3. Über das Emissionsspektrum des Auerbrenners; von H. Rubens.

(Hierzu Taf. V u. VI.)

In einigen früheren Arbeiten¹⁾ habe ich auf den ungemein hohen Prozentsatz langwelliger Wärmestrahlung hingewiesen, welcher in der Gesamtemission des Glühstrumpfes im Auer-schen Brenner vorhanden ist und welcher diese Wärmequelle für Untersuchungen im langwelligen Spektrum außerordentlich geeignet macht. Ferner hat sich bei neueren Versuchen die Gesamtstrahlung des Auerstrumpfes auch im Verhältnis zu seiner Lichtstrahlung so außerordentlich gering ergeben, daß es mir von Interesse schien, das gesamte sichtbare und ultrarote Spektrum dieser merkwürdigen Lichtquelle einer eingehenden Untersuchung zu unterwerfen.

Messungen ähnlicher Art sind allerdings bereits von Hrn. Langley für Petroleumglühlicht mit Hilfe seines Bolographen vorgenommen worden. Hr. Langley²⁾ fand, daß in der Energiekurve die Emissionsmaxima von Wasserdampf und Kohlensäure deutlich hervortreten. Leider gestatten es die Langley'schen Versuche jedoch nicht, die Strahlung des Strumpfes von derjenigen der Petroleumflamme zu trennen, und ferner erstrecken sich seine Aufnahmen nur bis zur Wellenlänge $\lambda = 8 \mu$. Es waren daher neue Messungen erforderlich, um über das Emissionsvermögen der Glühstrumpfmasse in dem gesamten der Untersuchung zugänglichen Spektrum zuverlässige Daten erhalten zu können.

Die von mir benutzten Auerstrümpfe waren sogenannte Degeastrümpfe³⁾ der Deutschen Gasglühlicht-A.-G. Sie wurden

1) H. Rubens, Wied. Ann. **69**. p. 576. 1899; H. Rubens u. E. Ladenburg, Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. **7**. p. 171. 1905.

2) S. P. Langley, Annals of the Astrophysical Observatory **1**. p. 240—243. 1900.

3) Die Degeastrümpfe bestehen aus cca. 99,2 Proz. Thoriumoxyd (ThO_2) und 0,8 Proz. Ceroxyd (Ce_2O_3).

sämtlich nicht durch die sonst übliche zentrale Halterstange, sondern durch seitlich eingreifende Stative im Flammenmantel gehalten. Es geschah dies, um die ziemlich beträchtliche Strahlung der Halterstange zu vermeiden. Die verwendeten Strümpfe waren neu (frisch abgebrannt) und die Bunsenflamme wurde sorgfältig bis zur maximalen Lichtwirkung reguliert. Untersucht wurde schließlich der heißeste Teil des Strumpfes, 0,5—2,5 cm über dem Brennerkopf.

Die Energieverteilung wurde mit Hilfe des Spiegelspektrometers und der linearen Thermosäule gemessen. Die Breite des Kollimatorspaltes sowie des vor der Thermosäule befindlichen Okularspaltes betrug 0,8 mm, die Brennweite der Hohlspiegel 38 cm. Bis zur Wellenlänge $\lambda = 8 \mu$ wurde ein Fluoritprisma, von $\lambda = 8 \mu$ bis $\lambda = 18 \mu$ ein Sylvinprisma verwendet. Die so erhaltenen Energiekurven wurden in der bekannten Weise auf das Normalspektrum reduziert und unter Berücksichtigung der Prismenabsorption aneinander angeschlossen. Die Absorption beginnt in dem Fluoritprisma bei 7μ , in dem Sylvinprisma bei 13μ ¹⁾, erreicht aber in den betrachteten Spektralgebieten keine hohen Beträge (im Fluoritprisma 26 Proz. pro Zentimeter, im Sylvinprisma 14 Proz. pro Zentimeter), so daß man berechtigt ist, bei der Absorptionsberechnung die mittlere von dem Strahlenbündel in dem Prisma durchlaufene Weglänge als absorbierende Schichtdicke zugrunde zu legen. In dem Spektralgebiet zwischen 8μ und $8,3 \mu$ wurden mit beiden Prismen Beobachtungen vorgenommen, ebenso an einigen anderen Stellen des kurzwelligeren Spektrums, um den Anschluß der beiden Kurven aneinander zu ermöglichen. Bei den Beobachtungen im sichtbaren Gebiet war, um das Spektrum von geringen Spuren diffuser ultraroter Strahlung zu reinigen, eine 1 cm dicke, planparallele Wasserschicht eingeschaltet. Bei einigen dieser Messungsreihen wurde der Auerbrenner mit dem üblichen Zugglas versehen, doch waren die beobachteten Ausschläge mit und ohne Zugglas nur wenig verschieden. Im ultraroten Spektrum wurde der Auerbrenner stets ohne Zugsylinder untersucht. Die Abwesenheit diffuser Strahlung wurde

