Untersuchungen über die Radialgeschwindigkeit des Sirius

in den Jahren 1901-1910.

Von *W. Münch*.

Die von den Herren Professoren Eberhard und Ludendorff in den Jahren 1901 bis 1910 mit dem am photographischen 32.5 cm-Refraktor des Astrophysikalischen Observatoriums angebrachten Spektrographen IV aufgenommenen Siriuspektren wurden zum größten Teil bereits im Jahre 1908 ausgemessen. Im Jahre 1910 wurden drei Platten aus diesem Jahre gemessen und einige Kontrollmessungen ausgeführt.

Der Spektrograph IV ist ausführlich von Eberhard ¹⁾ beschrieben worden. Bei der zuerst gegebenen Neigung der Kamera brachte er das Spektrum von λ 4415 bis λ 4251, linear eine Strecke von 9.8 mm, infolge einer späteren Änderung der Kameraneigung die Strecke von λ 4531 bis λ 4294, linear 12.8 mm, zu scharfer Abbildung. In der ersten Stellung der Kamera wurden die Platten 463 bis 997, in der zweiten die Platten 1319 bis 2529 aufgenommen. Die Breite der Spektren betrug im Durchschnitt etwa 0.2 mm, so daß die Linien im Spektrum nicht merklich von einer Geraden abwichen. Die Reduktion des Sternspektrums auf das Vergleichseisenspektrum für Linienkrümmung wurde nach der von Eberhard berechneten Tafel ausgeführt. Das Korrektionsglied für nicht symmetrische Lagerung des Spektrums zwischen den Vergleichsspektren konnte dabei in allen Fällen vernachlässigt werden. Als Vergleichsspektrum wurde bei den Platten 463 bis 555 das Eisenfunkenspektrum, bei den Platten 991 bis 2529 das Eisenbogenspektrum verwendet, und zwar wurde es vor und nach der Aufnahme des Sternspektrums aufgenommen. Gemessen wurde auf den Eisenlinien gewöhnlich eine Stelle, die nicht weit vom inneren Endpunkte der Eisenlinien entfernt lag, und zwar betrug die Distanz dieser Punkte auf dem oberen und unteren Eisenspektrum bei den Funkenspektren im allgemeinen etwa 0.65-0.7 mm, bei den Bogenspektren etwa 0.35-0.4 mm. Fast sämtliche Stern- und Eisenlinien wurden mit einem einfachen Faden durch Bisezieren gemessen, nur einige wenige sehr schwache Linien gelegentlich durch Berührung auf beiden Seiten der Linie. Eine Differenz in der Einstellung habe ich bei mir nicht konstatieren können.

Die Ausmessung der Spektren erfolgte mit dem ebenfalls von Eberhard ²⁾ beschriebenen Meßapparat IV des Observatoriums bei etwa 14.5 facher Vergrößerung. Die periodischen Fehler waren verschwindend klein, wie auch eine 1905 von mir vorgenommene Nachprüfung bestätigte. Die fortschreitenden Fehler wurden 1905 von mir aufs neue bestimmt und zeigten im wesentlichen denselben Verlauf wie bei Eberhard, nur daß die Kurve im ganzen flacher geworden war, wie die folgenden Zahlen zeigen.

Korrekturen für fortschreitende Fehler.

Rev.	Eberhard	Münch	Rev.	Eberhard	Münch
0	$+0^R_{000}$	$+0^R_{000}$	50	$+0^R_{002}$	$+0^R_{001}$
5	+	3	55	+	1
10	+	5	60		0
15	+	5	65	--	1
20	+	6	70	--	2
25	+	6	75	--	2
30	+	6	80	--	1
35	+	5	85		--
40	+	4	90		--
45	+	3	95		--
50	+	2	100		0

Sämtliche Messungen von 1908 sind dementsprechend für den fortschreitenden Fehler der Schraube korrigiert worden. Da nach einer Untersuchung der Schraube von Ludendorff im Jahre 1910 auch die fortschreitenden Fehler so klein geworden waren, daß sie vernachlässigt werden konnten, sind bei den Messungen von 1910 keine Korrekturen mehr wegen Schraubenfehler angebracht worden.

Sämtliche Platten wurden in zwei Lagen gemessen und zwar

Lage I rot links im Mikroskop

Lage II rot rechts im Mikroskop

und die Messungen von Lage II durch Subtraktion auf Lage I reduziert. Die Fadenneigung wurde vor jeder Messungsreihe hinreichend korrigiert. Die Messungen erfolgten dann in jeder Lage fortlaufend nur in einer Richtung, jedoch habe ich mich zum Schluß einer jeden Messungsreihe durch Einstellen auf die zuerst gemessenen Linien überzeugt, daß keine Verschiebung der Platte während der Messungen stattgefunden hatte. Es ist in der Tat nie eine solche bemerkt worden. Um eventuellen Änderungen der persönlichen Auffassung keinen der Zeit proportionalen Eingang in die Spektren zu gestatten, wurden die Spektren nicht in ihrer zeitlichen Reihenfolge gemessen. Es haben sich solche Änderungen übrigens nicht konstatieren lassen.

Die Reduktion der Messungen erfolgte nach der von Herrn Hartmann ³⁾ angegebenen Methode und zwar in der ihr von Ludendorff und Eberhard ⁴⁾ gegebenen Form, die sich hier empfahl, da auf den verschiedenen Platten nicht immer nur dieselben Linien gemessen wurden, sondern gewöhnlich alles, was irgend gemessen werden konnte.

¹⁾ Publ. des Astrophys. Observatoriums zu Potsdam Nr. 54 und Zeitschrift für Instrumentenkunde 1910 S. 29.

²⁾ Publ. des Astrophys. Observatoriums zu Potsdam Nr. 54 S. 107.

³⁾ A. N. 3702-04.

⁴⁾ A. N. 4366.

Die folgende Zusammenstellung gibt sämtliche mit Spektrograph IV aufgenommenen Siriuspektren außer Platte 993, die nicht von mir ausgemessen wurde, da die Eisenlinien des Vergleichsspektrums unscharf und verwaschen waren. Sämt-

liche Aufnahmen wurden in derselben Kreislage, Achse voran, also auch derselben Lage des Spektrographen, Kamera oben, und bei einer Spaltweite von etwa 0.01 bis 0.015 mm aufgenommen.

Platten-Nr.	Datum	M. E. Z. d. Mitte d. Belichtung	Zugehöriger Stundenwinkel	Be- licht- Dauer	Prismtemperatur		Bemerkungen
					Anfang	Ende	
463	1901 Jan. 23	9 ^h 35 ^m	— 1 ^h 3 ^m 5	10 ^m	+ 3° 79	+ 3° 77	
464	» 23	10 5	— 0 33.5	10	+ 3.73	+ 3.74	
480	Febr. 8	9 45	+ 0 9.5	10	+ 0.76	+ 0.76	
481	» 8	10 0	+ 0 24.5	10	+ 0.77	+ 0.77	
539	März 26	7 37	+ 1 2.5	30	+ 0.75	+ 0.82	Diapositivplatte
540	» 26	8 38	+ 2 3.7	40	+ 0.80	+ 0.80	Diapositivplatte
555	April 2	7 35	+ 1 28.1	30	+ 11.18	+ 11.10	
991	1902 April 2	7 11	+ 1 3.1	8	+ 9° 39		
992	» 2	7 21	+ 1 13.1	8	+ 9.35		
997	» 9	7 34	+ 1 53.7	40	+ 7.52	+ 7.53	Diapositivplatte
1319	1903 Jan. 13	10 36	— 0 43.9	12	— 3.89		
1320	» 13	10 50.5	— 0 29.3	5	— 3.6?		
1327	» 17	10 10	— 0 54.2	40	— 6.09	— 6.05	Diapositivplatte
1333	» 18	10 7.5	— 0 52.8	15	— 6.68	— 6.68	
1377	Febr. 16	8 29	— 0 37.1	8			
1378	» 16	9 0	— 0 6.0	40	+ 0.01	— 0.02	Diapositivplatte
1399	März 12	8 11	+ 0 39.4	8	+ 5.61		
1616	1904 März 26	7 8.5	+ 0 35.0	13	+ 10.67	+ 10.77	
1617	» 26	7 23	+ 0 49.5	14	+ 10.77	+ 10.86	
1794	1905 März 18	6 53	— 0 13.2	6	+ 10.0		*)
1795	» 18	7 14.5	+ 0 8.4	11	+ 10.0		*)
1796	» 18	7 38	+ 0 31.9	12	+ 10.0		*)
1797	» 18	7 57	+ 0 51.0	24	+ 10.0		*) Wolken
1911	1906 April 4	7 12	+ 1 11.9	8	+ 9.53	+ 9.56	
1912	» 4	7 31	+ 1 30.9	12	+ 9.60	—	
2088	1907 März 17	8 58	+ 1 46.2	4	+ 7.71		
2089	» 17	9 10	+ 1 58.2	4	+ 7.72		
2178	1908 März 26	7 1	+ 0 27.3	6	+ 6.03		
2179	» 26	7 16.5	+ 0 42.9	9	+ 6.08		
2180	» 26	7 26	+ 0 52.4	8	+ 6.11		
2527	1910 März 4	6 41	— 1 21.5	5	+ 4.11	+ 4.11	
2528	» 4	6 57	— 1 5.5	4	+ 4.11	+ 4.11	
2529	» 4	7 11	— 0 51.4	4	+ 4.11	+ 4.11	

*) An Stelle der Prismtemperatur wurde die Temperatur der den Spektrographen umgebenden Luft gemessen.

In den Vergleichsspektren wurden im ganzen folgende 28 Eisenlinien gemessen, deren Wellenlängen auf zwei Dezimalen, nach Herrn Kayser ¹⁾, abgerundet sind. N ist die Anzahl der Messungen.

Nr.	λ	N	Nr.	λ	N	Nr.	λ	N	Nr.	λ	N	Nr.	λ	N	Nr.	λ	N
1	4531.33	19	6	4461.84	29	11	4404.93	33	16	4337.22	33	21	4294.29	31	26	4236.12	1
2	28.80	31	7	47.91	1	12	4383.72	34	17	25.94	41	22	82.57	3	27	33.77	1
3	4494.75	32	8	30.80	1	13	76.10	32	18	15.25	32	23	71.93	4	28	27.61	1
4	76.21	32	9	27.49	24	14	69.95	1	19	08.07	38	24	60.66	9			
5	66.74	31	10	15.30	32	15	52.91	32	20	4299.42	31	25	50.95	4			

Die Differenz zwischen den Schraubenablesungen für diese einzelnen Linien in Lage I und den auf Lage I reduzierten Ablesungen in Lage II ist eine Funktion der Helligkeit der gemessenen Linien. Bezeichne ich mit Hartmann ²⁾ diese Differenz mit p , das Mittel aller p einer Platte mit p_0 , die Differenz $p - p_0$ mit q und die Breite der einzelnen Eisen-

linien mit l , so ergibt sich aus den häufiger gemessenen Eisenbogenlinien eine genügende Darstellung der beobachteten Differenzen q aus der nach Hartmann gebildeten quadratischen Formel

$$q = -12.97 + \sqrt{+219.03 - 12820.59 l^2}$$

wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

¹⁾ Astrophys. Journ. XIII, S. 335. Linie 1, 2 und 19 nach brieflicher Mitteilung an Herrn Eberhard.

²⁾ A. N. 3702-04.

