ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 2884.

Ueber die Bestimmung der Sterngrössen aus photographischen Aufnahmen.

Von Dr. *J. Scheiner*.

Bei der photographischen Aufnahme von Sternen erscheinen dieselben, falls die Aufnahmen mit einem für die chemischen Strahlen achromatisirten Objective oder mit einem Spiegel gemacht worden sind, als kleine, ziemlich scharf begrenzte Scheibchen von verschiedenem Durchmesser. Je heller ein Stern ist, um so grösser wird im allgemeinen das von ihm auf der Platte erzeugte Scheibchen. Es ist indessen bekannt, dass dies nicht strenge der Fall ist, sondern dass sehr erhebliche Abweichungen vorkommen, die durch die Sternfarbe, oder correcter ausgedrückt, durch den Spectraltypus der Sterne bedingt sind. Die Aufgabe, die Helligkeit der Sterne auf photographischem Wege zu bestimmen, reducirt sich hiernach zunächst darauf, eine gleichmässige Scala photographisch vergleichbarer Intensitäten aufzustellen, die einem bestimmten Spectraltypus entsprechen; in zweiter Linie ist dann eine Reduction derselben auf anders gefärbte Sterne auszuführen.

Im Folgenden habe ich mich bemüht, einen Beitrag zur Lösung des ersten Theiles dieser Aufgabe zu geben, und zwar speciell für Aufnahmen in der Brennebene bei fester Lage der Sterne zur Platte. Zu speciell photometrischen Zwecken kann man vielleicht passendere Verhältnisse zu Grunde legen, z. B. Aufnahmen ausserhalb der Brennebene, oder solche bei feststehendem Fernrohre, wie dies früher bereits geschehen ist. Die Forderung indessen, aus den Durchmessern der runden Sternscheibchen die Helligkeit der Sterne zu bestimmen, tritt bei Gelegenheit der Herstellung der grossen photographischen Himmelskarte auf, und dürfte überhaupt diese Methode die einzige sein, die hier in Anwendung kommen kann.

Aehnlich wie bei den directen Grössenschätzungen der Sterne im Fernrohre stellen sich auch bei den photographischen Aufnahmen Uebelstände ein, die die Möglichkeit der Grössenschätzungen nur innerhalb eines gewissen Spielraums gestatten; die hellsten Sterne sind zur Grössenbestimmung ebenso wenig geeignet wie die schwächsten. Während dies bei directen Schätzungen durch physiologische Gründe bedingt ist, sind die entsprechenden Ursachen auf der photographischen Platte ganz anderer Natur. Sobald die Sterne eine gewisse Helligkeit im Verhältniss zur Lichtstärke des Objectivs erreichen, oder sobald die Expositionszeit eine genügende Dauer erlangt, wird die Begrenzung der Sternscheibchen nicht mehr allein durch später zu besprechende, eine regelmässige Zunahme verursachende Umstände bedingt, sondern die in der nächsten Umgebung des Sterns erhaltene Atmosphäre sowie Reflexe von der Rückseite der Platte, die übrigens zu vermeiden sind, bilden sich auf

der Platte mit ab. Diese Ursachen wirken vereint sowohl auf eine stärkere Vergrösserung der Sternscheibchen als auch besonders auf eine vermehrte Unschärfe der Begrenzung, so dass von einer einigermaßen exacten Durchmesserbestimmung bei sehr hellen Sternen nicht mehr die Rede sein kann.

Bei den Aufnahmen sehr schwacher Sterne oder bei sehr kleinen Expositionszeiten gestaltet sich die Sache folgendermassen. Das kleinste Bild, welches überhaupt von einem Sterne erhalten werden kann, ist kleiner als der Durchmesser des durch die Oeffnung des Instruments bedingten Interferenzscheibchens, bei einem Objective von 5 Zoll Oeffnung z. B. kleiner als $2''$. In Wirklichkeit wird diese kleinste Grösse stets überschritten werden, da es zunächst nicht möglich ist, die Platte genau in die Brennebene zu bringen oder sie wenigstens während längerer Zeiträume darin zu erhalten. Dann kommt bei Objectiven der Einfluss der unvollständigen Achromasie hinzu, und schliesslich die zuweilen wohl am stärksten wirkende Unruhe der Luft. Alle diese Umstände verursachen eine beträchtliche Vergrösserung des kleinsten Bildes, die, sehr variabel, nach meinen Erfahrungen über das sechsfache dieses Werthes erreichen kann. Die ersten auf der Platte sichtbaren Lichteindrücke besitzen dementsprechend bereits einen ziemlich beträchtlichen Durchmesser, der bei zunehmender Intensität zunächst nicht oder nur wenig vergrössert wird, bis eine vollständige Ausscheidung des Silberniederschlags auf dieser kleinsten Fläche erfolgt ist. Man wird demnach aus Durchmesserbestimmungen erst dann Schlüsse ziehen dürfen, wenn das kleinste Scheibchen vollständig schwarz erscheint.

Als Beobachtungsmaterial für die folgenden Untersuchungen stand mir zur Verfügung 1) eine Plejadenaufnahme mit den Expositionszeiten 1, 2, 4, 8 und 16 Minuten, welche Herr von Gothard die grosse Gefälligkeit hatte, für mich anzufertigen; 2) eine ähnliche Photographie der Plejaden, die ich selbst mit einem 5 zölligen Objective aufgenommen hatte, und 3) von mir gemachte Aufnahmen von künstlichen Sternen im Zöllner'schen Photometer.

