

---

*I. Ueber Depolarisation<sup>1)</sup>; von Dr. A. Kundt.*

---

Seit man die Erscheinungen der Polarisation des Lichtes kennt, ist man bestrebt gewesen, experimentell wie theoretisch festzustellen, wie das natürliche unpolarisirte Licht unter den mannigfachsten Bedingungen polarisirt werde, welche Veränderungen dasselbe in seiner Intensität und Ebene der Polarisation bei den verschiedensten Vorgängen erleide; sehr wenig jedoch hat man sich mit der Frage beschäftigt, auf welche Weise irgend wie polarisirtes Licht wiederum in natürliches unpolarisirtes zurückgeführt werden könne, und welches die Gesetze dieser Umwandlung seyen. Einzelne Versuche liegen hierüber freilich bereits vor, diese Versuche wurden aber nicht weiter verfolgt, wohl aus dem Grunde nicht, weil sich dieselben meist auf Reflexionen an rauen Oberflächen bezogen, und mithin die Versuche nach der sehr variablen Natur der reflectirenden Medien auch sehr verschieden ausfallen mochten, und so dann, weil die Erscheinungen, die man an rauen Oberflächen beobachten kann, sich einer strengen theoretischen Untersuchung und Berechnung entziehen. Wenngleich man aber auf eine umfassende theoretische Behandlung der Erscheinungen der Depolarisation — so wollen wir im Folgenden immer, wie gebräuchlich, den Vorgang bezeichnen, wenn irgend wie polarisirtes Licht ganz oder zum Theil in natürliches übergeführt wird — verzichten muß, so schien es doch nicht ohne Interesse, den Gegenstand einer eingehenderen experimentellen Untersuchung zu unterziehen.

1) Die Untersuchung wurde in dem vom Hrn. Professor Magnus zu Berlin geleiteten Laboratorium ausgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Folgenden in Kürze mitgetheilt werden.

Es giebt zwei Methoden, auf die wir überhaupt Licht vollständig oder theilweise zu polarisiren vermögen, einmal durch Reflexion oder Brechung, die unter bestimmten Winkeln erfolgen, und sodann durch Doppelbrechung. Es liegt nahe zu vermuthen, daß man nun auch umgekehrt im Stande seyn muß, auf diese beiden Weisen, durch Reflexion und Brechung oder andererseits durch Doppelbrechung das Licht zu depolarisiren. Wie alle die verschiedenen und veränderlichen Polarisationsebenen der einzelnen Strahlen eines Bündels natürlichen Lichtes durch Reflexion oder Brechung, oder aber durch den Durchgang durch einen doppelbrechenden Körper auf ganz bestimmte Polarisationsebenen zurückgeführt werden, so muß auch umgekehrt ein polarisirtes Strahlenbündel durch Reflexionen oder Brechungen in verschiedenen Ebenen, und sodann auch durch Doppelbrechung der einzelnen Strahlen in verschiedenen, verschieden liegenden Krystallen, in natürliches, d. i. nach allen Richtungen polarisirtes Licht übergeführt werden können. Es wird nur darauf ankommen die einzelnen reflectirenden oder brechenden Flächen oder die einzelnen Krystalle hinreichend klein zu machen, so klein, daß jeder einzelne Strahl des Bündels auf eine andere reflectirende oder brechende Fläche, oder auf einen andern Krystall fiele.

Eine solche Depolarisation des Lichtes durch Reflexion an sehr verschieden liegenden kleinen Flächen, also durch Zerstreuung des Lichtes, ist bereits seit langer Zeit bekannt. Dove <sup>1)</sup> wies nach, daß das auf einen Bogen Papier oder eine weiße Wand senkrecht auffallende polarisirte Licht nach der Reflexion vollkommen depolarisirt sey. Ebenso weiß man bereits lange, daß polarisirtes Licht beim Durchgang durch ein trübes, das Licht zerstreues Medium zum Theil oder ganz depolarisirt werde. Seitdem nämlich Arago zuerst bemerkt, daß rauhe Oberflächen unter keinem Win-

1) Pogg. Ann. Bd. LXXI, S. 116.