1) H. Rubens u. A. Trowbridge, Wied. Ann. **60**. p. 737. 1897.

hier durch Einschalten von Glasplatten bez. Flußspatplatten in jeder Versuchsreihe öfters kontrolliert.¹⁾

In der beschriebenen Weise wurden an ca. 70 verschiedenen Stellen des Spektrums zwischen $\lambda = 0,45 \mu$ und $\lambda = 18 \mu$ Ausschläge gemessen und zwar erstens für den Auerbrenner, zweitens nach vorsichtiger Entfernung des Glühstrumpfes für den zugehörigen Bunsenbrenner²⁾ und drittens für einen Auerbrenner, dessen Glühstrumpf „entleuchtet“ d. h. mit einer äußerst dünnen Eisenoxydschicht überzogen war. Man überzieht einen Auerstrumpf mit einer dünnen Schicht von Eisenoxyd, indem man den Glühkörper nach dem Abbrennen vorsichtig in Tinte taucht und dann in der Bunsenflamme ausglüht. Der Strumpf nimmt dann eine dunkelbraune Färbung an, behält aber seine Form und zeigt unter dem Mikroskop noch dieselbe Struktur und Feinheit des Gewebes wie zuvor. Im äußeren Flammenmantel des Bunsenbrenners erhitzt er sich jetzt nur noch bis zur helleren Rotglut. Seine Temperatur ergab sich, mit dem optischen Pyrometer von Holborn und Kurlbaum³⁾ gemessen, in einer Höhe von 0,5—2,5 cm über dem Brennerkopf zu 1050—1100° C., während dasselbe Instrument unter den gleichen Bedingungen für den normalen Auerstrumpf eine Temperatur von 1500—1600° C. angibt.

Die folgende Tab. I, p. 728, enthält die Resultate der Energiemessungen im Spektrum. Kolumne 1 gibt die Wellenlängen, Kolumne 2, 3 und 4 die auf das Normalspektrum reduzierten Strahlungsintensitäten des normalen Auerbrenners, des zugehörigen Bunsenbrenners und des Auerbrenners mit entleuchtetem (oxydüberzogenem) Glühstrumpf. Auf die Bedeutung der Zahlen in Kolumne 5 soll weiter unten eingegangen werden. Bis zur Wellenlänge $\lambda = 10 \mu$ sind die Zahlen dieser Kolumne gleich der Differenz der entsprechenden in Kolumne 2 und 3. Von $\lambda = 10 \mu$ ab sind die Zahlen der Kolumne 5 mit denen der Kolumne 4 identisch.

1) H. Rubens u. A. Trowbridge, l. c. p. 735.

2) Hierbei wurde darauf geachtet, daß der Brenner bei dem Entfernen des Strumpfes seine Lage vor dem Spalt nicht änderte, so daß der Spektrometerspalt nach wie vor von den gleichen Flammteilen bestrahlt wurde.

3) L. Holborn u. F. Kurlbaum, Ann. d. Phys. 10. p. 225. 1903.

Tabelle I.

