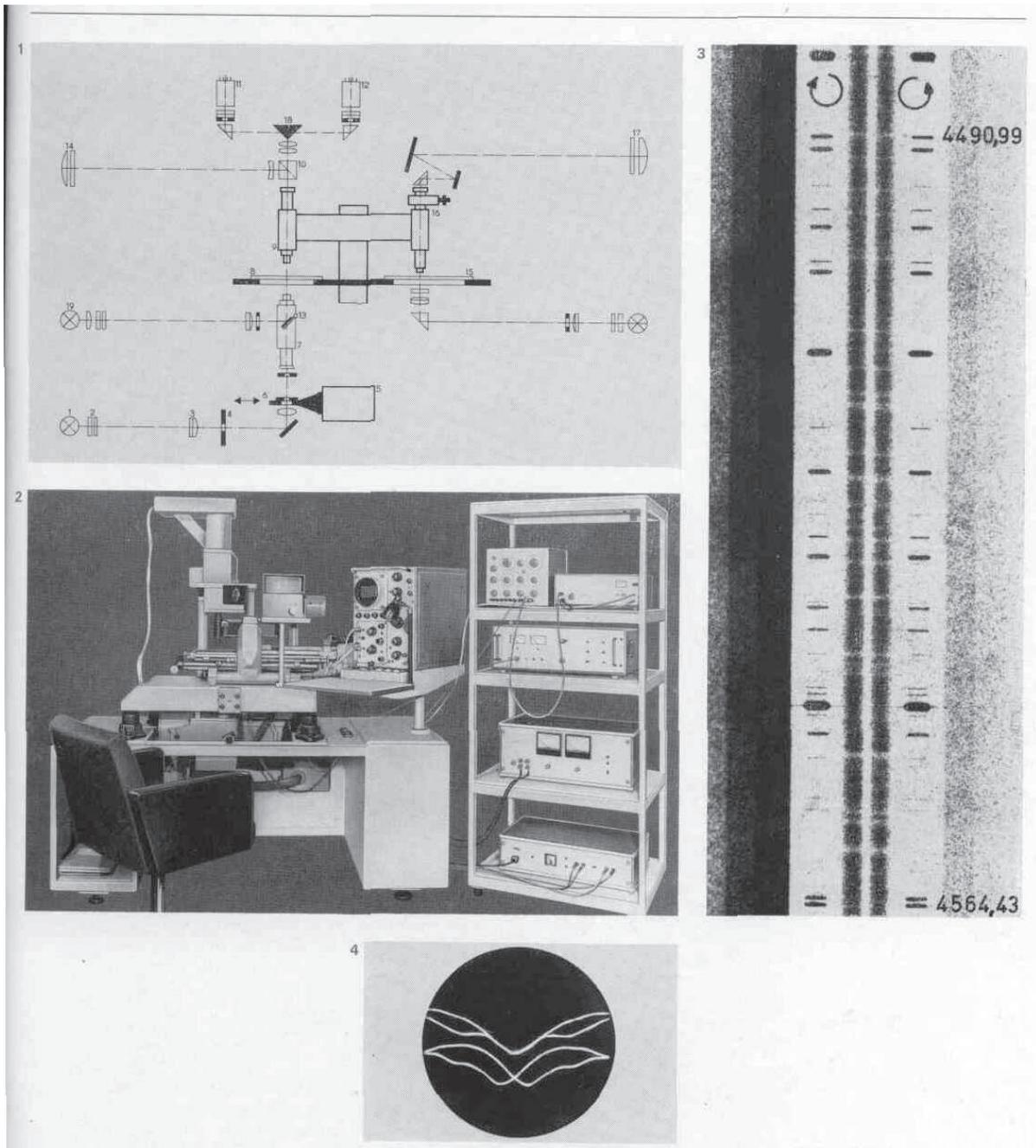


Bild 1: Schema der optischen Anordnung des Gerätes.

Bild 2: Gesamtansicht des Meßplatzes.

Bild 3: Reproduktion eines Teiles aus dem Spektrogramm des magnetischen Sterns 53Cam, aufgenommen am 18. April 1975 in Tautenburg. Originaldispersion  $8 \text{ \AA mm}^{-1}$ .