kel das Licht vollständig zu polarisiren vermögten, dafs vielmehr die Polarisation an solchen Oberflächen immer nur theilweise sey, und als später mannigfach diese theilweise Polarisation untersucht wurde, — so noch in neuester Zeit von Brewster <sup>1)</sup> — wurde man sehr bald auch zu jener Constatirung der Depolarisation der rauhen Flächen geführt. Verfolgt wurden diese Untersuchungen aus den bereits oben angegebenen Gründen wenig, und so ist über das Speciellere der Depolarisation an verschiedenen Körpern und unter verschiedenen Bedingungen Wenig bekannt. Depolarisation aber durch Doppelbrechung — ich will gleich genauer sagen, durch Doppelbrechung sehr vieler kleiner, beliebig liegender Krystalle — ist überhaupt, so viel mir bekannt, nur ein einziges Mal beobachtet. Babinet fand nämlich, dafs wenn man Bergkrystalle zerstoße, das erhaltene Pulver, auch wenn es das Licht nicht zerstreut, dasselbe doch depolarisirt. Er sagt ferner, dafs Glaspulver ebenso wie jenes Pulver vom Bergkrystall depolarisire und endlich der Hyalith dieselbe Eigenschaft zeige.

Moigno führt diese Beobachtungen in seinem *Répertoire d'optique moderne* T. I p. 377 folgender Mafsen an:

*Si l'on égrise un crystal de roche, c'est-à-dire, si on le réduit en poussière, en frottent deux aiguilles l'une contre l'autre, et qu'on mette cette poudre dans de l'huile pour lui rendre de la transparence, le mélange ne produit point la rotation, mais il dépolairise la lumière, qui le traverse. On obtient, du reste, le même resultat avec du verre pilé.*

Das Gemenge von Oel und Pulver ist vollständig durchsichtig, so dafs also von einer Zerstreung des Lichtes und dadurch hervorgebrachten Depolarisation nicht die Rede seyu kann. Babinet hat aber, wie man sieht, keine Erklärung der Erscheinung versucht und auch in Folge dessen die Allgemeinheit der Depolarisation bei allen doppelt brechenden Krystallpulvern nicht gefunden.

1) *Philosophical Magazin* 1863, No. 170. *On the polarisation of light by rough and white surfaces* by Sir D. Brewster.

Den Hyalith habe ich, da mir keine Platte, die groß genug gewesen, zu Gebote stand, nicht untersuchen können.

Es sollen nun die Beobachtungen über die beiden verschiedenen Arten von Depolarisation genauer angegeben werden, und zwar wird zuerst die Depolarisation bei den sogenannten rauben, das Licht zerstreuen Medien behandelt werden.

Diese soll im Folgenden im Gegensatz zu derjenigen durch viele kleine Krystalle hervorgebrachten, bei der keine Zerstreuung des Lichtes stattfindet, immer als »*Depolarisation durch Zerstreuung*« bezeichnet werden, während jene als »*Depolarisation durch Doppelbrechung sehr vieler kleiner Krystalle*« oder kurz als »*Depolarisation durch Doppelbrechung*« angegeben werden wird.

#### 1. Depolarisation durch Zerstreuung des Lichtes.

Bevor die Versuche selbst mitgetheilt werden, ist es nöthig einige allgemeinere Angaben vor auszuschicken.

Es ist bisher üblich gewesen unter rauben Oberflächen mattgeschliffene Glastafeln, Kalkwände, Papier, Gewebe, Platten, auf die irgend ein Pulver gestreut war usw., zu verstehen; wir wollen im Folgenden unter *rauben Oberflächen im engern Sinne* nur solche raue Flächen verstehen, die sich an Körpern befinden, die im Innern *vollkommen* durchsichtig sind.

Man wird eine raue Begränzungsfläche stets als aus ebenen Flächenelementen gebildet ansehen können. Sobald nun ein Strahl auf ein solches ebenes Flächentheilchen einfällt und der gebrochene Theil die für den Einfallswinkel geltende Richtung und Zustand der Polarisation angenommen hat, wird bei einer rauben Oberfläche nach unserer Definition keine weitere Aenderung der Richtung oder Polarisation des Strahles beim weiteren Fortgang durch den Körper eintreten. Denkt man sich die eine Seite einer Glasplatte eben, und die andere als aus lauter kleinen neben einander liegenden Halbkugeln bestehend, so wäre das eine raue Oberfläche. Eine mattgeschliffene Glasplatte

wird dem ungefähr entsprechen. Ich habe noch auf eine andere Weise versucht eine solche der Definition entsprechende raube Oberfläche herzustellen.

