

die chemische Intensität des blauen Himmels und des Sonnenlichtes für verschiedene Tages- und Jahreszeiten zu bestimmen, indem er ganz einfach die optischen Intensitäten zu verschiedenen Zeiten maß, die chemische Intensität für eine bestimmte optische Intensität feststellte und aus diesen die den optischen Intensitäten proportionalen chemischen Intensitäten für die übrigen Stunden berechnete.

### Chemische Intensität des blauen Himmelslichts.

Um die chemische Intensität des Lichtes des blauen Himmelsgewölbes genau zu bestimmen, gingen Bunsen und Roscoe an einem vollkommen wolkenlosen Tage auf den Gaisberg bei Heidelberg, bestimmten hier zunächst die optische Intensität des Himmelslichtes zu verschiedenen Tageszeiten und Sonnenhöhen mit Bunsen's Photometer, unter der Vorsicht, daß das directe Sonnenlicht durch einen Schirm vom Photometer abgehalten wurde. Sie fanden, daß die optische Intensität abhängig ist vom Sonnenstande; je höher derselbe, desto stärker ist sie. Sodann bestimmten sie die chemische Wirkung des Himmelsgewölbes für eine bestimmte optische Intensität und berechneten daraus die chemische Wirkung des Himmelsgewölbes zu verschiedenen Tagesstunden. Sie fanden durch Experimente in verschiedenen Jahreszeiten, daß bei wolkenlosem Himmel die chemische Wirkung des gesammten Himmelsgewölbes bei gleicher Zenithdistanz der Sonne Vor- und Nachmittags dieselbe ist und die Temperaturverschiedenheiten und Feuchtigkeitsverhältnisse ohne Einfluß sind\*).

Diese gewonnenen Resultate setzten Bunsen in den Stand, die chemische Intensität des reinen blauen Himmelsgewölbes für jede beliebige Zenithdistanz der Sonne zu berechnen und da nun aus der Breite und Länge eines jeden Ortes die Zenithdistanz der Sonne für jede einzelne Stunde aus astronomischen Tabellen bestimmt werden kann, so ist es auf Grund von Bunsen's Untersuchungen möglich, jetzt für jeden beliebigen Ort der Erde und für jede Tageszeit die chemische Intensität des blauen Himmelslichtes unter Voraussetzung eines wolkenlosen Tages zu berechnen.

Die Formel zur Berechnung der Zenithdistanzen ist:

$$\cos \varphi = \cos \delta \cdot \cos t \cdot \cos p + \sin \delta \cdot \sin p.$$

$\varphi$  ist die zu berechnende Zenithdistanz,

$\delta$  die Declination der Sonne am Beobachtungstage,

$p$  die Polhöhe des betreffenden Orts,

$t$  der Stundenwinkel der Sonne.

Letzterer ergibt sich aus der Betrachtung, daß die Sonne in 24 Stunden, von Mittag zu Mittag,  $360^\circ$  durchläuft, in einer Stunde daher  $15^\circ$ , in einer Minute  $\frac{1}{4}^\circ$ ; demnach ist z. B. der Stundenwinkel um 11 Uhr oder 1 Uhr (eine Stunde vor oder nach Mittag als Ausgangspunkt)  $15^\circ$ , um 2 Uhr und 10 Uhr  $30^\circ$  etc.

\*) Mit diesen Ergebnissen stimmen die Erfahrungen der photographischen Praxis nicht ganz überein; das Vormittagslicht ist erweislich besser, als das Nachmittagslicht und Bunsen's Versuche über Absorption weisen hier ebenfalls qualitative Verschiedenheiten auf (s. o.).

Hat man nach dieser Formel die Zenithdistanzen  $\varphi$  für verschiedene Stunden berechnet, so erhält man die chemische Lichtintensität des gesammten wolkenlosen Himmelsgewölbes für diese Zeiten mit Hülfe der Formel

$$W = 2,776 + 80,849 \cos \varphi - 45,996 \cos^2 \varphi.$$

Diese Formel drückt die chemische Wirkung in Lichtgraden aus, welche innerhalb einer Minute auf ein horizontales Flächenelement ausgeübt wird.