Linie	l	q_B	q_R	$q_B - q_R$	N
5	$0^R 024$	+1.5	+1.6	-0.1	31
4	26	+1.4	+1.5	-0.1	32
6	29	+1.3	+1.5	-0.2	29
15	29	+0.7	+1.5	-0.8	32
9	30	+1.0	+1.4	-0.4	24
16	31	+1.3	+1.4	-0.1	33
1	32	+1.4	+1.4	0.0	19
18	36	+0.7	+1.3	-0.5	32
13	38	+0.7	+1.2	-0.5	32
2	40	+1.8	+1.1	+0.7	31
3	44	+0.9	+1.0	-0.1	32
20	59	+0.9	+0.2	+0.7	30
21	59	+1.1	+0.2	+0.9	30
10	74	-1.9	-0.8	-1.1	27
17	94	-2.0	-2.7	+0.7	35
11	95	-3.3	-2.8	-0.5	27
19	104	-2.0	-4.0	+2.0	32
12	116	-6.4	-6.2	-0.2	28

Die q sind in Einheiten von $0^R 001 = 0.0005$ mm ausgedrückt. Die Beziehung zwischen den l und q ist bei Hartmann durch eine Hyperbel gegeben, hier durch eine parabelnahe Ellipse, sie wird im allgemeinen durch eine Parabel ausreichend dargestellt werden können.

Für den Einstellungsfehler f folgt bei Anwendung von 25facher Vergrößerung und für eine Linie von der Breite l :

l mm	f mm	$\frac{f}{l}$	Werte von Hartmann mm
0.01	-0.00003	-0.003	-0.00003 -0.003
2	-0.00011	-0.005	-0.00012 -0.006
3	-0.00025	-0.008	-0.00028 -0.009
4	-0.00046	-0.012	-0.00048 -0.012
5	-0.00079	-0.016	-0.00073 -0.015
6	-0.00134	-0.022	-0.00102 -0.017

Die in den beiden letzten Kolumnen der Tabelle nach Hartmann angegebenen Zahlen zeigen die fast völlige Übereinstimmung in beiden Resultaten. Der Beobachter machte also den Fehler, daß er beim Bisezieren einer Linie — die Linien wurden immer in derselben Richtung an den feststehenden Faden herangeführt — dieselbe nicht weit genug unter den Faden brachte und zwar um so weniger, je breiter die Linie war.

Die $q_B - q_R$ sind im wesentlichen frei von dem systematischen von der Breite der Linien abhängigen Einstellungsfehler und daher nichts anderes als der zufällige Messungsfehler der Differenz der Schraubenablesung für eine Linie in Lage I und der auf Lage I reduzierten Schraubenablesung in Lage II. Also ist $\frac{1}{2}(q_B - q_R)$ der zufällige Messungsfehler des arithmetischen Mittels dieser beiden Schraubenablesungen, also des für eine Eisenlinie als definitiv angenommenen Messungsergebnisses.

Ich habe für eine Reihe aufs geratewohl herausgegriffener in den Jahren 1908 und 1910 gemessener Platten die $q_B - q_R$ gebildet und aus ihnen den mittleren Fehler der Differenz der Schraubenablesungen für eine Linie in Lage I und Lage II für jede Platte gebildet.

Platte	1908 m. F. (I—II)	Platte	1910 m. F. (I—II)
1319	$\pm 0^R 0025$	2529	$\pm 0^R 0035$
2088	20	2527	26
1320	20	2528	15
1911	15	2180	19
1617	24	2179	19
2179	26	1797	16
1797	31	1319	41

Es zeigt sich also, daß die Messungsgenauigkeit bei allen Platten im wesentlichen dieselbe gewesen ist. Im Mittel ergibt sich für den mittleren Fehler einer Differenz I—II der Betrag $\pm 0^R 002 = \pm 0.001$ mm. Der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels der Messungen in Lage I und Lage II ist dann also

$$r_1 = \pm 0^R 0010 = \pm 0.0005 \text{ mm.}$$

Der Fehler ist also schon recht klein, er wird praktisch völlig eliminiert durch die graphische Ausgleichung dieser einzelnen Werte bei der Reduktion der direkten Messungen auf das Referenzspektrum.

Bezeichnen wir die Reduktionsgrößen der für die Linien aus den Messungen in Lage I und Lage II erhaltenen Mittelwerte der Schraubenablesungen auf das zugehörige Referenzspektrum nach Hartmann mit u , die von der durch diese u gelegten Kurve gegebenen Korrekktionsgrößen mit u' , und bilden wir für alle Linien die Differenzen $u - u' = q$ und nehmen ferner aus allen für eine einzelne Linie vorliegenden Werten q den Mittelwert, so zeigt sich, daß dieser für eine Reihe von Linien von null verschieden ist.

Wir erhalten, wenn wir uns im folgenden wieder auf die öfters gemessenen Eisenlinien des Bogenspektrums beschränken, folgende Werte q und, nach Umwandlung dieser Beträge in Wellenlängen, folgende zugehörigen $d\lambda$.

Linie	q	$d\lambda$	N
1	+0.00008	+0.0009	19
2	—	—	31
3	—	—	32
4	+	12	32
5	—	—	31
6	+	10	29
9	+	5	24
10	—	6	27
11	0	0	27
12	—	10	28
13	+	12	32
15	+	12	32
16	+	5	33
17	—	15	35
18	+	9	32
19	—	3	32
20	—	3	30
21	+	2	30

Natürlich handelt es sich bei diesen $d\lambda$ nur um relative Wellenlängenänderungen der einzelnen Linien gegeneinander. Über den Betrag einer etwaigen systematischen Verschiebung der Gesamtheit oder auch nur eines Teiles der hier gemessenen Linien innerhalb des Kayser'schen Systems kann auf diesem Wege nichts gefolgert werden.

Betrachten wir daher die hier gefundenen $d\lambda$ direkt als Korrekturen unserer abgerundeten Kayerschen Wellenlängen, und sehen wir die einzelnen $d\lambda$ als gleichwertig an, so folgt als mittlerer Fehler einer solchen Differenz gegen Kayser ± 0.0080 A.E. und also, wenn wir mit Herrn Küstner¹⁾ für die Kayerschen Wellenlängen einen mittleren Fehler von ± 0.0046 A.E. annehmen, der m. F. einer hier von mir bestimmten Wellenlänge ± 0.0066 A.E., also genau derselbe Wert, den auch Küstner¹⁾ für die von ihm und von Herrn Zuhellen bestimmten Wellenlängen gefunden hat.

Für die Kayerschen Wellenlängen folgen dann, wenn wir sie gleich nach der Intensität der Linien ordnen und dabei hier nach späteren Messungen eine etwas andere Reihenfolge annehmen als oben, die Korrekturen $d\lambda$ der folgenden Zusammenstellung.

Linie	λ	$d\lambda$	$d\lambda'$
5	0 ^R 024	-0 ^A 008	-0 ^A 007
4	26	+	16
1	27	+	9
6	29	+	12
15	29	+	10
16	31	+	5
18	36	+	2
3	37	-	11
13	38	+	7
9	40	+	5
2	46	-	3
20	59	-	2
21	59	+	2
10	74	-	7
17	94	-	13
11	95	+	1
19	104	-	4
12	116	-	13

In der letzten Kolumne stehen die zugehörigen Mittelwerte der $d\lambda'$ nach Angabe von Küstner und Zuhellen¹⁾. Wenn auch die Übereinstimmung zwischen beiden keine vollständige ist, so scheint doch ein kleiner Gang in den $d\lambda$ nach der Intensität der Linien — die stärkeren Linien zeigen gegen die schwächeren eine relative Verschiebung der λ nach blau — und die Realität der größeren dieser Abweichungen sicher zu sein.

Eine aus den Messungen oder dem Reduktionsverfahren folgende Erklärung der obigen Beziehung zwischen den $d\lambda$ und den λ habe ich nicht finden können. An Messungsfehler, hervorgehend aus der etwas verschiedenen Länge der starken und schwachen Eisenlinien in den Vergleichsspektren, ist jedenfalls nicht zu denken. Auch ein Fehler in der Zeichnung der u -Kurve kann nicht zur Erklärung der obigen Erscheinung herangezogen werden. Ich habe beim Zeichnen der u -Kurve wesentlich Wert darauf gelegt, einen möglichst glatten Verlauf der Kurve zu erhalten, für die die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen möglichst an jeder Stelle der Kurve zu null werden, nicht aber unbedingt die Gesamtheit aller Abweichungen, und habe gelegentlich einzelne stärker herausfallende Messungen als fehlerhaft betrachtet und ihnen dann ein ge-

ringeres Gewicht für den Kurvenzug zuerteilt. Ein hiervon möglicherweise herrührender Fehler kann aber, wie eine genaue Durchsicht sämtlicher Platten zeigte, in den $d\lambda$ höchstens einen Betrag von 0.001 A.E. erreichen.

Eine graphische Ausgleichung der oben gefundenen q ergibt einen Kurvenzug, der von einer horizontalen Geraden nicht wesentlich abweicht. Die Summe sämtlicher q , dividiert durch die Anzahl derselben, gibt $+0.00001$. Die u -Kurve ist also von mir systematisch um diesen Betrag zu niedrig gezeichnet worden. In der Geschwindigkeit des Sirius würde daraus ein Fehler von ungefähr $+0.07$ km folgen, der bei der hier erreichten geringen Genauigkeit in den Geschwindigkeiten des Sirius vernachlässigt werden kann.

Entfernen wir aus den q der einzelnen Linien einer Platte die oben gefundenen systematischen Beträge q durch Subtraktion, so sind die übrig bleibenden Reste nichts anderes als die zufälligen Messungsfehler der einzelnen Linien auf jeder Platte. Der m. F. eines dieser Mittelwerte ergibt sich so im Mittel aus 14 Platten zu

$$r_2 = \pm 0.00012 = \pm 0.0006 \text{ mm}$$

also nur 0.0001 mm größer als oben, so daß die zufälligen Schichtfehler nur einen sehr geringen Einfluß ausgeübt haben können.

Bilden wir die p auch noch für die Sternlinien, so ist die Lagendifferenz gleich der Differenz $p_0 - p_{Fe}$. Sie folgt im Mittel aus sämtlichen Platten zu

$$p_0 - p_{Fe} = -0.0134 = -0.0067 \text{ mm.}$$

Ich habe also in Lage I die Sternlinien um 0^R013 zu weit nach rot gemessen gegenüber Lage II, mithin die Sterngeschwindigkeit in Lage I zu positiv erhalten und zwar um $+8$ km gegenüber Lage II. Die Lagendifferenz ist hier also keineswegs unbedeutend und die Ausmessung der Spektren in beiden Lagen durchaus notwendig.

Bilden wir nun die Summe der absoluten Werte der q für die Eisen- und die Sternlinien, dividiert durch die entsprechende Anzahl der Linien einer Platte, so ergibt sich im Mittel aus 16 Platten als durchschnittliche Abweichung q für die Eisenlinien 0^R002, für die Sternlinien 0^R0095. In diesen q sind nun die systematischen Einstellungsfehler q_R und die bei der Messung begangenen zufälligen Messungsfehler enthalten. Sie lassen sich bei den Sternlinien auch nicht, wie oben bei den Eisenlinien, trennen, da eine diesbezügliche Untersuchung für die Sternlinien — die Breite dieser Linien hätte sich bei der Mehrzahl derselben nicht annähernd messen lassen — nicht vorliegt. Der m. F. einer Differenz der Schraubenablesungen in Lage I und Lage II folgt also für die Sternlinien wieder, wie oben, zu ± 0.001 . Für die Eisenlinien haben wir aus den zufälligen Fehlern allein den m. F. einer Differenz I — II gleich ± 0.0002 bestimmt, also zufällig denselben absoluten Wert wie für das durchschnittliche q , so daß sich die mittleren Fehler einer Differenz I — II für die Eisen- und Sternlinien wieder verhalten wie 1 : 5. Beide Resultate dürften dafür sprechen, daß die Genauigkeit der Messungen bei den Eisenlinien etwa fünfmal so groß gewesen ist wie bei den Sternlinien. Da Sirius zum Typus Ia2 gehört und da auf den meisten

¹⁾ A. N. 3972 p. 185.

Platten alles gemessen wurde, was irgend gemessen werden konnte, so war im Mittel auch keine größere Genauigkeit zu erwarten. Der m. F. des arithmetischen Mittels der Messungen einer Sternlinie in Lage I und Lage II folgt dann aus 12 Platten zu $\pm 0.0005 = \pm 0.0025$ mm. Eine Abhängigkeit des m. F. von der Zeit war in den Einzelwerten nicht angedeutet.