Als coelestisches Object für die Aufnahmen habe ich die Plejaden gewählt, weil einmal gute photometrische Bestimmungen der Helligkeiten bei ihnen vorliegen, dann aber besonders aus dem Grunde, weil fast alle Sterne der Plejadengruppe demselben Spectraltypus und zwar dem der weissen Sterne angehören und somit eine Vergleichung der photographischen Aufnahmen mit den photometrischen Bestimmungen möglich war. Die Grössenangaben für die Plejaden-

sterne habe ich aus Lindemann's und Pickering's photometrischen Bestimmungen entnommen, dagegen glaubte ich die Pritchard'schen und Wolff'schen Bestimmungen, als auf völlig anderem Wege erhalten, nicht berücksichtigen zu sollen.

Die Aufnahme des Herrn von Gothard ist mit dessen 10zölligem Spiegelteleskope gemacht und zwar mit einer auch für die rothen Strahlen empfindlichen Platte. Die Benutzung solcher Platten ist natürlich nur bei Spiegelteleskopen möglich wegen der völligen Achromasie der letzteren; sie ergibt den Vortheil einer etwas grösseren Empfindlichkeit des photographischen Verfahrens; auch eine gewisse Annäherung an die Auffassung des Auges wird erreicht, jedoch nur in geringem Maasse, da derartige Platten für die gelben und grünen Strahlen wenig empfindlich sind, für welche gerade das Auge das Maximum der Empfindlichkeit besitzt.

Leider war es bei dieser Aufnahme in Folge ungenügenden Ganges des Uhrwerkes nicht vollständig gelungen, die Sterne im Sinne der täglichen Bewegung auf einer Stelle zu halten, die Sterne erscheinen daher auf der Platte alle deformirt*). Auch in Folge der sphärischen Aberration des Spiegels werden die Sterne etwas elliptisch, um so stärker, je grösser die Entfernung vom Mittelpunkt des Gesichtsfeldes ist. Die hierdurch verursachten Ellipsen haben die Eigenschaft, dass ihre grossen Axen alle nach dem Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gerichtet sind. Aus der Combination beider Deformationen sind nun an den verschiedenen Stellen der Platte die Ellipsen sowohl der Richtung der Axen nach, als auch ihrer Excentricität nach von einander verschieden, und es war daher nothwendig, dieselben erst auf Kreise zu reduciren. Ich habe zu diesem Zwecke bei allen Sternscheibchen den grössten und kleinsten Durchmesser gemessen und hiernach den Durchmesser des mittleren Kreises bestimmt unter der Annahme, dass die Flächen von Ellipse und Kreis einander gleich werden müssen; der Durchmesser des mittleren Kreises ist also als $\sqrt{ab}$ anzunehmen, wenn a und b die grossen resp. kleinen Axen der Ellipsen bedeuten. Ich glaube mit dieser Annahme eine Annäherung an die Wahrheit erreicht zu haben, jedenfalls eine grössere als bei Verwendung des einfachen Mittels der Axen. Während nun die Unterschiede in den elliptischen Formen der verschiedenen Sternscheibchen innerhalb derselben Expositionszeit verhältnissmässig gering sind, ist dies bei einer Vergleichung der Sterne bei verschiedenen Expositionszeiten bedeutend weniger der Fall, da hierbei der Einfluss des unregelmässigen Uhganges sehr verschieden gewirkt hat.

Diejenigen Plejadensterne, welche auf Anon. 29 folgen, sind nicht mehr auf der Platte vorhanden; diese und solche Sterne, bei denen die Belichtung während einer Minute keine vollständige Schwärzung des kleinsten Scheibchens bewirkt hatte, fehlen daher in den folgenden Zusammenstellungen.

*) Nach einer späteren Mittheilung des Herrn von Gothard rührt der Haupttheil der Deformation der Sternscheibchen weniger von unregelmässigem Uhgange als von einer fehlerhaften Centrirung des kleinen Spiegels her. Die Fassung des letzteren ist eine derartige, dass in Folge von Temperaturschwankungen die Centrirung desselben auch innerhalb kurzer Zeiträume nicht verbürgt werden kann.

Die Aufnahme, welche ich selbst von den Plejaden erhalten habe, ist mit einem 5zölligen Steinheil'schen Objectiv ausgeführt, welches für die chemischen Strahlen achromatisirt ist, und welches das für die Instrumente zur Herstellung der photographischen Himmelskarte geforderte Verhältniss 1:10 von Oeffnung zu Brennweite besitzt. Dieses Objectiv war provisorisch am Grubb'schen Refractor, dessen Uhrwerk nicht die für die photographischen Aufnahmen nöthigen Erfordernisse in Bezug auf regelmässigen Gang besitzt, angebracht. Auch auf dieser Aufnahme erscheinen daher die Sternscheibchen elliptisch, und zwar noch etwas stärker als auf der Gothard'schen Platte. Da indessen die Lage der grossen Axe dieser Ellipsen auf allen Stellen der Platte dieselbe war, nämlich genau parallel zur täglichen Bewegung, so habe ich mich der Zeitersparniss wegen darauf beschränkt, im allgemeinen nur die kleinen Axen der Ellipsen zu messen und die Excentricität aus einzelnen, ihrer Helligkeit nach gut vertheilten Sternen zu bestimmen um hiernach eine Reduction an die übrigen Messungen anzubringen. Es wurde dies natürlich getrennt für die verschiedenen Expositionszeiten ausgeführt. Die Unterschiede in der Ellipticität bei verschiedenen Expositionszeiten sind auf dieser Platte grösser als auf der Gothard'schen, sie ist überhaupt nicht so gut wie die letztere.

