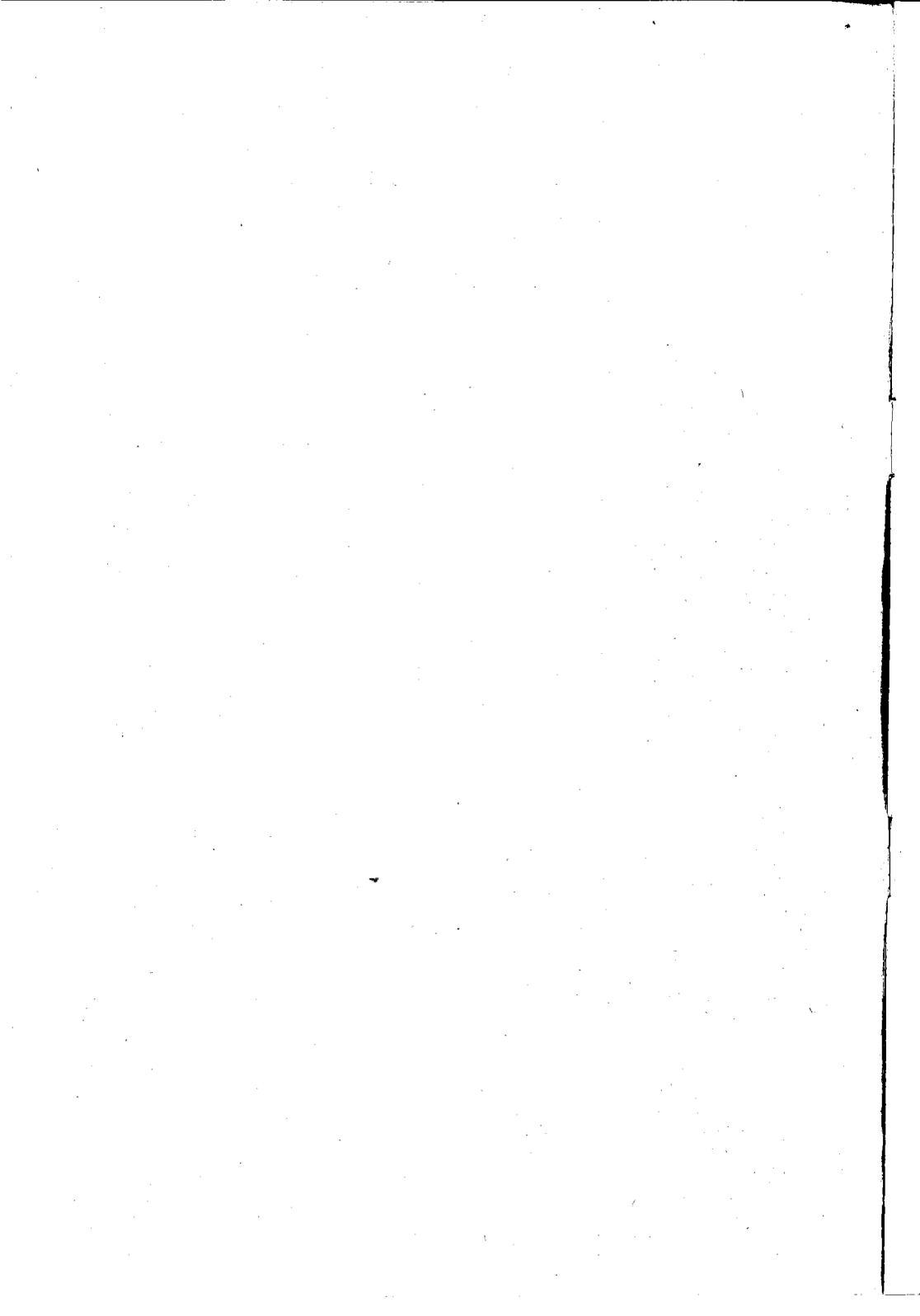


2  
(Kleine Veröffentlichungen der Reimis-Sternwarte Bamberg, Nr. 14)

**Bestimmung der Helligkeits- und Dichteverteilung in der  
Dunkelwolke B 92 durch Photometrie des Himmelshintergrundes.**

Von E. Geyer, Bamberg.

(Abgeschlossen am 15. Dezember 1955)



## Bestimmung der Helligkeits- und Dichteverteilung in der Dunkelwolke B 92 durch Photometrie des Himmelshintergrundes.

Von E. Ceyer, Bamberg.

*Durch photometrischen Vergleich zwischen der Helligkeit des Plattenuntergrundes innerhalb und außer halb des Absorptionsgebietes wird dessen relative Helligkeits- und Dichteverteilung bestimmt.*

### 1.) Problemstellung und Beobachtungsmaterial.

Bis auf die Untersuchungen von E. Schoenberg (1,2), Bock und Reilly (3) sind nur verhältnismäßig weit ausgedehnte Dunkelwolkengebiete — bis zu einigen Hundert Quadratgrad Flächenausdehnung — hinsichtlich ihrer Entfernung und Dimension, ihrer Gesamt- bzw. selektiven Absorption und Materiedichte untersucht und diskutiert worden. Denn die stellarstatistische Methode von M. Wolf und deren Verbesserungen durch Pannekoek, Schalén, Bock und Malmquist läßt sich nur auf Absorptionsgebiete von großem Flächeninhalt anwenden; sie setzt eine genügend große Anzahl von Sternen pro Helligkeitsintervall innerhalb der Dunkelwolke (DW) voraus. Außerdem müssen Farbindex und Farbexzess dieser Sterne bekannt sein, um oben erwähnte Daten ableiten zu können. In den letzten Jahren ist aber gerade sehr kleinen, lokalen DW besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. In diesen nur wenige Bogenminuten ausgedehnten Gebieten stehen jedoch nur ganz vereinzelt Sterne. Daher ist man gezwungen, andere Methoden zu deren Untersuchung anzuwenden.