Der hier gefundene m. F. bezieht sich lediglich auf die Messungsgenauigkeit einer Sternlinie auf einer Platte. Der m. F. einer aus einer Sternlinie abgeleiteten Geschwindigkeit wird also wesentlich größer angenommen werden müssen, da bei dieser noch die Verschiebungen der Linie im Spektrum infolge von Schichtverziehung, Kornablagerung u. s. w. in Betracht kommen. Er wird sich später zu ungefähr dem doppelten hier gefundenen Betrage ergeben.

Nach einer ersten Identifizierung der gemessenen Sternlinien nach Rowland¹⁾ wurden mit den so erhaltenen λ erste Näherungswerte (v_0) der relativen Geschwindigkeit Sirius — Erde, wie sie die Platten direkt geben, berechnet, und zwar wurden die in der zweiten Kolumne der folgenden Tabelle stehenden Werte erhalten.

Platte	(v_0)	(v_0) — v_0	Platte	(v_0)	(v_0) — v_0
463	— 0.6 ^{km}	— 2.9 ^{km}	1378	+ 8.1 ^{km}	+ 0.1 ^{km}
464	— 1.7	+ 0.2	1399	+ 13.4	— 0.8
480	+ 6.4	— 0.2	1616	+ 12.9	0.0
481	+ 2.6	0.0	1617	+ 12.6	— 1.8
539	+ 12.8	— 0.9	1794	+ 15.1	— 2.9
540	+ 13.2	— 0.1	1795	+ 14.1	+ 0.6
555	+ 15.3	+ 1.6	1796	+ 13.0	— 0.4
991	+ 14.0	— 0.8	1797	+ 11.4	+ 1.4
992			1911	+ 10.0	+ 0.3
997	+ 14.3	0.0	1912	+ 9.8	+ 0.8
1319	— 4.3	— 0.8	2088	+ 13.0	— 1.9
1320	— 6.8	— 0.4	2089		
1327	— 0.3	+ 1.7	2178	+ 7.8	+ 1.8
1333			2179	+ 8.2	+ 1.2
1377	+ 8.6	+ 0.4	2180	+ 12.6	— 2.2

Mit diesen (v_0) wurden dann die $v - (v_0)$, wo v die von der einzelnen Linie gegebene Geschwindigkeit ist, für sämtliche Linien der einzelnen Platten gebildet und die Mittelwerte der $v - (v_0)$ der einzelnen Linien gerechnet. Diese in Wellenlängen verwandelt geben die Korrekturen $d\lambda$ unserer angenommenen ersten Wellenlängenwerte für die gemessenen Linien. Die hier benutzten (v_0) weichen nun von den später angenommenen definitiven v_0 um die in der dritten Kolumne gegebenen Beträge ab, können also im ungünstigsten Falle um etwa 3 km oder in Wellenlängen bis zu 0.05 A.E. fehlerhaft sein. Nur in einem Falle wird dieser Betrag wirklich erreicht, er ist in fast allen Fällen wesentlich kleiner. Die hier folgende Identifizierung der Linien kann bis auf einige Fälle, die unten vermerkt sind und auf die später noch zurückgekommen werden soll, ungeändert beibehalten werden.

Linien, die nicht mehr als 0.4 A.E. voneinander entfernt stehen, wurden als zusammenfließend angenommen und mit Gewichten entsprechend den bei Rowland gegebenen Inten-

sitäten zu Mitteln vereinigt. Dabei wurden Linien von der Intensität 0 als nicht vorhanden betrachtet. Die Wellenlänge der Mg-Linie 4481 wurde nach Herrn W. S. Adams²⁾ zu 4481.40 angenommen und einige Linien der Rowlandschen Tafel nach Angabe von Eberhard als Linien der Elemente Sc, Y oder Zr angesprochen. Die gemessenen Linien im Sirius-Spektrum wurden, wie folgt, identifiziert. Für die weiteren Rechnungen wurden die λ -Werte auf zwei Dezimalen abgekürzt.

Linie	A. E.		A. E.
1	4522.974	Ti	2
	4522.802	?	3
2	4520.397	Fe?, —	3
3	4515.508	?	3
4	4508.455	Fe?, —	4
5	4501.448	Ti, —	5
6	4491.570	?	2
7	4489.351	?	2
8	4481.400	Mg	
9	4468.663	Ti —	5
10	4443.976	Ti	5
11	4442.510	Fe	6
12	4417.884	Ti —	3
13	4416.985	?	2
	4415.722	Sc	3
14	4415.293	Fe	8
15	4404.927	Fe	10
	4401.709	Ni	2
16	4401.613	Fe	1
	4401.456	Fe	2
17	4399.935	Ti, Cr	3
	4395.413	Y, V, Zr	2
18	4395.201	Ti	3
	4391.192	Ti	1
19	4391.123	Fe	2
20	4385.548	?	2
21	4385.350	? + V	
22	4384.873	V	3
23	4383.720	Fe	15
24	4375.103	Y, V, Mn	2
25	4369.941	Fe	4
	4368.071	Fe	2
26	4367.839	Ti	2
	4367.749	Fe	5
27	4362.690	?	1
28	4352.083	Mg	5 Nd?
	4351.930	Cr	5
29	4340.634	H	20 N
30	4325.939	Fe	8
	4321.119	?	2
31	4320.907	Sc	3
	4315.262	Fe	4
32	4315.138	Ti	3
	4314.479	Ti	1
33	4314.248	Sc	3
34	4313.034	Ti	3
35	4308.081	Fe	6
36	4303.337	?	2

¹⁾ Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths.

²⁾ Astrophys. Journal XV S. 216.

Linie	A.E.		A.E.
37	4302.353	<i>Fe</i>	2
	4302.085	<i>Zr, Ti</i>	2
38	4300.211	<i>Ti</i>	3
39	4299.410	<i>Ti, Fe</i>	4
40	4296.840	<i>Zr?</i>	1
	4296.735	?	3
41	4294.301	<i>Fe</i>	5
42	4290.377	<i>Ti</i>	2
	4288.149	<i>Ni</i>	1
43	4288.038	<i>Ti</i>	2
44	4284.382	?	2 <i>Nd?</i>
45	4282.565	<i>Zr, Fe</i>	5
46	4275.814	<i>La</i>	
47	4274.958	<i>Cr</i>	7 <i>d?</i>
	4273.643	<i>Zr</i>	2 <i>N</i>
48	4273.482	<i>Fe</i>	3 <i>N</i>
49	4271.934	<i>Fe</i>	15
50	4271.76	<i>Fe + Fe</i>	
51	4271.325	<i>Fe</i>	6
52	4269.339	?	
53	4262.142	?	1
54	4260.640	<i>Fe</i>	10
	4258.477	<i>Fe</i>	2
55	4258.219	<i>Zr</i>	1 <i>N</i>
56	4254.505	<i>Cr</i>	8

Ein Vergleich mit den Rowlandschen Tafeln zeigt unmittelbar, welche Linien dabei als im Siriuspektrum nicht vorhanden fortgelassen wurden.

Ferner sind folgende Bemerkungen zu machen:

Linie 15. Diese Linie übertrifft die Nachbarlinie 4405.19 ? 1 erheblich an Intensität. Ich habe daher diese letztere als nicht vorhanden angesehen. Ein Mittelwert der beiden Linien hätte, wie wir später sehen werden, die Beobachtung ein wenig besser dargestellt.

Linie 21. Die Linien 4385.55 und 4384.87 sind auf allen Platten, wo sie überhaupt gemessen wurden, getrennt vorhanden, jedoch so nahe beieinander, daß sie auf Platte 463 als eine einzige Linie gemessen wurden. Die dabei auf Platte 463 abgeleitete Wellenlänge würde sich am besten darstellen lassen, durch die Annahme einer Doppellinie, deren Komponenten die obige Linie 4385.55 und die Linie 4385.14 *Cr* 2 sind. Da diese letztere Linie aber offenbar im Sirius nicht vorhanden oder in meinen Spektren wenigstens nicht sichtbar ist, so muß wohl für die *V*-Linie im Sirius eine wesentlich geringere Intensität angenommen werden als im Sonnenspektrum, was ja auch für den Typus Ia2 sehr wahrscheinlich ist. Das Intensitätsverhältnis der beiden obigen Linien dürfte ungefähr 3 : 1 sein. Hier wurde für die Doppellinie λ 4385.35 angenommen.

Linie 22. Diese Linie stellt die Messung nur schlecht dar. Die Darstellung wird auch nur wenig besser durch Mitnahme der Linie 4384.48 ? 1. Dagegen ließe sich eine gute Darstellung erhalten, wenn wir beide Linien zugleich nehmen und der *V*-Linie wieder eine geringere Intensität beilegen, als Rowland ihr gibt.

Linie 27. Die schlechte Darstellung der Linie durch diese Wellenlänge ist, wie spätere Messungen zeigten, auf einen Messungsfehler zurückzuführen.

Linie 30. Die Linien 4325.78 ? 1 und 4325.52 *Ni, Zr* 1 wurden nicht mitgenommen. Ihre Mitnahme hätte, wie wir später sehen werden, die Darstellung ein wenig verbessert.

Linie 31. Diese Linie stellt die Messung schlecht dar. Die Richtigkeit der Messung wurde durch spätere Messungen bestätigt. Wenn die Linie 4321.12 nach Angabe der Herren Exner und Haschek ¹⁾ dem *Ti* zuzuschreiben ist, so dürfte diese Linie im Sirius (Typus Ia2) eine größere Intensität beanspruchen als in der Sonne und die Darstellung ausreichend werden.

Linie 35. Die Linie 4307.91 *Ca* 3 wurde nicht mitgenommen, da ihre Mitnahme die Darstellung verschlechtert. Das Gleiche gilt mit Ausnahme der Linie 4299.15 *Ca* 3 für sämtliche anderen in Frage kommenden *Ca*-Linien, nämlich 4302.69 *Ca* 4, 4289.525 *Ca* 4 und 4283.17 *Ca* 4. *Ca*-Linien wurden also überhaupt nicht mitgenommen.

Linie 38. Die Nachbarlinien 4299.80 *Ti* 2 und 4300.73 *Ti* 2 wurden nicht mitgenommen. Ihre Mitnahme hätte, wie später gezeigt werden wird, die Darstellung ein wenig verbessert.

Linie 39. Die Linien 4298.83 *Ti* 2 und 4299.80 *Ti* 2 wurden nicht mitgenommen. Auch ihre Mitnahme hätte die Darstellung ein wenig verbessert.

Linie 43. Die Linie 4288.31 *Ti* 1 wurde nicht mitgenommen, ihre Mitnahme hätte, wie wir noch sehen werden, die Darstellung ein wenig verbessert.

Linie 46. Rowland gibt hier nur die drei Linien 4275.71 ? 0, 4275.81 ? 0, 4275.87 ? 0, und zwar würde nach Angabe von Exner und Haschek ²⁾ 4275.81 mit einer *La*-Linie zu identifizieren sein. Außer dieser Linie war von allen bei Rowland für den Bereich der vorliegenden Spektren angegebenen *La*-Linien mit einiger Sicherheit und auch nur auf Platte 555 die Linie 4287.16 *La* 2 als feine schwache Linie zu erkennen. Linie 4333.925 *La* 1 *N* war von *Hy* überdeckt. Die Intensitäten der einzelnen *La*-Linien sind nach Exner und Haschek im Bogen- und Funkenspektrum sehr verschieden. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß wir es hier bei der Linie 4275.81 mit einer sonst schwächeren *La*-Linie zu tun haben, deren Intensität im Siriuspektrum beträchtlich gesteigert worden ist.

Linie 52. Rowland gibt hier nur drei ganz schwache Linien: 4269.20 ? 00 *N*, 4269.34 ? 000 und 4269.45 ? 0. Die in einiger Distanz stehenden Linien 4268.915 *Fe* 2 und 4269.625 *La* 0 kommen wegen ihrer großen Distanz kaum in Betracht.