Einige der äussersten Plejadensterne, sowie die Sterne von ungenügender Schwärzung bei 1 Minute Exposition sind ausgeschlossen worden.

Die Messungen der Sternscheibchen wurden mit einem Repsold'schen Messapparate ausgeführt, und beruht die Durchmesserbestimmung bei den meisten Sternen auf je einmaliger Einstellung des Fadens auf die Ränder. Aus den wiederholten Durchmesserbestimmungen hat sich ergeben, dass die mittlere Abweichung für die gemessenen Durchmesser 1% beträgt, für die Gothard'sche Platte noch etwas weniger. Diese Genauigkeit erschien mir gegenüber den von der Ellipticität herrührenden Fehlern genügend, besonders, da bei der Ableitung von wichtigeren Resultaten Mittelwerthe aus mehreren Sternen benutzt wurden.

Eine Plejadenaufnahme mit dem grossen Pariser Instrumente wäre für meine Zwecke viel geeigneter gewesen, weil hier eine völlig runde Gestalt der Sternscheibchen zu erwarten gewesen wäre; ich habe mich auch um eine solche bemüht, aber bis jetzt leider keine erhalten können.

Um nun wenigstens eine Prüfung zu besitzen, ob und in welchem Maasse die elliptische Form der Sternscheibchen von schädlichem Einfluss gewesen ist, bin ich auf den Gedanken gekommen, die künstlichen Sterne eines Zöllner'schen Photometers zu photographiren. Ich benutzte hierzu das grosse Potsdamer Photometer; das reelle Bild des Diaphragmas wurde von einer Entfernung von 2 Metern aus mit einem kleinen, für die chemischen Strahlen achromatisirten Objective aufgenommen. Diese Aufnahmen wurden sowohl bei verschiedenen Expositionszeiten als auch bei verschiedener Helligkeit des Sterns — den Grössen 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 entsprechend — angestellt.

Die so erhaltenen Sternscheibchen sind im allgemeinen vollkommen rund, sie besitzen aber am Rande kleine Hervorragungen, die indessen die Messungen nur wenig gestört haben. Diese Hervorragungen rühren her

von der nicht völlig gleichmässigen Intensität des Lichts innerhalb der Sternscheibchen, in Folge des Durchganges des Lichts durch die verschiedenen optischen Systeme, es sind nicht wirkliche Deformationen.

Wegen ungenügender Focussirung habe ich den grössten Theil dieser Aufnahmen von künstlichen Sternen verwerfen müssen, dagegen sind die beiden letzten Platten Nr. 5 und 6 sehr gut gelungen und haben sich zum Messen brauchbar gezeigt.

Bei der nun folgenden Mittheilung der Messungsergebnisse sind die Durchmesser der Sternscheibchen in Bogensekunden angegeben. Die Bezeichnung der Sterne ist die Bessel'sche. Für die Zusammenfassung in Gruppen ist der mittlere Durchmesser aus allen Expositionszeiten massgebend gewesen.

1. Plejadenaufnahmen des Herrn von Gothard.

Bezeichnung	Expositionszeit				
	1 ^m	2 ^m	4 ^m	8 ^m	16 ^m
I 12"-16"	11	6.0	10.3	11.7	17.4
	6	8.4	11.3	12.5	16.7
	15	8.7	12.3	14.4	19.5
	13	11.1	13.1	15.0	20.4
	27	10.4	13.3	14.8	20.1
Mittel		8.9	12.1	13.7	16.8
II 16"-20"	21	10.7	14.2	14.9	21.4
	2	10.6	14.3	15.9	21.1
	9	13.5	13.8	15.1	21.2
	18	12.2	15.6	16.7	21.4
	1	12.3	15.6	16.9	21.5
	7	12.8	15.8	17.9	22.6
	17	13.9	17.2	18.3	22.3
III 20"-24"	20	14.4	17.7	18.9	21.8
	10	15.6	18.9	19.5	24.2
	22	14.8	18.8	19.6	23.1
	29	17.2	19.4	19.6	22.9
	19	15.9	19.6	20.0	23.2
IV 24"-30"	4	16.5	19.9	20.6	22.7
	12	19.7	22.0	22.5	25.6
	12	19.7	22.0	22.5	26.9
Mittel		16.6	19.8	20.3	23.2
V 30"-40"	24	18.4	20.6	21.2	24.4
	l	20.8	22.9	23.6	27.1
	p	20.2	23.5	24.6	27.0
	k	22.0	24.9	26.6	28.7
	g	24.6	27.0	28.4	31.4
Mittel		21.2	23.8	24.9	27.7
VI 36"-44"	e	29.6	30.8	32.9	35.3
	d	28.6	30.8	33.0	36.5
	c	30.3	34.1	35.5	39.1
	b	30.0	32.5	35.1	41.9
	η	33.9	36.7	38.3	43.8
Mittel		30.5	33.0	34.9	39.3