Bunsen und Roscoe haben nun nach dieser Formel die chemische Lichtintensität des blauen Himmelsgewölbes für Zenithdistanzen von  $31^\circ$  bis  $90^\circ$  berechnet, und lassen wir die von ihnen entworfene Tabelle hier folgen:

Zenithdistanz Grad	Lichtgrade	Zenithdistanz Grad	Lichtgrade	Zenithdistanz Grad	Lichtgrade	Zenithdistanz Grad	Lichtgrade	Zenithdistanz Grad	Lichtgrade	Zenithdistanz Grad	Lichtgrade
31	38,29	41	37,60	51	35,45	61	31,17	71	24,22	81	14,30
32	38,26	42	37,47	52	35,11	62	30,60	72	23,37	82	13,15
33	38,24	43	37,31	53	34,78	63	30,00	73	22,48	83	11,95
34	38,21	44	37,14	54	34,40	64	29,38	74	21,56	84	10,72
35	38,14	45	36,96	55	34,02	65	28,73	75	20,62	85	9,47
36	38,08	46	36,74	56	33,61	66	28,06	76	19,64	86	8,19
37	38,01	47	36,53	57	33,17	67	27,34	77	18,64	87	6,88
38	37,93	48	36,3	58	32,72	68	26,61	78	17,60	88	5,54
39	37,85	49	36,02	59	32,22	69	25,84	79	16,53	89	4,17
40	37,72	50	35,75	60	31,70	70	25,05	80	15,43	90	2,77

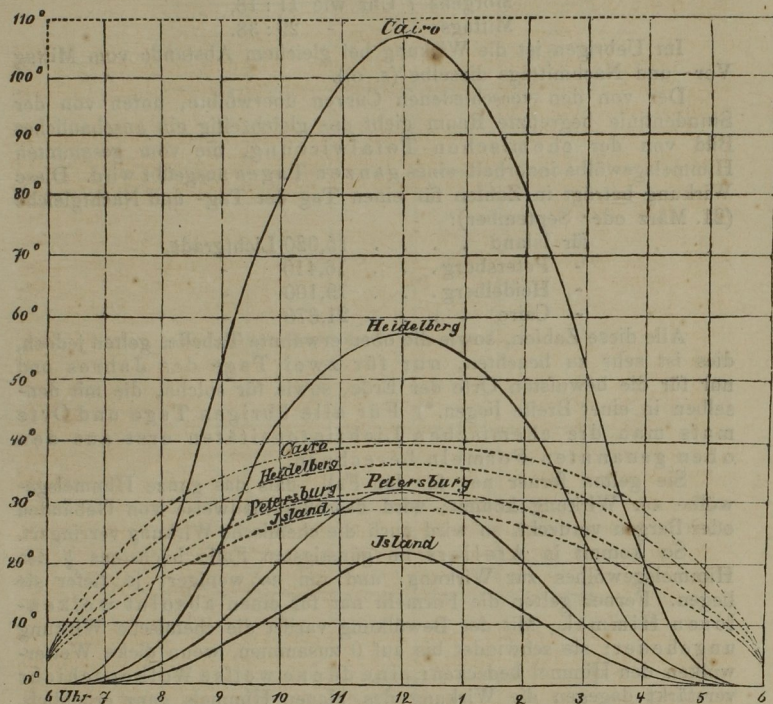
Aus dieser Tabelle kann man, wenn man die Zenithdistanzen schon kennt, die zugehörigen chemischen Lichtstärken leicht entnehmen. Bunsen und Roscoe haben beispielsweise die chemischen Lichtintensitäten für die verschiedenen Stunden eines Tages der Tag- und Nachtgleiche (21. März oder 21. September) für mehrere Orte der Erde unter verschiedenen Breiten: Cairo, Heidelberg, Petersburg, und Island in Tabellen zusammengestellt, deren nähere Betrachtung in hohem Grade interessant ist.