Einige nach Exner und Haschek für den Nachweis der Elemente *Cr, Sc, Ti, V, Y* wichtige Linien wurden nicht gemessen. Auf Platte 555 — der besten — wurde sie betreffend folgendes gefunden:

4289.885	<i>Cr</i>	5	ganz schwach vorhanden
4400.555	<i>Sc</i>	3	schwach vorhanden
4374.63	<i>Sc</i>	3	schwach vorhanden
4294.94	<i>Sc, Zr</i>	2	vorhanden

¹⁾ Wellenlängen-Tabellen, Funkenspektren.

²⁾ Wellenlängen-Tabellen, Funkenspektren und Bogenspektren.

4518.20	Ti 3	kaum sichtbare Andeutung
4512.91	Ti 3	ganz verwaschene schwache Andeutung
4457.60	Ti 2	ganz verwaschene schwache Andeutung
4306.08	Ti 4	ganz verwasch. und nicht sehr kräftige Linie
4301.16	Ti 2	vielleicht als schwache Begleitlinie v. 4300.21 zu erkennen
4289.24	Ti 2	ganz schwache feine Linie
4398.18	Y 1	nichts mit Bestimmtheit zu erkennen
4309.79	Y 1	ganz verwaschene schwache Andeutung
4408.68	V 2	ganz schwache verwaschene Linie
4390.15	V 2	ganz feine schwache Andeutung
4379.40	V 4	teilweise ist Andeutung einer Linie vorhanden.

Demnach sind die Hauptlinien der obigen Elemente im Sirius fast sämtlich vorhanden oder doch angedeutet. Es lassen sich also außer einigen unbekannten Elementen in dem hier vorliegenden Spektralbereiche des Sirius die Elemente nachweisen: *Cr, Fe, H, Mg, Ni, Sc, Ti, V, Y, Zr* und vielleicht *La* und *Mn*.

Mit den obigen 2 wurden nun neue Werte ν für die Geschwindigkeit Sirius — Erde gerechnet, und zwar geben die einzelnen Linien der einzelnen Platten die in der Tabelle auf Seite 243–246 folgenden und dort für die Mitteilung auf eine Dezimale abgerundeten Werte ν .

In dem folgenden Verzeichnis sind nur die wichtigeren bei der Messung der Platten notierten Bemerkungen gegeben, und zwar bedeutet

:	unsicher	d	deformiert
v	verwaschen	z	zerrissen
m	matt	n	nur der mittelste Teil der Linie vorhanden
k	krumm	g	gekürzt.
s	schräg		

Verdoppelung der Zeichen bedeutet eine Steigerung.

Platten gemessen 1908.

Linie	Bem.	Linie	Bem.	Linie	Bem.
Pl. 463.		32	v m	Pl. 539.	
Die Platte ist überbelichtet od. überentwickelt.		34	s	24	: m
15	:	37	mm k	32	s
21	:: vv	38	s	34	s
35	s	40	s	38	: s
36	: k	41	s	47	:: mm k
41	: k	42	vv mm	53	k
		43	vv mm	54	: s
		46	vv		
		54	k		
Pl. 464.		Pl. 481.		Pl. 540.	
18	:: k	15	:: vv	12	:: m
20	: k	23	:	25	: v
23	:: kk g	28	:: k	26	:: vv mm
40	g	30	: s	29	:
49	:	36	k	32	k
53	:: k	38	v	39	:: mm
54	k	40	k	44	m k
56	:	41	: d	45	s
Pl. 480.		42	v s	46	k
15	v m	50	:	47	:: mm
18	m	53	k	51	:: m
28	: z	55	:	52	:: m s

Linie	Bem.	Linie	Bem.	Linie	Bem.
Pl. 555.		Pl. 1320.		14	k mm
14	k	1	: m	17	:: mm
16	: mm g	4	:: m	18	mm
17	d	5	m k	20	mm
19	s	23	:: s	32	: mm
22	: v k	29	:	Pl. 1399.	
25	: s	35	: mm	1	v
26	: k			3	:: g
39	k	Pl. 1327.		15	: vv
43	:: s g	Die Platte ist unterbelichtet.		18	d
44	:: vv	1	: m	28	:
45	:: vv d	2	m	29	s
Pl. 991.		3	s	35	:: vv
Die Platte ist überbelichtet und kurz entwickelt.		5	s	Pl. 1616.	
15	:: vv mm	7	:	5	:: vv mm
18	k	9	:	15	: v
36	:	10	:	28	: vv
38	:	11	: vv	30	:: v mm
49	:	12	:: k	35	v
Pl. 992.		13	: k	Pl. 1617.	
14	vv mm	14	: s	2	s
15	: vv	17	: mm	3	: k
17	:: vv	18	s	4	:
18	:	24	:	17	: k
19	:: vv	27	:	18	: k
23	vv	28	:	32	: vv
34	:: v g	32	s	Pl. 1794.	
36	s	34	:: g	1	: k
37	:: g	35	s	3	d
38	:: vv g	Pl. 1333.		15	:: vv
41	vv k	2	k v	23	vv
42	: k	3	vv	28	: mm
Pl. 997.		5	vv	29	:: vv
13	:	8	s	32	: vv
14	v	14	m	Pl. 1794.	
17	:: k	15	v s	1	: k
19	d	22	:	5	: s
39	:	28	:: mm	13	m
42	v	29	m	15	:
43	v	30	v m	29	:
44	v	Pl. 1377.		32	:
45	v	Die Platte ist überbelichtet und schwach entwick.		Pl. 1795.	
46	: d	15	: v k	Die Platte ist überbelichtet.	
55	k	28	:: vv	3	vv k
Pl. 1319.		29	v	23	:: vv mm
2	: k	30	v	28	:
3	:: v s	35	v mm	30	:: vv
4	:: v	Pl. 1378.		Pl. 1796.	
15	d	Die Platte ist unterbelichtet.		2	: s
18	k	3	mm	15	: d
23	:: mm v	10	mm	23	vv
		13	:	29	:

Linie	Bem.	Linie	Bem.	Linie	Bem.
Pl. 1797.		Pl. 2088.		5	:: vv
2	:: n	1	mm k	8	:: d
14	:: d	2	mm d	14	:: vv
18	mm	15	mm vv	15	:: mm
23	:: k	23	:: vv	23	:: vv
28	z	30	vv mm	29	::
29	d	35	s	30	:: vv
34	k			35	vv
35	s	Pl. 2089.		Pl. 2179.	
36	d	1	:: vv	1	vv
Pl. 1911.		2	:: vv	2	vv
1	:: vv	4	:: vv	3	:: vv
4	:: vv	8	s	4	:
5	:: mm	15	::	15	:: vv
15	:: vv	23	:: vv	30	k
30	:: vv	29	:: vv	Pl. 2180.	
35	:: vv	35	:: vv	2	vv k
Pl. 1912.		Pl. 2178.		3	:: vv
Die Platte ist zu		15	:: vv	5	vv
schwach entwick.		23	vv	8	k s
1	:: s	29	:: vv	15	::
2	:: vv	30	:: vv	24	:: mm k
4	k	35	vv	28	:: mm
5	vv	38	:: vv	34	k
13	k	40	kk	35	:: k
20	vv	41	vv		
23	vv	Pl. 2178.			
28	mm	3	::		
29	::	4	:: vvs		
36	:: vv				
38	:: vv s				

Platten gemessen 1910.

Pl. 1327.	Pl. 2180.	Pl. 2528.
15	8 v	29 ::
35	29 ::	
Pl. 1797.	35 :	Pl. 2529.
29 d		35 :

Es wurde auf fast allen 1908 gemessenen Platten grundsätzlich alles gemessen, was nur irgend noch gemessen werden konnte, da es mir nicht nur auf die Ableitung der Geschwindigkeiten ankam, sondern auch darauf, ein möglichst großes Material zu erhalten zur Bestimmung der Wellenlängen recht vieler Linien in dem vorliegenden Bereiche des Spektrums. Daher war die Mehrzahl der hier gemessenen Linien nur

mit Mühe und nur mit geringerer Genauigkeit meßbar, und schon von vornherein konnte man erwarten, daß sich nicht alle Linien zur Bestimmung der Geschwindigkeit eignen würden. Ich habe daher unter verschiedenen Gesichtspunkten eine Reihe von Mittelwerten aus den Linien einer Platte abgeleitet und sodann nach Maßgabe der Zahl und der Genauigkeit der einzelnen Linien und unter Abwägung der inneren Genauigkeit der einzelnen Mittelwerte unter sich nach Gutdünken wahrscheinlichste Werte für die einzelnen Platten abgeleitet und hoffe, dabei der Wahrheit möglichst nahe gekommen zu sein. Es wurde also:

1. Für alle Platten mit stark herausfallenden Werten von v , ± 10 km vom Mittelwerte abweichend, das Mittel sämtlicher v genommen und bezeichnet mit v_1 .

2. Für alle Platten ohne stark herausfallende Werte v das Mittel sämtlicher v und für alle Platten mit stark herausfallenden v nach Ausschluß dieser das Mittel der übrig bleibenden v , bezeichnet mit v_2 .

3. Es wurden die v der Sternlinien 16, 19, 25, 27 und 31, die durchweg stark abweichende Werte v lieferten, und ferner die v der Sternlinien 9, 10, 11, 12, 13, 18, 29, 38 und 55, die von Herrn S. Albrecht¹⁾ als Liniengruppen mit veränderlichen Intensitäten in verschiedenen Sterntypen verdächtigt worden sind, ausgeschlossen und von den übrigen Linien nur diejenigen zu Mitteln vereinigt, die bei der Messung in keiner Weise als unsicher bezeichnet worden waren. Diese Mittelwerte wurden bezeichnet mit v_3 .

4. Dasselbe wie v_3 , nur wurden noch die schon bei v_2 ausgeschlossenen Werte, wenn sie noch in den v_3 enthalten waren, ebenfalls ausgeschlossen und die so erhaltenen Mittelwerte bezeichnet mit v_4 .

5. Es wurden sämtliche einigermaßen brauchbaren Linien zu Mitteln vereinigt, also auch sämtliche nur als unsicher oder verwaschen bezeichneten Linien und also auch die bei v_3 prinzipiell ausgeschlossenen Linien eventuell mitgenommen. Nur als sehr unsicher oder sehr verwaschen u.s.w. bezeichnete Linien wurden ausgeschlossen und das Mittel bezeichnet mit v_5 .

6. Dasselbe wie v_5 , nur wurden wieder die bei v_3 schon ausgeschlossenen Linien 16-31 und 9-55 ausgeschlossen und das Mittel bezeichnet mit v_6 .

Da bei den 1910 gemessenen Platten nur gute Linien gemessen wurden, so kommt bei diesen eine derartig detaillierte Mittelbildung im allgemeinen nicht in Frage. Bei diesen war vielmehr nur die Zuverlässigkeit der einzelnen Messungen maßgebend.

Darnach ergaben sich für die verschiedenen Platten folgende Mittelwerte:

Platte	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_0	Anzahl der Linien					
								v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
463	- 1.45	+ 0.07	- 2.44	+ 2.30	+ 0.92	+ 1.80	+ 1.8	11	10	4	3	6	5
464		- 0.10		- 1.78	- 2.28	- 2.25	- 2.2		16		6	11	9
480		+ 6.88		+ 5.82	+ 6.43	+ 7.27	+ 6.4		18		7	16	13
481	+ 2.25	+ 1.36		+ 2.80	+ 2.40	+ 1.93	+ 2.4	16	15		2	12	9
539	+ 13.63	+ 14.42	+ 12.98	+ 13.77	+ 14.24	+ 14.23	+ 13.8	25	22	13	12	21	18

¹⁾ Astrophys. Journal XXIV S. 333.