2. Eigene Aufnahme.

Bezeichnung	Expositionszeit				
	1 ^m	2 ^m	4 ^m	8 ^m	16 ^m
I 9"-15"	14	7.9	7.2	8.2	11.5
	11	7.9	8.0	9.8	11.9
	13	10.1	12.8	12.7	14.4
	15	10.1	10.7	14.0	18.1
Mittel		9.0	9.7	11.2	14.0
II 15"-17"	1	10.8	13.9	14.4	18.2
	30	11.3	12.3	13.6	19.2
	7	12.4	15.1	13.5	15.9
	23	10.9	12.4	14.3	19.7
	18	11.9	13.1	15.6	18.4
III 17"-22"	9	10.1	15.2	15.0	19.4
	9	10.1	15.2	15.0	19.4
Mittel		11.2	13.7	14.4	18.5
IV 22"-24"	22	10.6	15.5	15.4	21.1
	19	12.9	17.2	16.0	19.2
	4	16.9	17.0	19.6	21.3
	10	15.3	17.8	19.7	23.4
	38	16.3	18.1	20.6	23.7
Mittel		14.4	17.1	18.1	21.7
V 28"-36"	24	16.9	20.1	20.9	25.6
	34	18.7	18.2	21.9	25.4
	40	17.2	19.9	23.9	24.4
	p	18.5	21.3	23.1	25.9
	28	18.5	21.4	27.2	29.8
Mittel		18.0	20.2	23.4	26.2
VI 36"-44"	g	21.9	24.8	29.4	33.4
	h	23.6	25.7	29.5	37.0
	d	23.7	31.1	36.2	39.3
	e	27.1	32.1	38.0	40.4
Mittel		24.1	28.4	33.3	37.5
VII 44"-52"	c	27.5	31.5	40.7	42.4
	b	28.1	31.7	37.6	41.5
	f	28.0	35.4	41.6	46.5
	η	31.8	41.3	42.1	41.9
Mittel		28.9	35.0	40.5	43.1

3. Aufnahmen von Photometer-Sternen.

Platte Nr. 5.

16^m Expositionszeit.

Grösse	1	2	3	4
Durchmesser	55".5	46".0	30".2	16".5

Platte Nr. 6.

Expositionszt.	1 ^m	2 ^m	4 ^m	8 ^m	16 ^m
Durchmesser	17".8	21".3	30".8	39".1	58".2

Um nun einen Ueberblick zu geben, in welcher Weise sich die obigen Durchmesser an die photometrisch bestimmten Grössenangaben anschliessen, habe ich im folgenden die Mittel der Durchmesser aus den 5 verschiedenen Expositionszeiten mit den Grössen der betreffenden Plejadensterne zusammengestellt, wobei die Sterne nach den Grössen geordnet sind. Unter *G* stehen die Werthe aus der Gotthard'schen Platte, unter *S* diejenigen der hiesigen Aufnahme.

Bez.	Grösse	<i>G</i>	<i>S</i>
<i>η</i>	3.0	40.2	43.3
<i>f</i>	3.7	—	40.7
<i>b</i>	3.8	37.1	38.4
<i>c</i>	4.0	36.6	38.0
<i>e</i>	4.2	33.4	36.4
<i>d</i>	4.4	34.0	35.2
<i>h</i>	5.2	—	30.9
<i>g</i>	5.3	28.8	28.7
28	5.4	—	26.3
18 <i>m</i>	5.5	—	—
<i>k</i>	5.7	26.6	—
34	6.0	—	22.9
24 <i>p</i>	6.0	24.8	23.2
22 <i>l</i>	6.2	24.7	—
26 <i>s</i>	6.2	—	20.2
24	6.4	22.2	22.3
32	6.4	—	—
12	6.5	23.3	—
40	6.6	—	23.2
38	6.6	—	21.1
17	6.6	18.6	16.0
29	6.6	20.4	—
19	6.7	20.8	17.8
10	6.9	20.1	20.3
4	6.9	21.1	20.1
22	6.9	20.2	17.0
8	7.0	16.1	12.7
20	7.2	19.1	—
39	7.2	—	—
37	7.2	—	—
9	7.4	16.7	16.1
31	7.4	—	—
25	7.4	—	9.2
23	7.5	—	15.6
7	7.5	18.0	15.5
33	7.8	—	—
30	7.8	—	15.4
1	7.9	17.2	15.4
27	8.0	15.5	—
13	8.1	15.5	13.5
2	8.1	16.2	—
18	8.2	17.1	15.8
15	8.3	14.5	14.5
21	8.3	16.1	—
26	8.6	—	—
14	8.9	—	9.2
11	9.0	12.0	10.4
6	9.1	12.7	—

Die nahe Uebereinstimmung der Durchmesser auf den beiden Platten ist nur dem Zufalle zuzuschreiben.

Die Regelmässigkeit dagegen, mit welcher die Durchmesser mit den Sterngrössen abnehmen, lässt jedenfalls nichts zu wünschen übrig, besonders wenn man bedenkt, dass wenigstens bei den helleren Sternen in Folge der schwierigeren Durchmesserbestimmung auch bei diesen Mittelzahlen Unsicherheiten bis zu 1" in den obigen Zahlen vorkommen können.