Man kann diese Intensität des Himmelslichtes in verschiedenen Tagesstunden am besten graphisch anschaulich machen, wenn man auf einer Horizontallinie die einzelnen Tagesstunden in gleichen Abständen aufträgt und darauf Senkrechte errichtet, deren Höhen den berechneten Intensitäten in Lichtgraden entsprechen. Verbindet man die Endpunkte dieser Höhen, so erhält man Curven, welche in ihrem Steigen und Fallen die Zu- und Abnahme der chemischen Intensität in verschiedenen Stunden sehr anschaulich versinnlichen. In beifolgendem Holzschnitt ersieht man in den punktirten Linien\*) die in dieser Weise von Bunsen gezeichneten Intensitätscurven für den 21. September für Island, Petersburg, Heidelberg und Cairo. An diesem Tage (der Tag- und Nachtgleiche) geht für alle Orte der Erde die Sonne um 6 Uhr auf und unter.

\*) Die Bedeutung der nicht punktirten Linien wird unten erörtert werden.



Man sieht aus der Tafel, wie schon beim Aufgange der Sonne eine merkliche chemische Wirkung stattfindet (die jedenfalls schon vor Sonnenaufgang in der Dämmerung vorhanden ist), wie dieselbe mit



der Sonne anfangs sehr schnell steigt, aber in der Zeit von 10 bis 2 Uhr ziemlich constant bleibt, dann wieder schnell fällt.

In der Zeit von 10 bis 2 Uhr wird daher die zu photographischen Aufnahmen nöthige Expositionszeit ziemlich dieselbe sein können; eine Stunde vorher oder nachher (9 Uhr und 3 Uhr) wird man schon etwas länger exponiren müssen. Von 3 bis 5 Uhr Nachmittags bemerkt man in der Praxis bei fortdauerndem Arbeiten die „Lichtverschlechterung“ in ebenso auffallender Weise, als die Curven in der Tafel sie ausdrücken.

Die berechneten Intensitäten geben leicht für eine bestimmte Stunde die nöthige Expositionszeit. In Heidelberg z. B. ist am 21. September die Intensität um 4½ Uhr 20°, um 12 Uhr dagegen 35°.

Die Expositionszeiten werden sich nun umgekehrt wie die Intensitäten verhalten. Hat man demnach z. B. bei einem Portrait um 12 Uhr circa 20 Secunden nöthig gehabt, so wird man um 4½ Uhr 35 Secunden exponiren müssen, einen vollkommen heiteren Tag vorausgesetzt.

Man sieht ferner, wie in den Früh- und Abendstunden die Unter-

schiede in der chemischen Wirkung bei den verschiedenen Orten der Erde beträchtlicher sind, als am Mittag. Das Verhältniß von Island zu Cairo ist z. B.:

Morgens 7 Uhr wie 11:18,  
Mittags - 29:38.

Im Uebrigen ist die Wirkung bei gleichem Abstände vom Mittag Vor- und Nachmittags dieselbe (s. o.).

Der von den verschiedenen Curven überwölbte, unten von der Stundenlinie begrenzte Raum giebt uns gleichzeitig ein anschauliches Bild von der chemischen Totalwirkung, die vom gesammten Himmelsgewölbe innerhalb eines ganzen Tages ausgeübt wird. Diese Wirkung beträgt in Zahlen für einen Tag der Tag- und Nachtgleiche (21. März oder September):

für Island . . . . .	15,020 Lichtgrade,	
- Petersburg . . . . .	16,410	-
- Heidelberg . . . . .	19,100	-
- Cairo . . . . .	21,670	-

Alle diese Zahlen, sowie die oben erwähnte Tabelle, gelten jedoch, dies ist sehr zu beachten, nur für zwei Tage des Jahres und nur für die bewußten Orte der Erde, sowie für solche, die mit denselben in einer Breite liegen. \*) Für alle übrigen Tage und Orte muß man die chemischen Lichtintensitäten erst aus den oben genannten Formeln berechnen.

Sie gelten ferner nur für den Fall, daß das ganze Himmelsgewölbe zur Wirkung kommt; wird dasselbe theilweise von Gebäuden oder Bergen verdeckt, so wird auch die chemische Wirkung verringert.