λ	Auer- brenner	Bunsen- brenner	Eisenoxyd- strumpf	Auer- strumpf	λ	Auer- brenner	Bunsen- brenner	Eisenoxyd- strumpf	Auer- strumpf	λ	Auer- brenner	Bunsen- brenner	Eisenoxyd- strumpf	Auer- strumpf
0,45 μ	3,8	—	—	3,8	4,41 μ	249	241	107	8	8,66 μ	31,0	2,3	16,5	28,7
0,47	7,5	—	—	7,5	4,52	205	198	101	7	9,15	32,0	1,38	16,9	30,6
0,50	11,5	—	—	11,5	4,64	119	110	655	9	9,60	31,3	0,87	16,2	30,5
0,53	20,9	0	0	20,9	4,75	51	43	40	8	10,05	28,2	0,68	15,4	27,5
0,59	23,4	0	0,7	23,4	4,98	25,2	18,0	33,6	7,2	10,45	26,9	0,55	14,6	26,3
0,73	26,4	0	4,5	26,4	5,19	19,5	11,5	27,0	8,0	10,83	24,3	0,77	13,4	24,3
1,0	34,8	0,5	42	34,3	5,39	17,5	10,3	25,4	7,2	11,24	21,4	0,84	12,4	21,4
1,47	38,3	5,0	109	38,3	5,57	16,2	8,5	23,1	7,7	11,97	19,1	1,20	10,6	19,1
1,73	39,5	9,1	160	30,6	5,76	15,9	7,7	18,6	8,3	12,64	17,3	1,53	9,6	17,3
1,96	36,9	11,3	175	25,6	5,94	13,2	5,6	14,5	7,6	13,27	14,8	1,72	8,4	14,8
2,20	34,7	11,1	187	23,6	6,10	12,2	4,1	13,7	8,1	13,86	13,0	1,93	7,7	13,0
2,42	43,2	24,0	171	19,2	6,25	14,2	3,8	15,8	10,4	14,44	10,3	1,82	6,5	10,3
2,62	66	48	146	18,0	6,41	12,1	4,7	13,6	7,4	15,0	8,9	1,57	5,4	8,9
2,80	81	62	128	19,0	6,56	17,3	8,6	13,8	8,7	15,5	8,3	1,46	5,1	8,3
2,99	72	55	125	17,0	6,71	22,6	10,6	14,3	12,0	16,0	8,1	1,36	4,7	8,1
3,15	38,5	22,6	112	15,9	6,99	24,7	9,7	15,1	15,0	16,5	6,0	1,31	4,3	6,9
3,49	15,4	5,2	88	10,2	7,25	26,3	9,3	16,3	17,0	17,0	5,9	1,22	4,0	5,9
3,77	11,2	1,8	70	9,4	7,53	30,7	9,2	15,8	21,5	17,45	5,6	1,03	3,6	5,6
4,04	19,0	11,4	57,5	7,6	7,79	31,7	9,2	16,3	22,5	17,9	5,0	0,94	3,3	5,0
4,16	62,0	55,0	59	7,0	8,04	30,8	6,9	16,3	23,9					
4,29	175	165	83	10	8,27	30,3	4,2	16,4	26,1					

Den Zahlen der Tab. I entsprechen die Energiekurven *a*, *b* und *c* (Taf. V) und zwar liefert *a* die Energieverteilung im Emissionsspektrum des normalen Auerbrenners, *b* im Spektrum des Bunsenbrenners, *c* in demjenigen des Auerbrenners mit entleuchtetem Glühstrumpf. In allen drei Kurven treten die Emissionsmaxima der Kohlensäure und zum Teil auch des Wasserdampfes deutlich hervor, am stärksten bei den Kurven *b* und *a*. Ferner ist zu erkennen, daß die Emissionskurve des Auerbrenners (*a*) diejenige des Bunsenbrenners (*b*) vollkommen umhüllt, während dasselbe für die Kurven *c* und *b* nicht zutrifft. Daß in dem Spektralgebiet zwischen $\lambda = 2 \mu$ und $\lambda = 5 \mu$, in welchem die starken Absorptionsbanden der Kohlensäure liegen, der normale Auerbrenner fast dasselbe Emissionsspektrum ergibt als die Bunsenflamme allein, beweist erstens, daß das Emissionsvermögen des Auerstrumpfes verglichen mit demjenigen der Flamme hier äußerst gering ist und zweitens, daß die Masse des Auerstrumpfes im Glühzustand für die Strahlung der Flamme nahezu vollkommen durchlässig sein muß. Nimmt man an, daß das geringe Emissionsvermögen des Auerstrumpfes nicht durch hohes Reflexionsvermögen bedingt ist, was schon infolge der äußerst feinen Verteilung der Masse ausgeschlossen erscheint, so ist nach dem Kirchhoffschen Gesetz das geringe Emissionsvermögen des Strumpfes mit seiner Durchlässigkeit verknüpft.

Diese Auffassung wird durch das Verhalten des mit Eisen-oxyd geschwärzten Glühstrumpfes bestätigt. Dieser besitzt in den in Frage kommenden Spektralgebieten ein wesentlich höheres Emissionsvermögen als der normale Auerstrumpf, was daraus hervorgeht, daß er trotz seiner viel tieferen Temperatur stärker strahlt. Mit seinem größeren Emissionsvermögen ist aber auch ein viel stärkeres Absorptionsvermögen verbunden und deshalb wird nur ein kleiner Teil der Flammenstrahlung (wohl nur der durch die Maschen dringende Bruchteil) hindurchgelassen.

Die nahezu vollkommene Durchlässigkeit des Auerstrumpfes für die Strahlung der Bunsenflamme macht es uns möglich, durch Differenzbildung der Zahlen in den Kolonnen 2 und 3 der Tab. I Werte zu erhalten, welche der Emission des Auerstrumpfes allein in diesem Spektralgebiet angenähert entsprechen.