Eine starke Abweichung, bei beiden Platten in demselben Sinne auftretend, zeigt der Stern 8; er ist auf beiden Aufnahmen zu schwach. Es ist dies vollständig durch Annahme einer röthlichen Färbung dieses Sterns zu erklären, doch ist es auffallend, dass auch bei Lindemann die Beobachtungen dieses Sterns stark von einander abweichen, was derselbe aus der störenden Nähe von 9 erklärt. Eine solche Erklärung ist natürlich bei photographischen Aufnahmen nicht zulässig; es bleibt daher als Ursache der Abweichung nur röthliche Färbung oder geringe Veränderlichkeit übrig. Andere stärkere Abweichungen, die aber nicht ausgesprochen auf beiden Platten auftreten, zeigen noch die Sterne 26 *s*, 17 und 25.

Bei 25 findet Lindemann ebenfalls schlechte Uebereinstimmung, und den Stern 26 *s* bezeichnet derselbe als wahrscheinlich veränderlich. Für den Stern 17 findet sich keine Erklärung bei Lindemann. Da der Grund der schlechten Uebereinstimmungen wohl nicht in den Durchmesserbestimmungen liegen kann, derselbe vielmehr durch Färbung oder geringe Veränderlichkeit zu erklären sein wird, so habe ich mich für berechtigt gehalten, auf der betreffenden Platte diese Sterne auszuschliessen, sie sind daher auch nicht in der Gruppenzusammenstellung aufgenommen worden.

Geht man nun zu den in der obigen Gruppe gefundenen Mittelzahlen über und behandelt hierbei die verschiedenen Expositionszeiten getrennt, so überzeugt man sich leicht bei graphischer Darstellung, dass sowohl bei den beiden Plejadenaufnahmen, als auch bei der Aufnahme im Photometer, Platte 5, die Durchmesser proportional mit den Sterngrössen wachsen.

Die rechnerische Ausgleichung giebt nun die folgenden Relationen zwischen Durchmesser und Sterngrösse.

1. Plejadenaufnahme *G*.

Expositionszeit	Durchmesser =
1 ^m	17".7 + 4".99 (6 ^m 6 — Magn.)
2	20.7 + 4.57 (6.6 — Magn.)
4	22.0 + 4.67 (6.6 — Magn.)
8	25.1 + 4.89 (6.6 — Magn.)
16	27.4 + 5.39 (6.6 — Magn.)

2. Plejadenaufnahme *S*.

Expositionszeit	Durchmesser =
1 ^m	17".4 + 4".12 (6 ^m 3 — Magn.)
2	20.4 + 5.09 (6.3 — Magn.)
4	23.3 + 5.47 (6.3 — Magn.)
8	26.7 + 5.89 (6.3 — Magn.)
16	30.5 + 7.51 (6.3 — Magn.)

3. Photometer-Sterne.

Expositionszeit 16^m.Durchmesser = 37^m1 + 13^m7 (2^m5 — Magn.)

Die bei diesen Ausgleichungen in den Mittelzahlen übrig bleibenden Fehler im Sinne R — B sind die folgenden:

Platte G.

Expos.-Zeit	8 ^m 5	7 ^m 7	6 ^m 8	5 ^m 9	3 ^m 9
1 ^m	—0 ^m .7	—0 ^m .3	+0 ^m .1	+0 ^m .1	+0 ^m .6
2	—0.1	+0.1	0.0	+0.1	0.0
4	—0.5	0.0	+0.8	+0.4	—0.3
8	—0.3	—0.4	+1.0	+0.8	—1.0
16	—1.8	—0.3	+1.3	+1.7	—1.6

Platte S.

Expos.-Zeit	8 ^m 5	7 ^m 7	6 ^m 8	6 ^m 1	4 ^m 8	3 ^m 6
1 ^m	—1 ^m .1	+0 ^m .5	+1 ^m .0	+0 ^m .2	—0 ^m .5	—0 ^m .4
2	0.0	—0.8	+0.8	+1.2	—0.4	—0.8
4	—0.5	+1.4	+2.4	+1.0	—1.8	—2.4
8	—0.8	—0.1	+2.1	+1.6	—2.2	—0.5
16	—2.2	—0.2	+2.2	+2.0	+1.0	—2.0

Platte 5.

Expos.-Zeit	4 ^m 0	3 ^m 0	2 ^m 0	1 ^m 0
16 ^m	+0 ^m .1	+0 ^m .1	—2 ^m .1	+2 ^m .1

Man wird im allgemeinen die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung auf allen drei Platten eine genügende nennen können, da man von einer gewissen Regelmässigkeit im Auftreten der Vorzeichen wegen der Kleinheit der Fehler praktisch absehen kann. Auf den Gothard'schen Aufnahmen werden die Fehler erst bei der Expositionszeit von 16^m einigermassen gross. Das wichtigste ist jedenfalls, dass die Ausgleichung durch eine gerade Linie sowohl bei den Aufnahmen am Himmel, als auch bei den künstlichen Photometer-Sternen übereinstimmend erlaubt ist, und ich glaube mithin auf Grund des vorliegenden Materials den Satz aussprechen zu dürfen, dass die Durchmesser der Sternscheibchen proportional den Sterngrössen zunehmen, dass es mithin keine Schwierigkeit bietet, aus einigen Sternen einer Aufnahme die Grössen aller übrigen Sterne zu bestimmen.

Obgleich bereits im Vorigen eine Zusammenstellung der Fehler gegeben ist, welche in den Mittelzahlen bei der Berechnung durch die Formel übrig bleiben, habe ich es nicht für überflüssig gehalten, auch das Verhalten der Einzelmessungen gegen die empirische Ausgleichung festzustellen.