So kommt in Ateliers im günstigsten Falle höchstens  $\frac{1}{4}$  des Himmelsgewölbes zur Wirkung, und um so weniger, je tiefer sie liegen. Ferner gelten die Formeln nur für einen absolut wolkenlosen Himmel. Mit der Bewölkung variirt die chemische Wirkung ungeheuer; sie schwindet bis auf 0 zusammen, wenn dicke Wetterwolken den Himmel bedecken; eine dünne weißse Wolkenschicht verstärkt dagegen die Wirkung des blauen Himmels ganz erheblich.

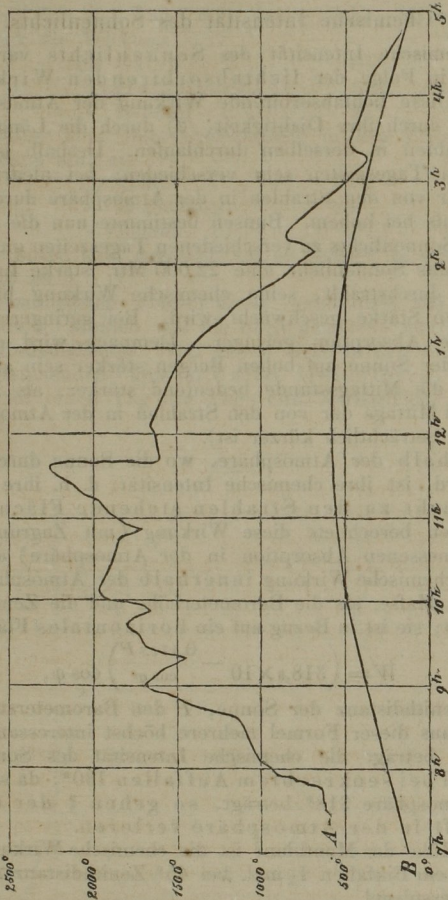
Um dies nachzuweisen, machte Bunsen am 5. October 1856 zu Heidelberg eine Reihe von Messungen, und hat diese ebenfalls durch Zeichnung anschaulich gemacht. In beifolgender Figur ersieht man die Resultate. Die zickzackförmig hin- und herspringende Curve drückt die wechselnde Intensität des chemischen Lichtes des theilweise bewölkten Himmels aus, die andere regelmässige Curve zeigt die Intensität, wie sie bei vollkommen reinem Himmel ist.

Bunsen schreibt darüber (Poggendorff's Annalen Bd. 108 S. 237): „Von 7 Uhr Morgens bis nach 12 Uhr war der Himmel mit einem Wolkenschleier von wechselnder Dichtigkeit bedeckt, durch welchen die Sonne nur schwach hindurchschien. In den ersten Nachmittagsstunden verlor sich die Trübung allmählig, so daß nach 2 und 3 Uhr nur noch einzelne lichte Wolken über den Zenith zogen und der Himmel nach 3 und 4 Uhr ganz wolkenlos war. Diese Veränderungen drücken sich in der Curve deutlich aus. Man ersieht, daß ein leichter

\*) Mi Heidelberg liegen folgende deutsche Ortschaften annähernd in derselben Breite: Landstuhl, Kaiserslautern, Rothenburg (Anspach), Nürnberg, Fürth, Amberg, Klattau (Prag), Tabor, Iglau, Brünn etc.



Wolkenschleier das Beleuchtungsvermögen des zur Beobachtung gewählten Himmelstückes um mehr als das Vierfache erhöhen kann.<sup>a</sup>



Demzufolge hat man auch bei theilweise bewölktem Himmel in Bezug auf die Wahl der photographischen Expositionszeit keine so sicheren Anhaltspunkte. Dafs ein theilweise bewölkter Himmel unter Umständen bedeutend intensiver wirkt, als ein rein blauer, merkt man oft in auffallender Weise beim photographischen Copirprocefs.