Dagegen ist im Gebiet großer Wellenlängen (von etwa $10\ \mu$ ab) einerseits das Emissions- bez. Absorptionsvermögen der Strumpfmasse wieder so hoch, andererseits die Strahlung der Flamme so gering, daß letztere völlig vernachlässigt werden darf. Die Zahlen der Kolumne 5 in Tab. I entsprechen also sehr angenähert der Emission des heißen Strumpfes allein. Die entsprechende graphische Darstellung liefert Kurve *d* (Taf. V). Der Maßstab der Ordinaten ist hier der Deutlichkeit wegen gegenüber dem der Kurven *a*, *b* und *c* verdoppelt. Kurve *d* zeigt zwei deutlich ausgeprägte Maxima bei $1,2\ \mu$ und $9,3\ \mu$, dazwischen sind die Emissionswerte sehr gering.

Durch die Untersuchungen des Hrn. E. St. John¹⁾ ist die Frage, ob der Auerbrenner als alactiner oder als thermalcliner Körper leuchtet, zugunsten der letzteren Anschauung entschieden worden. Die seltsame Form der Kurve *d* ist also lediglich durch den eigentümlichen Verlauf des Absorptionsvermögens bedingt. Das Emissionsvermögen kann aber für den Auerstrumpf an allen Stellen des untersuchten Spektralgebietes mit Hilfe der Kurve *d* (bez. der Kolumne 5 in Tab. I) zahlenmäßig bestimmt werden, sobald die folgenden Größen bekannt sind:

1. die Glühtemperatur des Auerstrumpfes,
2. das Verhältnis der Gesamtstrahlung des Auerstrumpfes zu derjenigen eines vollkommen schwarzen Körpers von gleicher Temperatur, Form und Struktur.

Die Messung der Glühtemperatur des Auerstrumpfes stößt allerdings auf erhebliche Schwierigkeiten. Die Lage des ersten Energiemaximums gewährt leider wegen der rapiden Änderung des Emissionsvermögens mit der Wellenlänge keinerlei Anhalt. Mit dem optischen Pyrometer ist die Temperaturmessung zwar ausführbar, aber wegen der starken Färbungsdifferenz zwischen Glühlampe und Auerstrumpf ungenau. Sie ergab, wie bereits oben erwähnt, für die hier untersuchte Stelle $1500\text{—}1600^\circ\text{C.}$ ²⁾

1) E. St. John, Wied. Ann. 56. p. 433. 1895.

2) Dieses Resultat ist in guter Übereinstimmung mit den entsprechenden Messungsergebnissen der Herren Kurlbaum und Holbjørn. An der heißesten Stelle des Strumpfes ergab sich bei Einschaltung eines blauen Glases die Temperatur $t = 1580^\circ\text{C.}$

Eine Schätzung der Glühtemperatur kann auch in folgender Weise vorgenommen werden: Nach den sorgfältigen Untersuchungen des Hrn. Waggener¹⁾ beträgt die Temperatur im äußeren Mantel der Bunsenflamme jedenfalls mehr als 1770° ; nach Hrn. Féry²⁾ 1871° C. Die Temperatur des Auerstrumpfes ist nun infolge des starken Wärmeverlustes durch Strahlung sicherlich bedeutend niedriger. Berücksichtigt man ferner, daß der mit Eisenoxyd überzogene Strumpf, dessen Temperatur mit Hilfe des optischen Pyrometers einwandfrei und exakt zu $1050\text{--}1100^{\circ}$ C. gemessen worden ist³⁾, fast genau doppelt so viel Wärme ausstrahlt als der Auerstrumpf bei normaler Glühtemperatur, so wird man zu dem Schluß geführt, daß diese Glühtemperatur angenähert in der Mitte liegen wird zwischen der Temperatur der Flamme und derjenigen des entleuchteten Glühstrumpfes, also etwa bei 1500° C. Wir wollen auf Grund der vorstehenden Angaben die absolute Temperatur der untersuchten Glühstrumpfstele zu $\vartheta = 1800^{\circ}$ annehmen, was einer Celsiustemperatur von 1527° entspricht.