Die folgende Tabelle giebt die Differenzen der aus den berechneten Durchmessern folgenden Grössen gegen die photometrisch bestimmten, bei allen Sternen der beiden Platten, und zwar für die G-Platte bei der Expositionszeit von 4^m, bei der S-Platte für diejenige von 2^m.

Bez.	G-Platte	S-Platte
<i>η</i>	+0.10	—0.32
<i>f</i>	—	—0.34
<i>b</i>	0.00	+0.30
<i>c</i>	—0.28	+0.12
<i>e</i>	+0.06	—0.20
<i>d</i>	—0.14	—0.20
<i>h</i>	—	+0.06
<i>g</i>	—0.06	+0.14
28	—	+0.12
<i>k</i>	—0.08	—
34	—	+0.14
24 <i>p</i>	+0.04	+0.22
22 <i>l</i>	—0.06	—
24	+0.34	+0.16
12	—0.16	—
40	—	—0.20
38	—	+0.16
29	+0.48	—
19	+0.30	+0.24
10	+0.22	—0.10
4	0.00	+0.06
22	+0.20	+0.36
20	+0.06	—
9	+0.64	—0.08
23	—	+0.38
7	—0.02	—0.16
30	—	+0.08
1	—0.20	—0.34
27	+0.14	—
13	0.00	—0.32
2	—0.18	—
18	—0.44	—0.48
15	—0.06	—0.10
21	—0.16	—
14	—	—0.02
11	—0.18	—0.28
6	—0.44	—

Hiernach ist die Uebereinstimmung für die G-Platte jedenfalls eine gute und für die S-Platte auch noch eine befriedigende. Die Abweichungen betragen im Mittel für die G-Platte 0.14 Grössenklassen und für die andere 0.22. Abweichungen von 1 bis 2 Zehnteln einer Grössenklasse sind auch bei den zu Grunde gelegten photometrischen Grössenangaben nicht unwahrscheinlich.

Die Zahlen der Tabelle können wohl zur Bestätigung des oben aufgestellten Gesetzes dienen, aber zu weiteren Schlüssen und zur Berechnung wahrscheinlicher Fehler sind sie nicht geeignet, einmal weil alle Sterne zur Herleitung der Formel benutzt worden sind, während dies später in der Praxis nur aus einigen geschehen kann, dann aber auch, weil die Ellipticität der Sternscheibchen die Durchmesserbestimmung in einer nicht kontrollirbaren Weise verschlechtert hat. Ich zweifle nicht, dass man bei tadellosen Aufnahmen eine bedeutend bessere Uebereinstimmung erhalten wird.

Ich gehe nun zur Besprechung des Verhaltens der photographischen Sternscheibchen bei verschiedenen Expositionszeiten über, wobei ich auf den schon früher erwähnten Punkt aufmerksam mache, dass hierzu das Material bedeutend weniger geeignet ist, wegen der Verschiedenheit der Ellipticität der Sternscheibchen bei den verschiedenen Expositionszeiten. Frei jedoch von diesem Uebelstande ist die Aufnahme am Photometer, Platte 6.

Bei der Unsicherheit des Materials habe ich mich nur auf graphische Ausgleichungen beschränkt. Die Platte 6 ergibt nun eine sehr gute Darstellung, wenn man annimmt, dass die Zunahmen der Durchmesser den Quadratwurzeln aus den Expositionszeiten proportional verlaufen. Diese Annahme giebt die folgende Darstellung.

Expositionszeit	16 ^m	8 ^m	4 ^m	2 ^m	1 ^m
beob. Durchm.	58 ^o 0	42 ⁷	30 ⁸	20 ¹	16 ⁸
berechn. Durchm.	58.2	39.1	30.8	21.3	17.8

Diesem Resultate widersprechen die Plejadenaufnahmen, bei ihnen erhält man eine bessere Uebereinstimmung, wenn man annimmt, dass die Zunahme der Durchmesser gleichmässig erfolgt, wenn die Expositionszeiten eine geometrische Progression darstellen. Falls dieser Widerspruch von der Deformation der Sternscheibchen herrührt, wäre er zu Gunsten der Aufnahme am Photometer zu entscheiden. Wie diese Entscheidung aber auch ausfallen möge, jedenfalls folgt aus der Vergleichung der Coefficienten, welche die Vergrösserung der Sternscheibchen für eine Grössenklasse darstellen, dass dieselben bei der G-Platte nahe übereinstimmen. Nur der letzte dieser Coefficienten, für die hellsten Sterne geltend, weicht etwas stärker ab, was aus den eingangs erwähnten Umständen erklärlich erscheint. Die entsprechenden Coefficienten auf der S-Platte zeigen dagegen einen deutlichen Gang, der indessen nicht so sehr bedeutend ist, wenn man auch hier den letzten Werth aus den hellsten Sternen unberücksichtigt lässt.