Aufnahmen von solchen Dunkelwolken wurden von R. Kühn mit den zwei gleichdimensionierten Schmidt-Spiegeln ( $f = 50 \text{ cm}$ ,  $O/f = 1:2,5$ ) des Wendelstein-Observatoriums gewonnen. Da sich beide Schmidtspiegel auf einer Montierung befinden, ist man in der Lage, zwei Aufnahmen derselben Himmelsgegend gleichzeitig in verschiedenen isophoten Wellenlängen zu erhalten; dies hat den Vorteil, daß die beiden Aufnahmen den gleichen atmosphärischen Durchsichtsbedingungen ausgesetzt waren. Das Aufnahmematerial bestand aus Perutz „450 blau“ Filmen ohne Filter und aus Gevapan 33 Filmen mit Schott-Filtern GG5 (2 mm). Die Bestimmung der isophoten Wellenlängen der zusammengehörigen Aufnahmen geschah an Hand der von den Plattenfabriken Perutz und Gevaert gelieferten Kurven der spektralen Empfindlichkeiten; die Durchlässigkeitszahlen des GG5-Filtern wurden dem Filterkatalog der Firma Schott entnommen. Die isophoten Wellenlängen liegen für die Blaufnahmen bei  $\lambda_1 = 4600 \text{ \AA}$  für die Gelb- aufnahmen bei  $\lambda_2 = 5500 \text{ \AA}$ . Eine Unsicherheit dieser Zahlen von  $\pm 100 \text{ \AA}$  muß in Kauf genommen werden, da die spektrale Durchlässigkeit der irdischen Atmosphäre und der Aufnahmeoptik unberücksichtigt blieb. Am Rand jeder Aufnahme (Abb. 1) sind zwei sich diametral gegenüberliegende Reihen von je acht Schwärzungsmarken aufkopiert, die bis zu der Helligkeit des Untergrundes der Platte reichen. Es wurde während der Belichtung vor den Film ein Stufenfilter mit den entsprechenden Schwärzungsmarken gesetzt. Die Himmelsaufnahmen sind hinreichend gut geschwärzt, so daß die Dunkelwolken schon fürs bloße Auge deutlich hervortreten.

### 2.) Methode und Durchführung der photometrischen Ausmessung.

Es liegt nun nahe, den Betrag der Absorption und die Helligkeitsverteilung in der DW aus dem relativen Unterschied der Schwärzung des Plattenuntergrundes innerhalb und außerhalb des Absorptionsgebietes zu bestimmen. Die Schwärzung des Plattenuntergrundes wird in erster Linie durch die Helligkeit des Himmelshintergrundes her-

vorgerufen. Dieser wird selbst wieder — abgesehen von den bekannten atmosphärischen Ursachen — durch die Helligkeit der nicht mehr aufzulösenden Hintergrundsterne erzeugt. Sieht man nun den Himmelshintergrund innerhalb der kleinen DW und deren absorptionsfreien Umgebung als gleich an, so läßt sich aus dem Unterschied der Plattenschwärzung innerhalb und außerhalb der Absorptionszone auf deren Lichtschwächung in der isophoten Wellenlänge der Aufnahme schließen.

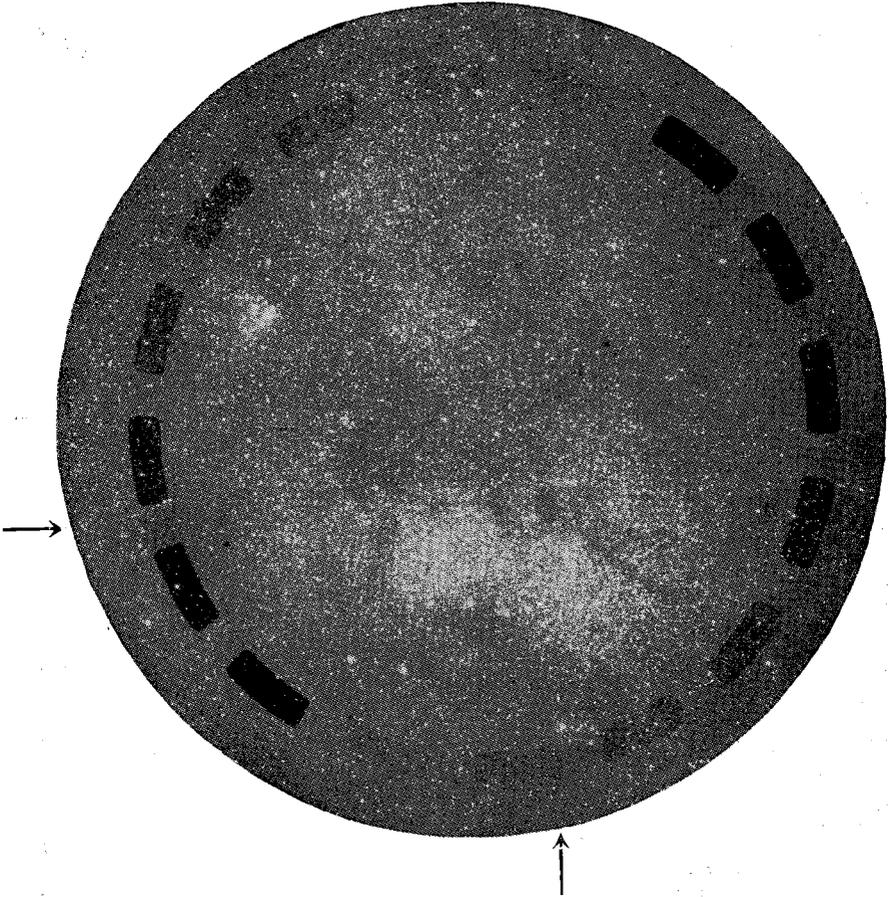


Abb. 1: Aufnahme 307 A mit aufkopierten Schwärzungsmarken. Die Pfeile weisen auf die Dunkelwolke B 92 hin. 1 cm = 25'.

