

## Beiträge zur Chemie der Asphalte mit besonderer Berücksichtigung ihrer photochemischen Eigenschaften

von

Dr. Paul Gödrich.

(Vorgelegt in der Sitzung am 29. April 1916.)

Die Verwendung des Asphalts in der Photochemie beruht auf seiner Eigenschaft, unter dem Einfluß von Licht und atmosphärischer Luft in gewissen Lösungsmitteln schwer löslich zu werden, in denen er vor der Belichtung leicht löslich war.

Der Entdecker dieser Eigenschaft war N. Niepce,<sup>1</sup> dem es auch gelang, durch Vorbelichten von Asphaltlösungen dessen Lichtempfindlichkeit um ein geringes zu erhöhen. Auer<sup>2</sup> und später R. Kayser<sup>3</sup> haben durch fraktionierte Lösung des Asphalts in verschiedenen Solventien (Alkohol, Äther, Chloroform) Bestandteile von größerer Lichtempfindlichkeit aus den Rohasphalten isoliert. Kayser fand, daß der alkohollösliche Anteil ( $\alpha$ -Harz) im Lichte vollkommen unverändert bleibt, die in Äther lösliche Fraktion ( $\beta$ -Harz) teilweise unlöslich geworden war, während der in Äther unlösliche Anteil ( $\gamma$ -Harz), in Chloroform gelöst, die stärkste Lichtempfindlichkeit zeigt. Die Methode Kayser's wurde später von Husnik für die Praxis ausgearbeitet.

In neuerer Zeit gelang es E. Valenta<sup>4</sup> durch Inkorporierung von Schwefel in den syrischen Asphalt, eine Steige-

---

<sup>1</sup> Eder's Handbuch der Photographie, Bd. I, p. 113 und 116.

<sup>2</sup> Eder's Handbuch der Photographie, Bd. IV (1899), p. 594.

<sup>3</sup> Kayser, Untersuchungen über nat. Asphalte, 1879, p. 32.

<sup>4</sup> Eder's Jahrbuch 1892, p. 241.

rung der Lichtempfindlichkeit desselben zu erzielen. Anfangs erreichte er dieses Ziel durch Zusammenschmelzen von molekularem Schwefel mit Asphalt. Auf leichtere Weise gelang es dem Genannten, durch Kochen von Schwefelblumen in einer Lösung von Asphalt in Cumol am Rückflußkühler eine beträchtliche Erhöhung der Lichtempfindlichkeit zu erzielen. Da aber das Auftreten großer Mengen von Schwefelwasserstoff bei der Ausführung der Methode belästigend für die Umgebung ist, verbesserte Valenta 1910 sein Verfahren dahin, daß er auf den in Schwefelkohlenstoff gelösten Asphalt Chlorschwefel einwirken ließ, wobei er mit syrischem Asphalt befriedigende Resultate erhielt.

Letzterer Methode bediente sich auch der Verfasser bei der Sulfierung der verschiedenen Asphalte. Zu den Versuchen konnte er sich nicht der im Handel erhältlichen Rohasphalte bedienen, teils weil deren Provenienz fast immer unsicher ist, teils weil die Handelsprodukte häufig Zusätze von Steinkohlens- und Petrolpech enthalten.

Als Versuchsmaterial wurden Hartasphalte von Kuba-Jatibonico und Asphaltsteine von Seyssel, von Bastennes, von der Insel Brazza, sowie Landasphalt von Trinidad verwendet, deren Reinheit ganz verläßlich war.

Aus den Asphaltsteinen mußte das Bitumen durch Extraktion mit Schwefelkohlenstoff erst gewonnen werden, die Hauptmenge des Lösungsmittels wurde durch Abdestillieren entfernt, das zurückgebliebene Bitumen von dick syrupartiger Konsistenz in eine Porzellanschale gebracht und nach mehr-tägigem Stehen an der Luft von den letzten Spuren des Lösungsmittels durch Erhitzen im Wassertrockenschrank befreit. Die von Gangart freien Asphalte, wie der syrische und der Kuba-Asphalt, konnten direkt der Sulfierung zugeführt werden.