Innerhalb der mittleren Grössenklassen ist die Aenderung der Coefficienten mit der Expositionszeit jedenfalls eine geringe. Ich hatte früher (Astr. Nachr. Nr. 2818) auf Grund einer kleinen Anzahl von Durchmesserbestimmungen auf einer Pariser Aufnahme die Befürchtung ausgesprochen, dass es schwierig sein würde, von den Grössen einer Platte auf die einer anderen überzugehen, da die wechselnden Luftzustände ähnlich wirken, wie Aenderungen in der Expositionszeit. Diese Befürchtung ist nun nicht bestätigt, sondern die Coefficienten zeigen, dass eine geringe Veränderung der Expositionszeit, insofern sie durch die Verschiedenheit der Luftzustände bedingt ist, wenn man überhaupt nur bei guter Luft photographische Aufnahmen macht, nur eine für alle Sterne einer Platte constante Aenderung des Durchmessers der Sternscheibchen bewirkt, dass es also ein leichtes ist, eine Platte auf eine andere zu reduciren.

Aus den in diesen Untersuchungen gemachten Erfahrungen glaube ich nun die folgende Anwendung auf die Grössenbestimmungen bei photographischen Stern-Aufnahmen, die mit demselben Instrumente und bei nominell gleicher Expositionszeit gemacht sind — Verhältnisse wie sie bei

der Herstellung der photographischen Himmelskarte vorliegen — geben zu können.

Man wird zunächst auf einigen Aufnahmen eine Anzahl von Sterndurchmessern bei Sternen der verschiedensten Grössenklassen messen und diese Durchmesser mit den bekannten Grössenangaben der betreffenden Sterne vergleichen. Hierbei wird man entweder vorher durch Betrachtung im Fernrohr, wenn möglich mit dem Spectroskope, alle Sterne, die nicht der 1. Spectralclass angehören, aufsuchen, oder auch solche Sterne durch die Vergleichung selbst ermitteln und ausschliessen, und aus den übrigen eine mittlere Formel ableiten. Der der mittleren Sterngrösse entsprechende Normalwerth des Durchmessers wird je nach dem Luftzustande auf den verschiedenen Platten etwas verschieden ausfallen. Eine Vergleichung der an den Rändern der Aufnahmen übergreifenden Theile gestattet dann die Anbringung einer für alle Grössenklassen constanten Reduction auf die anschliessenden Platten. Will man diese Reduction vermeiden, so muss auf jeder Platte eine Anzahl von Sternen zur Ermittlung dieses Normalwerthes verglichen werden.

Das hier vorgeschlagene Verfahren wird man indessen nur dann anzuwenden haben, wenn es sich darum handelt, die Sterngrössen mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln.

Will man sich mit einer Genauigkeit begnügen, wie sie etwa bei Durchmusterungen oder Zonenbeobachtungen erreicht wird, so stellt sich die Sache sehr viel einfacher. Meiner Ansicht nach ist man nämlich nach einiger Uebung im Stande, aus der blossen Betrachtung der Sternscheibchen beim Messen unter dem Mikroskope der oben angedeuteten Genauigkeit entsprechende Grössenschätzungen auszuführen, wobei der Einfluss des bei der Aufnahme stattgehabten Luftzustandes ähnlich wie bei directen Schätzungen wirken würde. Es ist im allgemeinen nur schwieriger, den Durchmesser von Scheibchen im Gedächtnisse festzuhalten als die Intensität der Sterne. Die Anbringung einer im Gesichtsfelde des Mikroskopes sichtbaren Durchmesserscala — am besten wohl wirkliche schwarze Scheibchen, etwa jeder Grössenklasse entsprechend — würde diesen Uebelstand indessen vollständig beseitigen und eine gleichmässige Schätzung der Durchmesser und damit der Sterngrössen ermöglichen.

Ich möchte noch einige Bemerkungen über die Ursachen anknüpfen, welche die Zunahme der Sternscheibchen-Durchmesser bei stärkerer Intensität oder bei längerer Expositionszeit bewirken. Auf den ersten Blick konnte man vermuthen, dass dies eine Folge der das Sternbild umgebenden Interferenzringe sei, die allmählich auf der Platte zur Wirkung kommen. Man kann sich indessen leicht überzeugen, dass die Interferenzringe nur sehr wenig und nur bei den kleinsten Scheibchen zur Vermehrung des Durchmessers beitragen können.

Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass auf der Gothard'schen Platte der Durchmesser des kleinsten Scheibchens etwa 6" beträgt, während er theoretisch unter 1" liegen sollte, erhält man die folgenden Durchmesser der 6 ersten Interferenzringe mit den beigeschriebenen Maximalintensitäten, wenn die Intensität in der Mitte des Sternscheibchens zu 1 angenommen wird.

Ring	<i>D</i>	<i>f</i>
1	8.8	0.0175
2	10.5	0.0042
3	12.3	0.0016
4	14.0	0.0008
5	15.7	0.0004
6	17.4	0.0002

Einem Sternscheibchen vom Durchmesser des 1. Ringes entspricht nun die Sterngrösse 9, dem des 6. Ringes die Grösse 7. Während nun die Durchmesserzunahme von 9" auf 17" einer Vermehrung der Intensität um etwa das 6fache entspricht, hat die Intensität an den Rändern in Folge der Interferenz nur ungefähr $\frac{1}{30}$ abgenommen. Die Maximalintensität in Folge der Interferenz beträgt hier überhaupt nur noch $\frac{2}{10000}$ der Intensitätseinheit, ein merklicher Einfluss desselben auf die photographische Platte ist also ausgeschlossen. Es fragt sich nun, welche andere Ursache zur Erklärung herbeigezogen werden kann, und ich glaube, dieselbe in der Reflexion des Lichtes von den beleuchteten Bromsilberpartikelchen zu finden.