Bild 4: Oszillgraphenschirmbild einer Linie des magnetischen Sterns 53Cam. Die beiden oberen und die beiden unteren Kurven zeigen jeweils Bild und Spiegelbild für die entgegengesetzt zirkular polarisierten Komponenten. Koinkidenz für die Haupteinsenkung im oberen Teilspektrum.

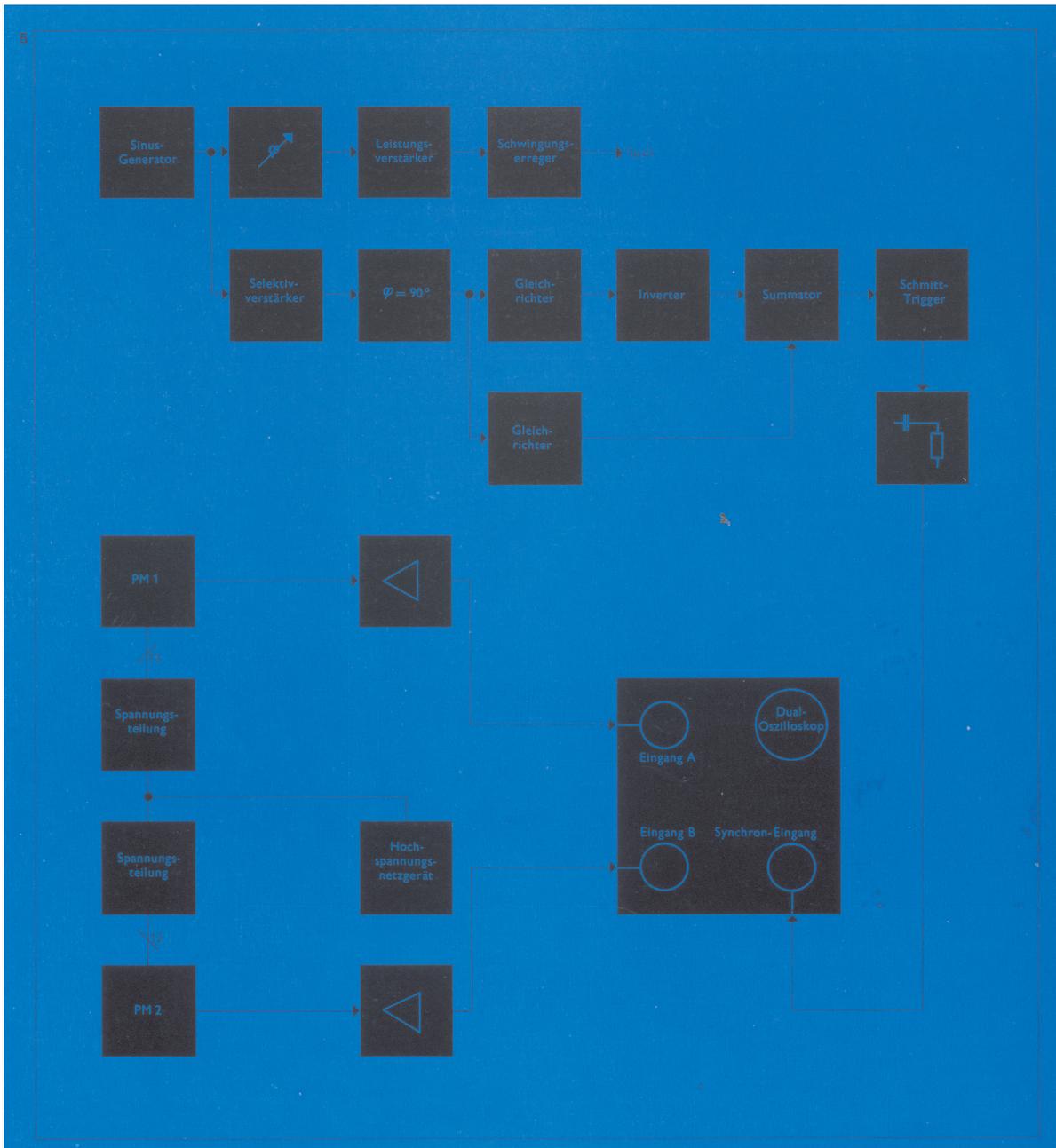


Bild 5: Blockscheema der elektronischen Anordnung des Gerätes.