Denkt man sich eine Menge kleiner glasheller Perlen in einer Ebene neben einander liegend, so wären das, abgesehen von dem Umstand, daß die Perlen durchbohrt sind, gewissermaßen zwei über einander gelegte raube Oberflächen nach unserer Definition, indem man auf den beiden Seiten der durch die Mittelpunkte der Perlen gebildeten Ebene neben einander liegende durchsichtige Halbkugeln hat. Daß man auf diese Weise zwei auf einander gelegte raube Oberflächen hat, ist für unsere späteren Betrachtungen nicht störend, es wird dadurch nur die Wirkung verstärkt. Man kann eine solche Ebene aus Perlen aber leicht erhalten durch bloßes Aneinanderreiben mittelst eines dünnen Fadens, ohne die Perlen irgendwie auf ein Zeug zu befestigen.

Sodann werden wir in den Bereich der Untersuchung die sogenannten *durchscheinenden* oder *trüben* Körper ziehen. Unter denselben wollen wir hier nun solche Licht zerstreuernde Platten verstehen, die an ihren Außenseiten vollkommen glatt, und die auch im Innern kein rauhes Gefüge verrathen, also auch gemeiniglich im Bruche glatt sind. Dahin gehört vor allen Dingen das sogenannte Beinglas. Auch Achat und eine Menge Mineralien zählen hierher. Diese durchscheinenden Medien haben die Eigenschaft, das Licht im Innern zu zerstreuen, welche Eigenschaft die rauhen Flächen nur an der Oberfläche haben. Ich möchte daher die durchscheinenden Körper der Analogie wegen auch am liebsten *„im Innern optisch rauhe Körper“* nennen.

Eine dritte Klasse von Körpern ist nun endlich diejenige, die die Eigenschaften der ersten beiden Klassen in sich vereinigt. Diese Körper, die wir *„durchscheinende rauhe Oberflächen“* nennen wollen, sind an der Oberfläche rauh und außerdem durchscheinend. Gemeiniglich pflegen dieselben im Innern nicht eine so glatte Structur zu haben, wie die durchscheinenden Mittel. Sie sind meist körnig

oder faserig im Innern. Dahin gehören besonders Papier, Gewebe, Knochen, Kalkwände usw.

Es soll nun untersucht werden:

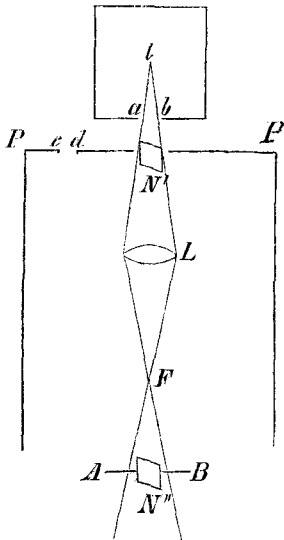
- 1) ob und wie die Körper der drei unterschiedenen Klassen geradlinig polarisirtes und senkrecht einfallendes Licht beim Durchgang durch dieselben depolarisiren;
- 2) ob die sämmtlichen Körper das senkrecht durchgehende Licht in derselben Weise wie das senkrecht reflectirte depolarisiren.

Ich bemerke hier im Voraus, daß ich mich in dieser Untersuchung, auf die Betrachtung senkrecht durchgegangenen und senkrecht reflectirten Lichtes beschränkt habe. Wir werden unten die weiteren Fragen, die in Folge dieser Untersuchung sich besonders aufdrängen, angeben. Auch wird vorerst im Laufe der Untersuchung nur geradlinig polarisirtes Licht betrachtet werden, ich werde jedoch am Schlusse eine Uebersicht geben über die Resultate, die man erhält wenn man nicht geradliniges, sondern elliptisches oder circuläres Licht durch die zu untersuchenden Körper hindurchgehen oder von jenen reflectiren läßt; da die Resultate denen bei geradlinig polarisirtem Lichte ganz analog sind, so werden wir nur das geradlinig polarisirte Licht, als Repräsentanten des polarisirten Lichtes überhaupt, behandeln.

