

Spectraluntersuchungen über die Energie der Einwirkung von Brom auf aromatische Kohlenwasserstoffe.

(Mit 1 Tafel.)

Von **Julian Schramm** und **Ignaz Zakrzewski**.

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juni 1887.)

Nachdem der eine von uns bewiesen hatte, dass bei der Einwirkung der Halogene auf aromatische Kohlenwasserstoffe das Sonnenlicht einen wesentlichen Einfluss ausübt und nicht nur die Substitution der Wasserstoffatome befördert, sondern auch den chemischen Ort beeinflusst, an welchem dieselbe erfolgt,¹ war es von Interesse, den Verlauf dieser Reactionen in den verschiedenen Theilen des Sonnenspectrums zu untersuchen, um eine nähere Einsicht in das Wesen derselben zu gewinnen. Wiewohl wir aber, gestützt auf unsere bis nunzu ausgeführten Versuche, nur wenige Fragen aus diesem Gebiete der Forschung beantworten können, und die Einwirkung von Chlor unter diesen Umständen noch nicht untersucht haben, so haben wir doch den Entschluss gefasst, einige mit Brom erzielte Resultate zu veröffentlichen, da wir wegen Trennung unseres Arbeitsortes die Versuche auf einige Zeit einstellen müssen.

Es dürfte nicht überflüssig sein, wenn wir vor Allem die diesen Gegenstand betreffenden Thatsachen hier in möglichster Kürze gegenwärtig halten.

Die bis jetzt von verschiedenen Forschern ausgeführten Untersuchungen über den Einfluss der einzelnen Theile des Sonnenspectrums auf chemische Reactionen beziehen sich auf das Chlorknallgas, das Chlorwasser, die Silbersalze und auf die Assimilation des Kohlenstoffs durch die grünen Pflanzentheile.

¹ Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 18. 350, 606, 1272; Bd. 19. 212. Ferner d. Monatshefte Bd. VIII. 388.

Die Einwirkung auf Chlorknallgas hatte bereits Draper zu actinometrischen Zwecken benutzt und fand mit Hilfe seines Tithonometers,¹ dass das Maximum der Einwirkung im Blau-Indigo und im Indigo liegt, wobei es gegen Ultraviolett langsam abnimmt und sehr schnell gegen Roth. Bunsen und Roscoe haben die mit ihrem Actinometer erzielten Resultate graphisch dargestellt² und fanden bei Benutzung von Quarzprismen und -Linsen das Maximum bei $\frac{1}{5} GH$ bis H , und bei der Linie J des Spectrums. Zugleich haben sie auch bewiesen, dass das Licht, welches durch eine genügend dicke Chlorschichte hindurchgegangen ist, keine Einwirkung auf Chlorknallgas mehr ausübt. Nach Morren³ und Gernez⁴ enthält aber dieses Licht keine blauen und violetten Strahlen mehr, da dieselben von Chlor vollständig absorbiert werden. Nach den angeführten Untersuchungen unterliegt es also keinem Zweifel, dass das Maximum der Einwirkung auf Chlorknallgas im blauen und violetten Theile des Spectrums liegt und dass diese Wirkung eben durch diese Strahlen hervorgerufen wird, welche von Chlor absorbiert werden. Ganz dieselben Beziehungen gelten auch für die Einwirkung des Lichtes auf Chlorwasser, da auch dieses im Blau und Violett am stärksten zersetzt wird.

Auf die überaus zahlreichen Versuche, welche mit den Silbersalzen theils zu praktischen Zwecken, theils in wissenschaftlicher Richtung angestellt waren, ist hier nicht der Ort näher einzugehen. Alle haben zur Grundlage die bereits von Scheele constatirte fundamentale Thatsache, dass die Wirkung im violetten Theile des Spectrums am frühesten beginnt und sich am kräftigsten entwickelt.⁵ Dass dabei nur das Licht und nicht die Wärme die Wirkung ausübt, wurde schon von J. H. Schultze, dem Entdecker der Lichtempfindlichkeit der Silbersalze, durch besondere Versuche festgestellt.

¹ Phil. Mag. (3) 23, 401. 1843.

² Pogg. Ann. 108, 270.

³ Compt. rend. 1869, T. 68, p. 376.

⁴ Compt. rend. 1872, T. 74, p. 660.

