gegen dürfte das mit Salpeterlösung gefüllte Elemente in anderer Gestalt, in der der Zinkhydroxydniederschlag nicht auf das Bleihydroxyd fällt, doch noch verwendbar werden, besonders wenn man es nicht mit zu großer Stromdichte arbeiten läßt.

Die Verzögerung des Druckes dieser Mittheilung erlaubt mir, derselben noch folgenden Zusatz zu machen:

Drei Monate hindurch waren drei Elemente, jedes in sich ohne Widerstand geschlossen, stehen geblieben. Im Element I, grobe Kohle und feinen Braunstein enthaltend, war das Zink nur wenig verändert; in II, grober Braunstein und feine Kohle, war das Zink mit schönen Krystallen dicht bedeckt, auf der Braunsteinmischung lag ein dicker Niederschlag; in III, grobe Kohle und grober Braunstein, war das Zink mit weißem Niederschlag bedeckt. Die elektromotorische Kraft aller drei war nahezu $= 0$ und erholte sich beim Oeffnen wenig. Als die Zinkstäbe durch Abkratzen gereinigt und die Mischungen mit etwas Salzsäure durchgeschüttelt waren, zeigte I die elektromotorische Kraft 1,32; II $= 1,31$; III $= 1,27$. Alle waren also wieder vollständig brauchbar.

III. *Ueber die Abnahme der Lichtstärke mit dem Quadrate der Entfernung; von Dr. Carstaedt in Breslau.*

Daß die Helligkeit zweier Flächenstücke im umgekehrten Verhältnisse stehe, wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der Lichtquelle, ist durch die einfachsten theoretischen Betrachtungen so vollkommen nachgewiesen, daß ein Zweifel an diesem Gesetze über die Abnahme der Lichtstärke absolut unmöglich ist. Doch erfüllt

der experimentelle Beweis desselben bei weitem nicht die Anforderungen, die man sonst an Strenge und Genauigkeit zu stellen gewöhnt und berechtigt ist. Die Ursache hiervon liegt darin, daß eine Messung der Helligkeit nicht möglich war, sondern subjective Schätzung deren Stelle ersetzen mußte, sey es, wie beim Rumford'schen Photometer, durch Vergleich der Dunkelheit der Schatten, oder der Helligkeit zweier an einander stoßenden Flächen, wie beim Ritchie'schen. Den genauesten Vergleich gestattete immer noch das Bunsen'sche, und ein derartiges Vergleichen, nicht Messen, wird auch niemals zu umgehen seyn. Doch scheint das Bunsen'sche Photometer eine noch genauere Prüfung jenes Gesetzes zuzulassen, als bisher geschehen ist. —

Das Bunsen'sche Photometer besteht bekanntlich aus einem mit Papier überspannten Rahmen, das Papier ist an einer Stelle durch Stearin farblos transparent gemacht. Dieser Rahmen wird von beiden Seiten her von den zwei Lichtquellen beleuchtet, deren Stärke verglichen werden soll; die Beleuchtung ist auf beiden Seiten gleich, wenn der Stearinleck in derselben Helligkeit erscheint, wie das nicht mit Stearin getränkte Papier. Dieses Verschwinden des Stearinleckes, der bei stärkerer Beleuchtung von vorn dunkler, bei stärkerer von hinten heller erscheint, als das übrige Papier, läßt sich ziemlich genau beobachten.

In den folgenden Versuchen wurde ebenfalls ein Bunsen'sches Photometer verwendet. Als Lichtquellen dienten zwei Petroleumlampen mit Flachbrennern ohne Glocken. Der Rahmen war mit seinem unteren Theile lothrecht in ein schweres Fußbrett eingelassen. Von diesem gingen rechtwinklig nach beiden Seiten dicke Bretter von über 1^m Länge aus, welche eine eingelassene Rinne von 1^{cm} Tiefe enthalten und einer Breite, welche diejenige der Lampenfüße nur wenig übertraf. Zu beiden Seiten der Rinne war eine Centimetertheilung auf das Brett aufgetragen. In dieser Rinne wurden die Lampen dem Photometer genähert und von ihm entfernt. Um eine genaue Einstellung