### **Das Sulfieren der Asphalte.**

Die aus den Steinen extrahierten Produkte sowie die vorhandenen reinen Asphalte wurden nun der Reihe nach der Sulfierung zugeführt. Der dabei eingeschlagene Weg war

folgender: Es wurden 50 g des betreffenden Asphalts in einen Literkolben gebracht und mit zirka 600  $\text{cm}^3$  chemisch reinem Schwefelkohlenstoff übergossen. Der Kolben wurde dann im Wasserbad am Rückflußkühler erhitzt, bis sich der Asphalt vollkommen gelöst hatte. Nach dem Abkühlen wurden 10  $\text{cm}^3$  Chlorschwefel mit Schwefelkohlenstoff entsprechend verdünnt und das Gemisch vorsichtig in kleinen Partien nach und nach in den Kolben gegossen. Sobald aller Chlorschwefel zugesetzt war, wurde das Wasserbad langsam erhitzt, wobei bald eine lebhafte Chlorwasserstoffentwicklung zu bemerken war.

Unter später noch genauer zu erörternden Bedingungen kann der Chlorschwefel ein Unlöslichwerden des Asphalts bewirken; man muß sich also nach Beendigung der Einwirkung, welche sich durch Ausbleiben der sauren Reaktion am Kühlerende kundgibt, überzeugen, ob der Asphalt noch vollständig in Lösung ist oder ob er schon ganz oder zum Teile unlöslich geworden ist.

Der Verfasser führte die Sulfierungen in der Weise durch, daß er zuerst durch Vorversuche die größtmögliche Menge Chlorschwefel feststellte, welche von den Asphalten ohne Unlöslichwerden aufgenommen werden kann.

Nachdem auf diese Weise die den einzelnen Asphalten spezifischen Mengen Chlorschwefel ermittelt worden waren, wurden dieselben nach dem oben beschriebenen Verfahren mit eben diesen Mengen  $\text{S}_2\text{Cl}_2$  sulfiert und von dem Lösungsmittel befreit.

Die auf diese Weise erhaltenen geschwefelten Produkte unterscheiden sich von den Naturasphalten äußerlich durch ihre dunklere Färbung und hauptsächlich durch die größere Härte, welche auch in einer Schmelzpunkterhöhung ihren Ausdruck findet. Dadurch wird auch die Ansicht Clifford-Richardson's<sup>1</sup> bestätigt, wonach die härtesten Bestandteile des Asphalts den größten Schwefelgehalt aufweisen und wahrscheinlich durch Einwirkung des Schwefels auf die weicheren Bestandteile entstanden sind.

---

<sup>1</sup> Richardson, Journ. Soc. Chem. Ind., 17, p. 13. — Chem. Zentralblatt, 1898, 1, 687.

### Untersuchung der sulfierten und der rohen Asphalte.

Die Art und Weise der Bindung des Schwefels im Naturasphalt ist bisher noch nicht erforscht worden. Endemann<sup>1</sup> sieht den Schwefel als Verunreinigung an, während Clifford-Richardson das Vorkommen von geschwefelten Kohlenwasserstoffen im Bitumen annimmt. Die Ansicht Endemann's konnte der Verfasser dadurch widerlegen, daß es ihm gelang, bei Asphalten, welche Schwefel als absichtliche Beimengung enthielten, diesen durch Kochen mit NaOH als  $\text{Na}_2\text{S}$  vollständig in Lösung zu bringen, während es bei Naturasphalten unmöglich war, denselben auf diese Weise Schwefel zu entziehen. Ebenso konnte nachgewiesen werden, daß der bei der Sulfierung inkorporierte Schwefel durch Natronlauge nicht wieder zu entfernen, also wirklich chemisch gebunden war.