Das Verhältnis der Gesamtstrahlung des Auerbrenners zu derjenigen eines schwarzen Körpers von gegebener Temperatur wurde in der bekannten Weise ermittelt, indem nacheinander der zu untersuchende Auerbrenner und ein elektrisch geheizter „schwarzer Körper“ nach Art des von den Herren Lummer und Kurlbaum⁴⁾ beschriebenen vor dasselbe wasserspülte Diaphragma gebracht und jedesmal der Ausschlag einer dem Diaphragma gegenüber aufgestellten Thermosäule abgelesen wurde. Aus diesen Versuchen ergab sich unter Berücksichtigung des Stefanschen Gesetzes, daß ein absolut schwarzer Körper von 1800° abs. pro Flächeneinheit 26 mal

1) W. J. Waggener, Wied. Ann. 58. p. 579. 1896.

2) Ch. Féry, Compt. rend. 137. p. 909. 1903.

3) Aus der Wellenlänge des Energiemaximums würde sich nach dem Wienschen Gesetz die Temperatur $t = 1087^{\circ}$ ergeben. Es ist dies zwar in guter Übereinstimmung mit der oben mitgeteilten Temperaturmessung, doch beruht es zum Teil auf Zufall, da die Energiekurve des entleuchteten Auerstrumpfes von der eines absolut schwarzen Körpers sehr erheblich abweicht.

4) O. Lummer u. F. Kurlbaum, Verhandl. d. Physik. Gesellsch. 17. p. 106. 1898.

so stark strahlt als der Auerbrenner, 69mal so stark als der Bunsenbrenner und 42mal so stark als der Glühstrumpf allein. Nun ist aber außerdem zu berücksichtigen, daß der Glühstrumpf nicht aus kontinuierlicher Masse, sondern aus einzelnen Fäden mit feinen Zwischenräumen besteht. Bei den von mir untersuchten Strümpfen war das Netzgewebe ein ziemlich dichtes und die Abstände der Fäden nur wenig größer als die Fadendicke. In den Strahlengang einer beliebigen Lichtquelle gebracht, absorbierte der nicht leuchtende Auerstrumpf durch Schattenbildung in der Mitte ca. 70 Proz., an den Rändern total, im Durchschnitt 78 Proz. Brachte man ferner einen Auerbrenner in der üblichen Weise vor den Spektrometerspalt und stellte man die Thermosäule auf eine Wellenlänge ein, für welche die Emission der Flamme gegenüber derjenigen des Strumpfes vernachlässigt werden kann, z. B. $\lambda = 1 \mu$, so konnte der Ausschlag durch Hinzunahme eines zweiten Auerbrenners, welcher durch den ersten hindurch den Spalt bestrahlte, um 20 Proz. erhöht werden. Durch Hinzunahme eines dritten Brenners trat eine weitere Ausschlagsvermehrung um 3 Proz. ein. Ein vierter Brenner war ohne merklichen Einfluß. Man ist hiernach zu dem Schluß berechtigt, daß ein Quadratzentimeter des untersuchten Strumpfes 0,78mal so stark strahlt als ein vollkommen dichtes Gewebe von gleicher Temperatur. Auf ein solches aber muß sich der Vergleich mit dem schwarzen Körper beziehen, wenn wir zu richtigen Emissionswerten gelangen wollen. Ein schwarzer Körper von 1800° strahlt mithin $42 \times 0,78 = 33,2$ mal so stark als ein dichtes Auerstrumpfgewebe gleicher Temperatur. Will man die Emissionskurven (für den schwarzen Körper von 1800° abs. und das dichte Strumpfgewebe) im richtigen Maßstab übereinander zeichnen, so hat man also dafür zu sorgen, daß sich ihre Flächeninhalte verhalten wie 33,2 zu 1. Kurve *e* unserer Taf. V ist die Energiekurve eines absolut schwarzen Körpers von 1800° abs. nach der Planckschen Formel. Ihre Ordinaten stehen zu denen der anderen Kurven in dem hieraus sich ergebenden Verhältnis. Man kann alsdann für jede einzelne Wellenlänge das dem Ordinatenverhältnis gleiche Emissionsvermögen entnehmen und gelangt so zu den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werten.

Tabelle II.

λ	Schwarzer Körper bei 1800° abs.	Auerstrumpf	Emissions- vermögen
0,45 μ	4,4	3,8	0,86
0,5	16,1	11,5	0,72
0,55	45,0	22,0	0,49
0,6	100	24,0	0,24
0,7	390	25,8	0,062
1,0	1830	34,3	0,0187
1,2	2930	34,3	0,0116
1,5	3740	34,0	0,0091
2,0	3500	25,5	0,0073
3,0	1910	17,0	0,0088
4,0	962	7,6	0,0079
5,0	511	7,0	0,0137
6,0	292	7,9	0,0270
7,0	178	15,0	0,0843
8,0	113	23,9	0,211
9,0	75,6	29,9	0,395
10,0	52,3	27,4	0,524
12,0	27,3	19,1	0,70
15,0	12,0	8,9	0,74
18,0	6,2	5,0	0,81