Die empfindliche Schicht der photographischen Platte — Gelatine, in welcher feine Bromsilbertheilchen suspendirt sind — hat ein ganz ähnliches Verhalten wie Milchglas; sie ist vollständig undurchsichtig aber sehr durchscheinend. Die vom Objectiv beleuchtete kleine Stelle dieser Schicht, ein kleines kreisrundes Scheibchen, eventuell unter Hinzunahme der ersten Interferenzringe, hat demnach die Eigenschaft einer selbstleuchtenden Fläche und sendet nach allen Richtungen Lichtstrahlen aus, also auch seitlich in das Innere der Schicht. Diese seitlich eindringenden Strahlen wirken auf die nächsten Bromsilberpartikelchen ein, genau wie direct auffallendes Licht. Es findet also scheinbar ein Uebergreifen der chemischen Wirkung statt, welche Erscheinung man früher als chemische Irradiation bezeichnete. Bei der sehr dichten Vertheilung des Bromsilbers muss natürlich die Abnahme des reflectirten Lichtes nach aussen hin eine sehr starke sein, und dementsprechend ist die hauptsächlich aus der eben beschriebenen Ursache herrührende Verwaschenheit der Ränder bei guten Objectiven oder Spiegeln nur sehr gering.

Es ist nun leicht verständlich, weshalb eine Vermehrung der Intensität des auffallenden Lichtes, oder eine solche der Expositionszeit eine Vergrösserung des Durchmessers der Sternscheibchen bewirkt, und man würde die Richtigkeit der oben gefundenen Beziehungen zwischen Durchmesser einerseits und Intensität oder Expositionszeit andererseits prüfen können, falls die Function, nach welcher die Intensität des in die Schicht reflectirten Lichtes vom Abstände abhängt, bekannt wäre.

Umgekehrt könnte man versuchen, aus den gefundenen Beziehungen das Gesetz der Intensitätsabnahme herzuleiten; voraussichtlich wird dieses aber sehr complicirter Natur sein.

Potsdam, 1889 Febr. Königl. Observatorium.

Zusatz.

Der mir erst nach Abschluss dieser Untersuchungen bekannt gewordene Aufsatz des Herrn Dr. Battermann, über die Gestalt der Bilder ausserhalb der optischen Axe, Astr. Nachr. Nr. 2878–80, giebt mir Veranlassung zu einigen nachträglichen Bemerkungen.

Die von Herrn Battermann theoretisch hergeleitete Deformation der Bilder ausserhalb der optischen Axe, die ja auch in der vorstehenden Untersuchung eine Rolle spielt, stimmt durchaus mit den praktischen Ergebnissen an Sternaufnahmen überein; auch die Erscheinung der cometenartigen Bilder tritt bei grossen Abständen von der optischen Axe auf, und dürfte allen denjenigen Astronomen, die sich mit Sternphotographien beschäftigt haben, bekannt sein.

Herr Battermann giebt zum Schlusse seiner Untersuchungen einige Vorschläge betreffs möglicher Vermeidung der aus der Distorsion entstehenden Fehler bei photographischen Sternaufnahmen und bemerkt z. B., dass »für die genaue Berechnung photographischer Messungen allein ein System von Polarcordinaten, mit dem Pol in der optischen Axe« geeignet sei. Diese Bemerkung und auch die übrigen ausgesprochenen Befürchtungen über den Einfluss der Distorsion auf die Genauigkeit der Ausmessung bei Sternphotographien und über eine hierbei auftretende Abhängigkeit von der Expositionsdauer würde Herr Battermann bei Verfolgung der Literatur über diesen Gegenstand vielleicht nicht zum Ausdruck gebracht haben.

Herr Professor Thiele hat umfangreiche Untersuchungen über die Genauigkeit der Ausmessung photographischer Sternaufnahmen an Henry'schen Platten angestellt, die sich auf Sterndistanzen an sehr verschiedenen Stellen der Platten bis zu beträchtlichen Abständen von der optischen Axe beziehen, und hat gefunden, dass erst an den Rändern solcher Aufnahmen ein mittlerer Fehler der Position von 0.2 erreicht wird.

In Nr. 2818 der Astr. Nachr. habe ich ebenfalls Messungen an einer Henry'schen Platte mitgetheilt, die einen Einfluss der Expositionszeit nicht erkennen lassen, und die im Vergleich mit Meridianbeobachtungen durchaus als letzteren an relativer Genauigkeit gleichstehend betrachtet werden können. Diese Messungen bezogen sich auf Distanzen bis zu 30' bei sehr verschiedenen Abständen vom Mittelpunkt des Gesichtsfeldes.

Bei der Herstellung eines Sternkataloges aus photographischen Aufnahmen wird die Benutzung eines Vergleichsgitters von 5^{mm} Strichdistanz voraussichtlich in Anwendung kommen, und wenn die oben citirten Messungen ergeben haben, dass die Genauigkeit bei Distanzen von 30^{mm} noch eine beträchtliche ist, so wird man bei Benutzung eines solchen Gitters und einer genügenden Zahl von Anhaltsternen keine weiteren Befürchtungen über einen merklich schädlichen Einfluss der Distorsion zu hegen haben, auch wenn man im Sinne rechtwinkliger Coordinaten misst, wie dies im Interesse der Einfachheit sehr zu wünschen sein wird.

Potsdam 1889 März 1.

Sch.