2. *Normalen aus dem Bogenspectrum des Eisens;* *von H. Kayser.*

Die einzige wirklich zuverlässige Methode zur Bestimmung von Wellenlängen besteht darin, dass man in dem zu messenden Spectrum eine Anzahl genau bekannter Linien erzeugt. Handelt es sich um die Auswertung einer mit Concavgitter hergestellten Photographie, also eines normalen Spectrums, so würde schon eine lineare Interpolation zwischen zwei an den Enden des gemessenen Stückes liegenden bekannten Linien angenäherte Wellenlängen der dazwischen liegenden unbekannten Linien geben. Da aber weder das Spectrum vollkommen normal, noch die Vorrichtung, mit welcher man die Platte misst, fehlerfrei ist, endlich auch Fehler in den Normalen und ihrer Messung vorkommen, wird man viel grössere Genauigkeit erreichen, wenn man noch eine grössere Zahl von Normalen zwischen den Endlinien zur Verfügung hat. Man bildet dann die Differenzen zwischen den aus den Endlinien berechneten und den bekannten Wellenlängen aller Normalen, und ermittelt mit der Methode der kleinsten Quadrate oder besser graphisch die Curve, welche sich statt der geraden Linie am besten den Messungen aller bekannten Linien anschmiegt, und corrigirt danach die Messungen der unbekannten Linien.

Es ist daraus ersichtlich, dass es wünschenswert ist, eine grössere Anzahl von Normalen zu haben.

Handelt es sich um Spectra, die im Kohlebogen erzeugt werden, so wird man am zweckmässigsten Eisenlinien als Normalen benutzen, da die Kohlen so viel Eisen enthalten, dass eine grosse Zahl der Hauptlinien von selbst erscheinen; eventuell kann man noch etwas Eisensalz oder metallisches Eisen in den Bogen bringen.

Das Fundament aller Wellenlängenbestimmungen wird wohl noch für längere Zeit die Tabelle¹⁾ bilden, welche

1) H. A. Rowland, Phil. Mag. (5) **36**. p. 49—75. 1893.

Rowland mit Hülfe der Coincidenzmethode aufgestellt hat. In derselben finden sich auch viel Linien des Bogenspectrums des Eisens, aber leider genügt ihre Anzahl nicht in allen Theilen des Spectrums. Gehen wir von 2300 A.-E. nach grösseren Wellenlängen, so giebt er auf je 100 Einheiten 8, 14, 13, 3, 17, 8, 17, 23, 3, 3, 3, 12, 7, 18, 22, 7, 4 solcher Linien. Von 4000 A.-E. wird ihre Zahl noch geringer und nach 4500 hören sie so gut wie ganz auf.

Es liegt somit ein dringendes Bedürfnis nach weiteren Messungen des Eisenspectrums vor, welche die gleiche Genauigkeit, wie Rowland's Normalen besitzen.

Als Runge und ich unsere Untersuchungen über die Bogenspectra der Elemente begannen, haben wir daher zuerst das Eisenspectrum¹⁾ festgelegt. Da damals Rowland's Tabelle noch nicht existirte, wir ungenügende Hilfsmittel hatten, es auch unsere ersten Messungen waren, bei denen wir glaubten, uns mit einer Genauigkeit von 0,1 A.-E. begnügen zu können, so sind diese Messungen nicht besonders gut ausgefallen und sind heute ganz ungenügend. Dazu kommt noch, dass damals ein anderer Wert für die *D*-Linien zu Grunde gelegt war, als ihn später Rowland annahm. So haben schon Runge und ich später²⁾ eine kleine Liste neuer Messungen veröffentlicht, die unseren Publicationen zu Grunde liegt.

Inzwischen hat sich die Genauigkeit aller Messungen wieder wesentlich gesteigert, und eine Fehlergrenze von nur einigen Tausendsteln einer A.-E. ist für scharfe Linien sehr wohl erreichbar. Daher habe ich für meine Messung der Spectra der Platingruppe³⁾ eine neue Messung des Eisenspectrums vorgenommen. Ich habe jetzt noch neue Messungen ausgeführt, und glaube nun die Genauigkeit erreicht zu haben, die sich mit den Rowland'schen Gittern überhaupt erreichen

1) H. Kayser u. C. Runge, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1888.

2) H. Kayser u. C. Runge, l. c. 1890; Wied. Ann. 41. p. 302 bis 320. 1890.