Der Inhalt der Tab. II ist durch Kurve f (Taf. V) graphisch dargestellt, welche das Emissionsvermögen des Auerstrumpfes als Funktion der Wellenlänge wiedergibt. Die Kurve hat einen sehr glatten Verlauf. Nur bei $\lambda = 15 \mu$ zeigt sie eine schwache Knickung, die ohne Zweifel von der Absorption herrührt, welche die Kohlensäure der Zimmerluft auf die Strahlung des Auerstrumpfes an dieser Stelle ausübt. Nach früheren Beobachtungen¹⁾ ist die durch 1 m Zimmerluft von mittlerem Kohlensäuregehalt hier verursachte Absorption ungefähr 9 Proz.

1) H. Rubens u. E. Ladenburg, l. c. p. 177.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache erhält man für das Emissionsvermögen des Auerstrumpfes für $\lambda = 15 \mu$ den Wert 0,80 (statt 0,74) und der Knick in der Kurve verschwindet.

Es verdient hervorgehoben zu werden, daß sich die berechneten Emissionsvermögen innerhalb des gesamten Spektrums kleiner als 1 ergeben, und daß unsere Annahme bezüglich der Temperatur des Glühstrumpfes nach dieser Richtung hin den Tatsachen nicht widerspricht. Die Emissionsvermögen sind im Blau sehr hoch (0,86), nehmen nach Rot hin stark ab (0,062), wie dies auch aus älteren Versuchen bereits hervorgeht.¹⁾ In dem großen Spektralgebiet zwischen 1μ und 5μ , in welchem die Strahlung unserer meisten Lichtquellen am stärksten ist, sind die Emissionsvermögen der Auerstrumpfmasse kleiner als $\frac{1}{50}$, zwischen 2μ und 4μ sogar kleiner als $\frac{1}{100}$. Erst in dem Gebiet der langen Wellen, in welchem die Strahlung nur einen sehr geringen Bruchteil der Gesamtemission ausmacht, beginnen die Emissionsvermögen wieder zu wachsen und erreichen schließlich Werte, welche der 1 nahe kommen (0,81 bei $\lambda = 18 \mu$).

Dies ist die Erklärung für die Tatsache, daß sich der Auerbrenner so vortrefflich als Strahlungsquelle bei Versuchen mit Wärmestrahlen von großer Wellenlänge bewährt hat. Nicht nur sendet er diese Strahlen infolge seiner hohen Temperatur, seiner großen Oberfläche und seines in diesem Spektralgebiet sehr beträchtlichen Emissionsvermögens in großer Menge aus, sondern er bietet noch den weiteren Vorteil, daß die kurzwelligen Wärmestrahlen, welche in anderen Lichtquellen von hoher Temperatur in überwiegender Stärke vorhanden sind und sich sehr störend bemerkbar machen, bei dem Auerbrenner fast vollkommen fehlen. Besonders bei der Erzeugung von Reststrahlen ist diese Eigenschaft von erheblichem Nutzen. Wie ich bereits früher mitgeteilt habe, erhält man bereits nach dreimaliger Reflexion der von dem Auerbrenner ausgesandten Strahlung an Flußspatflächen sehr reine Reststrahlen und zwar in einer Stärke, welche ca. 1,7 Proz. der Gesamtstrahlung beträgt. Ein voll-

1) E. Köttgen, Wied. Ann. 53. p. 800. 1894 und W. Nernst u. E. Bose, Physik. Zeitschr. 1. p. 289. 1900.

kommen schwarzer Körper von 1800° abs. würde unter den gleichen Umständen weniger als 1 Promille Reststrahlung ergeben.¹⁾

Aber auch für die Lichtwirkung des Auerstrumpfes ist sein geringes Emissionsvermögen in dem Spektralgebiet zwischen 1μ und 5μ von entscheidender Bedeutung. Hierdurch wird der Wärmeverlust des Strumpfes durch Ausstrahlung auf ein sehr geringes Maß reduziert, und das Wärmegleichgewicht findet bei einer außerordentlich hohen Temperatur von ca. 1800° abs. statt. Wie sehr eine Erhöhung des Emissionsvermögens in dem genannten Spektralgebiet die Glühtemperatur herabdrückt und den Lichteffect vermindert, geht aus dem Versuch mit dem „entleuchteten“ Strumpf deutlich hervor. Jedenfalls besitzt der Auerstrumpf infolge seiner hohen Temperatur und geringen Emission dunkler kurzweiliger Wärmestrahlen einen ungemein günstigen optischen Wirkungsgrad. Rechnet man das sichtbare Spektrum von $0,4$ bis $0,7\mu$, so sind nahezu 2 Proz. der Gesamtstrahlung des Auerstrumpfes sichtbar. Für einen schwarzen Körper gleicher Temperatur würde der Anteil an sichtbaren Strahlen nur einige Promille betragen.