Die Versuche wurden anfangs mit dem Polarisations-Apparat, den Hr. Professor Dove angegeben <sup>1)</sup>, angestellt, sodann aber ordnete ich, da es mir vortheilhafter erschien, die Versuche folgendermaßen an:

*l* (in nebenstehender Figur) sey das Licht einer möglichst intensiven Gas- oder Oelflamme, die in einem Kasten eingeschlossen ist und nur durch die kleine kreisrunde Oeffnung *ab* Strahlen senden kann. In einem größeren Pappschirm *PP* befand sich fest in einem Holzstückchen ein Nicol'sches Prisma *N'*, dessen Polarisationsebene in der Ebene der Zeichnung liegen mag. Durch dies geht der durch *ab* gegangene Strahlenkegel und wird hier geradlinig

1) Pogg. Ann. Bd. 35, S. 596.



polarisirt. *L* ist eine Linse von etwa 9" Brennweite, die die durchgehenden Strahlen in *F* vereinigt. In *AB* befand sich nun ein Stativ, welches einen Metallring trug, in den entweder ein zweites Nicol'sches Prisma oder ein doppelt brechendes Prisma gesteckt und in demselben gedreht werden konnte. Befand sich sodann in *AB* der Nicol, den wir *N''* bezeichnen wollen, und wurde derselbe so gestellt, daß die Polarisationssebene von *N'* und *N''* 90° mit einander machten, so war das Gesichtsfeld, ab-

gesehen von einigen kleinen Reflexen, die nicht wegzuschaffen waren, dunkel, und von dem leuchtenden Punkt *F* war Nichts sichtbar. Außerdem befanden sich an den Seiten und oben Pappschirme *PP*, um alles zerstreute Licht abzuhalten. Gewöhnlich waren auch noch die Fenster des Zimmers verdunkelt. Diese Vorsichtsmaßregeln waren nöthig, da es sich zuweilen um sehr kleine Helligkeiten oder Helligkeitsunterschiede handelte, die das Auge, wenn es von fremdem Licht afficirt war, nicht unterscheiden konnte. In den Vereinigungspunkt *F* wurde nun senkrecht zu der Richtung *lN''* der zu untersuchende Körper, der immer Plattenform hatte, gebracht. Zu dem Zweck befand sich hier ein Stativ, welches ein Stückchen Holz trug, an dem sich an jeder Seite zwei Messingfedern befanden; zwischen diese konnte die zu untersuchende Platte bequem geschoben und von ihnen festgehalten werden.

Wurde nun in *F* irgend eine Platte gebracht, während die Nicols *N'* und *N''* gekreuzt waren, und wurde dann durch das Einschalten der Platte das Gesichtsfeld erhellt,

so zeigte dieß an, daß eine Aenderung des Polarisationszustandes des Lichtes beim Durchgang eingetreten sey. Es war dann nöthig, diese Aenderung genauer festzustellen.

Das Drehen der Platte selbst liefs sogleich erkennen, ob die etwa eingetretene Aenderung der Polarisation in jeder Lage der Platte dieselbe sey oder sich mit dem Azimuth derselben ändere. Nur im ersten Falle, wenn die Platte in jedem Azimuth und auf jeder Stelle der Platte die Polarisation des hindurchgehenden oder — was wir später besprechen wollen — reflectirten Lichtes in gleicher Weise modificirt, findet eine wirkliche Depolarisation statt. Um die Art dieser Depolarisation nun genauer zu untersuchen, wurde folgendermaßen verfahren:

Angenommen, das Gesichtsfeld werde bei den gekreuzten Nicoln durch Einschalten einer Platte erhellt. Dreht man nun den Nicol  $N''$ , so kann entweder das Gesichtsfeld constant gleich hell bleiben, oder es können, bei Drehung von  $N''$  um  $360^\circ$ , zwei Maxima und zwei Minima der Helligkeit eintreten. Im ersten Falle wäre nun das durch die Platte hindurchgegangene Licht entweder in natürliches unpolarisirtes oder in circulares verwandelt. Im zweiten Falle entweder in theilweis polarisirtes Licht oder in elliptisch polarisirtes.