Der Verfasser wendete zur Bestimmung des Schwefels folgende Methode an, die Resultate von guter Übereinstimmung ergab.

Der Asphalt wurde fein gepulvert und zirka 0.5 g eingewogen. Dann wurde eine Mischung von Natriumcarbonat und Kalumnitrat zu gleichen Teilen hergestellt und der eingewogene Asphalt mit zirka der 16fachen Menge des Gewichtes innig gemengt. Die Aufschließung wurde in einem Nickeltiegel in der Weise vorgenommen, daß zuerst der Boden des Tiegels mit dem Aufschließungsgemisch einige Millimeter hoch bedeckt, ein kleiner Teil des Gemisches mit dem Asphalt daraufgegeben und das Ganze schließlich wieder mit dem reinen Gemische bedeckt wurde.

Man erhitzt darauf mit einer sehr kleinen Flamme bei bedecktem Tiegel, wobei man denselben mit einem Ring aus Asbestpappe umgibt. Bei der ganzen Reaktion muß eine möglichst niedere Temperatur eingehalten werden. Hat die Rauchentwicklung aufgehört, so läßt man den Tiegel etwas erkalten, überschichtet wieder mit dem Natriumcarbonat-Kalumnitratgemisch, fügt einen Teil des Gemisches mit dem Asphalt hinzu etc. und verascht in analoger Weise die ganze ein-

---

<sup>1</sup> Endemann, Journ. Soc. Chem. Ind., 17, p. 2005.

gewogene Menge des Asphalts. Zum Schlusse löst man den Schmelzkuchen in heißem Wasser auf und bestimmt den Schwefel in der bekannten Weise als Bariumsulfat.

Die Bestimmung des Wasserstoffes wurde nach dem gebräuchlichen Verfahren der Elementaranalyse gemacht. Wegen des Schwefelgehaltes wurde das Verbrennungsrohr an Stelle des Kupferoxyds mit Bleichromat beschickt.

Mit Rücksicht darauf, daß die zur Verarbeitung herangezogenen Produkte als Gemenge von Kohlenwasserstoffen keinen Anspruch auf eine Molekularformel haben, wurde nur zum Zwecke der Feststellung einer Relation zwischen H und S die Atomanzahl dieser Elemente in der Analysensubstanz berechnet. Bei der Elementaranalyse wurde auch der Kohlenstoffgehalt ermittelt. Da dieser bei der Einwirkung von  $S_2Cl_2$  auf das Asphalt konstant bleibt, mußte er bei der Feststellung der Beziehung von H zu S als Basis dienen.

Im Nachstehenden sind die Analysenresultate verschiedener Asphaltarten in Tabellen zusammengestellt. Unter »I« finden sich die Gehalte an H und S, unter »II« ist die auf gleiche C-Atomzahl berechnete Anzahl von H- und S-Atomen angeführt. Die dritte Kolonne von II enthält die Differenz zwischen der H- und S-Atomanzahl des natürlichen und sulfierten Asphalts. In der letzten Kolonne wurde der der Differenz der H-Atome äquivalente Schwefel als substituiert, der Rest als addiert angeführt.

Die Tabellen zeigen, daß die zur Untersuchung herangezogenen Asphalte verschiedener Provenienz untereinander wesentlich differieren; ebenso ist die Menge des in Reaktion getretenen S verschieden. Über die Art und Weise der chemischen Bindung des im Asphalt vorhandenen und bei der Sulfierung eingetretenen Schwefels liegen in der Literatur keine verlässlichen Angaben vor. Nach den Untersuchungen des Verfassers scheinen bei der Sulfierung der Asphalte ähnliche Verhältnisse vorzuliegen, wie bei der Vulkanisierung des Kautschuks mit Chlorschwefel. Der Schwefel kann demnach sowohl den Wasserstoff substituieren, als auch sich an ungesättigte Bindungen anlagern. Das Vorhandensein von