In Tabelle 1 sind zunächst zum Vergleich der inneren Meßgenauigkeit bei der Benutzung des herkömmlichen und des verbesserten Gerätes die mittleren Fehler aus 4 Einstellungen für 5 FeI-Linien des Sternspektrums gegenübergestellt. Die Breite des benutzten Schwingspaltes entsprach dabei nahezu der Linienbreite.

Die Genauigkeitssteigerung ist sehr deutlich, obgleich die Linien ziemlich breit und zum Teil asymmetrisch sind. Ein weitaus größerer Genauigkeitsgewinn mit dem verbesserten Instrument tritt bei der Messung der starken, symmetrischen Vergleichslinien auf. Der mittlere Einstellfehler beträgt bei diesen Linien etwa 1/10 desjenigen, der bei Messungen mit dem herkömmlichen Instrument gefunden wurde. Allgemein erwies sich die Verwendbarkeit beliebig starker Vergleichslinien bei den Messungen von Vorteil.

Tabelle 1

$\lambda\text{\AA}$	mittlerer Fehler [ $\mu\text{m}$ ]	
	herkömmlicher	verbesserter Abbe-Komparator
4383.547	$\pm 0.82$	$\pm 0.28$
4384.682	0.40	0.11
4404.752	0.95	0.25
4447.722	0.79	0.27
4494.568	1.04	0.23

Beim Vergleich der Fehler der ermittelten effektiven magnetischen Feldstärke muß bedacht werden, daß die Form der Linienkontur eine entscheidende Bedeutung hat. Für die nahezu symmetrischen Profile der meisten der jeweils 5 Linien des FeI-Multipletts Nr. 152 und des FeII-Multipletts Nr. 37 ist ein Genauigkeitsgewinn mit dem neuen Instrument erkennbar. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 2

a) Multiplett FeI (152)		
$\lambda\text{\AA}$	eff. Magnetfeldstärke (Gauss)	
	herkömmlicher	verbesserter Abbe-Komparator
4187.044	5040	3850
4187.802	2820	2080
4250.125	1250	1490
4260.479	2610	2440
4271.159	4380	3360
Average	3220	2640
mittl. Fehler <sup>1)</sup>	$\pm 670$	$\pm 430$

b) Multiplett FeII (37)		
$\lambda\text{\AA}$	eff. Magnetfeldstärke (Gauss)	
	herkömmlicher	verbesserter Abbe-Komparator
4489.185	2170	2590
4515.337	3690	3050
4555.890	2490	3710
4582.835	4010	2430
4629.336	3800	2950
Average	3230	3070
Mittl. Fehler <sup>1)</sup>	$\pm 380$	$\pm 260$

<sup>1)</sup> des Mittelwertes

Es ist schwierig, in den Spektren von 53Cam eine für statistische Zwecke genügende Anzahl symmetrischer Linien zu finden, denn wegen der vermutlich fleckigen Atmosphäre magnetischer Sterne dürfen nur Linien ein und desselben Elementes im gleichen Ionisations- und Anregungszustand gemittelt werden.

Zur Erläuterung des Einstellprinzips zeigt Bild 4 das Oszillographenschirmbild für eine Linie im rechts- und linkszirkular polarisierten Spektrum. Während im oberen Bild die Haupteinsenkung der Linie mit ihrem Spiegelbild zur Deckung gebracht wurde, fallen Bild und Spiegelbild dieser Linie im anderen Teilspektrum nicht zusammen. Um sodann im unteren Teilspektrum Koinzidenz zu erreichen, ist eine zusätzliche Verschiebung notwendig, die das Maß für die Komponente der magnetischen Feldstärke in Sichtrichtung ist.