*Daß in unseren sämtlichen Untersuchungen das hindurchgegangene Licht immer in natürliches unpolarisirtes oder in theilweis geradlinig polarisirtes Licht umgewandelt worden, wurde auf folgende Weise festgestellt:*

Stellte man einen Polarisations-Apparat, wie derselbe vom Hrn. Professor Dove angegeben, so ein, daß derselbe in einem eingeschalteten Krystall, etwa einer senkrecht zur Axe geschnittenen Kalkspathplatte die Farbenringe mit schwarzem Kreuz zeigt, und bringt dann zwischen den vorderen Nicol und die Kalkspathplatte, die zu untersuchende Platte, von der man also bereits weiß, daß sie depolarisire, so giebt die Veränderung oder Nichtveränderung der Farbenzeichnung der Kalkspathplatte bekannt-



lich ein sehr einfaches Mittel zu entscheiden, welcher Art die Depolarisation ist.

Bleibt die Zeichnung — die Ringe mit dem schwarzen Kreuz — unverändert und sind nur schwächer geworden, so ist das aus der Platte austretende Licht bekanntlich theilweise polarisirt. Verschwindet die Zeichnung ganz, so ist das Licht vollkommen depolarisirt, also natürliches Licht.

Ist das Licht elliptisch polarisirt, so muß sich das schwarze Kreuz zu einer Hyperbel öffnen, ist dasselbe aber circular polarisirt, so muß das schwarze Kreuz ganz verschwinden, und die farbigen Kreise in der bekannten Weise in den Quadranten sich verschieben.

Diese letzten Erscheinungen fanden bei geradliniger Polarisation und Analyse nie statt, sondern die farbige Zeichnung des Kalkspaths war entweder ganz verschwunden oder nur schwächer geworden. Man konnte sich bei fast allen Platten hiervon sehr genau überzeugen. Wir werden bei der Angabe der Beobachtungen noch jedes Mal das Nöthige speciell erwähnen.

Außer dem durchgegangenen Licht wollen wir aber auch das von den Platten reflectirte Licht untersuchen. Zu dem Zweck befindet sich in dem vorderen Pappschirm ein kleines Loch *cd*, vor dem ebenfalls ein Stativ stand mit einer Fassung, in die ein Nicol oder ein doppeltbrechendes Prisma gesteckt und gedreht werden konnte. Ob Depolarisation vorhanden, wurde nun wieder einfach durch Erhellung des Gesichtsfeldes bei gekreuzten Nicols untersucht; und welcher Art diese Depolarisation sey, davon überzeugte ich mich gewöhnlich, da mir dieß praktisch am bequemsten war, durch ein Gypsblättchen, das ich zwischen die zu untersuchende Platte und den Nicol, der sich vor dem Auge befand, schob.

Ich werde aber nicht bloß die Polarisation verschiedener Körper constatiren und angeben, welcher Art diese Depolarisation ist, sondern ich habe auch versucht, wenigstens annähernd den Grad der Depolarisation zu geben,

d. h. zu bestimmen, wie viel von dem hindurchgegangenen oder reflectirten Lichte depolarisirt und wie viel noch in seiner ursprünglichen Polarisation verblieben.

Die Angaben darüber wurden, da exacte photometrische Messungen für den beabsichtigten Zweck all zu umständlich erschienen, auf die einfachste bekannte Weise erhalten. An Stelle des vor dem Auge befindlichen Nicols wurde ein doppeltbrechendes Prisma gesetzt und nun das Intensitäts-Verhältniß der beiden Bilder des Punktes *F* geschätzt, wenn das eine der Bilder sein Maximum der Helligkeit, das andere sein Maximum der Dunkelheit hatte. Dieses Intensitäts-Verhältniß ist in unseren folgenden Beobachtungen, so gut es ging, mit den Worten »stark depolarisirt,« »wenig depolarisirt« usw. wiedergegeben.

Dafs ich mich überall zur Bestimmung, ob Depolarisation vorhanden oder nicht, eines Nicols bediente und nicht sogleich eines doppeltbrechenden Prismas, hat seinen Grund darin, dafs zur blofsen Bestimmung jener Frage, besonders dann, wenn die Depolarisation sehr gering, ein Nicol mir praktischer zu seyn schien.

Der Gang der Versuche ist also kurz der: Zuerst wurde mit Hülfe des Nicols vor dem Auge entschieden, ob eine Platte überall das hindurchgegangene oder reflectirte Licht depolarisire, sodann wurde in einem Dove'schen Polarisations-Apparat mittelst einer Kalkspathplatte oder eines Gypsblättchens entschieden, welcher Art die Depolarisation sey. Endlich wurde durch das Intensitäts-Verhältniß der beiden Bilder beim Betrachten durch ein doppeltbrechendes Prisma der Grad der Depolarisation bestimmt.