Auf Grund seiner optischen Versuche kommt Hr. E. St. John zu dem Ergebnis, das Prinzip des Auerschen Brenners scheine darin zu bestehen, „daß ein feuerbeständiger Glühkörper von kleiner Masse, kleiner Wärmeleitung, großer Oberfläche und großem (optischem) Emissionsvermögen in dem heißesten Teil der Bunsenschen Flamme zum Glühen erhitzt wird.“ Diese Bedingungen sind für das Zustandekommen des hohen Lichteffectes zwar notwendig, aber nicht ausreichend. Sowohl die Herren Le Chatelier und Boudouard²⁾ als auch

1) Die von mir (Wied. Ann. 69. p. 588. 1899) gemachten Angaben sind insofern einer Korrektur bedürftig, als dort die Temperatur des Auerstrumpfes noch viel zu hoch, nämlich zu 2000° abs. angenommen ist. Ferner wurde damals noch die Wiensche Formel zur Berechnung herangezogen, welche, wie sich später ergeben hat, gerade für hohe Temperaturen und große Wellenlängen sehr unrichtige Resultate liefert. Die Plancksche heute als gültig anerkannte Spektralgleichung ist erst ein Jahr später (Verhandl. d. Deutsch. Phys. Gesellsch. 2. p. 202) veröffentlicht worden.

2) Le Chatelier u. Boudouard, Compt. rend. 126. p. 1861. 1898.

die Herren Nernst und Bose¹⁾ haben bereits aus optischen Versuchen, insbesondere aus der Abnahme des Emissionsvermögens im Auerbrenner von Blau nach Rot hin, den Schluß gezogen, daß ein für die optische Wirkung des Auerbrenners wesentliches Moment seine vermutlich sehr geringe ultrarote Wärmestrahlung sei. Diese Ansicht hat durch die vorstehenden Versuche eine durchgreifende Bestätigung erfahren.

Es bleibt nun noch die Frage zu erörtern, in welcher Weise die eigenartige für die Leuchttechnik so günstige spektrale Verteilung des Emissionsvermögens im Auerbrenner zustande kommt, bez. welche Rolle die beiden Bestandteile der Strumpfmasse hierbei spielen. Hierüber geben die zu Anfang erwähnten Versuche des Hrn. Langley bereits einen wertvollen Aufschluß. Es ergab sich nämlich, daß ein Petroleumglühlichtbrenner mit reinem Thoriumoxydstrumpf ein Emissionsspektrum liefert, welches im ganzen dem des normalen Auerbrenners sehr ähnlich ist und sich hauptsächlich nur im sichtbaren Gebiet von letzterem unterscheidet. Ich habe diesen Versuch für Gasglühlichtbrenner wiederholt und bis zur Wellenlänge 18μ die Messungen ausgedehnt. Der hierbei benutzte Strumpf aus reinem Thoriumoxyd, sowie der weiter unten erwähnte äußerst zerbrechliche Ceriumoxydstrumpf wurden von der Deutschen Gasglühlicht-A.-G. aus möglichst reinem Material im physikalischen Laboratorium der Techn. Hochschule hergestellt. Es sei mir gestattet, der genannten Firma für die mir geleistete Hilfe bestens zu danken.

Kurve *a*, Taf. VI (ausgezogen) und Kurve *g* (punktiert) entsprechen den Emissionsspektren des Gasglühlichtbrenners mit normalem Auerstrumpf und mit reinem Thoriumoxydstrumpf. Die Unterschiede zwischen beiden Kurven sind im allgemeinen nicht viel größer als bei der Aufnahme verschiedener Exemplare derselben Strumpffart. Nur in dem Spektralgebiet zwischen $\lambda = 0,45$ und $1,5\mu$ unterscheiden sie sich sehr bedeutend. In der Emission des reinen Thoriumoxydstrumpfes fehlt das sichtbare Spektrum fast ganz und das kurzwellige Ultrarot ist sehr schwach. An keiner Stelle des $3\frac{1}{2}$ Oktaven umfassenden Spektralgebietes zwischen $0,45$ und $5,0\mu$ über-

1) W. Nernst u. E. Bose, Physik. Zeitschr. 1. p. 289. 1900.

steigt das Emissionsvermögen den Wert 0,02. Erst im Gebiet großer Wellenlängen ergeben sich, ähnlich wie bei dem Auerstrumpf, große Emissionsvermögen.