Zu bestimmten Zeiten ist das Magnetfeld von 53Cam so stark, daß PRESTON [5] in Spektrogrammen mit einer Dispersion von  $4,1\text{\AA mm}^{-1}$  die Aufspaltung einiger Linien in ihre Zeeman-Komponenten bemerkte. Es war nicht zu erwarten, daß auf Tautenburger Spektrogrammen mit der Dispersion von  $8\text{\AA mm}^{-1}$  eine Aufspaltung feststellbar sein würde. Bei der Untersuchung ausgewählter Linien jedoch, bei denen im Magnetfeld sowohl die  $\sigma$ - als auch die  $\pi$ -Komponenten große Verschiebungen aufweisen, zeigten die Oszillogramme mehrere Extrema. Die Messung des Abstandes dieser Extrema voneinander gibt die Möglichkeit, sogar den Betrag der magnetischen Feldstärke zu bestimmen. Für 53Cam konnte auf diese Weise aus je 6 Linien in 39 Spektrogrammen die zeitliche Änderung des mittleren Magnetfeldbetrages für alle Phasen der periodischen Variationen des effektiven Magnetfeldes ermittelt werden. Bisher hatte PRESTON die Aufspaltung nur während der Zeit negativen effektiven Magnetfeldes festgestellt. Mit dem herkömmlichen Abbe-Komparator war die Bestimmung des Magnetfeldbetrages bei 53Cam aus Tautenburger Spektren nicht möglich. Für die Entscheidung zwischen verschiedenen Modellen für magnetische Sterne ist das Meßergebnis von großer Bedeutung.

Die Ermittlung des effektiven Magnetfeldes von  $\varepsilon$ UMa, einem Stern, der für konventionelle Messungen zu breite Absorptionslinien besitzt, kann nun auch mit Hilfe des verbesserten Abbe-Komparators in Angriff genommen werden.

Abschließend kann als Ergebnis der ersten Erprobung des verbesserten Abbe-Komparators festgestellt werden, daß bei symmetrischen Linienprofilen eine wesentliche Steigerung der Meßgenauigkeit gegenüber dem herkömmlichen Abbe-Komparator für die Bestimmung der Linienlage erreicht wurde. Als besonders vorteilhaft erwies sich dabei die gleichzeitige Darstellung der beiden entgegengesetzt polarisierten Teilspektren auf dem Oszillographenschirm.

Bei asymmetrischen Linien ist die Einstellung der Linienposition auf Grund des auf Symmetrie aufgebauten Meßprinzips problematisch. Ein möglicher, aber physikalisch nicht immer begründbarer Ausweg ist die Einstellung auf den Linienschwerpunkt oder auf ausgezeichnete Extrema beziehungsweise andere Stellen eines strukturierten Linienprofils. Da die Asymmetrie einer Linie ihre Ursache in den Vorgängen hat, die in den Sternatmosphären stattfinden, setzt die Ermittlung der Linienposition bereits ein bestimmtes Modell über den Zustand und das Verhalten des Sternes voraus.

Allgemein ermöglicht der verbesserte Abbe-Komparator durch Ausmessung von Details der Linienprofile eine vertiefte Ausschöpfung der in den Spektrogrammen enthaltenen Informationen.

Die sorgfältige Fertigung des Gerätes wurde von den Kollegen der feinmechanischen Werkstatt und des Elektronik-Labors am Zentralinstitut für Astrophysik durchgeführt.

## Literatur

- [1] GOLLNOW, H.: A Photoelectric Setting Device for a Measuring Microscope. Month. Not. Astr. Soc. 123 (1962) 391.
- [2] GOLLNOW, H., R. RUDGE, D. G. THOMAS: The Modified Stromlo Setting Device. IAU Symp. 30 (1967) 23.
- [3] GERTH, E.: Über Verfahren zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von Häufigkeitsverteilungen. Part II: Oszillographische Verfahren. Feingerätetechnik 18 (1969) 225.
- [4] SCHOLZ, G.: Untersuchungen der magnetischen Ap-Sterne 53 Cam und  $\gamma$  Equ. Astronom. Nachr. 296 (1 975) 31.
- [5] PRESTON, G. W.: Partial Resolution of Zeeman Patterns in the Spectrum of 53 Camelopardalis. Astroph. Journ. 157 (1969) 47.