und Ablesung zu ermöglichen, ging von jeder Lampe in der Ebene der Flamme, doch tiefer unten als der Brenner, nach beiden Seiten ein Draht mit rechtwinklig nach unten gebogenen Enden aus, die Enden berührten fast die Theilung. Da der Draht von der schmalen Seite der Flamme ausging, so war sein Schatten nur unmerklich breiter, als er selbst; es wurde so abgelesen, daß das Auge sich in der durch Schatten und Draht bestimmten Ebene befand. Die Zehntel-Centimeter sind nach Schätzung angegeben. Der Stearinleck des Photometers befand sich mit der Mitte der beiden Flammen in gerader Linie, was dadurch erreicht worden war, daß die Dochte beider nicht brennenden Lampen, der Rahmen war mit dünnem Papier bespannt worden, so hoch geschraubt wurden, daß ihr Ende etwa dem hellste Theile der Flamme entsprach; dann wurde ein Zwirnfaden am Ende des einen Dochtes in dessen Mitte befestigt, mit einer Nähnadel an einem durch Visiren nach der Richtung, wo die, allerdings durch das Papier verdeckte zweite Lampe stand, gefundenen Punkte durch das Papier geführt und am Ende des Dochtes der zweiten Lampe ebenfalls befestigt. Durch Entfernen der beiden Lampen von einander wurde der Faden straff gespannt und riß in dem feinen Papier bis zu dem mit den Enden der beiden Dochte in gerader Linie liegenden Punkte ein. Es war hierbei nur ein ganz kurzer Riß entstanden, der Endpunkt desselben wurde bezeichnet, das Papier abgenommen und an dieser Stelle ein kleines Viereck ausgeschnitten. Hierauf wurde das Papier auf ein zweites gelegt, das an der unter der ausgeschnittenen gelegenen Stelle durch Bestreichen mit Stearin transparent gemacht wurde. Ueber und unter dieser Stelle wurden kurze feine Linien gezogen, dann das Papier auf den Rahmen gespannt. In der Entfernung von ungefähr 1^m vom Rahmen wurde ein Fernrohr aufgestellt und dasselbe mit Hilfe der über unter dem Stearinlecke gezogenen Linien, die diesem so nahe lagen, daß sie mit ihm in das Gesichtsfeld des Fernrohrs fielen, für die betreffende Ent-

fernung eingestellt. Das Fernrohr stand dicht neben dem Brett, auf welchem die eine Lampe verschoben wurde, damit man fast rechtwinklig auf das Photometer sah, und war durch Pappschirme gegen alles Licht, als das von der in seinem Gesichtsfelde liegenden Stelle des Photometers ausgehende, geschützt. Außer den beiden Lampen befand sich im Beobachtungszimmer keine Lichtquelle, die Fenster waren durch Verfinsterungsläden geschlossen.

Bei den Beobachtungen saß ich unverrückt hinter dem Fernrohre, während einer meiner Schüler, ein sehr zuverlässiger junger Mann, die Lampen nach meinem Befehle verschob, die Entfernungen ablas und notirte. Es konnte selbst bei einem Abstände der Lampen von 1^m ein Unterschied der Helligkeit noch sicher wahrgenommen werden, wenn eine der Lampen auch nur um kaum 0,5^{cm} verschoben wurde, bei geringeren Entfernungen machten sich natürlich noch kleinere Aenderungen merklich.