Platte	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_0	Anzahl der Linien					
								v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
540	+12.10	+12.99	+13.16	+13.20	+13.22	+13.35	+13.2	38	32	21	19	27	23
555	+13.98	+14.32		+13.39	+13.60	+13.50	+13.4	36	30		20	26	24
991		+14.13		+13.90	+14.46	+14.92	+14.4		11		5	10	7
992	+12.84	+13.68	+8.89	+11.16	+12.67	+13.06	+12.5	17	13	4	3	7	5
997	+13.74	+14.17	+14.84	+14.42	+14.11	+14.26	+14.4	31	29	21	20	26	22
1319	-2.95	-2.56	-4.22	-3.81	-2.34	-2.91	-2.9	14	12	7	5	9	7
1320		-5.07		-6.75	-6.21	-5.41	-6.2		10		4	8	7
1327	-3.47	-0.39		-0.24	-0.11	-0.37	-0.3	26	22		7	17	15
1333	-2.22	-1.56		-4.64	-1.87	-2.53	-3.0	17	15		7	14	11
1377		+5.25		+6.84			+6.8		6		3		
1378	+8.02	+7.40	+8.72	+7.73	+7.77	+7.91	+7.8	21	20	13	12	19	14
1399	+13.81	+14.08		+13.47	+13.16	+13.47	+13.4	11	9		5	7	5
1616		+12.86		+12.59	+12.85	+13.91	+12.9		7		2	4	3
1617	+13.95	+14.13	+12.09	+13.87	+14.13	+14.14	+13.9	14	12	7	6	12	10
1794	+19.88	+18.29		+16.32	+18.54	+19.10	+18.5	10	9		2	8	7
1794	+16.88	+14.35		+15.33	+15.15	+16.13	+15.5	8	7		2	6	4
1795	+10.89	+13.02		+14.07	+13.14	+14.07	+14.0	8	7		3	4	3
1796		+12.29		+13.45	+13.56	+13.09	+13.4		8		4	7	6
1797		+10.21	+11.57	+9.43	+9.44	+10.99	+10.2		11	3	2	8	6
1911		+12.64		+10.03			+10.0		7		1		
1912	+11.79	+11.02		+8.85	+10.21	+9.74	+9.5	15	14		3	10	8
2088	+13.80	+15.68		+12.04	+15.44	+14.38	+14.4	8	7		1	6	5
2089	+17.73	+19.68		+14.70	+13.37		+13.4	9	8		1	2	
2178	+6.53	+7.56		+6.01	+8.25	+8.57	+7.5	12	11		1	3	2
2178	+7.90	+5.80			+4.66		+5.5	8	5			4	
2179	+7.50	+7.66		+8.54	+6.40	+6.16	+8.0	9	7		2	6	5
2180	+12.97	+14.97	+4.99	+8.53	+14.55	+13.29	+13.3	13	10	3	2	7	6

und für die 1910 gemessenen Platten:

Platte	v_1	v_5	v_4	v_0	Anz. d. Linien		
					v_1	v_5	v_4
1319		-5.71	-4.77	-4.8		3	2
1327	+0.38		-2.99	-3.0	4		2
1794		+17.67	+18.06	+18.1	2		1
1797	+9.74		+10.81	+10.8	3		2
1911			+9.37	+9.4			1
1912			+8.85	+8.8			2
2179	+3.72	+5.88	+5.71	+5.7	4	3	2
2180	+18.55		+16.42	+16.4	3		2
2527		+5.68	+7.14	+7.1		3	2
2528	+16.80		+8.03	+8.0	2		1
2529	+9.81	+9.85	+10.03	+10.0	3	2	1

Unter Berücksichtigung der Zahl und der Genauigkeit der einzelnen Linien und nach Maßgabe der inneren Übereinstimmung der einzelnen v untereinander habe ich dann als wahrscheinlichste Werte der einzelnen Platten die oben unter v_0 gegebenen Werte betrachtet. Für die 1908 doppelt oder 1908 und 1910 gemessenen Platten wurden folgende Werte angenommen:

Pl. 1319	-3.8 km	Pl. 1912	+9.2 km
1327	-3.0	2178	+7.0
1794	+17.5	2179	+7.0
1797	+10.5	2180	+15.0
1911	+9.7		

Der Wert -3.0 km für Platte 1327 ist recht unsicher. Die einzelnen Linien ergeben zwar bei jeder Messung der Platte fast dieselben Werte, weichen jedoch voneinander nicht unbedeutend ab.

Die v_0 sind nicht wie die v_1 wirklich Mittelwerte der einzelnen v und besonders da nicht, wo v_0 aus mehrfachen Messungen einer Platte abgeleitet wurde. Sucht man sich diejenigen Platten heraus, bei denen die Vorzeichenverteilung in den $v - v_0$ eine einigermaßen gleichmäßige ist, und betrachtet in ihnen die Differenzen $v - v_0$ als zufällige Fehler, so erhält man im Mittel aus 11 Platten als mittleren Fehler der einzelnen Linien etwa

$$r = \pm 7.0 \text{ km}$$

und als m. F. der Plattenwerte

$$r_0 = \pm 1.7 \text{ km.}$$

Über den Einfluß der verschiedenen Auswahl der Linien erhält man einen Überschlag, wenn man die Differenzen $v_1 - v_0$ oder, wenn kein v_1 vorhanden, $v_2 - v_0$, ferner $v_4 - v_0$, $v_5 - v_0$ und $v_6 - v_0$ als zufällige Abweichungen betrachtet und aus ihnen den m. F. der entsprechenden Mittelwerte berechnet. So ergibt sich aus 32 Platten:

$$r_{v_1} \text{ resp. } r_{v_2} = \pm 1.6 \text{ km,}$$

ferner aus 20 Platten:

$$r_{v_4} = \pm 0.84 \text{ km} \quad r_{v_6} = \pm 0.45 \text{ km}$$

und aus 19 Platten:

$$r_{v_5} = \pm 0.49 \text{ km.}$$

Platten ge-

Lin.	463	464	480	481	539	540	555	991	992	997	1319	1320	1327	1333	1377
								+							+
1											- 4.6	- 1.3	0.0	- 4.0	
2											- 2.0		+ 4.0	+ 3.3	
3											- 6.6	- 5.3	- 2.3	+ 2.0	
4											- 1.7	+ 1.0	+ 0.3	+ 1.7	
5											- 18.0	- 4.0	+ 1.3	+ 4.0	
6													+ 3.3		
7													- 2.7		
8											- 4.0	- 8.0	- 2.7	- 4.7	8.7
9													+ 2.0		
10													+ 4.0		
11													- 16.9		
12						+ 12.2	+ 23.8						- 6.1		
13				+ 5.1		+ 11.2	+ 19.3			+ 12.6			- 13.9	+ 1.7	
14		+ 1.4				+ 8.1	+ 17.6		+ 4.1	+ 5.4	+ 7.5		- 6.1	- 9.5	
15	+ 0.7	- 6.1	+ 12.3	+ 15.7	+ 17.7	+ 20.4	+ 21.8	10.9	+ 25.9	+ 16.3	+ 0.7	- 10.2	+ 7.5	+ 10.9	2.0
16							+ 27.2								
17					+ 25.6	+ 22.8	+ 14.0		+ 30.3	+ 19.4			+ 1.0		
18		+ 4.1	+ 1.4		+ 10.9	+ 7.5	+ 10.9	7.5	+ 8.9	+ 12.3	+ 3.4		+ 1.7		
19					- 5.5	- 7.5	- 6.1		- 17.8	- 8.2			- 24.6		
20		+ 2.7	+ 5.5		+ 21.9	+ 17.8	+ 19.8			+ 23.3				- 4.1	
21	- 2.7														
22							- 0.7							- 25.3	
23	- 0.7	+ 9.6	+ 6.2	+ 0.7	+ 14.4	+ 10.3	+ 12.3		+ 13.7	+ 9.6	- 1.4	- 2.0	- 7.9	- 6.8	
24			+ 5.5		+ 16.4	+ 6.8	+ 17.8			+ 15.8			- 2.1		
25						- 5.5	+ 2.7								
26						+ 1.4	+ 26.8								
27													- 26.1		
28	+ 6.2		+ 4.8	- 2.1	+ 15.2	+ 11.0	+ 9.6	14.5	+ 5.5	+ 14.5	- 1.4	- 3.4	- 3.4	+ 2.8	0.7
29	- 3.5	- 2.8	+ 1.4	+ 2.1	+ 15.9	+ 15.2		17.3	+ 14.5	+ 11.7	- 4.1	- 11.7		+ 1.4	8.3
30	+ 1.4	- 4.2	+ 0.7	+ 4.2	+ 3.5	+ 10.4	+ 13.9	13.9	+ 2.1	+ 16.6	- 8.3		- 6.2	- 4.8	4.8
31						+ 29.8									
32	- 16.7		+ 12.5		+ 8.3	+ 13.9	+ 18.1			+ 17.4			+ 2.8		
33							+ 11.8								
34			+ 8.7		+ 17.4	+ 17.4	+ 12.5		+ 18.8	+ 17.4			+ 1.4		
35	+ 1.4	+ 2.1	+ 3.5	+ 2.1	+ 15.3	+ 12.5	+ 11.8	13.2	+ 16.0	+ 13.2	- 0.7	- 5.6	+ 1.4	- 4.9	7.0
36	+ 6.3		+ 7.0	+ 8.4	+ 15.3	+ 18.8	+ 13.9	17.4	+ 18.1	+ 17.4					
37			+ 13.9		+ 8.4	+ 2.8	+ 13.9		+ 11.8	+ 7.7					
38	- 6.3	- 2.1	+ 5.6	+ 4.2	+ 16.0	+ 16.0	+ 18.8	15.3	+ 12.5	+ 16.7				- 1.4	
39						+ 7.7	+ 14.6			+ 4.2					
40		- 7.7	+ 9.1	- 2.1	+ 14.7	+ 14.7	+ 11.2			+ 17.4					
41	- 2.1		+ 10.5	+ 4.2	+ 14.0	+ 10.5	+ 11.9	11.2	+ 20.2	+ 11.2					
42			- 5.6	- 7.0	+ 13.3	+ 14.0	+ 15.4	16.8	+ 21.7	+ 20.3					
43			+ 12.2				+ 13.6			+ 15.7					
44						+ 14.0	+ 14.0			+ 12.6					
45		- 1.7				+ 12.9	+ 17.1			+ 12.9					
46		- 2.1	+ 7.0		+ 11.9	+ 15.4	+ 6.3			+ 11.9					
47					+ 18.2	+ 13.3	+ 17.5								
48					+ 14.7	+ 11.2	+ 14.0			+ 15.4					
49		+ 8.4			+ 6.3	+ 16.5	+ 12.6	17.5							
50				- 2.8											
51						+ 10.2									
52						+ 15.4									
53		+ 9.1		+ 2.8	+ 12.7	+ 11.3	+ 12.7			+ 22.5					
54		- 4.9	+ 8.4	+ 3.5	+ 18.3	+ 11.3	+ 10.6		+ 12.0	+ 12.7					
55				- 2.8		+ 9.9				+ 13.4					
56		- 7.4				+ 18.0				+ 16.6					

messen 1908.