3) H. Kayser, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1897.

lässt, nämlich einen mittleren Fehler von höchstens 0,003 A.-E. für alle Linien.

Meine Messungen beruhen ausschliesslich auf den Rowland'schen Normalen. Es sind aber nicht nur dessen Eisennormalen benutzt, sondern auch die der anderen Elemente, indem in den Eisenbogen noch Ni, Co, Mn, Ti, Mg, Ca, Sr, Zn, In, Ba etc. hineingebracht wurde. Dadurch wurde es möglich, auch in den Teilen, wo Rowland's Eisennormalen absolut nicht genügen, wie z. B. zwischen 3200 und 3500, noch genügende Genauigkeit zu erreichen. Es sind aber ausschliesslich Normalen aus dem Bogen, nie solche aus der Sonne herangezogen, aus gleich zu besprechendem Grunde.

Rowland meint, der Fehler aller seiner Normalen werde höchstens 0,01 A.-E. betragen. Ich glaube, dass er für einzelne sehr wenige Linien grösser ist, und man wird bei Vergleichung meiner Liste mit der Rowland's solche Fälle finden. Im ganzen denke ich, dass meine Zahlen genauer sind, als die Rowland's, da durch die vielen Messungen sich die Fehler ausgleichen müssen. Jede Wellenlänge in der folgenden Tabelle ist Mittelwert aus 6—15 Messungen, zu welchen die Aufnahmen in verschiedenen Jahren und mit drei verschiedenen Gittern in verschiedenen Ordnungen gemacht sind. Der mittlere Fehler liegt zwischen 0,001 und 0,003 A.-E.

Man könnte nun diese Arbeit für überflüssig halten, da Rowland in seinen Listen der Fraunhofer'schen Linien auch Messungen aller Eisenlinien veröffentlicht hat. Indessen darf man nicht vergessen, dass die Wellenlängen des Sonnenspectrums bei der hier erstrebten Genauigkeit durchaus nicht mit den Wellenlängen derselben Linien im Bogenspectrum zu identificiren sind. Ein Blick in die Rowland'sche Tabelle zeigt, welche Unterschiede sich für dieselbe Linie in beiden Fällen ergeben können; sie gehen bis über 0,2 A.-E. Es scheint ferner nach den alten Beobachtungen von Lockyer über die verschiedenartige Verschiebung und Verzerrung der Linien desselben Elementes in den Sonnenflecken, und nach den Beobachtungen von Jewell, als entständen z. B. die verschiedenen Linien des Eisens in verschiedenen Schichten der Sonnenatmosphäre, wo verschiedene Bedingungen des Druckes herrschen. Es ist dann aber ganz unerlaubt, die Wellenlängen

des Sonnenspectrums für irdische Spectra zu verwenden. Aus diesem Grunde habe ich auch aus Rowland's Tabelle der Normalen keine Sonnenlinien benutzt.

Ganz besondere Schwierigkeit machte die Gegend bei 3400 A.-E. Rowland hat zwei Normalen bei 3306, dann folgt eine bei 3389, zwei bei 3406, eine bei 3427, dann von 3440 an mehrere. Die Normalen bei 3389, 3406, 3427 sind nun nach meiner Meinung sämtlich um 0,02—0,03 A.-E. zu gross gegeben. Meine Correctionscurven, die auf diesen Linien beruhten, bekamen immer einen ganz unmöglichen Knick bei 3400, sodass ich mich schliesslich genötigt sah, diese Normalen fort zu lassen. Dass ich damit wohl das Richtige getroffen, wird dadurch wahrscheinlich gemacht, dass ich Werte für diese Linien erhalten habe, die mit Rowland's Angaben für das Sonnenspectrum gut übereinstimmen.

Die folgende Tabelle giebt eine für den Zweck der Interpolation vollkommen ausreichende Anzahl von Eisenlinien in dem mit gewöhnlichen Platten photographirbaren Teil des Spectrums zwischen 2300 und 4500. Es sind dabei solche Linien gewählt, welche möglichst leicht erscheinen und gleichzeitig möglichst scharf sind, namentlich also die leicht umkehrbaren Linien. Die Intensitätsangaben gehen von 1 für die schwachen, bis zu 10 für die stärksten Linien, und beruhen nur auf ganz rohen Schätzungen. *r* bedeutet, dass die Linie gern Selbstumkehrung zeigt, *u*, dass ihre Ränder nicht scharf sind. Zum Vergleiche sind Rowland's Normalen aus dem Bogenspectrum, in einzelnen Fällen auch aus dem Sonnenspectrum beigefügt.