Möge nun die von der vorderen Lampe den Schirm treffende Lichtmenge M , die von der hinteren auffallende M_1 heißen. Die vom Photometer in's Auge gelangende Lichtmenge ist der Theil von M_1 welcher durchgelassen und der Theil von M , welcher reflectirt wird. Der nicht mit Stearin getränkte Theil des Papiers möge den Bruchtheil r . M reflectiren; der getränkte r_1 . M , worin r und $r_1 < 1$, aber $r > r_1$. Der nicht getränkte Theil lasse den Bruchtheil v . M_1 von der hinteren Lichtquelle durchdringen, der getränkte v_1 . M_1 , wobei wiederum v und $v_1 < 1$, jedoch $v < v_1$. Von dem nicht getränkten Theile des Papiers gelangt sonach die Lichtmenge $r.M + v.M_1$ in's Auge, von dem getränkten $r_1.M + v_1.M_1$.

Verschwindet der Fleck, so gilt die Gleichung

$$r.M + v.M_1 = r_1.M + v_1.M_1$$

oder

$$M(r - r_1) = M_1(v_1 - v)$$

oder

$$\frac{M}{M_1} = \frac{v_1 - v}{r - r_1}.$$

Die Größen r , r_1 , v , v_1 hängen offenbar nicht von der

auffallenden Lichtmenge ab, sondern nur von der Natur des Photometers. Es kann daher gesetzt werden

$$\frac{v_1 - v}{r - r_1} = a$$

worin a eine für jedes Photometer andere Constante bedeutet. Somit folgt

$$\frac{M}{M_1} = a.$$

Ist nun das theoretisch begründete Gesetz über die Abnahme der Lichtstärke richtig, so kann gesetzt werden

$$M = \frac{m}{E^2}; \quad M_1 = \frac{m_1}{E_1^2}$$

worin E und E_1 die resp. Entfernungen der beiden Lichtquellen vom Photometer bedeuten, m und m_1 die für $E = E_1 = 1$ auffallenden Lichtmengen. Dann ist

$$a = \frac{\frac{m}{E^2}}{\frac{m_1}{E_1^2}} = \frac{m E_1^2}{m_1 E^2}$$

Brennen nun die Lampen innerhalb einer Versuchsreihe gleichmäßig hell, so bleiben während derselben m und m_1 constant, so daß gesetzt werden kann

$$\frac{m}{m_1} = \alpha,$$

worin α constant. Daraus folgt

$$\frac{E_1^2}{E^2} = \frac{\alpha}{a} = A,$$

worin A eine constante Zahl.

Das heißt also: Brennen in einer Versuchsreihe, in welcher für die verschiedensten Entfernungen E der hinteren Lichtquelle die Entfernungen E_1 der vorderen bestimmt werden, bei welcher der Stearinleck verschwindet, die beiden Lichtquellen mit unveränderter Helligkeit, so muß, wenn das bisher angenommene Gesetz richtig ist, das Verhältniß der Quadrate der Entfernungen der beiden Lichtquellen vom Photometer stets dieselbe Größe haben.

Um nun über die Unveränderlichkeit in der Helligkeit

sich zu vergewissern, wurde nach Beendigung einer Beobachtungsreihe die hintere Lichtquelle wieder in irgend eine Entfernung E gebracht, bei welcher schon einmal die Entfernung E_1 der vorderen beobachtet war, ergab sich dasselbe E_1 , so hatten die beiden Lichtquellen ihre Helligkeit nicht verändert, oder doch nur in demselben Verhältniss, jedenfalls war die Annahme $\frac{m}{m_1} = \alpha = \text{Const.}$ berechtigt.

Nur solche Beobachtungsreihen, bei denen dies eintrat, sind in die nachfolgenden Tabellen aufgenommen worden, Die Verschiedenheit der einzelnen Tabellen hat ihren Grund darin, dass bei Beginn einer neuen Reihe bald die eine, bald die andere der Lampen in ihrer Helligkeit geändert wurde.