⁵ Freilich gilt dies nur für reine Haloidsalze des Silbers, da bei Anwendung von Sensibilatoren, wie es die schönen Arbeiten von Vogel und Eder beweisen, die Verhältnisse verwickelter werden.

Gegenüber den angeführten Thatsachen stehen bis nunzu einigermassen vereinzelt die Beobachtungen über die Assimilation des Kohlenstoffes durch die grünen Pflanzentheile, deren jedenfalls complicirter Vorgang seiner Natur nach bis jetzt unbekannt ist. Nachdem Sennebier und Ingenhous in den letzten Decennien des vorigen Jahrhunderts gleichzeitig die Entdeckung gemacht hatten, dass die Kohlensäure durch die grünen Pflanzentheile unter Abscheidung von Sauerstoff zersetzt wird, und dass diese Zersetzung ausschliesslich am Lichte erfolgt, liess Daubeny¹ die Pflanzen hinter verschiedenfarbigem Glase wachsen und fand, das nächst dem weissen das gelbe Licht am günstigsten war, während das blaue nur eine geringe Wirkung hatte. Schon dieser Versuch widersprach der Annahme, dass ausschliesslich die brechbarsten Lichtarten chemisch wirksam sind, und Draper hatte in dieser Hinsicht jeden Zweifel durch Anwendung des Spectrums beseitigt. Er fand durch zweckmässig angeordnete Versuche,² dass das Maximum der Wirkung bei der Zersetzung der Kohlensäure durch grüne Pflanzentheile im Gelb und Grün liegt und hernach im Orange; dass die blauen und rothen Strahlen dabei sehr wenig thätig sind, und dass in dem indigofarbenen und violetten Theile des Spectrums gar keine Wirkung mehr stattfindet. Diese Thatsachen wurden später von Cloëz und Gratiolet, von Sachs, Pfeffer und anderen bestätigt. Der letzte von den genannten Forschern hatte ausserdem seine Messungen der Assimilationsenergie in dem spectral zerlegten Lichte graphisch dargestellt³ und fand, dass die Curve der Assimilationsthätigkeit mit derjenigen der optischen Helligkeit einen übereinstimmenden Gang hat. Dass die Zersetzung der Kohlensäure durch die grünen Pflanzentheile nur durch das Licht und nicht durch die dunkle strahlende Wärme bewirkt wird, hatte schon Sennebier bewiesen.

Die Einwirkung von Brom auf aromatische Kohlenwasserstoffe unter dem Einflusse des Lichtes glaubten wir zu der Reihe photochemischer Vorgänge zählen zu können, für welche die

¹ Phil. trans. 1836. 149.

² Phil. Mag. (3) 23, 161. 1843.

³ Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. I, 1. 1872.

Bildung von Chlorwasserstoff aus Chlorknallgas als typisch zu betrachten ist. Wie bei Chlorknallgas, haben wir also auch hier in dem spectral zerlegten Lichte das Maximum der Wirkung im Blau und Violett erwartet. Merkwürdiger Weise ist dies aber nicht der Fall. Schon bei Anwendung farbiger Gläser kann man sich leicht überzeugen, dass diese Einwirkung hinter einem gelben und grünen Glase ziemlich schnell von Statten geht, dagegen sehr langsam hinter einem blauen Glase, dass also hier die sogenannten chemischen Strahlen nur eine geringe Wirkung ausüben. Viel besser treten aber diese Beziehungen bei Anwendung des spectral zerlegten Lichtes hervor. Wir lassen nun die Beschreibung der Anordnung unserer Versuche und die zahlenmässige Feststellung der vorhandenen Unterschiede folgen.