Bei den letzten Aufnahmen und Berechnungen hat mich Hr. Dr. H. Koenen unterstützt.

Wellenlänge	Intensität	Rowland	Wellenlänge	Intensität	Rowland	Wellenlänge	Intensität	Rowland
2327,468	3	—	2348,380	2	2348,385	2373,813	3 <i>r</i>	—
31,384	3	—	54,969	2	—	75,273	3	—
32,869	3	—	59,187	3	—	79,355	3	—
43,567	3	2343,571	64,904	2	2364,897	80,840	4	—
48,196	2	—	68,670	2	—	82,114	7 <i>r</i>	2382,122

Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland
2383,324	3	—	2507,991	4r	—	2623,627	5r	—
84,473	3	—	10,927	8r	2510,934	25,754	5r	—
88,711	2	2388,710	11,857	3	—	28,383	5r	—
90,058	2	—	17,754	2	—	31,139	5r	2631,125
95,709	5r	2395,715	18,198	8r	2518,188	35,899	3r	—
99,322	5r	2399,328	22,950	20r	2522,948	44,085	3r	—
2404,519	3	—	23,754	4r	—	47,649	3	—
04,969	5r	2404,971	24,393	5r	—	51,800	2	—
06,742	5r	2406,743	27,525	10r	2527,530	56,232	3	—
10,601	5r	2410,604	29,223	8r	—	66,897	3r	—
11,152	4r	—	29,928	6r	—	69,581	2	—
13,393	4r	—	33,911	4	—	73,315	2	—
24,231	3	—	35,699	6r	2535,699	79,148	8r	2679,148
31,126	2	—	37,263	4r	—	80,544	3	—
38,274	2	—	41,064	8r	2541,058	89,302	—	—
39,834	4r	—	42,192	5r	—	90,153	2	—
40,201	4r	—	44,016	4r	—	99,193	3	—
42,658	4r	—	46,072	10r	2546,068	2706,672	4r	2706,684
47,808	4r	2447,785	49,708	8r	2549,704	08,663	2	—
53,568	2	—	51,192	3	—	14,503	3	—
57,686	5r	2457,680	56,963	2	—	18,530	4r	—
62,279	4r	—	62,619	5	—	19,121	10r	2719,119
62,740	10r	2462,743	67,001	4	—	20,997	10r	2720,989
65,244	5r	—	74,462	2	—	23,671	8r	2723,668
68,974	4r	—	75,845	3	—	25,024	4r	—
72,436	4r	—	78,012	3	—	28,914	3	—
72,976	10r	2472,974	82,408	2	—	30,832	3	—
74,906	4r	—	84,623	5r	2584,629	33,978	8r	2733,973
79,872	10r	2479,871	85,964	3	2585,963	35,566	8r	—
83,361	20r	2483,359	88,102	5r	—	37,407	10r	2737,405
83,618	3r	—	98,456	5r	2598,460	39,639	8r	—
84,280	8r	2484,283	99,483	5r	2599,494	42,349	5r	—
87,155	2r	—	99,663	4r	—	42,506	10r	2742,485
88,232	10r	2488,238	2606,920	3r	—	44,163	8r	—
89,844	8r	2489,838	07,155	3r	—	44,624	4r	—
90,737	10r	2490,723	11,963	5r	2611,965	45,177	5r	—
91,249	10r	2491,244	13,914	4r	—	46,580	4r	—
93,331	7r	—	17,706	4r	—	47,080	5r	—
96,625	4r	—	18,108	2r	—	50,238	10r	2750,237
2501,228	8r	2501,223	20,499	3	—	55,834	5r	2755,837

Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland
2756,412	4r	2756,427	2926,699	3	—	3059,202	10r	3059,200
57,413	4r	—	29,119	8r	2929,127	64,042	2	—
61,883	5r	2761,876	37,030	10r	2937,020	67,363	8r	3067,363
62,125	5r	2762,110	41,462	8r	—	68,286	3	—
68,621	5r	2768,630	47,996	9r	2947,993	75,880	6r	3075,849
72,205	8r	2772,206	48,557	4	—	83,853	5r	3083,849
78,327	6r	2778,340	54,061	9r	2954,058	91,687	3	—
81,936	3	2781,945	57,484	9r	2957,485	95,013	2	3095,003
88,207	10r	2788,201	65,379	9r	2965,381	3100,057	4r	3100,064
91,989	3	—	67,019	10r	2967,016	00,418	4r	3100,415
97,877	2	—	70,227	10r	2970,223	00,778	4r	3100,779
2804,622	5r	—	73,254	8r	2973,255	12,183	2	—
07,088	5r	—	73,366	5r	2973,358	16,747	3	—
13,391	8r	2813,388	76,253	3	—	19,609	3	—
17,612	3	—	81,565	7r	2981,575	25,770	3	—
23,382	5r	2823,389	83,690	10r	—	32,627	5r	—
25,660	6r	2825,667	87,410	4	2987,410	40,503	3u	—
25,803	4r	—	90,511	4	—	42,565	3u	—
32,543	8r	2832,545	94,554	10r	2994,457	44,096	3u	—
35,562	4r	—	99,630	8r	2999,632	51,460	3u	—
38,231	3r	2838,226	3001,068	10r	3001,070	57,157	4	—
43,742	3r	2843,744	07,262	2	3007,260	60,764	3	—
44,083	8r	2844,085	07,409	2r	3007,408	62,064	3	—
48,828	3	—	08,254	8r	3008,255	65,129	3	—
51,910	5r	2851,904	09,690	4r	3009,696	66,551	3	—
59,007	3	—	16,305	3	3016,296	71,473	3	—
63,973	3	—	17,747	8r	3017,747	75,556	7	—
69,418	5r	—	19,105	4	3019,109	78,122	5	—
74,284	5r	—	20,619	4r	3020,611	85,015	3	—
77,414	3	—	20,764	10r	3020,759	88,947	5	—
80,867	2	—	21,194	10r	3021,191	91,778	5	—
87,920	3	—	24,153	3r	3024,154	92,921	8	—
90,000	3r	—	25,960	8r	3025,958	93,423	8	—
94,617	3	—	31,753	4r	—	99,638	7	—
99,531	3	—	37,505	10r	3037,505	3200,595	7	—
2901,496	3	—	41,753	3	—	05,513	8	—
07,630	3	—	41,860	3	—	10,953	5	—
12,273	8r	2912,275	47,719	10r	3047,720	12,112	8	—
18,144	3	—	51,179	3	3051,173	14,158	10	3214,152
23,409	5	—	57,562	8r	3057,557	16,057	5	—

Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland
3222,187	10r	3222,197	3399,468	7	—	3540,287	2	—
25,905	10r	3225,907	3402,392	4	—	45,793	4	—
28,379	3	—	—	—	3406,602,	53,898	3	—
31,091	8	—	06,578	2	in Sonne	58,672	5r	3558,674
39,564	8	—	—	—	3406,572	65,535	8r	3565,530
44,308	5	—	—	—	3406,965,	70,257	8r	3570,253
46,617	3	—	06,938	4	in Sonne	81,348	7r	3581,344
48,332	5	—	—	—	3406,943	85,478	4r	—
53,043	3	—	13,275	5	—	87,137	4r	—
57,724	3	—	18,649	5	—	94,767	4u	—
65,746	8	—	24,430	5r	—	99,781	2	—
71,129	5	—	—	—	3427,282,	3605,619	4	3605,621
80,386	5	—	27,263	5	in Sonne	06,836	4	3606,836
84,720	3	—	—	—	3427,263	09,011	2	3609,015
86,884	7	—	40,762	9r	3440,756	12,242	2	3612,237
92,721	5	—	41,138	8r	3440,135	17,474	1	—
98,263	5	—	44,025	7r	3444,024	17,944	5u	3617,939
3306,106	7	3306,119	45,301	5	—	18,918	7r	3618,922
06,479	7	3306,481	50,484	4	—	22,158	5	3622,161
14,868	5	—	58,454	3	—	30,506	3	—
17,251	3	—	60,067	4	—	31,617	6r	3631,616
25,589	3	—	66,006	5r	3466,010	32,195	5	—
28,992	5	—	71,413	3	—	40,541	5	3640,545
37,793	4	—	71,497	3	—	47,997	7r	3647,995
42,034	3	—	75,600	6r	3475,602	50,429	3	—
42,340	4	—	76,850	6r	3476,848	51,615	5	—
48,056	4	—	83,159	3	—	55,625	3	—
51,882	3	—	85,490	3	—	59,673	5	—
55,355	4	—	90,721	6r	3490,724	69,674	5	—
66,917	3	—	97,989	5r	3497,991	76,461	3	—
66,993	3	—	3500,716	3	—	80,062	4r	3680,064
67,675	5	—	06,650	3	—	83,205	3	3683,209
78,814	5r	—	08,627	2	—	87,609	4r	3687,609
80,242	4	—	08,663	2	—	95,202	3	3695,208
84,113	4	—	13,974	5	3513,981	3702,180	2	—
—	—	3389,913,	21,415	5r	3521,409	05,714	4r	3705,715
89,882	2	in Sonne	26,196	4r	—	07,199	3	3707,201
—	—	3389,884	26,822	4	—	09,395	5r	3709,395
94,721	3	—	29,960	3	—	20,083	10r	3720,082
97,117	3	—	36,694	4	—	22,710	6r	3722,712

Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland
3724,527	5	—	3878,722	4	—	4079,999	3	—
27,769	5r	3727,768	86,426	6r	3886,421	84,666	5	—
31,102	2	—	87,193	5r	—	96,135	5	—
32,541	5	3732,549	93,538	3	—	98,346	5	—
33,470	5r	3733,467	95,801	5r	—	4107,646	5	—
35,016	9r	3735,012	99,853	5r	—	14,608	4	—
37,278	8r	3737,280	3903,097	6r	—	18,709	8	—
63,510	6r	3763,506	06,624	6	—	37,156	6	—
45,710	7r	3745,708	09,980	3	—	44,033	10u	—
48,409	7r	3748,410	13,784	3	—	54,662	4	—
49,634	8r	3749,633	16,880	4r	3916,886	71,069	4	—
58,381	8r	3758,380	18,467	3r	—	75,799	5	—
63,940	8r	3763,939	20,404	6r	—	81,918	5	—
67,339	7r	3767,342	23,059	3r	—	87,221	8	—
70,452	2	—	28,073	5r	3928,060	91,611	8	—
76,606	3	—	35,966	4	—	99,256	6	4199,257
78,670	2	—	41,032	4	3941,034			4202,187,
88,031	5	3788,029	45,269	2	—	4202,195	8	{ in Sonne
90,242	5	—	48,927	4	—			4202,195
95,149	8r	3795,148	56,610	3	—	10,521	5	—
98,658	6r	—	56,823	5	—	19,523	5	—
99,694	6r	—	66,219	3	—			4222,396,
3801,822	3	—	69,411	6r	—	22,387	5	{ in Sonne
06,847	3	—	77,892	6	—			4222,382
13,202	5	—	84,112	4	—	27,606	6	—
15,987	8r	3815,984	86,330	4	—	33,771	7	—
20,573	9r	3820,566	96,147	3	—	36,118	8	—
24,591	6r	—	98,211	3	—	38,980	6	—
26,028	8r	3826,024	4007,429	3	—	45,423	5	—
27,967	7r	3827,973	17,303	2	—	47,604	5	—
33,463	3	—	22,029	5	—	50,299	8	4250,300
34,370	8r	—	30,670	3	—	50,948	8	4250,949
40,586	7r	3840,589	32,796	2	—	60,656	9	4260,647
41,194	8r	—	44,776	2	—	71,333	7	—
50,114	8r	—	45,978	10r	4045,975			4271,920,
56,515	6r	—	55,706	3	—	71,933	10r	{ in Sonne
60,054	10r	3860,050	62,605	5	—			4271,934
65,670	6r	—	63,755	10r	4063,755	82,567	7	—
72,640	6r	—	68,138	5	—	85,614	4	—
78,166	6r	—	71,901	8r	4071,903	91,631	3	—

Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland	Wellen- länge	Intensität	Rowland
4294,290	6r	—	4358,689	3	—	4442,522	6	—
99,420	6r	—	67,759	5	—	47,907	6	4447,912
4309,542	4	—	69,954	5	4369,948	54,572	4	—
15,255	6	—	76,104	6	4376,108	61,838	5	—
			83,724	8r	4383,721	66,737	6	—
25,941	8	{ 4325,932, in Sonne	91,137	4	—	69,566	6	—
			4404,929	8	4404,928	76,207	6	—
37,219	6	—	15,301	8	4415,298	84,420	5	—
46,739	3	—	27,490	6	—	89,929	4	—
52,910	5	4352,908	30,801	5	—	94,755	6	4494,756

(Eingegangen 25. Juli 1900.)