Tabelle I.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
90 cm.	65,7 cm.	0,72666 — 1	0,5329	+ 544 Max.
85	61	0,71182 — 1	0,5150	+ 365
80	57	0,70556 — 1	0,5076	+ 291
75	53,6	0,70820 — 1	0,5107	+ 322
70	48,4	0,67950 — 1	0,4782	— 3
65	45	0,68060 — 1	0,4793	+ 8
60	41,5	0,67980 — 1	0,4784	— 1
55	39,1	0,70364 — 1	0,5052	+ 267
50	35,7	0,70740 — 1	0,5098	+ 313
47,5	32,7	0,67572 — 1	0,4739	— 46
45	31	0,67630 — 1	0,4746	— 39
42,5	29,3	0,67696 — 1	0,4753	— 32
40	27,1	0,66182 — 1	0,4590	— 195
37,5	25,3	0,65818 — 1	0,4552	— 233
35	23,2	0,64248 — 1	0,4394	— 391
32,5	21,7	0,64916 — 1	0,4458	— 327
30	19,6	0,63028 — 1	0,4269	— 516 Min.
27,5	18	0,63188 — 1	0,4284	— 501
50	35,2	0,65914 — 1	0,4956	+ 171
Mittel: 0,4785				

Tabelle II.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
100	96	0,96454 — 1	0,9216	+ 340
95	91,7	0,96930 — 1	0,9317	+ 441
90	87	0,97056 — 1	0,9345	+ 469 Max.
85	81,6	0,96453 — 1	0,9216	+ 340
80	76,2	0,95772 — 1	0,9072	+ 196
75	71,2	0,95484 — 1	0,9012	+ 136
70	66,2	0,94152 — 1	0,8944	+ 68
65	61,3	0,95110 — 1	0,8935	+ 59
60	56,5	0,94640 — 1	0,8847	— 29
55	51,2	0,93082 — 1	0,8668	— 208
50	46,5	0,93696 — 1	0,8649	— 227
47,4	44,2	0,93746 — 1	0,8659	— 217
45	42,6	0,95240 — 1	0,8962	— 86
42,5	40,6	0,96028 — 1	0,9126	+ 250
40	37,6	0,94626 — 1	0,8836	— 40
37,5	34,5	0,92658 — 1	0,8445	— 431
35	32,6	0,93830 — 1	0,8676	— 200
32,5	30,2	0,95626 — 1	0,9042	+ 166
30	27,5	0,92442 — 1	0,8402	— 473 Min.
27,5	25,3	0,92658 — 1	0,8445	— 431
50	46,3	0,93310 — 1	0,8572	— 304
Mittel: 0,8876				

Tabelle III.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
120	119,5	0,99638 — 1	0,9917	— 7
115	113,5	0,98860 — 1	0,9741	— 183
110	111	0,00986	1,0230	+ 306
105	107,5	0,02044	1,0480	+ 556
100	100,8	0,00692	1,0160	+ 236
95	97,8	0,02524	1,0600	+ 676 Max.
90	90,5	0,00482	1,0110	+ 186
85	83	0,97932 — 1	0,9535	— 339
80	77	0,96680 — 1	0,9264	— 660
75	72,1	0,96576 — 1	0,9242	— 682 Min.
70	67,7	0,97098 — 1	0,9354	— 570
65	63,3	0,97698 — 1	0,9484	— 440
60	59,1	0,98688 — 1	0,9702	— 222
55	54,2	0,98728 — 1	0,9711	— 213
50	49,1	0,98422 — 1	0,9642	— 282
47,5	46,6	0,98340 — 1	0,9625	— 299
45	45,6	0,01154	1,0270	+ 346
42,5	42,4	0,99796 — 1	0,9953	+ 29
40	40,2	0,00434	1,0100	+ 176
37,5	37,5	0,00000	1,0000	+ 76
35	35,3	0,00740	1,0170	+ 246
32,5	32,1	0,98926 — 1	0,9756	— 163
30	30,3	0,00864	1,0200	+ 276
27,5	27,6	0,00316	1,0070	+ 146
25	25,5	0,01720	1,0400	+ 476
22,5	22,6	0,00386	1,0080	+ 156
20	20,6	0,00234	1,0050	+ 126
17,5	17,1	0,97992 — 1	0,9548	— 376
15	15,3	0,01720	1,0400	+ 476
Mittel: 0,9924				