mehrfachen Bindungen wurde durch die vom Verfasser ausgeführten Bestimmungen von Jodzahlen festgestellt. Das Auftreten von HCl-Dämpfen bei der Sulfurierung erklärt sich aus der Umsetzung des substituierten Wasserstoffes mit dem Chlor des einwirkenden Chlorschwefels. Die bei der Analyse gefundenen Mengen von H und S geben einen Aufschluß über die Menge des addierten, respektive substituierenden Schwefels, da man die den Wasserstoffatomen äquivalente Menge S als substituiert annehmen muß, während der Rest addiert wurde.

### Der Asphalt von Brazza (Dalmatien).

#### I.

Asphalt	Prozent H	Prozent S
natur .....	8·268	7·09
sulfiert .....	7·7	10·67

#### II.

Asphalt	Bei gleicher Anzahl der C-Atome		Differenz der Atomanzahl von natürlichem und sulfiertem Asphalt		S-Atome	
	H-Atome	S-Atome	H	S	substituierte	addierte
natur ....	211	5·62	4	3·25	2	1·25
sulfiert ...	207	8·87				

## Der Asphalt aus Trinidad.

## I.

Asphalt	Prozent H	Prozent S
natur .....	9·9	9·088
sulfiert .....	8·1	16·11

## II.

Asphalt	Bei gleicher Anzahl der C-Atome		Differenz der Atomanzahl von natürlichem und sulfiertem Asphalt		S-Atome	
	H-Atome	S-Atome	H	S	substituierte	addierte
natur ....	242·75	6·96	12·55	7·41	6·25	1·16
sulfiert ...	230·2	14·37				

## Asphalt aus Seyssel.

## I.

Asphalt	Prozent H	Prozent S
natur ... ..	12·58	3·8
sulfiert .....	11·17	12·0

## II.

Asphalt	Bei gleicher Anzahl der C-Atome		Differenz der Atomanzahl von natürlichem und sulfiertem Asphalt		S-Atome	
	H-Atome	S-Atome	H	S	substituierte	addierte
natur ....	322·6	3	12·6	8	6·3	1·7
sulfiert ...	310	11				

## Südfranzösischer Asphalt (Bastennes).

## I.

Asphalt	Prozent H	Prozent S
natur .....	12·23	10
sulfiert .....	10·05	18·99

## II.

Asphalt	Bei gleicher Anzahl der C-Atome		Differenz der Atomanzahl von natürlichem und sulfiertem Asphalt		S-Atome	
	H-Atome	S-Atome	H	S	substituierte	addierte
natur ....	340·75	8·708	16·45	9·64	8·22	1·42
sulfiert ...	324·3	18·35				

## Kuba-Asphalt (Jatibonico).

## I.

Asphalt	Prozent H	Prozent S
natur .....	9·01	7·173
sulfiert .....	8·84	13·0

## II.

Asphalt	Bei gleicher Anzahl der C-Atome		Differenz der Atomanzahl von natürlichem und sulfiertem Asphalt		S-Atome	
	H-Atome	S-Atome	H	S	substituierte	addierte
natur ....	232·76	5·81	8·76	5·54	4·38	1·16
sulfiert ...	224	11·35				

### Untersuchung der Reaktionsprodukte bei der Übersulfierung des Asphalts.

Wie schon erwähnt wurde, verträgt jeder Asphalt nur die Inkorporierung einer bestimmten Menge Schwefels, ohne seine Löslichkeit zu verlieren. Überschreitet man diese Grenze, so fällt ein schwarzes, schwammiges, vollkommen unlösliches Produkt aus. Dieser Körper wird im Nachstehenden als »übersulfert« bezeichnet. Seine absolute Unlöslichkeit macht ihn für die Anwendung auf photochemischem Gebiete untauglich. Zur Untersuchung dieses Verhaltens wurde der Asphalt von Kuba-Jatibonica herangezogen. Der mit einem Überschuß an  $S_2Cl_2$  versetzte Asphalt wurde in der schon beschriebenen Weise sulfiert, vom Schwefelkohlenstoff befreit und der getrocknete Rückstand im Soxhlet'schen Apparat mit Schwefelkohlenstoff extrahiert; dabei ging ein Teil in Lösung.