Man wird aber bei der Methode des Schwärzungsvergleichs nicht den vollen Betrag der Gesamtabsorption ermitteln können, sondern nur eine untere Grenze. Dies hat folgenden Grund: In der von Absorption frei angenommenen Umgebung werden Sterne von gewisser scheinbarer Helligkeit noch von der Platte als solche abgebildet werden und zählen nicht zum Himmelshintergrund. Jedoch innerhalb der DW sind diese Sterne um den Absorptionsbetrag geschwächt,

die Aufnahme wird sie nicht mehr einzeln abzeichnen, d. h. sie werden zum Himmels hintergrund gerechnet. Dadurch muß notwendigerweise die Dunkelwolke aufgeheilt werden. Da aber im folgenden nur der relative Helligkeits- und Absorptionsverlauf interessiert, ist die Gesamtabsorption von untergeordneter Bedeutung.

Zur Durchführung der photometrischen Ausmessung wurde ein einfaches Instrument für densometrische Zwecke, nämlich das Spektrallinienphotometer von Zeiss verwendet. Dieses macht von dem Vorzug einer Einrichtung Gebrauch, die von Goos und Koch (4) angegeben wurde. Als lichtelektrischer Empfänger dient eine Sperrschicht-Fotozelle (Empfindlichkeitsbereich oberhalb 5500 Å). Das Bild der Platte oder des Films wird durch eine Mikrooptik stark vergrößert auf einem weißen Schirm entworfen, in dessen Mitte sich zum Photometrieren von Spektrallinien ein Bilateralerspalt — für unsere Zwecke jedoch eine kreisrunde Blende von 3 mm Durchmesser — befand. Die in die Plattenebene abgebildete Beleuchtungsblende ist so gewählt, daß sie nur ein etwas größeres Stück der Platte als die eigentliche Meßblende des Schirms mit weißem Licht bestrahlt; ihre Umgebung wird mit farbigem Licht beleuchtet, das nicht auf die lichtelektrische Zelle wirkt. Dadurch werden Effekte von gestreutem Licht in der Filmschicht weitgehend eliminiert. Den Photostrom registrierte man mittels eines guten Spiegelgalvanometers, das auf den aperiodischen Grenzfall abgestimmt war. Der Abstand Spiegelgalvanometer — Ableseskala war hinreichend groß gewählt (ungefähr 250 cm), so daß sich eine Reduktion der Galvanometerausschläge in Skalenteilen (SK) auf Bogenmaß erübrigte. Die Photometerlampe wurde mit 6 Volt Batterien betrieben und für sämtliche Messungen eine Stromstärke von 4 Ampere eingestellt. Diese wurde ständig mit einem empfindlichen Amperemeter überprüft. Die Linearität des Photostroms war kurz vorher von W. Kraul (5) kontrolliert worden. Der Dunkelstrom der Photozelle erwies sich etwas von der Raumtemperatur abhängig, so daß der Nullpunkt (NP) des Galvanometers stets unter Kontrolle gehalten werden mußte bzw. eine entsprechende Korrektur der Ausschläge des Anzeigeinstruments vorzunehmen war. Der vertikal angebrachte Plattentisch des Photometers gestattete eine mikrometrische Verschiebung in horizontaler Richtung.

Durch die Mikrooptik wurde nun der jeweilige Film auf den Schirm scharf abgebildet (das Korn der Platte war dafür maßgebend); die Vergrößerung war 30-fach. Die Photometrierung ging dann so vor sich, daß die Projektion des Plattengrundes zeilenförmig an der Schirmöffnung vorbeigeschoben wurde; die jeweilige Verschiebung des Plattentisches pro Einstellung betrug 0,1 mm. Dies entsprach in der Projektion dem Durchmesser der Schirmöffnung, so daß in jeder Zeile Öffnung an Öffnung dicht gedrängt lagen. Zu jeder Einstellung wurde der entsprechende Galvanometerausschlag notiert. Fiel ein Stern in die Blendenöffnung, so wurde dessen Umgebung eingestellt. Die Messung wurde immer in dem Bereich des Plattengrundes außerhalb der Dunkelwolke begonnen, der von ihrem Rand einen Abstand von ungefähr  $\frac{1}{2}$  Durchmesser der DW hatte.

### 3.) Die Eichung der Stufenfilter und die Schwärzungskurven.

Um die Schwärzungskurven der Platten aus den aufkopierten Schwärzungsmarken ableiten zu können, müssen die entsprechenden Stufenfilter geeicht werden. Diese bestehen, wie schon erwähnt, aus glasklaren Filmfolien und tragen an den Rändern zwei Reihen von je acht Schwärzungsmarken, die sich diametral gegenüberstehen. Bei der Photometrie der Stufenfilter wurde zunächst der Galvanometernullpunkt (NP) bestimmt, dann 10 mal sowohl die glasklare Umgebung (G) als auch die Schwärzungsmarke (M) eingestellt. Die Umrechnung der Intensitätsschwächung der einzelnen Marken in Größenklassen gestaltet sich dann wie folgt: Ist  $I_1$  die Intensität des durch die Marken gegangenen Lichts, ausgedrückt in SK,  $I_0$  diejenige des durch die glasklare Umgebung der Marke gegangenen Lichts, so gilt zunächst:

$$I_1 = M - NP; \quad I_0 = G - NP;$$

wobei NP = Nullpunkt des Galvanometers (Dunkelstromausschlag), M = Ausschlag in der Marke, G = Ausschlag im Glasklaren.  
Die Schwächung  $\Delta m$  in Größenklassen beträgt dann laut Definition der Größenklassen:

$$\Delta m = -2,5 \log I;$$

$$\text{wobei } \log I = \log I_1 - \log I_0 = \log \frac{M - NP}{G - NP}.$$

Die gemessenen  $\Delta m$ -Werte der für die Gelbaufnahmen (St. F. Nr. 39) und Blauaufnahmen (St. F. Nr. 40) verwendeten Stufenfilter (St. F.) sind in Tabelle 1 gegeben. Die römischen Ziffern beziehen sich auf die einzelnen Schwärzungsmarken und stellen das Mittel von zwei sich diametral gegenüberliegenden Marken dar.