Tabelle IV.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
100	105,1	0,04235	1,102	± 0
95	100	1,04456	1,108	+ 6
90	95,5	0,05152	1,126	+ 24
85	90,5	0,05416	1,133	+ 31
80	85,8	0,06080	1,150	+ 48
75	80,6	0,06256	1,155	+ 53
70	75,5	0,06570	1,163	+ 61
65	69,9	0,06314	1,156	+ 54
60	65,2	0,07220	1,181	+ 79
55	60,0	0,07558	1,190	+ 88 Max.
50	54,4	0,07326	1,184	+ 82
47,5	49	0,02702	1,064	- 38
45	46,5	0,02843	1,068	- 34
42,5	44	0,03012	1,072	- 30
40	41	0,02154	1,051	- 51
37,5	38,2	0,01606	1,038	- 64
35	35,8	0,01962	1,046	- 56
32,5	33,1	0,01590	1,037	- 65
30	30,7	0,02004	1,047	- 55
27,5	28	0,01546	1,036	- 66 Min.
25	26	0,03406	1,082	- 20
22,5	23	0,01910	1,045	- 57
20	20,5	0,02144	1,051	- 51
60	65	0,06752	1,168	+ 66
Mittel: 1,102				

Tabelle V.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
100	112,5	0,10230	1,266	+ 11
95	107,7	0,10910	1,286	+ 31
90	103,2	0,11088	1,291	+ 36
85	97,3	0,11738	1,310	+ 55
80	91,4	0,51572	1,305	+ 50
75	85,7	0,11584	1,306	+ 51
70	78,3	0,09732	1,251	— 4
65	72,1	0,09106	1,233	— 22
60	66,5	0,08934	1,228	— 27
55	60,6	0,08422	1,214	— 41
50	56,4	0,08462	1,215	— 40
47,5	54,6	0,12110	1,322	+ 67 Max.
45	51	0,10872	1,284	+ 29
42,5	47,4	0,09478	1,244	— 11
40	44,4	0,09064	1,232	— 23
37,5	44,7	0,09222	1,237	— 18
35	39,1	0,09398	1,242	— 13
32,5	36,4	0,09844	1,254	— 1
30	33,6	0,09844	1,254	— 1
27,5	30,6	0,09278	1,238	— 17
25	27,6	0,08594	1,219	— 36
22,5	25,1	0,09498	1,244	— 11
20	22,2	0,09064	1,232	— 23
17,5	19,7	0,10286	1,267	+ 12
15	16,8	0,09844	1,254	— 1
60	66	0,08278	1,210	— 45 Min.
Mittel:			1,255	

Tabelle VI.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
90	115,8	0,21894	1,656	— 27
85	107,7	0,20560	1,605	— 78 Min.
80	102,2	0,21272	1,632	— 51
75	96	0,21442	1,638	— 45
70	89,1	0,20956	1,620	— 63
65	82,6	0,20814	1,615	— 68
60	77,8	0,22566	1,685	+ 2
55	71,9	0,23274	1,709	+ 26
50	65	0,22788	1,690	+ 7
47,5	61,2	0,22012	1,660	— 23
45	59,6	0,24408	1,750	+ 67
42,5	54,8	0,22078	1,663	— 20
40	51	0,21102	1,626	— 57
37,5	49,9	0,24814	1,771	+ 88
35	46,6	0,24864	1,773	+ 90
32,5	42,7	0,22710	1,687	+ 4
30	39,2	0,23334	1,711	+ 28
27,5	37	0,25774	1,810	+ 127 Max.
45	60,1	0,25132	1,784	+ 101
Mittel: 1,683				