#### a) Versuche mit rauen Oberflächen.

Wie schon oben angegeben, liefs ich durch möglichst dichtes regelmäfsiges Aneinanderreihen von klaren Perlen Platten herstellen, die unserer Definition einer rauen Oberfläche möglichst entsprächen.

Außerdem wurden mattgeschliffene Glastafeln angewandt; eine Glastafel auf die *Semen Lycopodii*, und eine

Glastafel, auf die ganz reiner durchsichtiger Quarzsand gestreut war.

Folgende kleine Uebersicht giebt die Resultate dieser Versuche an:

	Durchgelassenes Licht.	Reflectirtes Licht.
Platte von kleineren Perlen <sup>1)</sup> )	theilweise Depolarisation	beinahe vollständig depolarisirt
Platte von größeren Perlen <sup>1)</sup> ).	theilweise Depolarisation	noch stärker depolarisirt
Eine mattgeschliffene Glastafel	gar nicht depolarisirt	Depolarisation eben sichtbar
Vier über einander gelegte	Depolarisation eben sichtbar	stärker depolarisirt
Glasplatte mit <i>Semen Lycopodii</i> <sup>2)</sup> )	sehr wenig depolarisirt	stark depolarisirt
Glasplatte mit Quarzsand <sup>2)</sup> )	wenig depolarisirt	etwas mehr depolarisirt

Sowohl das durch die Platten hindurchgegangene, wie reflectirte Licht, zeigten bei Untersuchung mittelst Gyps blättchen oder Kalkspathplatten theilweise Polarisation.

Wir haben *Semen Lycopodii* mit hierher gestellt, wenn jedes Körnchen auch nicht ganz durchsichtig ist, da es sich in der That wie die anderen Körper verhält; rührt man dasselbe mit etwas Gummi an und streicht es dann auf eine Platte, so verhält es sich wie die Platten der nächstfolgenden Klasse.

Das Resultat aber, welches wir aus unserer Tabelle ziehen können, ist folgendes:

- 1) Man mußte hier wie bei den Platten mit *Semen Lycopodii* und Sand das Auge etwas aus der senkrechten Richtung entfernen, da sonst das durch die Zwischenräume der Perlen und Körnchen gegangene Licht, welches polarisirt war, störte.
- 2) Wurde nur in dünner Schicht aufgestreut.

*Die rauhen Oberflächen depolarisiren im Allgemeinen das Licht nie vollständig; es ist aber das von ihnen reflectirte Licht stärker depolarisirt als das durchgelassene.*

Ohne für jetzt näher auf dies Resultat einzugehen, wollen wir erst die übrigen Versuche mittheilen.

*b) Versuche mit den durchscheinenden Medien.*

Als durchscheinende Medien wurden angewandt: Beinglas, Achat, einige andere Mineralien, sodann wollen wir hierher rechnen, da man bei ihnen von einer rauhen Oberfläche, wie bei den Körpern der vorhergehenden Abtheilung doch nicht reden kann, glatte Elfenbeinstücke, Knochen, glatte Papiere, glatte Oblaten usw.

*Bei allen war das durchgelassene wie das reflectirte Licht vollkommen depolarisirt.* Die Untersuchung mittelst einer Kalkspathplatte ergab natürliches, nicht circular polarisirtes Licht.

Bei dem reflectirten Licht muß man natürlich von dem an der vorderen Fläche direct gespiegelten absehen, welches polarisirt blieb, und man wird daher besser sagen:

*Bei den durchscheinenden Körpern ist das im Innern durch Zerstreung entstandene Licht stets vollkommen depolarisirt.*

*c) Versuche mit den rauhen durchscheinenden Körpern.*

Aus der Reihe dieser Körper wurden angewandt verschiedene Gewebe, und zwar

No. 1 weißes Gewebe	} von ziemlich gleicher Dichte,
No. 2 blaues Seidengewebe	
No. 3 schwarzes Seidengewebe	

ferner verschiedene Schreibpapiere, verschiedene in dichteren Schichten zwischen Glasplatten gebrachte weißse Pulver, endlich eine Reihe dunkler rauher Körper, für die eigentlich, da sie nicht durchscheinend sind eine neue Klasse hätte gebildet werden müssen. Wir haben sie der Einfachheit wegen hier zusammengestellt. Es sind Rufs,

schwarzes raues Papier, Schiefer, Sammet, eine Stahlfeile. Die folgende Tafel giebt so kurz wie möglich die Resultate.