	St. F. Nr. 39	St. F. Nr. 40
	$\Delta m$	$\Delta m$
I	1,42	1,40
II	1,12	1,02
III	0,73	0,70
IV	0,50	0,47
V	0,32	0,32
VI	0,25	0,26
VII	0,15	0,17
VIII	0,10	0,10

Tabelle 1

Zur Ableitung der Schwärzungskurven der Filme wurden in ganz analoger Weise die aufkopierten Schwärzungsmarken ausphotometriert. Je 10 mal wurde abwechselnd die betreffende Marke (M) und der sie umgebende Himmelshintergrund (H) eingestellt. Bildet man die Differenz (M-H) der Galvanometerausschläge von Schwärzungsmarke (M) und Himmelshintergrund (H), so ergibt sich unmittelbar eine Schwärzungskurve mit der Differenz (M-H) als Abzisse und den  $\Delta m$ -Werten der Tabelle 1 als Ordinate.

Tabelle 2 gibt die Werte M-H in mm SK für die Gelbaufnahme 307 A und die Blauaufnahme 307 B, auf denen die Dunkelwolke B 92 photometriert wurde.

Aufnahme 307 A

Schwärzungsmarke	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	m	m	m	m	m	m	m	m
$\Delta m$	1,42	1,12	0,73	0,50	0,32	0,25	0,15	0,10
M-H	66,7	51,0	35,5	22,1	16,7	12,5	7,5	4,3

Aufnahme 307 B

$\Delta m$	1,40	1,02	0,70	0,47	0,32	0,26	0,17	0,10
M-H	64,5	46,6	34,0	20,8	15,9	10,5	8,0	5,5

Tabelle 2

Der Bereich der Schwärzungskurve, der für die Photometrierung der DW in Frage kam, ließ sich sehr gut für beide Aufnahmen durch eine Gerade der Form

$$\Delta m = k (M - H)$$

darstellen. Der ausgeglichene Wert von k beträgt für 307 A:  $k = 0,021$  (Größenkl. pro mm SK), für 307 B:  $k = 0,022$  (Größenkl. pro mm SK). Die Messung der Dunkelwolke wurde zwischen der Photometrie der zwei Reihen von je acht Schwärzungsmarken vorgenommen.

Fehlerdiskussion:

Es sind in der Photometrie folgende Fehlerquellen in Betracht zu ziehen:

- 1) Kornschwankungen in der Filmemulsion und ungleiche Schichtdicke. Da jedoch mit relativ großer Meßblende gearbeitet wurde, mitteln sich derartige Effekte heraus.
- 2) Schwankungen in der Helligkeit des Himmelshintergrundes. Bei der Photometrie von B 92 zeigte sich, daß der Himmelshintergrund in einem Bereich von 25 Bogenminuten Durchmesser immerhin Schwankungen von 2 bis 3 Skalenteilen unterworfen ist.

3) Der bereits erwähnte Effekt, daß nur eine untere Grenze für den Betrag der Gesamtabsorption der Dunkelwolke zu bestimmen sei, tritt dann auf, wenn erst nach der Belichtung der Aufnahmen die Schwärzungsmarken aufkopiert werden oder die Schwärzungskurve mit Hilfe bekannter Sternhelligkeiten abgeleitet wird. Da jedoch in unserem Fall die Schwärzungsmarken durch Vorlegen des Stufenfilters während der Belichtung der Platte gewonnen wurden, geht derselbe Effekt in die Schwärzungskurve mit ein und wird somit in einem gewissen Umfang bei der Photometrie unwirksam.

4) Der Einfluß von Vordergrund- und Hintergrundhelligkeit <sup>1)</sup>. Bezeichnet man mit  $I_v$  die Helligkeit des der Absorption nicht unterworfenen Vordergrundlichtes, mit  $I_h$  die Hintergrundhelligkeit, mit  $P_w$  die Absorption der DW und mit  $P_k$  die des Stufenfilters, so gilt bei Schwärzungsgleichheit der DW mit einer Schwärzungsmarke

$$(1) \quad (I_v + I_h) P_k = I_h P_k + I_v$$

$I_v$  setzt sich zusammen aus dem Streulicht der Atmosphäre und der Aufnahmeapparatur, dem Eigenlicht der Atmosphäre und dem Sternlicht vor der DW. Setzt man für

$$\frac{I_h}{I_v} = H, \text{ so wird } (2) \quad P_w = \frac{1}{H} (P_k - 1) + P_k \quad \text{und} \quad \frac{P_w}{P_k} = \frac{1 + H}{H + 1/P_w}$$

Daraus folgt, daß die Absorption  $m_w$  der DW stets größer ist als die gemessene Absorption des Stufenfilters  $m_k$ :

$$(3) \quad m_w - m_k = -2,5 \log P_w / P_k$$

Den wichtigsten Beitrag zur Vordergrundhelligkeit  $I_v$  liefert das Eigenlicht der Atmosphäre und es muß geprüft werden, wieweit die Absorptionsmessungen von B 92 davon beeinflußt werden. Die Milchstraßenhelligkeit in der Umgebung von B 92 beträgt nach *Pannekoek* (6) ohne Abzug der Vordergrundhelligkeit  $(I_h + I_v) = 7,5$  Stufen. Dieser Stufenwert rechnet sich mit folgender Formel

$$I = 0,100 + 0,086 S + 0,00045 S^3 = 0,935$$

in *Hoffmeister'schen* Intensitäten (7) um;  $S$  = *Pannekoek'scher* Stufenwert.

Nach *Hoffmeister* beträgt das Atmosphärenlicht  $I_a = 0,068$ , sodaß sich für  $H$  ergibt:

$$H = \frac{I_h}{I_v} = \frac{I_h + I_v}{I_v} - 1 = \frac{0,953}{0,068} - 1 = 12,75$$

Tabelle 3 ergibt nun die Korrekturen  $m_w - m_k$  für verschiedene Absorptionswerte  $P_k$  des Stufenfilters, berechnet mit obigem Wert  $H$ .