Ein Bündel Sonnenstrahlen fiel, reflectirt von dem Glas-
spiegel eines Heliostaten, durch einen verticalen Spalt auf eine
Sammellinse von ungefähr 1·5 Met. Brennweite und, durch diese
schwach convergirend gemacht, auf ein mit Schwefelkohlenstoff
gefülltes Glashohlprisma, dessen brechender Winkel 50° betrug.
Das Spectrum, in dem die bemerkbareren Frauenhofer'schen
Linien deutlich zu sehen waren, wurde in einer Länge über
30 Ctm. auf einem Schirm aufgefangen, auf welchem kleine
Probegläschen von 0·4 Ctm. innerem Durchmesser befestigt
waren. Zu unseren ersten Versuchen haben wir eine grössere
Anzahl von Probegläschen nicht nur auf die ganze Strecke des
sichtbaren Spectrums, sondern auch auf den ultrarothern und
ultravioletten Theil desselben vertheilt. Da uns aber die Erfahrung
belehrte, dass jenseits der Frauenhofer'schen Linie *B* in dem
dunkelrothen und ultrarothern Theile des Spectrums auch nach
stundenlangem Belichten keine Spur von Entfärbung zu bemerken
war, und dass von *G* an die Curve der Reactionsgeschwindigkeit
sich fast asymptotisch der Abcissenaxe näherte, beschränkten
wir uns bei weiteren Versuchen nur auf die Strecke von *B* bis
unweit *H*, auf welcher wir neun Gläser in nahezu gleichen
Abständen befestigten. Die abgewogene Quantität des zu unter-
suchenden Kohlenwasserstoffes wurde nun mit einigen Tropfen
von Brom bei schwachem Gaslichte gefärbt und zu gleichen
Theilen über alle Probegläschen vertheilt, wobei ein kleiner Rest
der Flüssigkeit immer im Kölbchen als Controle über den mög-

lichen Verlauf der Reaction ausserhalb des Spectrums beibehalten wurde. Die Zeit des Anfanges der Belichtung wurde notirt und der Verlauf der Entfärbung der Flüssigkeit in den einzelnen Probegläschen bis zum vollständigen Verschwinden des Broms sorgfältig beobachtet. In den Theilen des Spectrums, welche von Brom stark absorbirt werden, also etwa von *E* an, bietet diese Beobachtung keine Schwierigkeit dar, da die hellroth gefärbte und durchsichtige Flüssigkeit in denselben fast schwarz und undurchsichtig erscheint. Auch die letzten Spuren von Brom sind dabei noch als kleine rothbraune in der Flüssigkeit schwebende Wölkchen bemerkbar. Dagegen erfordert das Verfolgen der Entfärbung in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums mehr Aufmerksamkeit und Übung, es ist sogar nothwendig, die dort befindlichen Probegläschen von Zeit zu Zeit bei schwachem Gaslichte zu beobachten, um das Ende der Reaction genau zu bestimmen.

Wir haben auf die genannte Weise die Einwirkung von Brom auf Toluol, Etylbenzol und Metaxylool untersucht.

Toluol.

Mit diesem Kohlenwasserstoffe haben wir 17 Versuche angestellt und alle gaben im Allgemeinen übereinstimmende Resultate. Zahlenmässige Angaben über vier letzte Versuche lassen wir hier folgen.

Der erste und zweite Versuch wurden am 30. October 1886 zwischen 10 und 12 Uhr, der dritte und vierte am 31. October 1886 zwischen 10·5 und 12 Uhr angestellt. Der Himmel schien während der drei ersten Versuche gleichmässig hell und heiter, während des vierten war er etwas matt und verschleiert. Die Temperatur der Zimmerluft war während aller Versuche fast constant und betrug 17·8—19° C. Der Barometerstand betrug während der zwei ersten Versuche 753 Mm., während der zwei letzten 748 Mm. Der Dampfdruck 3·5, respective 4·9 Mm. Der Spalt des Heliostaten war 5 Mm. breit. Zum ersten Versuche verbrauchten wir 27 Grm. Toluol, zum zweiten, dritten und vierten je 21 Grm., jedesmal mit fünf Tropfen Brom angefärbt. In der nachstehenden Tafel I bedeuten die laufenden Zahlen der ersten Columne die neun Probestellen im Spectrum (deren Lage

aus Fig. 1 ersichtlich ist) und t in den einzelnen Versuchen die Reactionsdauer in Minuten.

Tafel I.

Probest.	Versuch I		Versuch II		Versuch III		Versuch IV	
	t	$\frac{500}{t}$	t	$\frac{500}{t}$	t	$\frac{500}{t}$	t	$\frac{500}{t}$
1	∞	0·0	∞	0·0	∞	0·0	∞	0·0
2	31·0	16·0	45·0	11·1	31·0	16·4	19·0	26·3
3	15·0	33·3	15·5	32·2	11·0	45·4	6·0	83·3
4	15·5	32·2	17·0	29·4	10·0	50·0	6·0	83·3
5	16·5	30·3	18·0	27·8	12·0	41·6	6·0	83·3
6	17·0	29·4	25·0	20·0	15·0	33·3	8·0	62·5
7	19·0	26·3	29·0	17·2	17·0	29·4	10·0	50·0
8	27·0	18·5	40·0	12·5	27·0	18·5	14·0	35·7
9	42·0	11·9	55·0	9·1	33·0	15·1	16·0	31·2

Der zur Controle ausserhalb des Spectrums gehaltene Theil der Flüssigkeit zeigte zu Ende der Versuche keine Spur von Entfärbung.