Lin.	1378	1399	1616	1617	1794	1794	1795	1796	1797	1911	1912	2088	2089	2178	2178	2179	2180
	+		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+				
1	7.3	+15.2			21.2	18.6				19.2	12.6	17.2	23.2			+ 4.6	
2	7.3			17.9				21.9	6.6		13.3	0.7	17.2			+17.2	+ 9.9
3	5.3	- 2.7		14.6	27.9		- 4.0							+ 9.3		+15.3	+20.6
4	17.0			9.0						14.3	7.0		16.3	+15.0		+ 7.0	
5	1.0	+15.3	12.6			34.6				12.0	12.6			+ 8.3			- 2.7
6														+ 6.0			
7																	
8	8.7	+14.7	14.0	12.0	17.4	14.7	+14.7	8.0	11.4	10.0	10.0	12.0	12.0	+ 8.0		+ 8.0	+15.4
9	11.4																
10	6.1																
11																	
12	6.8																
13	7.8				14.6	11.9					14.6						
14	2.7								14.3					- 4.7			+ 4.7
15	8.2	+27.9	19.7	12.9	12.3	9.5	+16.3	3.4	7.5	19.7	8.2	21.8	26.6	+ 4.1	- 1.4	- 3.4	+21.8
16																	
17	0.3			16.7													
18	4.8	+ 8.2		13.6					5.5		9.5				+15.0		
19																	
20	20.5										22.6						+12.3
21																	
22																	
23	6.2	+10.3		1.4	34.2		+ 9.6	8.9	15.7		10.9	17.1	24.6	+ 4.1	+ 3.4		+ 5.5
24																	
25																	
26																	
27																	
28	5.5	+20.0	16.5	13.1	17.9		+21.4	14.5	15.8		9.6						+17.2
29		+16.6	9.7	14.5	21.4	14.5	+10.4	10.4	4.1		13.8	20.7	22.8	+10.4	+ 7.6	+ 7.6	+22.1
30	9.0	+11.8	6.2	13.2	15.2	15.9	+ 7.6			5.5		6.9		- 3.5	+ 0.7	+ 2.1	- 2.1
31																	
32	15.3			24.3	16.7	15.3		15.3									
33																	
34	11.8			19.5					7.6								+20.2
35	5.6	+14.6	11.1	12.5			+11.1	16.0	13.9	7.7	8.3	13.9	2.1	+ 2.1	+11.1	+ 9.0	+23.7
36									9.8		11.1						
37																	
38											12.5			+16.0			
39																	
40														+21.6			
41														+ 8.4			

Platten gemessen 1910.											
Lin.	1319	1327	1794	1797	1911	1912	2179	2180	2527	2528	2529
1		- 4.6									
8	- 5.3	- 1.3	+18.1	+10.0	+9.4	+10.0	+10.0	+14.0	+8.0	+ 8.0	+10.0
15		+6.1		+11.6							
29	- 7.6		+17.3	+ 7.6			+ 6.2	+22.8	+2.8	+25.6	+ 9.7
30							- 2.8		+6.2		
35	- 4.2	+1.4				+ 7.7	+ 1.4	+18.8			+ 9.7

Der m. F. der ν_4 ist deshalb so verhältnismäßig groß, weil den ν_4 wegen der geringen Zahl der ihnen zugrunde liegenden Linien im allgemeinen ein geringeres Gewicht bei der Annahme der ν_0 gegeben wurde.

Die Genauigkeit eines ν_0 folgt — von Plattenfehlern hier abgesehen — aus mehrmaliger Ausmessung einer Platte und Vergleich der einzelnen abgeleiteten ν_0 miteinander. Es wurden nämlich doppelt gemessen im Jahre 1908 die Platten

$$1794 \quad \Delta\nu_0 = 3.0 \text{ km} \quad \text{und} \quad 2178 \quad \Delta\nu_0 = 2.0 \text{ km}.$$

Außerdem, wenn wir aus dem oben erwähnten Grunde hier von Platte 1327 absehen, noch einmal gemessen im Jahre 1910 die Platten

$$\begin{array}{l|l} 1319 \quad \Delta\nu_0 = 1.9 \text{ km} & 1912 \quad \Delta\nu_0 = 0.7 \text{ km} \\ 1794 & 0.6 \\ 1797 & 0.6 \\ 1911 & 0.6 \end{array} \quad \begin{array}{l} 2179 \quad 2.3 \\ 2180 \quad 3.1 \end{array}$$

Im Mittel aus diesen acht Platten folgt also für die einmalige Ausmessung einer Platte

$$\nu_0 = \pm 1.2 \text{ km}.$$

Der m. F. ν_0 der in unserer obigen Zusammenstellung der einzelnen ν_0 gegebenen Werte mag also ungefähr $\pm 1.2 \text{ km}$ oder etwas weniger betragen.

Mit den so gefundenen Plattenwerten ν_0 wurden nun wieder die Mittelwerte sämtlicher $\nu - \nu_0$ für die einzelnen Linien sämtlicher Platten gebildet, und es wurde erhalten:

Linie	$\nu - \nu_0$	$d\lambda$	m. F. von $d\lambda$	N
1	+ 2.4 km	+ 0.03	± 0.02	14
2	+ 1.9	+ 3	3	12
3	— 0.5	— 1	3	12
4	+ 3.2	+ 5	3	11
5	0.0	0	3	12
6	+ 2.6	+ 4	6	2
7	+ 0.8	+ 1	6	2
8	— 0.1	0	2	32
9	+ 4.3	+ 6	6	2
10	+ 2.7	+ 4	6	2
11	— 13.9	— 21	9	1
12	+ 1.3	+ 2	4	4
13	— 0.4	— 1	3	10
14	— 2.9	— 4	3	12
15	+ 2.6	+ 4	2	34
16	+ 13.8	+ 20	9	1
17	+ 5.5	+ 8	3	8
18	— 0.9	— 1	2	16
19	— 22.3	— 33	4	6
20	+ 5.4	+ 8	3	10
21	— 4.5	— 7	9	1
22	— 18.2	— 27	6	2
23	+ 0.2	0	2	25
24	— 1.1	— 2	3	7
25	— 14.7	— 21	6	2
26	+ 0.8	+ 1	6	2
27	— 23.1	— 33	9	1
28	+ 0.7	+ 1	2	24
29	+ 0.8	+ 1	1	36
30	— 4.1	— 6	2	29
31	+ 16.6	+ 24	0	1

Linie	$\nu - \nu_0$	$d\lambda$	m. F. von $d\lambda$	N
32	+ 1.1 km	+ 0.02	± 0.03	12
33	— 1.6	— 2	9	1
34	+ 3.2	+ 5	3	11
35	+ 0.1	0	1	36
36	+ 2.9	+ 4	3	11
37	— 2.5	— 4	4	6
38	+ 1.6	+ 2	2	13
39	— 4.8	— 7	5	3
40	+ 1.3	+ 2	3	8
41	+ 0.1	0	3	10
42	— 0.2	0	3	8
43	+ 2.4	+ 4	5	3
44	— 0.1	0	5	3
45	+ 0.8	+ 1	4	4
46	— 1.4	— 2	4	6
47	+ 2.9	+ 4	5	3
48	+ 0.1	0	4	4
49	+ 1.7	+ 2	4	5
50	— 5.2	— 8	9	1
51	— 3.0	— 4	9	1
52	+ 2.2	+ 3	9	1
53	+ 2.7	+ 4	4	6
54	— 0.2	0	3	8
55	— 3.2	— 5	5	3
56	+ 0.6	+ 1	5	3

In der dritten Kolumne sind die $\nu - \nu_0$ wieder in die zu unseren λ hinzuzufügenden Korrekturen $d\lambda$ verwandelt.

Die oben erwähnten Differenzen in der Führung der α -Kurve können auf die $d\lambda$ höchstens mit einem Betrage von 0.003 A. E. eingehen, also bei den folgenden Betrachtungen gänzlich außer acht gelassen werden.

Größere Beträge erreichen die $d\lambda$ für die Linien 11, 16, 19, 22, 25, 27 und 31. Alle diese Abweichungen außer der dritten beruhen jedoch auf nur ein oder zwei Messungen, sind also wohl nicht ausreichend verbürgt.

Die Linie 19 wurde von mir sechsmal gemessen in guter Übereinstimmung und ergab mit obiger Identifizierung die Abweichungen:

$$\begin{array}{l|l} \nu - \nu_0 = -19.3 \text{ km} & \nu - \nu_0 = -30.3 \text{ km} \\ -20.7 & -22.6 \\ -19.6 & -21.6 \end{array}$$

im Mittel also -22.35 km oder $d\lambda = -0.33 \text{ A. E.}$ Eberhard hat diese Linie auf 11 Platten von α Persei, also einem Übergangstypus von der ersten zur zweiten Vogelschen Spektralklasse, gemessen und schwächere, aber ebenfalls negative Korrekturen gefunden, nämlich im Mittel $\nu - \nu_0 = -2.9 \text{ km}$ oder $d\lambda = -0.04$. Ich habe die Linien ebenfalls wie Eberhard identifiziert mit $Fe + Ti$. Sie könnte allenfalls außer mit diesen beiden Linien noch mit 4390.617 $Fe?$ 1 identifiziert werden, und diese drei Linien würden zusammen mit den Rowlandschen Intensitäten die Wellenlänge 4391.014 ergeben. Die Wellenlänge dürfte eher etwas größer als kleiner sein, da im Siriuspektrum die Ti -Linien wesentlich stärker vorhanden sein werden als im Sonnenspektrum. Es bleibt also immer noch eine beträchtliche Abweichung in demselben Sinne vorhanden. Ist sie reell und die Identifizierung richtig, so würde das auf eine Verschiebung dieser

Linie nach Blau in den frühen Typen hinweisen, die Linie also zur Bestimmung der ν ungeeignet sein.

Das Gleiche gilt vielleicht auch von der Linie 25. Sie ist zwar von mir nur zweimal gemessen worden mit den Abweichungen $\nu - \nu_0 = -18.7$ und -10.7 km, im Mittel also -14.7 km oder $d\lambda = -0.21$ A.E., ihre Abweichungen werden aber ebenfalls von Messungen Eberhards an den obigen elf α Persei-Platten bestätigt. Eberhard fand nämlich

$$\begin{array}{r|l} \nu - \nu_0 = -0.2 \text{ km} & \nu - \nu_0 = -12.5 \text{ km} \\ + 0.7 & - 9.6 \\ - 13.9 & - 15.6 \end{array}$$

im Mittel also gleich -8.52 km oder $d\lambda = -0.13$ A.E. Auch hier dürfte also eine Verschiebung der Linie nach Blau in den frühen Typen vorliegen. Eine Korrektur unserer ν_0 wegen dieser beiden Linien ist jedoch nicht nötig, da diese beiden Linien bereits in den ν_0 und in allen folgenden Mitteln wegen ihrer stark abweichenden Werte ausgeschlossen wurden.

Das Gleiche gilt von den anderen Linien. Über einige derselben ist Näheres oben mitgeteilt worden.

Eine Reihe weiterer hier gemessener Linien ist von S. Albrecht als Liniengruppen mit in den einzelnen Sterntypen wechselnden Intensitäten der einzelnen Komponenten verdächtigt worden. Es sind dieses mit der bereits oben erwähnten Linie 11:

Lin.	Verschiebung nach Albrecht	beob. Verschiebung	Lin.	Verschieb. n. Albrecht	beob. Verschieb.
9	vielleicht nach Rot	nach Blau	18	nach Rot	nach Rot
10	—	nach Blau	29	nach Blau	nach Blau
11	nach Blau	nach Rot	38	nach Blau	nach Blau
12	in späteren Typen	nach Blau	55	nach Rot	nach Rot.
13		nach Rot			

Die Verschiebungen, die diese Linien nach Albrecht erfahren, wenn man von den F -Typen zu den M -Typen fortschreitet, ist in der zweiten Kolumne gegeben, während die dritte Kolumne den Sinn der Verschiebung, wie sie aus meinen Messungen folgen würde, gibt. Denselben Sinn der Verschiebung zeigen nur die Linien 12, 18, 29, 38 und 55. Die Übereinstimmung kann aber in keinem Falle wirklich verbürgt werden.