	$m$	$m$	$m$	$m$
$P_k$	0,70 (0,4)	0,76 (0,3)	0,83 (0,2)	0,91 (0,1)
$m_w - m_k$	$m$ 0,037	$m$ 0,027	$m$ 0,018	$m$ 0,008

Tabelle 3

<sup>1)</sup>Diesem Hinweis verdankt der Verfasser einer brieflichen Mitteilung von Prof. E. Schoenberg.

Daraus ersieht man, daß die Korrekturen für die Absorption der Dunkelwolke B 92 kleiner ausfallen als die Photometriefehler und daher nicht berücksichtigt zu werden brauchen.

Der mittlere Fehler einer Einzelmessung wurde einerseits bestimmt aus den Einstellungen des die Dunkelwolke umgebenden Himmelshintergrundes und andererseits aus der Ausgleichung der Schwärzungskurve. In beiden Fällen beträgt er

für die Platte 307 A  $\pm 1,7 \text{ Sk} = \pm 0,036$ , für die Platte 307 B  $\pm 1,4 \text{ Sk} = \pm 0,030$ .

#### 4) Die Photometrierung der Dunkelwolke B 92 (8).

Bei diesem Objekt handelt es sich um eines der auffälligsten kleinen Absorptionsgebiete am Rande der kleinen Sternwolke im Sagittarius. Sie ist eingehend beschrieben worden von E. Barnard (9) und E. Schoenberg (10). Ihr Ort ist für das Äquinoxtium 1875:

$$\alpha = 18^{\text{h}}08^{\text{m}}16^{\text{s}}; \delta = -18^{\circ}16'.$$

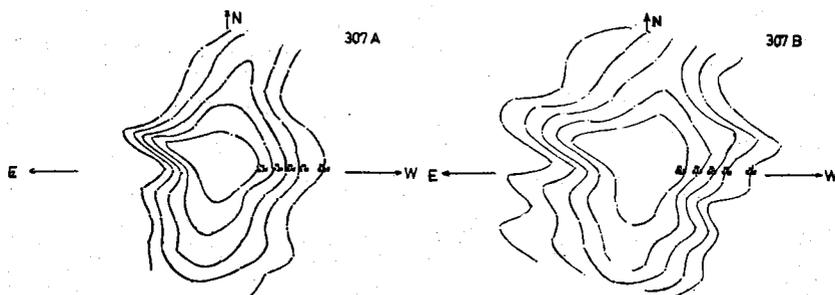


Fig. 1: Die Isophoten von B 92. 307 A = Gelbaufnahme, 307 B = Blauaufnahme.  $1 \text{ cm} = 2,8'$ . Die Linien konstanter Helligkeit unterscheiden sich von den vorangehenden bzw. nachfolgenden um  $0,05^{\text{m}}$ .

Diese Dunkelwolke ist etwas elliptisch und ihr Durchmesser ergab sich aus der Photometrie zu 12 Bogenminuten. Sie scheint in ein nicht ganz absorptionsfreies Gebiet eingebettet zu sein. Innerhalb der Wolke stehen nahe dem Zentrum nur zwei Sterne von  $12^{\text{m}}$  bzw.  $14^{\text{m}}$  scheinbarer Helligkeit. Der Positionswinkel der Meßrichtung ( $x$  = Richtung) beträgt  $P = 75^{\circ}$  (gezählt von Nord nach Ost). Die Reduktion der Messungen ging dann so vor sich, daß jeweils 4 symmetrisch um einen Punkt angeordnete Einzelwerte gemittelt wurden. Diese Punkte sind die gleichen Stellen der Dunkelwolke sowohl auf der Gelb- als auf der Blauaufnahme. Auf diese Weise erhielt man parallele „Hauptschnitte“ durch die Wolke (im folgenden bezeichnet mit A, B, . . . , L). Diese sind selbst wieder durch das gleitende Dreiermittel geglättet worden. Tabelle 4 gibt die Werte der Helligkeitsunterschiede in Größenklassen gegenüber dem Himmelshintergrund für die Hauptschnitte in Abhängigkeit vom scheinbaren Abstand von der Zentrallinie in Bogenminuten wieder. Der Abstand der Hauptschnitte voneinander beträgt  $0,9$  Bogenminuten.

Blauaufnahme 307 B

x	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
	$\Delta m$										
-6,5'					0,03	0,02	0,04	0,05	0,01		
-5,85					0,02	0,04	0,07	0,07	0,02	0,02	
-5,2		0,01	0,02	0,01	0,09	0,05	0,05	0,09	0,02	0,04	0,00
-4,55		0,02	0,02	0,02	0,09	0,10	0,03	0,07	0,02	0,07	0,03
-3,9		0,06	0,05	0,04	0,12	0,15	0,06	0,08	0,04	0,07	0,04
-3,25	0,01	0,06	0,08	0,07	0,15	0,23	0,03	0,10	0,06	0,09	0,04
-2,6	0,02	0,09	0,09	0,10	0,19	0,26	0,08	0,13	0,11	0,10	0,06
-1,95	0,03	0,08	0,12	0,13	0,22	0,31	0,15	0,16	0,13	0,11	0,07
-1,3	0,07	0,13	0,16	0,19	0,25	0,30	0,22	0,26	0,18	0,15	0,09
-0,65	0,13	0,15	0,19	0,21	0,27	0,31	0,26	0,26	0,22	0,19	0,12
0,00	0,16	0,17	0,20	0,23	0,27	0,32	0,28	0,27	0,23	0,21	0,14
+0,65	0,15	0,13	0,16	0,22	0,27	0,30	0,28	0,25	0,22	0,21	0,13
+1,3	0,11	0,07	0,12	0,20	0,26	0,27	0,23	0,22	0,20	0,17	0,10
+1,95	0,06	0,03	0,07	0,19	0,22	0,19	0,10	0,18	0,14	0,14	0,05
+2,6	0,05	0,02	0,05	0,17	0,16	0,13	0,05	0,11	0,07	0,07	0,03
+3,25	0,02		0,04	0,14	0,07	0,07	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02
+3,9				0,09	0,04	0,06	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02
+4,55				0,06	0,03	0,06			0,00		0,01
+5,2				0,05		0,04					
+5,85				0,04		0,04					