In der Fig. 1 sind die Beziehungen zwischen dem Einflusse der einzelnen Theile des Spectrums bei den erwähnten vier Versuchen graphisch dargestellt. Als Abscissenaxe dient hier das prismatische Spectrum, worin die laufenden Zahlen die Probestellen bedeuten, die Ordinaten bilden die 500-fachen Reciprocitäten der Reactionsdauer in Minuten als Millimeter angebracht.

Etylbenzol.

Neun Versuche, welche wir mit diesem Kohlenwasserstoffe angestellt haben, gaben im Allgemeinen ebenfalls übereinstimmende Resultate. Die beigefügte Tafel II enthält unter t die Reactionsdauer in den einzelnen Theilen des Spectrums aus den letzten vier Versuchen, von denen der erste und zweite am 1. November 1886 zwischen 10·5 und 12·25 Uhr, der dritte und vierte am 3. November zwischen 10·75 und 11·25 Uhr angestellt waren. Der Himmel schien während aller Versuche gleichmässig

hell. Die Temperatur der Zimmerluft betrug 18—20° C, der Barometerstand während der ersten zwei Versuche 745·5 Mm. während der zwei letzten 750·3 Mm. der Dampfdruck 4·9 resp. 3·8 Mm. Die Breite des Heliostatenspaltes betrug beim ersten Versuche 1·5 Mm. bei den drei letzten 5 Mm. Zu allen vier Versuchen verbrauchten wir je 7 Gr. Etylbenzol, jedesmal mit zwei Tropfen Brom angefärbt.

Tafel II.

Probest.	Versuch I		Versuch II		Versuch III		Versuch IV	
	t	$\frac{500}{t}$	t	$\frac{500}{t}$		$\frac{100}{t}$	t	$\frac{100}{t}$
1	∞	0·0	∞	0·0	∞	0·0	∞	0·0
2	28·0	17·8	39·0	12·8	5·0	20·0	2·82	35·4
3	20·0	25·0	16·0	25·2	5·25	44·4	1·25	80·0
4	20·0	25·0	12·0	41·7	2·0	50·0	1·25	80·0
5	20·5	24·4	13·0	38·4	2·3	46·0	1·70	58·8
6	23·5	21·2	15·0	33·3	2·5	40·0	1·80	55·5
7	26·0	19·4	21·0	23·8	2·75	36·3	2·25	44·4
8	28·5	17·5	32·0	15·6	3·0	33·3	2·50	40·0
9	32·0	15·6	40·0	12·5	3·5	27·1	2·82	35·4

Der zur Controle ausserhalb des Spectrums gehaltene Theil der Flüssigkeit zeigte auch hier zu Ende der Versuche keine Spur von Entfärbung.

In der zweiten Columne des dritten und vierten Versuches führen wir anstatt der fünfhundertfachen Reciprocität der Reactionsdauer nur die hundertfache an. Wie nämlich aus der Fig. 2 zu ersehen ist, ging bei denselben die Reaction so schnell von Statten, dass die entsprechenden Curven auch ohnedem weit über die zwei ersten hervorragten.

Metaxylol.

Mit diesem Kohlenwasserstoffe haben wir im Mai 1886 mehrere Versuche angestellt. Weil dieselben zu den ersten

unserer Versuche gehören und nur probeweise angestellt waren, war ihre Anordnung noch nicht so constant, wie bei den späteren. Die Quantität des zu den einzelnen Versuchen angewendeten Kohlenwasserstoffes und der Bromtropfen sind nicht notirt worden. In Tafel III und Fig. 3 theilen wir die Resultate zweier von diesen Versuchen mit, um einen Beweis zu liefern, dass auch bei diesem Kohlenwasserstoffe mit zwei Seitenketten der Einfluss der einzelnen Theile des Spectrums der nämliche ist, wie bei Toluol und Etylbenzol.