Fassen wir die einzelnen $\nu - \nu_0$ und zwar nur diejenigen, die durch mindestens acht Messungen verbürgt sind, entsprechend der Verteilung der zugehörigen λ über das Spektrum in vier Gruppen zu Mittelwerten zusammen, so folgen die Werte:

mittlere Wellenlänge	$\nu - \nu_0$	Zahl d. Linien	N
4510	+1.15 km	6	93
4400	+1.32	7	115
4335	+0.34	5	112
4300	+0.97	6	86

Die Abweichungen $\nu - \nu_0$ sind sämtlich positiv, wie ja auch in der ersten Zusammenstellung der einzelnen $\nu - \nu_0$ nur 23 negative Vorzeichen 33 positiven gegenüberstehen. Die durchschnittliche Abweichung würde darnach etwa $+1$ km betragen, und um diesen Betrag müßten dann unsere ν_0 durchschnittlich zu klein sein. Daß dieses wenigstens in solchem Betrage nicht der Fall ist, zeigt einmal die Zusammenstellung der Mittelwerte ν . Es folgt dieses aber auch, wenn man nur die obigen Linien auf den einzelnen

Platten herausgreift und mit ihnen allein, ohne jegliche Rücksicht auf die Sicherheit der Messungen im einzelnen neue Mittelwerte ν_7 für die einzelnen Platten bildet. Es zeigt sich dann, daß diese neuen ν_7 sich von unseren ν_0 im Durchschnitt nur um $+0.3$ km unterscheiden, und in der Tat kommt der obige Durchschnittswert $+1$ km nur zustande, weil wir die einzelnen $\nu - \nu_0$ der einzelnen Linien alle als gleichwertig betrachtet und gemittelt haben. Die Mittelwerte $\nu - \nu_0$ sind nämlich der Reihe nach für die

$$\begin{array}{ll} 7 \text{ Linien mit mehr als 20 Messungen} & \nu - \nu_0 = 0.0 \text{ km,} \\ 11 \text{ Linien mit 11 bis 20 Messungen} & \nu - \nu_0 = +1.1 \text{ km,} \\ 7 \text{ Linien mit 8 bis 10 Messungen} & \nu - \nu_0 = +1.6 \text{ km.} \end{array}$$

Die von uns getroffene Wahl der ν_0 macht also die durchschnittlichen $\nu - \nu_0$ für die am häufigsten gemessenen und, was gleichbedeutend ist, für die besten Linien im Siriuspektrum zu null. Es ist dieses wieder ein Beweis dafür, daß unsere ν_0 nicht weit von der Wahrheit abweichen können.

Setzen wir für die in bezug auf ihre Identifizierung oder eventuell Linienverschiebung oben schon oder im folgenden verdächtigten Linien die zu diesen noch zu verbessernden λ gehörenden Werte ($\nu - \nu_0$) ein oder schließen sie eventuell von den hier gebildeten Gruppenwerten aus, so gehen diese über in entsprechend $+0.4$, $+0.9$, $+0.1$ km. Unsere ν_0 könnten also durchschnittlich um einen Betrag bis zu etwa 0.5 km zu klein sein. In diesem Falle würde dann das Gleiche auch von den weiter unten gegebenen Größen V_0 , W , W_0 , V_m und V'_m gelten.

Wir haben oben die m. F. eines einzelnen ν und der ν_0 berechnet aus den Differenzen $\nu - \nu_0$ für die einzelnen Linien einer Platte. Bringen wir an diese $\nu - \nu_0$ die oben gefundenen systematischen Beträge $\nu - \nu_0$ an, wobei wir jedoch nur diejenigen Linien mitnehmen, deren systematische Korrektur durch mindestens vier Messungen verbürgt ist, so folgen die m. F. r und r_0 für die einzelnen ν und für die Plattenwerte ν_0 im Mittel aus 11 Platten

$$r = \pm 5.7 \text{ km}$$

$$\text{und} \quad r_0 = \pm 1.5 \text{ km.}$$

Die m. F. r und r_0 sind also, wie zu erwarten war, kleiner geworden. Der m. F. eines einzelnen $\nu - \nu_0$ folgt dann zu ungefähr ± 5.9 km, also rund ± 6 km. Damit erhalten wir dann unmittelbar Näherungswerte für die m. F. unserer systematischen Beträge $\nu - \nu_0$ oder unserer $d\lambda$, wie in der obigen Zusammenstellung gegeben.

Ein Blick auf diese $d\lambda$ zeigt nun, daß, von den bereits oben betrachteten Linien abgesehen, insbesondere für die Linien 17, 20 und 30, die $d\lambda$ wesentlich größer sind als die zugehörigen m. F. Genauere Werte für diese letzteren können wir unmittelbar aus den einzelnen Abweichungen $\nu - \nu_0$ ableiten, nachdem wir diese von dem systematischen Betrage dieser $\nu - \nu_0$ befreit haben, und wir erhalten dann für die $d\lambda$ dieser drei Linien der Reihe nach die m. F. ± 0.04 , ± 0.03 und ± 0.01 A.E. Hiernach ist besonders die Abweichung der Linie 30, die durch 29 Beobachtungen verbürgt wird, als reell anzusehen. Sie ist vielleicht auf Linienverschiebung zurückzuführen, vielleicht aber auch mit mehr Recht auf eine nicht ganz einwandfreie Identifizierung. Nimmt man nämlich die oben bei der Identifizierung der Linien vernachlässigten Linien mit den Rowlandschen Intensitäten als Gewichten hinzu, so erhalten wir gerade die für Linie 30 geforderte Wellenlänge. Ähnlich liegen die

Verhältnisse, wie ebenfalls schon oben bemerkt, für die Linien 15, 38, 39 und 43. Die Mitnahme der dort vernachlässigten Linien mit den Rowlandschen Intensitäten als Gewichten gibt nämlich der Reihe nach folgende Wellenlängen

Linie 15	4404.95	+0.02
» 30	4325.88	0.00
» 38	4300.24	-0.01
» 39	4299.36	-0.02
» 43	4288.13	-0.01

In der dritten Kolumne sind die an Stelle der obigen λ tretenden Werte gegeben. Es sind also an Stelle der bei der zweiten Identifizierung gewählten entsprechenden Wellenlängen die hier gegebenen Werte zu nehmen und die an die ν dieser Linien auf sämtlichen Platten der Reihe nach anzubringenden Korrekturen:

-1.4 km, +4.1 km, -2.1 km, +3.5 km und -3.8 km.

Unter Berücksichtigung des diesen einzelnen Linien gestatteten Einflusses auf die ν_0 der einzelnen Platten ergeben sich dann die Korrekturen $d\nu_0$ und mit ihnen die in der dritten Kolumne gegebenen verbesserten Plattenwerte ν_0 der folgenden Tabelle.

Gemessen 1908.

Platte	$d\nu_0$	ν_0	Platte	$d\nu_0$	ν_0
463	+0.5	+ 2.3	1399	+0.8	+14.2
464	+0.3	- 1.9	1616	0.0	+12.9
480	+0.2	+ 6.6	1617	+0.5	+14.4
481	+0.2	+ 2.6	1794	+0.5	+19.0
539	-0.1	+13.7	1794	+1.5	+17.0
540	+0.1	+13.3	1795	-0.5	+13.5
555	+0.3	+13.7	1796	0.0	+13.4
991	+0.4	+14.8	1797	-0.4	+ 9.8
992	-0.8	+11.7	1911	0.0	+10.0
997	-0.1	+14.3	1912	-0.3	+ 9.2
1319	+0.4	- 2.5	2088	+0.5	+14.9
1320	-0.2	- 6.4	2089	0.0	+13.4
1327	+0.3	0.0	2178	+0.5	+ 8.0
1333	+0.4	- 2.6	2178	-1.1	+ 4.4
1377	+1.4	+ 8.2	2179	0.0	+ 8.0
1378	+0.2	+ 8.0	2180	0.0	+13.3

Gemessen 1910.

Platte	$d\nu_0$	ν_0	Platte	$d\nu_0$	ν_0
1319		- 4.8	2179	0.0	+ 5.7
1327		- 3.0	2180		+16.4
1794		+18.1	2527	+2.0	+ 9.2
1797	-0.6	+10.2	2528		+ 8.0
1911		+ 9.4	2529		+10.0
1912		+ 8.8			

Für die doppelt und dreifach gemessenen Platten habe ich dann nach Maßgabe der Zahl der Linien oder der inneren Genauigkeit der einzelnen Platten folgende definitiven Plattenwerte angenommen:

Platte	ν_0	Platte	ν_0
1319	- 3.5 km	1912	+ 9.0 km
1327	- 2.0	2178	+ 6.0
1794	+18.0	2179	+ 7.0
1797	+10.0	2180	+14.8
1911	+ 9.7		

Eine Betrachtung der obigen definitiven Plattenwerte zeigt zum Teil auffallend starke Differenzen zwischen den Werten von an einem und demselben Abende aufgenommenen Platten, die nur zum Teil durch die Unsicherheit der Messungen erklärt werden können, so besonders bei den Platten 1794-1797 und 2178-2180. Daß es sich hier tatsächlich um reelle Plattendifferenzen handelt, folgt aus den hinreichend übereinstimmenden Messungen Ludendorffs, der die Freundlichkeit hatte, die Platten 2179 und 2180 nachzumessen. Er fand

Linie	Pl. 2179	Pl. 2180
	ν	ν
8	+ 6.0	+16.7
29	+10.4	(+24.2)
35	+ 8.4	+18.1

im Mittel also etwa +8.3 und +17.4 km. Da die Aufnahmen immer unmittelbar aufeinander folgten und jede nur kürzere Zeit exponiert wurde, so ist es wohl ausgeschlossen, daß es sich hier um tatsächliche Geschwindigkeitsänderungen des Sirius handeln könnte. Aus gleichem Grunde ist aber auch ein merklicher Einfluß der Biegung des Apparates ausgeschlossen, ganz abgesehen davon, daß der davon herrührende Betrag für Sirius im ungünstigsten Falle nach Eberhards Untersuchungen höchstens etwa 2 km ausmachen kann. Auch die in der ersten Tabelle gegebenen kleinen Temperaturschwankungen des Apparates bei den Platten 2178-2180 können nicht zur Erklärung herangezogen werden, da nach den Untersuchungen Eberhards eine Temperaturerhöhung von 0.1 C nur eine Geschwindigkeitsänderung von 1.7 km mit sich bringt. Eher darf diese Erklärung vielleicht bei den Differenzen der Platten 1794-1797 herangezogen werden. Bei diesen Aufnahmen wurden nämlich nicht die Prismtemperaturen, sondern die Temperaturen der den Spektrographen umgebenden Luftschicht abgelesen. Diese den Spektrographen umgebende Luft ist zwar nach Maßgabe der mitgeteilten Thermometerablesungen während aller Aufnahmen konstant geblieben. Da sich jedoch, wie die Arbeiten mit dem Spektrographen IV gezeigt haben, innerhalb des Heizkastens Temperaturschichtungen bilden und der Spektrograph während der vier Aufnahmen eine, wenn auch kleine Änderung seiner Lage erfahren hat, so ist es immerhin möglich, daß die Temperatur der Prismen während dieser vier einzelnen Aufnahmen eine Änderung erfahren hat.

Die extremen Werte der Platten 1794-1797 geben im Mittel fast denselben Wert, den in guter Übereinstimmung die Platten 1795 und 1796 ergeben. Das Mittel aus allen wird also vielleicht nicht fern von der Wahrheit liegen. Dagegen ist der aus den Platten 2178-2180 abzuleitende Abendwert nur sehr unsicher.

Die folgende Tabelle gibt der Reihe nach das Datum, an dem die einzelnen Platten aufgenommen wurden, den aus den definitiven Plattenwerten nach Maßgabe ihrer Vertrauenswürdigkeit angenommenen Abendwert ν_0 für die relative Geschwindigkeit Sirius - Erde, die Korrektur für die jährliche und tägliche Bewegung der Erde, die relative Geschwindigkeit Sirius - Sonne W und die Jahresmittel dieser letzteren Geschwindigkeit W_0 .

Datum	V_0	Korr. für Erdbewegung	W	W_0
1901 Jan. 23	0.0 km	— 8.0	— 8.0 km	— 8.9
Febr. 8	+ 4.7	— 13.7	— 9.0	
März 26	+ 13.4	— 22.9	— 9.5	
April 2	+ 13.7	— 23.0	— 9.3	
1902 April 2	+ 13.5	— 23.0	— 9.5	— 9.0
» 9	+ 14.3	— 22.9	— 8.6	
1903 Jan. 13	— 5.0	— 3.8	— 8.8	— 8.0
» 17	— 2.0	— 5.4	— 7.4	
» 18	— 2.6	— 5.8	— 8.4	
Febr. 16	+ 8.0	— 16.0	— 8.0	
März 12	+ 14.2	— 21.4	— 7.2	
1904 März 26	+ 13.8	— 22.8	— 9.0	— 9.0
1905 März 18	+ 13.7	— 22.1	— 8.4	— 8.4
1906 April 4	+ 9.3	— 23.0	— 13.7	— 13.7
1907 März 17	+ 14.3	— 22.1	— 7.8	— 7.8
1908 März 26	+ 9.0	— 22.8	— 13.8	— 13.8
1910 März 4	+ 9.1	— 19.9	— 10.8	— 10.8

Es ist bereits oben erwähnt worden, daß die u -Kurve aus verschiedenen Gründen nicht immer so gezeichnet wurde, daß die Gesamtsumme der einzelnen Abweichungen zu null wurde. Die Erfüllung dieser Bedingung würde, wie eine genaue Durchsicht sämtlicher Platten zeigte, zu Korrekturen für die einzelnen Abendwerte von höchstens ± 0.1 km führen.