Gelbaufnahme 307 A

-3,9						0,06					
-3,25				0,00	0,01	0,11		0,01			
-2,6		0,03	0,01	0,02	0,04	0,22	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00
-1,95		0,04	0,06	0,05	0,12	0,28	0,03	0,12	0,05	0,04	0,03
-1,3	0,02	0,08	0,10	0,15	0,20	0,27	0,15	0,17	0,13	0,08	0,04
-0,65	0,08	0,13	0,15	0,20	0,24	0,28	0,26	0,22	0,18	0,16	0,09
0,00	0,13	0,15	0,18	0,21	0,25	0,28	0,25	0,24	0,21	0,19	0,10
+0,65	0,13	0,12	0,11	0,17	0,24	0,27	0,23	0,22	0,18	0,17	0,10
+1,3	0,07	0,05	0,04	0,13	0,20	0,25	0,18	0,21	0,16	0,13	0,08
+1,95	0,03	0,03	0,02	0,08	0,15	0,19	0,14	0,11	0,12	0,08	0,06
+2,6	0,01			0,05	0,09	0,12	0,07	0,06	0,09	0,04	0,04
+3,25				0,04	0,06	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
+3,9				0,02	0,03	0,03		0,00	0,04	0,02	0,00
+4,55					0,01			0,04			
+5,2					0,00						

Tabelle 4

An Hand der Tabelle 4 lassen sich die Isophoten der Dunkelwolke B 92 konstruieren. Sie sind für beide Aufnahmen in Fig. 1 wiedergegeben.

5) Die räumliche Dichteverteilung.

Der Zusammenhang zwischen gemessener Absorption  $m$  und Dichte der Dunkelwolke ergibt sich folgendermaßen: Ist  $k_\lambda$  der Absorptionskoeffizient,  $r$  der Teilchenradius,  $\mu$  der Brechungsindex und  $s$  das spezifische Gewicht der Teilchen,  $N$  deren Anzahl in der Volumeneinheit,  $d$  die Dichte der absorbierenden Materie, so gilt zunächst:

$$(4) \quad d = \frac{4}{3} r^3 \cdot \pi \cdot s \cdot N.$$

$$(5) \quad k_\lambda = Q(a, \mu, \lambda) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N.$$

$Q(\alpha, \mu, \lambda)$  ist der Wirkungsfaktor, der aus der Mie'schen Theorie berechnet werden muß,  $\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$  das Verhältnis von Teilchenumfang zur Wellenlänge des Lichts. Aus (4) und (5) folgt:

$$(5a) \quad k_{\lambda} = \frac{3}{4} \cdot Q \cdot \frac{d}{r \cdot s}.$$

Bedeutet nun  $h$  den im Medium durchlaufenen Lichtweg,  $I_0$  die Lichtintensität vor,  $I$  die Intensität nach dem Passieren der Absorptionsschicht, so ist:

$$(6) \quad I = I_0 \cdot e^{-k_{\lambda} \cdot h}.$$

Führt man noch statt der Intensitäten  $I, I_0$  die Größenklassen nach der Definitionsgleichung

$$\Delta m = -2,5 \cdot \log I_0 / I$$

ein, so ergibt sich sofort aus (5a) und (6):

$$(6a) \quad \Delta m = \frac{\log e}{0,4} k_{\lambda} h = 0,814 \frac{Q \cdot h \cdot d}{r \cdot s}.$$

Die räumliche Verteilung der Materie innerhalb kleiner DW ist von Bedeutung für den Aufbau, die Dynamik und Stabilität dieser Gebilde; außerdem auch für die Sternentwicklung. Von E. Schoenberg (2) ist zwar die Absorption einer Reihe kleiner DW bestimmt worden, die Dichteverteilung konnte aber bis auf die Feststellung einer zentralen Verdichtung noch nicht gemessen werden. Bei der Bestimmung der Dichtefunktion der DW tritt ein ähnliches Problem wie bei der Untersuchung der räumlichen Helligkeitsverteilung in elliptischen Nebeln und Kugelsternhaufen auf, mit dem Unterschied, daß an die Stelle der Sterne, die die Helligkeit des Himmelsgrundes bei Sternhaufen erhöhen, bei DW die absorbierenden Teilchen treten, die den Himmelsgrund verdunkeln. Die  $\Delta m$ -Werte treten hier mit umgekehrten Vorzeichen auf; sonst sind die Probleme mathematisch identisch. Diese wurden von H. v. Zeipel (11), H. C. Plummer (12) und ten Bruggencate (13) behandelt. Die Aufgabe besteht darin, aus der Funktion  $f(xy)$ , welche die gemessene scheinbare Flächendichte  $\Delta m$  in der Projektion der DW auf die Himmelskugel im Punkte  $x, y$  angibt ( $x, y$ -Ebene = Projektionsebene,  $z$ -Richtung = Gesichtslinie), die Dichte  $D(x, y, z)$  im Raumpunkte  $x, y, z$  zu bestimmen. Für den Fall eines Rotationsellipsoids, bei dem die Flächen konstanter Dichte selbst wieder konzentrische, koaxiale, ähnliche Ellipsoide sein sollen, ergibt sich eine Volterra'sche Integralgleichung erster Art für  $D(x, y, z)$ . Das Problem vereinfacht sich wesentlich, wenn man kugelsymmetrische Dichteverteilung voraussetzt. Dies soll nun fürs weitere näher ausgeführt werden. Ist  $f(\varrho)$  die Flächendichte in der Projektion im Abstand  $\varrho$  vom Zentrum,  $D(r)$  die räumliche Dichte in der Entfernung  $r$  vom Mittelpunkt auf dem Sehstrahl gelegen,  $R$  der Radius der kugelförmig vorausgesetzten Dunkelwolke und  $z_1, z_2$  die Durchstoßpunkte des Sehstrahls mit der DW, so gilt:

$$(7) \quad f(\varrho) = \int_{z_1}^{z_2} D(r) dz = \int_{-\sqrt{R^2 - \varrho^2}}^{+\sqrt{R^2 - \varrho^2}} D(r) dz = 2 \int_0^{\sqrt{R^2 - \varrho^2}} D(r) dz.$$