Tafel III.

Probest.	Versuch I		Versuch II	
	t	$\frac{500}{t}$	t	$\frac{500}{t}$
1	∞	0·0	∞	0·0
2	28·0	16·4	14·0	35·7
3	5·0	100·0	5·0	100·0
4	6·0	83·3	5·0	100·0
5	8·0	62·5	8·5	58·8
6	14·0	35·7	17·0	29·4
7	22·0	22·7	26·0	19·2
8	29·0	17·0	33·0	15·1
9	—	—	40·0	12·5

Aus allen den angeführten Untersuchungen folgt, dass das Maximum der Einwirkung von Brom auf aromatische Kohlenwasserstoffe in dem gelben und gelbgrünen Theile des prismatischen Sonnenspectrums liegt, wobei es gegen Violett viel langsamer abnimmt als gegen Roth. Die blauen und violetten Strahlen üben nur einen ganz geringen Einfluss aus und die dunkelrothen gar keinen. Alle Reactionscurven besitzen den nämlich Charakter, wie die von Pfeffer gegebene Curve der Assimilationsenergie des Kohlenstoffes durch die grünen Pflanzentheile und zeigen auch einen ziemlich übereinstimmenden Gang mit der Curve der Lichtintensität im Spectrum. Freilich ist der

Charakter unserer Messungen ein individueller, wir haben nämlich die Untersuchungen nicht mit einem normalen Sonnenspectrum ausführen können, weil unser Interferenzgitter ein für diesen Zweck zu schwaches Spectrum lieferte. In diesem Falle würden nämlich in Folge der gleichmässigen Vertheilung der Energie im Spectrum unsere Reactionscurven langsamer gegen Roth abnehmen und ihre Maxima sich mehr nach der Seite der schnellen Schwingungen ausdehnen, aber ganz dieselben Veränderungen würde unzweifelhaft auch die von Pfeffer gegebene Curve der Assimilationsenergie der Pflanzen erleiden. Ausser dem Maximum zwischen *D* und *E* ist noch eine auffallende Convexität in der Umgebung von *F* bemerkbar. Dass dieselbe nicht etwa von Beobachtungsfehlern herrührt, beweist schon der Umstand, dass sie bei allen Curven wiederkehrt. Wir bringen hier in Erinnerung, dass auch bei der graphischen Darstellung der Untersuchungen von Bunsen und Roscoe über Chlorknallgas neben dem Maximum zwischen *G* und *H* noch ein anderes kleineres bei *I* sehr deutlich hervortritt.

Es ist merkwürdig, dass manchmal bei einem und demselben Kohlenwasserstoffe die Einwirkung so schnell von Statten geht, dass die entsprechende Reactionscurve weit über die anderen hervorragte. Besonders auffallend ist dies beim vierten Versuche mit Toluol und beim dritten und vierten mit Etylbenzol. Die Erscheinung liess sich durch keine von der Anordnung unserer Versuche abhängige Umstände deuten.¹⁾ Dass dieselbe von den übrigens ganz geringen Schwankungen der Temperatur der Zimmerluft unabhängig war, haben wir durch zwei Reihen besonderer Versuche festgestellt, bei denen wir ziemlich grosse Unterschiede der Temperatur herstellten. Wir haben nämlich die Probegläschen mit Toluol und Brom in einem langen und schmalen gläsernen Wasserbade befestigt, dessen Temperatur in der einen Reihe von Versuchen bei 3—4° C, und in der anderen bei 50—60° C, gehalten wurde, und unter sonst gleichen Umständen fanden wir keine sehr bedeutenden Unterschiede in der Reactions-

¹⁾ Es schien uns zwar, dass vorhergehendes Aufbewahren des Kohlenwasserstoffes durch längere Zeit im Dunklen die Reaction beschleunigt, indess fehlen uns so genaue Beobachtungen, um in der Hinsicht Sicherheit gewinnen zu können.

dauer. Es ist zu bemerken, dass in den beiden Reihen von Versuchen auch der Charakter der Reactionscurven unverändert blieb, sie zeigten nämlich immer ein Maximum zwischen *D* und *E*, und eine hervortretende Convexität in der Umgebung von *F*. Wahrscheinlich ist die Ursache der Erscheinung in der während der einzelnen Versuche verschiedenen Intensität des Sonnenlichtes zu suchen, leider fehlten uns aber gänzlich Apparate, derer wir uns zur gleichzeitigen Bestimmung derselben bedienen könnten.