Tabelle VII.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
95	140,3	0,33868	2,181	— 51
90	133	0,33832	2,179	— 53
85	125	0,33438	2,163	— 69
80	116,5	0,32648	2,121	— 111 Min.
75	110	0,33266	2,151	— 81
70	103	0,33548	2,165	— 67
65	96,3	0,34144	2,195	— 37
60	90	0,35218	2,250	+ 18
55	84,5	0,37300	2,360	+ 128
50	77	0,37504	2,372	+ 140 Max.
47,5	72,5	0,36730	2,330	+ 98
45	66,3	0,33660	2,171	— 61
42,5	63,5	0,34876	2,232	$\pm$ 0
40	59,5	0,34492	2,213	— 19
37,5	56	0,34832	2,230	— 2
35	53	0,36042	2,293	+ 61
32,5	49	0,35664	2,273	+ 41
30	16,1	0,37316	2,361	+ 129
70	103	0,33632	2,169	— 63
Mittel: 2,232				

Tabelle VIII.

E	E_1	$\log \frac{E_1^2}{E^2}$	$\frac{E_1^2}{E^2}$	Diff.
65	127	0,56178	3,646	— 32
60	119	0,59480	3,934	+ 25 6 Max
55	108	0,58612	3,856	+ 178
50	97,3	0,57828	3,787	+ 109
47,5	91,7	0,57136	3,727	+ 49
45	86,3	0,56560	3,678	$\pm$ 0
42,5	80,5	0,55482	3,588	— 90
40	76,2	0,55978	3,629	— 49
37,5	71	0,55446	3,585	— 93
35	66,8	0,56082	3,638	— 40
32,5	61,4	0,55258	3,569	— 109
30	56,2	0,54524	3,509	— 169
27,5	51,1	0,53818	3,453	— 225 Min.
25	47,6	0,55934	3,625	— 53
22,5	43,2	0,56660	3,686	+ 8
20	39,3	0,58572	3,861	+ 183
40	77,5	0,57448	3,754	+ 76
Mittel; 3,678				

Die Größe $\frac{E_1^2}{E^2}$ noch verschiedenartiger herzustellen, war bei den angewendeten Lampen nicht zu ermöglichen; überdies ist das Verhältniß der Leuchtkräfte beider Lampen, das ja stets der Größe $\frac{E_1^2}{E^2}$ proportional ist, wie wir nachweisen wollen, gewiß nicht in zu enge Gränzen ein-

geschlossen, da es sich aus der Beobachtungsreihe Tab. VIII fast 8 Mal so groß ergibt, als aus der Tab. I. Die Grenzen der Annäherung und Entfernung der Lampen vom Photometer waren theils durch die Beschaffenheit des Apparats, theils durch die bei noch größerer Entfernung allzuschwache Beleuchtung gezogen.

Die unter der Rubrik Diff. angegebenen Unterschiede des aus der einzelnen Beobachtung berechneten Werthes der Größe $\frac{E_1^2}{E^2}$ von dem aus der ganzen Beobachtungsreihe resultirenden Mittelwerthe sind nicht unbedeutend, beträgt doch das Maximum der Differenz (Tab. I Max.) 0,0544, also etwa $\frac{1}{5}$ des Mittelwerthes der Reihe, und fällt die geringste Maximalabweichung (Tab. V Min.) nicht unter 0,0425 oder ca. $\frac{1}{4}$ des Mittelwerths. Allein, ich glaube diese Abweichungen sind immer noch durch Beobachtungsfehler erklärbar, da einmal das Verschwinden des Fleckes kein momentanes, sondern ein außerordentlich allmähliges ist, und zum andern ein geringer Beobachtungsfehler, da ja der Werth $\frac{E_1^2}{E^2}$ gebildet wird, durch die Quadrirung sich noch bedeutender merklich macht.

Jedenfalls wird sich aus den Versuchsreihen der Satz ergeben: Wenn die Entfernungen der Lampen vom Photometer so regulirt werden, daß der Fleck verschwindet, dann ist bei gleichmäßiger Helligkeit beider das Verhältniß der Quadrate ihrer Entfernungen eine constante Zahl. Und aus diesem Satze folgt nach der anfänglichen theoretischen Betrachtung.

„Die Intensität des Lichtes nimmt ab mit dem Quadrate der Entfernung.“