Die hier gegebenen Daten sind von Belang für alle photographischen Arbeiten, bei denen das directe Sonnenlicht ausgeschlossen ist, das sind Portraitaufnahmen im Atelier und Copirarbeiten.

Tritt aber die Sonne mit in Wirksamkeit, wie bei Landschaftsaufnahmen und z. Th. beim Copirprocefs, so werden die Resultate wesentlich andere. Bunsen hat nun in derselben Weise, wie oben die chemische

Intensität des Himmelslichts, die chemische Wirkung des directen Sonnenlichts gemessen.

### Chemische Intensität des Sonnenlichts.

Die chemische Intensität des Sonnenlichts variiert nun sehr beträchtlich in Folge der lichtabsorbirenden Wirkung der Atmosphäre. Diese lichtabsorbirende Wirkung der Atmosphäre ist nun bedingt: 1) durch ihre Dichtigkeit, 2) durch die Länge des Weges, den die Strahlen in derselben durchlaufen. Deshalb ist dieselbe zu verschiedenen Tageszeiten sehr verschieden; bei niedrigem Sonnenstande ist der von den Strahlen in der Atmosphäre durchlaufene Weg viel länger, als bei hohem. Bunsen bestimmte nun die chemische Intensität des Sonnenlichts zu verschiedenen Tageszeiten und fand daraus, daß, wenn das Sonnenlicht eine 22,000 Mtr. starke Luftschicht von 0,76° Druck durchstrahlt, seine chemische Wirkung bis auf  $\frac{1}{10}$  der ursprünglichen Stärke geschwächt wird. Bei geringerem Barometerstand ist die Absorption geringer. Demnach wird die chemische Leuchtkraft der Sonne auf hohen Bergen stärker sein als am Meeresspiegel, um die Mittagsstunde bedeutend stärker, als Morgens oder Abends (weil Mittags der von den Strahlen in der Atmosphäre durchlaufene Weg beträchtlich kürzer ist).

Aufserhalb der Atmosphäre, wo die Sonne durch nichts geschwächt wird, ist ihre chemische Intensität, d. h. ihre Wirkung auf eine senkrecht zu den Strahlen stehende Fläche immer dieselbe. Bunsen berechnete diese Wirkung (mit Zugrundelegung der von ihm gemessenen Absorption in der Atmosphäre) auf 318 Lichtgrade. Die chemische Wirkung innerhalb der Atmosphäre aber fällt in demselben Mafse, als die Barometerhöhe und die Zenithdistanz der Sonne wächst; sie ist in Bezug auf ein horizontales Flächenelement

$$W = \left( 318,3 \times 10^{-\frac{0,4758 P}{\cos \varphi}} \right) \cos \varphi,$$

wo  $\varphi$  die Zenithdistanz der Sonne,  $P$  den Barometerstand bedeutet. Bunsen hat aus dieser Formel mehrere höchst interessante Daten berechnet. So beträgt die chemische Intensität des Sonnenlichts am Meeresspiegel bei senkrechtem Auffallen 130°; da sie nun außerhalb der Atmosphäre 318° beträgt, so gehen  $\frac{2}{3}$  der chemischen Leuchtkraft in der Atmosphäre verloren.

In der Höhe des Montblanc ist die chemische Wirkung der Sonne bei senkrechtem Einfallen  $1\frac{1}{2}$  mal, bei 45° Zenithdistanz 2 mal so groß, als am Meeresspiegel.

Den Einfluß des Luftdrucks mögen folgende Zahlen illustriren:

Bei 750 Ml. Barometerhöhe ist die Wirkung in Lichtgraden 140°,	
- 700 - - - - -	148°;
- 600 - - - - -	165°;

140 Lichtgrade sind aber 1,400,000 Lichteinheiten, demnach wirkt die Sonne 700,000 mal intensiver als eine Steinkohlengasflamme (s. Seite 132).

Offenbar kann man nun mit der oben gegebenen Formel für jeden beliebigen Ort der Erde und für jede beliebige Stunde unter Voraussetzung einer bestimmten Barometerhöhe aus der Sonnenhöhe die chemische Intensität des directen Sonnenlichts berechnen.