Da sich bei der Übersulfierung aus dem überschüssigen Chlorschwefel molekularer Schwefel abscheidet, so ging letzterer mit dem erwähnten Anteil in Lösung. Nach dem Abdestillieren des Lösungsmittels wurde der Rückstand behufs Befreiung vom ausgeschiedenen Schwefel mit Natronlauge erhitzt. Diese Asphaltfraktion hat sich daher als unsulfierbar erwiesen; sie ergab bei der Analyse einen Gehalt von  $1.99\%$  S, während der natürliche Asphalt einen solchen von  $7.17\%$  zeigte.

Das gereinigte übersulfierete Produkt ergab bei der Untersuchung einen S-Gehalt von  $18.04\%$ .

### Versuche zur Bestimmung der Jodzahl im Asphalt.

Der Verfasser hat sich im weiteren Verlaufe der Untersuchungen mit der Feststellung des Jodadditionsvermögens des Kuba-Jatibonico-Asphalts und seiner sulfierten Produkte beschäftigt. Während beim Naturasphalt die Jodzahlbestimmung nach der Hübl'schen Methode völlig übereinstimmende Daten ergab, konnten beim geschwefelten Asphalt nur sehr mangelhaft übereinstimmende Analysenresultate erzielt werden. In einer sechsgliedrigen Versuchsreihe wurden Differenzen

bis zu 9 Einheiten gefunden. Die Ursache dieser Erscheinung konnte nicht ermittelt werden, ebensowenig konnte eine genügende Erklärung für die auffallende Höhe der mutmaßlichen Jodzahl gefunden werden.

Die Analyse ergab folgende Zahlen:

Natur-Kuba-Jatibonico-Asphalt....	28·11 bis 28·15%	J,
sein sulfiertes Produkt .....	55·01 bis 64·09%	J,
der unsulfierbare Anteil .....	31·72 bis 31·48%	J.

Vom übersulfierten Asphalt konnte infolge seiner Unlöslichkeit keine Jodzahl ermittelt werden.

### Über die Rolle des Sauerstoffes bei der Einwirkung des Lichtes auf Asphalt.

Zur Erklärung der Ursache des Unlöslichwerdens des Asphalts im Lichte liegen mannigfaltige Untersuchungen vor. Kayser vermutet eine Polymerisation unter Ausschluß von Sauerstoff, da er durch seine Versuche keine Gewichts-differenz zwischen belichtetem und unbelichtetem Asphalt erhielt. Im Widerspruch dazu stehen die Versuche Niepce de St. V. und Chevreul's,<sup>1</sup> welche als Ursache des Unlöslichwerdens Oxydation annahmen, da der Asphalt bei der Belichtung im Vakuum löslich blieb. Diese Versuche wurden von Valenta<sup>2</sup> in der Weise fortgesetzt, daß er Asphalt in Wasserstoffatmosphäre belichtete; bei der darauffolgenden Entwicklung in Terpentin konnte keine Änderung der Löslichkeit des Asphalts bewirkt werden; er mutmaßt aber, daß der Sauerstoff bei der Lichtreaktion eine Rolle spielen müsse. Vojtech<sup>3</sup> belichtete Asphalt sowohl in neutralen Gasen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ), als auch in Sauerstoff. Im ersteren Falle bestätigte sich der Befund Valenta's, während im letzteren Falle der Asphalt vollkommen unlöslich wurde. Es würde demnach eine Oxydation vorliegen.