Da nun  $z^2 = r^2 - \varrho^2$ , so folgt:

$$(8) \quad f(\varrho) = 2 \int_{\varrho}^R D(r) \frac{r}{\sqrt{r^2 - \varrho^2}} dr.$$

Die Auflösung dieser *Abel'schen* Integralgleichung nach der gesuchten Funktion  $D(\varrho)$  lautet:

$$(9) \quad D(\varrho) = -\frac{1}{\pi} \int_{\varrho}^R \frac{f(r)}{\sqrt{r^2 - \varrho^2}} dr.$$

Es muß daher zur Ableitung der Dichtefunktion die Helligkeitsverteilung längs der Radien gemessen sein.

Am leichtesten zu behandeln ist das Problem, wenn man die DW, was bei den vorliegenden Messungen geschehen ist, in schmale Parallelstreifen einteilt, die in verschiedenen Vertikalabständen  $\varrho$  vom Zentrum verlaufen und die Absorption in diesen Streifen als Funktion von  $\varrho$  bestimmt; vorausgesetzt wird Kugelsymmetrie. Ist  $R$  der Radius,  $M$  der Mittelpunkt der DW,  $\varrho$  der Vertikalabstand der senkrecht zur Projektionsebene verlaufenden lamellenartigen Kreisscheibe vom Radius  $\sqrt{R^2 - \varrho^2}$  und der Dicke  $d\varrho$  und  $\xi, \eta$  ein in ihr liegendes kartesisches Koordinatensystem, so ist:

$$(10) \quad f(\varrho) = \iint_{\text{Kreisscheibe}} D(r) d\xi d\eta,$$

wobei  $f(\varrho)$  die Flächendichte bedeutet, die sich aus den Hauptschnitten berechnet zu:

$$(11) \quad f(\varrho) = \int_{-\sqrt{R^2 - \varrho^2}}^{+\sqrt{R^2 - \varrho^2}} \Delta m(x) dx.$$

Geht man noch zu einem Polarkoordinatensystem über und berücksichtigt man, daß für die Lamelle  $\varrho$  konstant ist, so folgt aus (10)

$$(12) \quad f(\varrho) = \int_{\varrho}^R \int_0^{2\pi} D(r) r dr d\vartheta = 2\pi \int_{\varrho}^R D(r) r dr = -2\pi \int_R^{\varrho} D(r) r dr.$$

Die gesuchte Dichteverteilung  $D(\varrho)$  ergibt sich damit sofort durch Differentiation nach der oberen Grenze:

$$(13) \quad D(\varrho) = -\frac{1}{2\pi\varrho} \frac{df(\varrho)}{d\varrho}.$$

Diese einfache Methode zur Ableitung der Dichtefunktion ist für die vorliegenden Messungen besonders geeignet. Sie besitzt weiterhin noch den Vorteil, daß ein Einfluß eines Absorptionsgebietes, in das z. B. die Dunkelwolke eingebettet ist, für die Dichteverteilung nicht in Frage kommt. Denn die Flächendichte einer solchen Absorptionszone ist dann keine Funktion von  $\varrho$  und tritt nur als additive Konstante zu  $f(\varrho)$ , fällt daher bei der Differentiation fort.

	307 B	307 A
A	0,536	0,286
B	0,674	0,386
C	0,892	0,604
D	1,381	0,743
E	1,764	1,040
F	1,989	1,306
G	1,489	0,995
H	1,422	0,885
I	0,945	0,758
K	0,855	0,501
L	0,487	0,307

Tabelle 5 gibt den Mittelwert von  $f(\varrho)$  (Größenklasse x Bogenminuten) aus zehnmaliger Planimetrierung der Hauptschnitte mit einem Ott'schen Rollplanimeter. Der mittlere Fehler des Mittelwertes beträgt  $\pm 0,0055$  (Grkl. x Bogm.). Die symmetrisch zum Zentralschnitt (F) gelegenen Werte von  $f(\varrho)$  wurden gemittelt und dann numerisch mit Hilfe der Tafel von L. Comrie (14) differenziert. Tabelle 6 gibt  $df(\varrho)/d\varrho$  und die Dichtefunktion  $D(\varrho)$  in Einheiten der Zentraldichte für die Dunkelwolke B 92 im blauen und gelben Spektralbereich wieder.

Tabelle 5

Abst. v. Zentr. in Bogm.	307 B		307 A	
	$\frac{df(\varrho)}{d\varrho}$	$D(\varrho)$	$\frac{df(\varrho)}{d\varrho}$	$D(\varrho)$
0,00	0,000	1,000	0,000	1,000
0,45	-0,403	0,895	-0,371	0,825
0,90	-0,371	0,412	-0,366	0,402
1,35	-0,213	0,158	-0,221	0,163
1,80	-0,387	0,214	-0,123	0,068
2,25	-0,585	0,260	-0,138	0,062
2,70	-0,405	0,150	-0,226	0,084
3,15	-0,131	0,042	-0,276	0,088
3,60	-0,184	0,050	-0,233	0,065
4,05	-0,386	0,095	-0,155	0,038
4,50	-0,260	0,058	-0,148	0,033

Tabelle 6

Fig. 2 stellt den Dichteverlauf graphisch dar. Dichteschwankungen, wie sie am Rande der Dunkelwolke B 92 auftreten, sind wohl nicht reell, da sie auf den beiden Platten in verschiedenen Abständen vom Zentrum erfolgen. Die Ursache liegt wahrscheinlich darin, daß die Voraussetzung der Kugelsymmetrie nur nahe der Mitte der Wolke erfüllt ist. Tatsächlich erscheint die DW auf den Aufnahmen schwach elliptisch.