Aus den Differenzen der einzelnen definitiven Plattenwerte und der obigen Abendwerte V_0 folgt für die Abende, für die mehrere Platten vorliegen, der m. F. eines unserer definitiven Plattenwerte r_0 , sowie der m. F. eines der obigen Abendwerte R_0 im Mittel aus 12 Werten:

$$r_0 = \pm 1.9 \text{ km} \quad R_0 = \pm 1.2 \text{ km}$$

und nach Ausschluß der Werte für die Platten 1794–1797 und 2178–2180:

$$r_0 = \pm 1.4 \text{ km} \quad R_0 = \pm 1.0 \text{ km}.$$

Für die im Visionsradius liegende Geschwindigkeitskomponente des Sirius in seiner Bewegung um seinen und seines Begleiters gemeinsamen Schwerpunkt gibt W. W. Campbell¹⁾ in km ausgedrückt

$$V_1 = +1.777 - 3.571 \cos(\nu + 147^\circ 53'6).$$

Zugrunde gelegt sind dabei der Rechnung die von Zwiers gegebenen Elemente der Bahn des Begleiters um den Hauptstern, die Parallaxe nach Gill zu 0".37 und das Massenverhältnis nach Auwers gleich 1.04 : 2.20.

Neuere Elemente sind von Lohse²⁾ publiziert worden und zwar, wenn wir die einzelnen Elemente wie Campbell definieren:

$$\begin{array}{lll} P = 49.32 \text{ Jahre} & \Omega = 43^\circ 266 & \left. \begin{array}{l} \text{Pos.-Winkel} \\ \text{abnehmend} \end{array} \right\} \\ T = 1894.138 & \omega = 146.275 & \\ a = 7''.55 & i = +44.548 & \\ e = 0.5904 & \mu = 7.29938. & \end{array}$$

Mit ihnen folgt in km:

$$V_1 = +1.687 - 3.436 \cos(\nu + 146^\circ 16'5)$$

¹⁾ Astrophys. Journal XXI S. 179.

²⁾ A. N. 4376 S. 119.

³⁾ Publ. des Astrophys. Observatoriums zu Potsdam, Nr. 58 S. 89.

⁴⁾ Astrophys. Journal XXI S. 181.

und sodann die Differenz V_1 (Lohse) — V_1 (Zwiers):

1900.09	0.00 km	1906.09	+0.08 km
1901.09	+0.02	1907.09	+0.08
1902.09	+0.04	1908.09	+0.08
1903.09	+0.06	1909.09	+0.09
1904.09	+0.07	1910.09	+0.09
1905.09	+0.07	1911.09	+0.09

Die Differenzen von 1900.09 bis 1907.09 sind bereits von Ludendorff³⁾ mitgeteilt worden.

Wir erhalten so die Werte V_1 der nachstehenden Tabelle und für die relative Bewegung des Schwerpunktes des Systems zur Sonne die Werte V_m .

Datum	V_1	V_m
1901 Jan. 23	+1.83	— 9.8
Febr. 8	+1.81	— 10.8
März 26	+1.77	— 11.3
April 2	+1.76	— 11.1
1902 April 2	+1.40	— 10.9
» 9	+1.39	— 10.0
1903 Jan. 13	+1.15	— 9.9
» 17	+1.15	— 8.5
» 18	+1.15	— 9.5
Febr. 16	+1.13	— 9.1
März 12	+1.11	— 8.3
1904 März 26	+0.83	— 9.8
1905 März 18	+0.59	— 9.0
1906 April 4	+0.38	— 14.1
1907 März 17	+0.19	— 8.0
1908 März 26	+0.02	— 13.8
1910 März 4	—0.28	— 10.5

Die Übereinstimmung der einzelnen Werte V_m ist keineswegs sehr befriedigend. Die Werte für 1901 und 1903, von dem recht unsicheren V_m für 1903 Jan. 17 abgesehen, zeigen einen deutlichen Gang, die Werte für 1906 und 1908 fallen recht beträchtlich heraus. Das Mittel sämtlicher V_m ergibt sich zu

$$V'_m = -10.3 \text{ km},$$

der m. F. eines einzelnen V_m zu ± 1.7 km, der unseres Mittelwertes zu ± 0.4 km. Schließt man die Beobachtungen 1906 und 1908 aus, so folgt als mittleres V'_m

$$V'_m = -9.8 \text{ km},$$

und die entsprechenden m. F. werden ± 1.2 km und ± 0.3 km.

Die m. F. eines einzelnen V_m ± 1.7 km und ± 1.2 km sind wesentlich größer als die oben für die V_0 und W gefundenen m. F. ± 1.2 km und ± 1.0 km. Sowohl aus diesem größeren m. F. der V_m als auch aus dem in den V_m auftretenden Gänge und den teilweise stark herausfallenden Werten V_m muß man schließen, daß noch unbekannte systematische Einflüsse in den Messungen enthalten sind, die vielleicht auf eine kurzperiodische Veränderlichkeit in der Bewegung des Sirius zurückzuführen sind, wie schon ähnliches Campbell⁴⁾ vermutet hat.

Nimmt man an, daß der Gillsche Wert für die Parallaxe $+0.37$ um höchstens ± 0.05 fehlerhaft sei, so ist ein hiervon abhängiger Fehler der V_1 nur von der Ordnung

$$\begin{aligned} 1901 \text{ Jan. } 23 & \quad \pm 0.25 \text{ km} \\ 1905 \text{ März } 18 & \quad \pm 0.08 \\ 1910 \text{ März } 4 & \quad \pm 0.04 \end{aligned}$$

so daß ein Fehler in der Parallaxe auf den Wert von V'_m selbst im Maximum nur geringen Einfluß ausüben kann.

Daß, wie schon oben vermutet, kein Stundenwinkelfehler vorhanden ist, geht aus der folgenden Anordnung der V_m und der Abweichungen der V_m von ihrem Mittelwerte $V'_m = -10.4$ km nach dem Stundenwinkel hervor.

Platte	Stundenwinkel	V_m	$V_m - V'_m$
2527	$-1^h 21^m 5$	-10.4	0.0
2528	$-1 \quad 5.5$	-11.6	-1.2
463	$-1 \quad 3.5$	-7.5	$+2.9$
1327	$-0 \quad 54$	-8.5	$+1.8$
1333	$-0 \quad 53$	-9.5	$+0.8$
2529	$-0 \quad 51$	-9.6	$+0.8$
1319	$-0 \quad 44$	-8.4	$+1.9$
1377	$-0 \quad 37$	-8.9	$+1.5$
464	$-0 \quad 33.5$	-11.7	-1.3
1320	$-0 \quad 29$	-11.3	-0.9
1794	$-0 \quad 13$	-4.7	$+5.7$
1378	$-0 \quad 6$	-9.1	$+1.3$
1795	$+0 \quad 8$	-9.2	$+1.2$
480	$+0 \quad 9.5$	-8.9	$+1.5$
481	$+0 \quad 24.5$	-12.9	-2.5
2178	$+0 \quad 27$	-16.8	-6.4
1796	$+0 \quad 32$	-9.3	$+1.1$
1616	$+0 \quad 35$	-10.7	-0.3
1399	$+0 \quad 39$	-8.3	$+2.1$
2179	$+0 \quad 43$	-15.8	-5.4
1617	$+0 \quad 49.5$	-9.2	$+1.2$
1797	$+0 \quad 51$	-12.7	-2.3
2180	$+0 \quad 52$	-8.0	$+2.4$
539	$+1 \quad 2.5$	-11.0	-0.6
991	$+1 \quad 3$	-9.6	$+0.8$
1911	$+1 \quad 12$	-13.7	-3.3
992	$+1 \quad 13$	-12.7	-2.3
555	$+1 \quad 28$	-11.1	-0.7
1912	$+1 \quad 31$	-14.4	-4.0
2088	$+1 \quad 46$	-7.4	$+3.0$
997	$+1 \quad 54$	-10.0	$+0.4$
2089	$+1 \quad 58$	-8.9	$+1.5$
540	$+2 \quad 4$	-11.4	-1.0

Der m. F. eines einzelnen Plattenwertes und des arithmetischen Mittels aller Werte ergeben sich zu ± 2.5 und ± 0.4 km, also ungefähr so, wie nach dem obigen zu erwarten war.

Potsdam, Astrophys. Observatorium, 1910 Aug. 17.

¹⁾ Zeitschrift für Instrumentenkunde 1910 S. 32.

²⁾ Astrophys. Journal XXI S. 182.

³⁾ Astrophys. Journal XV S. 215.

Inhalt zu Nr. 4455. W. Münch. Untersuchungen über die Radialgeschwindigkeit des Sirius in den Jahren 1901–1910. 225.

Geschlossen 1910 Nov. 20. Herausgeber: H. Kobold. Druck von C. Schaidt (Georg Oheim, Alfred Oheim). Expedition: Kiel, Moltkestr. 80.

Es erübrigt noch, die systematische Differenz meiner Messungen gegen andere Beobachter, wie sie aus verschiedener Auffassung der einzelnen Sternlinien folgt, zu bestimmen. Eberhard ¹⁾ hat vor längerer Zeit einige der ersten der obigen Platten ausgemessen und für die Geschwindigkeit Sirius – Sonne die nachstehend unter E gegebenen Werte erhalten.

Platte	E	M	E – M
463	-7.3 km	-5.7 km	-1.6 km
464	-7.7	-9.9	$+2.2$
480	-7.9	-7.1	-0.8
539	-8.0	-9.2	$+1.2$
540	-7.1	-9.6	$+2.5$
555	-7.6	-9.3	$+1.7$
991	-7.4	-8.2	$+0.8$
992	-7.7	-11.3	$+3.6$
993	-8.3		
997	-8.1	-8.6	$+0.5$

In der dritten Kolumne sind die entsprechenden Resultate meiner Messungen und in der vierten die Differenzen Eberhard – Münch gegeben. Ich habe also gegen Eberhard die Geschwindigkeiten im Mittel um 1.1 km zu klein gemessen.

Ein direkter Vergleich meiner Messungen mit den von Campbell ²⁾ publizierten Messungen des Herrn Burns ist nur möglich für einige Platten zu Anfang 1903. Campbell teilt mit

1903 Febr. 10	-6.2 km	1903 Febr. 15	-7.3 km
» 10	-5.8	» 23	-6.5
» 10	-7.2	» 23	-7.8

Im Mittel für Mitte Februar -6.8 km.

Meine Messung 1903 Febr. 16, sowie das Mittel meiner sämtlichen Messungen vom Jahre 1903 geben beide -8.0 km, so daß meine Messungen gegen die Burns' wieder um 1.2 km systematisch nach der negativen Seite hin abweichen.

Schließlich liegen noch 10 Bestimmungen von W. S. Adams ³⁾ zwischen 1901 Dez. 18 und 1902 März 12 vor, die im Mittel -6.87 km geben. Sie werden von meinen Beobachtungen

1901 März 26	-9.5 km
April 2	-9.3
1902 April 2	-9.5
» 9	-8.6
Mittel	-9.2 km

eingeschlossen. Nach Maßgabe der Mittelwerte würden meine Messungen die Geschwindigkeiten um etwa -2.3 km abweichend ergeben.

Falls, wie oben erwähnt, die v_0 durchschnittlich bis zu etwa 0.5 km zu klein bestimmt worden sind, so würden die hier gefundenen Differenzen ihrem absoluten Werte nach um diesen Betrag kleiner werden.

W. Münch.