Der Verfasser schlug zur Lösung dieser Frage einen anderen Weg ein. Er setzte der Benzol-Asphatlösung eine

<sup>1</sup> Photogr. Mitteilungen, Bd. 16, p. 228.

<sup>2</sup> Eder's Handbuch, 4. Teil, 1900, p. 604.

<sup>3</sup> Photogr. Korresp., 1906, p. 284.

geringe Menge von Benzoylsuperoxyd zu und belichtete eine damit präparierte Glasplatte in einer Wasserstoffatmosphäre. Der Asphalt wurde dabei unlöslich. Die Ursache dieser Erscheinung dürfte in der Abspaltung von Sauerstoff aus dem Peroxyd liegen, der das Unlöslichwerden des Asphalts bewirkte.

Auf Grund der Untersuchungen Kayser's sowie der Resultate der eigenen, nimmt der Verfasser an, daß das Unlöslichwerden des Asphalts auf eine katalytische Wirkung des Sauerstoffes zurückzuführen ist, da nur unwägbare Spuren von Sauerstoff genügen, um den Asphalt bei der Belichtung unlöslich zu machen.

### Messung der Lichtempfindlichkeiten der Asphalte.

Zur Messung der Lichtempfindlichkeit bediente sich der Verfasser des Vogel'schen Skalenphotometers. Die Absorptionskonstante wurde in der von Eder<sup>1</sup> angegebenen Weise bestimmt. Als Konstante wurde für das Versuchsinstrument der Wert

$$c = \sqrt{\frac{m-n}{s}} = 1.49$$

gefunden. Der Versuch wurde in der Weise angestellt, daß durch Aufgießen gleicher Mengen gleich starker Asphaltlösungen auf Zinkplatten gleich dicke Schichten hergestellt wurden. Je eine Platte mit dem sulfurierten und mit dem unsulfurierten Produkte wurde dann gleich lang der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt. Bei der Entwicklung in Neustädter Terpentinöl wurde die höchste erscheinende Skalenziffer als Endpunkt der Lichteinwirkung angenommen.

Aus dem Quotienten der angezeigten Lichtmengen läßt sich dann die Steigerung der Lichtempfindlichkeit ziffermäßig ausdrücken.

Beim Kuba-Asphalt wurde auch das Verhalten der jodierten und unsulfierbaren Anteile im Lichte untersucht. In nachstehender Tabelle sind die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zusammengefaßt.

<sup>1</sup> Eder, Photographie bei künstlichem Licht, p. 155, 3. Aufl.

Asphalt		Photo- meter- grade	Angezeigte Licht- menge	Steigerung der Licht- empfind- lichkeit
Seyssel .....	{ sulfiert	14	265·86	178·5
	{ natur	1	1·49	
Dalmatiner .....	{ sulfiert	11	80·37	36·20
	{ natur	2	2·22	
Südfranzösischer ...	{ sulfiert	9	36·00	16·30
	{ natur	2	2·22	
Trinidad .....	{ sulfiert	9	36·00	3·63
	{ natur	4	9·929	
Kuba-Jatibonico ...	{ sulfiert	13	178·43	3·31
	{ natur	10	53·94	
Kuba-Jatibonico ...	{ natur	23	45·00	-6·17
	{ jodiert	12	7·29	
Kuba-Jatibonico ...	{ unsulfierbarer Anteil	0	0	—

Anmerkung. Die Behauptung Rosinger's,<sup>1</sup> »die Lichtempfindlichkeit des unsulfierten Asphalts ist eine direkte Funktion der Dicke der Schichte, je dünner die belichtete Schichte, desto geringer ist ihre Lichtempfindlichkeit«, kann nach den vom Verfasser gemachten Beobachtungen nicht bestätigt werden. Es wurde im Gegenteile konstatiert, daß dickere Asphaltschichten eine längere Belichtung benötigen als dünnere, um ein klares Bild zu erhalten.