Einen ganz anderen Anblick gewährt das Emissionsspektrum des Gasglühlichtbrenners mit reinem Ceriumoxydstumpf (Kurve *h*). Hier ist wie bei dem Eisenoxydstumpf infolge der starken Wärmeausstrahlung, die Temperatur eine viel niedrigere als bei dem normalen Auerstrumpf. Mit dem optischen Pyrometer gemessen ergab sich die Temperatur der untersuchten Stumpfstellen zu 1050 bis 1100° C. im Mittel 1075° C., also angenähert zu $\vartheta = 1350^\circ$ abs. Berechnet man, nachdem man die Emissionsmaxima der Flamme durch graphische Interpolation überbrückt hat, in derselben Weise, wie dies oben für den Auerstrumpf geschehen ist, das Emissionsvermögen des Ceriumoxydstumpfes, so gelangt man zu den in der Tab. III zusammengestellten Zahlen. Kurve *i* ist die hierbei benutzte Energiekurve des schwarzen Körpers von 1350° abs. Ihre Fläche verhält sich zu derjenigen der Kurve *h* wie die Gesamtstrahlungen der beiden Lichtquellen, gleiche Massenverteilung vorausgesetzt (vgl. p. 732).

Tabelle III.

λ	Schwarzer Körper bei 1350° abs.	Ceriumoxydstumpf	Emissionsvermögen	λ	Schwarzer Körper bei 1350° abs.	Ceriumoxydstumpf	Emissionsvermögen
0,7 μ	6,7	6,2	0,93	5,0 μ	269	54	0,20
1,0	121	42,7	0,35	6,0	165	25,7	0,16
1,5	604	111	0,18	8,0	69,3	29	0,42
2,0	889	200	0,22	10,0	33,5	28	0,84
2,5	889	182	0,21	12,0	18,2	18	0,99
3,0	736	140	0,18	15,0	8,2	8,2	1,00
4,0	452	90	0,20	18,0	4,22	3,7	0,88

Man ersieht hieraus, daß das Emissionsvermögen des Ceriumoxydstumpfes zwar an allen Stellen des Spektrums beträchtlich ist, aber dennoch nur im sichtbaren Gebiet und im Ultrarot von $\lambda = 10 \mu$ ab Werte besitzt, welche der 1 nahe kommen. Jedenfalls ist das Absorptionsvermögen dieser Sub-

stanz bei sehr kurzen und sehr langen Wellen außerordentlich viel größer als in dem Mittelgebiet zwischen $\lambda = 1$ und 8μ . Man kann es sich daher leicht vorstellen, daß ein geringer Zusatz von Ce_2O_3 zu dem ThO_2 genügt, um das gewünschte hohe Emissionsvermögen im sichtbaren Spektralgebiet hervorzubringen, ohne daß dadurch das Emissionsvermögen im Ultrarot zwischen 1 und 8μ wesentlich beeinflußt wird. Fernerhin ist es einleuchtend, daß eine stärkere Beimischung von Ceriumoxyd schädlich wirken muß, weil sich dann der Einfluß dieses Färbungsmittels auch bei längeren Wellen durch Erhöhung des Emissionsvermögens fühlbar macht. Hierdurch wird aber, wie wir gesehen haben, die ultrarote Wärmestrahlung vermehrt und die Glühtemperatur erniedrigt. In der Praxis hat sich bekanntlich ein Ceriumoxydgehalt von weniger als 1 Proz. am günstigsten erwiesen.

Das Ceriumoxyd spielt also in dem Auerschen Brenner eine ähnliche Rolle wie ein Sensibilisator in einer photographischen Platte, indem es an einer gewünschten Stelle des Spektrums einen Absorptionsstreifen hervorbringt, ohne die übrigen Spektralgebiete zu beeinflussen. Allerdings erfüllt es diese Bedingung nur mangelhaft. Wenn es gelänge, eine andere Substanz als Färbungsmittel zu verwenden, welche den Thoriumoxydstrumpf nicht nur im kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums, sondern auch im Gelb und Rot vollkommen schwärzt, ohne die ultrarote Ausstrahlung erheblich zu vermehren, so würde sich hierdurch die Lichtwirkung des Gasglühlichtbrenners ungefähr verdreifachen lassen.

Berlin, Physik. Inst. d. Techn. Hochschule, Oktober 1905.

(Eingegangen 2. Oktober 1905.)