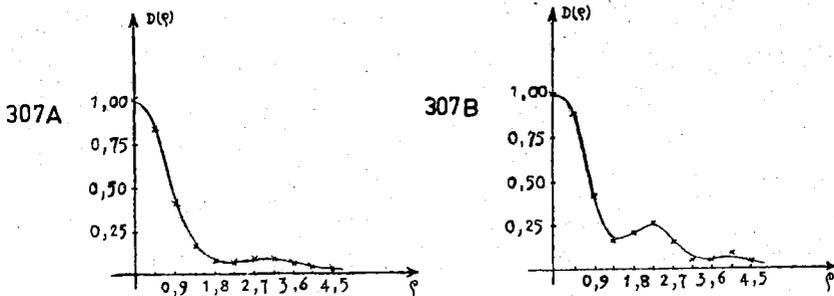


Fig. 2: Der Dichteverlauf in B 92. Zentraldichte gleich 1 gesetzt.

6) Dichte- und Massenabschätzung der Dunkelwolke B 92.

Aus der beobachteten Absorption der DW und deren wahren Abmessungen läßt sich eine untere Grenze für die Masse und Dichte ableiten. Es müssen dazu folgende Annahmen gemacht werden:

Entfernung der Dunkelwolke

$$240 \text{ pc} = 7,40 \cdot 10^{20} \text{ cm}$$

Dies ist die mittlere Entfernung von Absorptionsgebieten in der Nachbarschaft von B 92, deren Abstand von E. Schoenberg (1) bestimmt wurde. Daraus ergibt sich ein linearer Durchmesser der DW zu

$$2R = 0,845 \text{ pc} = 2,61 \cdot 10^{18} \text{ cm.}$$

Für die Bestimmung der absoluten Dichte werden folgende Voraussetzungen gemacht: Durchmesser der absorbierenden Teilchen  $10^{-5}$  (cm); deren spezifisches Gewicht  $s = 8 \text{ [g cm}^{-3}\text{]}$  (Eisen). Dann ergibt die Mie'sche Theorie für den Faktor  $Q \approx 2$  ( $\lambda = 4400 \text{ \AA}$ ).

Wendet man nun Formel (6a) zur Berechnung der Dichte  $d$  aus der Absorption an

$$d = \frac{1}{0,814} \cdot \frac{r \cdot s}{Q \cdot h} \cdot \Delta m,$$

so ist zu beachten, daß diese aus Gleichung (6) hervorging und eigentlich nur für konstantes  $k\lambda$  gilt. Die Formel wird richtig, wenn man statt  $k\lambda h$ ,  $\int_0^h k\lambda ds$  oder

den Mittelwert  $\bar{k}\lambda h$  setzt. Dann ist aber  $d$  die mittlere Dichte. Tabelle 7 gibt die Mittelwerte der zum Zentralschnitt symmetrisch gelegenen  $\Delta m$ -Werte, die mit Hilfe der Tabelle 3 wegen des Einflusses der Vordergrundhelligkeit korrigiert worden sind, und die daraus berechnete mittlere Dichte in Abhängigkeit vom Zentrumsabstand  $\varrho$  (in Bogenminuten).

$\varrho$	$\Delta m$	$\bar{d} \text{ [g cm}^{-3}\text{]}$	
0,0	0,349	$0,66 \cdot 10^{-23}$	Unter der Voraussetzung, daß die Dunkelwolke kugelförmig ist, ergibt sich dann aus $\bar{d}$ die Masse der Wolke zu $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \bar{d} = 0,051 \cdot 10^{33} \text{ [g]}$
0,9	0,300	0,57	
1,8	0,272	0,55	
2,7	0,234	0,50	
3,6	0,207	0,49	
4,5	0,157	0,45	
Mittel $0,54 \cdot 10^{-23} \text{ [g cm}^{-3}\text{]}$			

Tabelle 7

Diese Massenabschätzung beruht weiterhin auf der Annahme, daß die beobachtete Absorption der Wolke gänzlich durch Teilchen optimaler Abmessungen für Streuung hervorgerufen wird; Teilchen von größeren oder kleineren Dimensionen sollen dagegen nicht existieren. Ebenso werden Beimengungen von Gasen nicht berücksichtigt.

Der Verfasser schuldet besonderen Dank Herrn Prof. E. Schoenberg — München — für Anregung und Förderung dieser Arbeit.

Literatur:

- (1) Schoenberg, E. u. Tolmar, G.: *Abh. Bayer. Akad. Wiss., Math. Abt., Neue Folge, Heft 56* (1949)
- (2) Schoenberg, E.: *Z. f. Naturf., Bd. 4a, H. 3* (1949)
- (3) Bok, B. u. Reilly, E.: *Ap. J.* **105**, 255 (1947)
- (4) Goos, F. u. Koch, P.: *Z. f. Phys.* **44**, 855 (1927)
- (5) Kraul, W.: *Forschber. Obs. Wendelstein Nr. 9* (1953)
- (6) Pannekoek, A.: *Die südl. Milchstraße, Ann. d. Boscha-Sternw., Vol. II, 1* (1927)
- (7) Hoffmeister, C.: *Veröff. d. Univ-Sternw. Berl.-Babelsberg, Bd VIII, Heft 2* (1930)
- (8) Barnard, E.: *Photographic Atlas of Selected Regions of the Milky Way* (1927)
- (9) Barnard, E.: *Catalog of 349 Dark Objects in the Sky* (1927)
- (10) Schoenberg, E.: *Forschber. Obs. Wendelstein Nr. 11* (1954)
- (11) v. Zeipel, H.: *Ann. Observ. Paris mem., Bd. 25* (1908)
- (12) Plummer, H.: *Monthly Notices* **71**, 461 (1911)
- (13) ten Bruggencate, P.: *Sternhaufen, Berlin: Springer* (1927)
- (14) Comrie, L.: *Interpolation and Allied Tables (Nautical Almanac 1937)*.