Auch die Bemerkung Rosinger's, daß Ammoniakgas in wenigen Augenblicken ein Unlöslichwerden des sulfierten Asphalts bewirke, kann der Verfasser nicht bestätigen.

### Untersuchung der Absorptionsspektren.

Es wurden von den Asphalten vier verschieden starke Lösungen in Chloroform hergestellt und deren Untersuchung

<sup>1</sup> Chem. Zeitung 1912, p. 243.

im Spektroskop vorgenommen. Es zeigte sich im Blau ein starkes, bis ins Ultraviolett reichendes Absorptionsband, dagegen im Gelb nur ein, beim Kuba- und Trinidad-Asphalt zwei schwache Absorptionsbänder, die bei den sulfierten Asphalten nicht mehr zu konstatieren waren. Im Grün und Rot zeigte sich keine stärkere Absorption.

### **Die Einwirkung des monochromen Lichtes auf den Asphalt.**

Der Versuch wurde in der Weise angestellt, daß der Asphalt auf eine Zinkplatte aufgegossen, unter strengen Farbfiltern, und zwar Blau, Grün, Gelb und Rot, belichtet wurde. Nach einer zirka zweistündigen Belichtung in der Sonne zeigte sich bei der Entwicklung mit Neustädter Terpentinöl eine deutliche Einwirkung des Lichtes unter sämtlichen Filtern. Die Versuche wurden nun in der Weise wiederholt, daß unter denselben Bedingungen kurze Belichtungen ausgeführt wurden. Es zeigte sich dabei, daß zunächst das Blau, bei längerer Beleuchtung das Gelb, später das Grün und dann das Rot zur Wirkung gelangt.

Zur Feststellung, ob auch das ultraviolette Licht den Asphalt zu beeinflussen vermag, wurde eine Dauerbelichtung unter dem Wood'schen Ultraviolettfilter<sup>1</sup> vorgenommen. Zu diesem Zwecke belichtete der Verfasser zuerst einen mit einer Asphallösung überzogenen Zinkstreifen unter einer Quecksilberdampflampe ohne Filter. Es ergab sich, daß der zu diesem Versuche verwendete Kuba-Asphalt in 4 Minuten unlöslich wurde. Da der Wood'sche Filter eine 250fache Überbelichtung verlangt, wurde zirka 16 Stunden belichtet. Bei der Entwicklung zeigte sich an der vom Filter bedeckten Stelle eine deutliche Einwirkung des ultravioletten Lichtes.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung.**

1. Bei der Sulfierung der Asphalte mit Chlorschwefel tritt ein Substitutions- und Additionsprozeß nebeneinander auf.
2. Im Asphalt sind vorwiegend gesättigte Bindungen vorhanden, daher überwiegt der Substitutionsprozeß bei der Sulfierung.

---

<sup>1</sup> Eder, Photographie bei künstlichem Licht, p. 357.

3. Der Asphalt enthält einen unsulfierbaren Anteil von geringem Schwefelgehalt und höherer Jodzahl als das Ausgangsprodukt.

4. Beim Unlöslichwerden infolge Belichtung des Asphalts dürfte der Sauerstoff die Rolle eines Katalysators spielen.

5. Durch die Sulfierung wird eine Erhöhung der Lichtempfindlichkeit erzielt, die bei den verschiedenen Asphaltarten dem Schwefelgehalt nicht proportional ist.

6. Lösungen der Asphalte zeigen im Spektroskop Absorptionsbänder im Blau und Gelb, letztere sind in den sulfierten Produkten nicht mehr vorhanden.

7. Asphalt ist für monochromes Licht im ganzen Bereich des Spektrums bis ins Ultraviolett empfindlich.

8. Vermöge seiner natürlichen Lichtempfindlichkeit kann der rohe Kuba-Jatibonico-Asphalt als vollwertiger Ersatz für den syrischen Asphalt gelten.

---