Vergleicht man den Gang der Reactionscurven bei den angeführten Versuchen mit dem Absorptionsspectrum des Bromdampfes, so sieht man, dass die Einwirkung eben durch diese Strahlen ausgeübt wird, welche von Brom absorbirt werden. Jenseits der Linie *B* im dunkelrothen Theile des Spectrums, welcher von Brom nicht absorbirt wird, bemerkt man nämlich auch nach stundenlangem Belichten keine Spur von Einwirkung, ebenso wie bei vollkommenem Abschluss des Lichtes. Das Maximum der Wirkung wird aber nicht von diesen Wellen ausgeübt, welche von Brom am vollständigsten absorbirt werden. Von den zahlreichen Linien, welche das Absorptionsspectrum des Bromdampfes zeigt, treten nämlich nach Beobachtungen früherer Forscher die Linien im Grünblau und Blau viel deutlicher hervor, als im Gelbgrün und Orange, und bei Anwendung kleiner Spectralapparate mit schwacher Dispersion bemerkt man sogar nur eine einseitige Auslöschung des Lichtes im Blau und Violett. Die Ursache dieser Erscheinung liegt also in den verschiedenen Beziehungen zwischen der optischen und der chemischen Extinction, indem der chemisch verbrauchte Antheil des durch Brom absorbierten Lichtes unabhängig ist von der Stärke der Absorption in den einzelnen Theilen des Spectrums. Die Resultate unserer Versuche stehen also in dieser Hinsicht im Einklang mit den Beobachtungen früherer Forscher. Es hatte nämlich schon Draper bewiesen, dass die Hauptarbeit bei der Assimilation des Kohlenstoffs durch die grünen Pflanzentheile nicht vom rothen Lichte des Spectrums geleistet wird, wiewohl die alkoholischen und ätherischen Lösungen des Chlorophyllfarbstoffes gerade in diesem Theile des Spectrums sehr scharfe und dunkle Absorptionsbänder zeigen. Auch Jodsilber zeigt neben *G* ein

ausgeprägtes Maximum der Lichtwirkung, während gerade an dieser Stelle die optische Absorption nur gering ist.

Schliesslich wollen wir noch den Vorgang der Energieänderung bei den von uns untersuchten photochemischen Reactionen, sowie die wahrscheinliche Deutung der letzteren in Betracht ziehen. Es hatte bereits der eine von uns angegeben, dass bei der Einwirkung von Brom auf aromatische Kohlenwasserstoffe unter der Mitwirkung des Lichtes sehr viel Wärme frei wird, dass also der Vorgang der Substitution der Wasserstoffatome in den Seitenketten dieser Kohlenwasserstoffe durch Brom unter starker Energieentbindung stattfindet. Aber ebenso wie bei der Umsetzung von Chlorknallgas in Chlorwasserstoff unter dem Einflusse des Lichtes, ist auch hier der Vorgang der Wärmeentbindung nur ein secundärer und rührt ausschliesslich von der vorhandenen chemischen Energie zwischen Brom und Wasserstoff. Die von den Sonnenstrahlen in der verhältnissmässig kurzen Zeit der Reaktionsdauer gespendete Energie ist nämlich im Verhältnisse zu der bei der Einwirkung entwickelten Wärmemenge nur sehr klein, und leistet nur insoferne Arbeit, als sie die Brommoleküle in einen zu der erwähnten Einwirkung erforderlichen labilen Zustand versetzt. Die erste Ursache der Wirkung des Lichtes ist also auch hier Energieaufnahme. Und ebenso wie Chlorknallgas bei Abschluss des Lichtes sich erst dann in Chlorwasserstoff umsetzt, wenn die Chlormoleküle durch entsprechende Erhöhung ihrer Temperatur in den erforderlichen labilen Zustand versetzt werden, ebenso erfolgt auch bei Abschluss des Lichtes die Einwirkung von Brom auf aromatische Kohlenwasserstoffe in derselben Richtung wie unter Mitwirkung der Sonnenstrahlen erst in der Siedetemperatur der Kohlenwasserstoffe, entsprechend dem Beilstein'schen Reactionsprincip.