	Durchgelassenes Licht	Reflectirtes Licht
Gewebe No. 1	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Gewebe No. 2	<sup>1)</sup>	nur sehr wenig depolarisirt
Gewebe No. 3	<sup>1)</sup>	gar nicht depolarisirt
Papier	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Weisse oder helle Pulver	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Rufs <sup>2)</sup>		depolarisiren das reflectirte Licht nur sehr wenig oder gar nicht
Schwarzes raues Papier <sup>2)</sup>		
Schiefer <sup>2)</sup>		
Sammet <sup>2)</sup>		
Stahlfeile <sup>2)</sup>		

Die Resultate, die wir aus dieser Tabelle ziehen können, sind:

1) *die weissen rauhen durchscheinenden Körper depolarisiren das durchgelassene wie reflectirte Licht eben*

- 1) Ließen nur durch die kleinen Lücken des Gewebes Licht, welches natürlich polarisirt blieb.
- 2) Durchgelassenes Licht konnte bei diesen Körpern nicht vorhanden seyn; im reflectirten Licht zeigte sich aber sehr deutlich ein heller Fleck, der beim Drehen des Nicols ganz sichtlich verschwand.

*so wie die gewöhnlich durchscheinenden Körper (Bein-  
glas) vollständig;*

- 2) *dunkle rauhe Körper depolarisiren das reflectirte Licht  
wenig oder gar nicht.*

Aus der Verbindung dieser beiden Sätze folgt aber  
alsbald der interessante Schluss:

*dafs die Depolarisation, die ein Bogen Papier oder  
eine weisse Wand ausübt, viel weniger ihren Grund  
darin hat, dafs die Oberflächen dieser Körper rauh  
sind, als vielmehr darin, dafs dieselben innerlich Licht  
reflectiren, wodurch sie eben ihre weisse Farbe haben.*

Ich konnte mich hiervon sehr scharf überzeugen, indem  
ich zuerst ein Stück Fließpapier in den Brennpunkt der  
Linse brachte; das reflectirte Licht war dann vollständig  
depolarisirt. Schwärzte ich nun dasselbe Stück Papier, so  
zeigte es fast keine Spur von Depolarisation, obgleich es  
noch ziemlich viel Licht reflectirte.

Die Untersuchung ergab übrigens wieder, dafs die De-  
polarisation immer natürliches oder theilweis polarisirtes  
Licht hervorbrachte.

Wir werden nun versuchen müssen, aus den einzelnen  
gegebenen Resultaten einige allgemeine Schlüsse zu ziehen,  
um, so weit es möglich, die angegebenen Erscheinungen  
zu erklären.

Fürs Erste ist klar, dafs wir die rauhen Oberflächen  
(Perlenplatten, mattgeschliffenes Glas) von den übrigen  
Körpern werden sondern müssen; wir werden bei ihnen,  
um die Erscheinung zu erklären, zu nichts Anderem grei-  
fen dürfen, als zu der einfachen Reflection und Refraction  
durchsichtiger Körper. Aus der Reflection und Refraction  
des einfallenden Lichtes werden wir die Thatsache erklä-  
ren müssen, dafs das reflectirte Licht stets stärker depola-  
risirt ist, als das durchgegangene.

Man könnte aber versucht werden, die gedachte Erschei-  
nung auf folgende Weise theoretisch festzustellen: Fällt  
ein Strahl polarisirtes Licht unter irgend einem Winkel  
auf einen durchsichtigen Körper und ist die Einfallsebene

unter irgend einem Winkel gegen die ursprüngliche Polarisationsebene geneigt, so ist durch theoretische Untersuchungen bekannt: erstens die Intensität des reflectirten und des gebrochenen Theils, zweitens die Winkel, die die neuen Polarisationsebenen dieser Strahlen mit der ursprünglichen machen. Bei dem sämmtlichen Licht, welches auf eine einzige Perle der Perlenplatte fällt, hat nun der Einfallswinkel und die Einfallsebene alle beliebigen Lagen. Zerlegte man nun allgemein die Intensität eines reflectirten Strahles in zwei Strahlen, die in der Richtung der ursprünglichen Polarisation und senkrecht dazu polarisirt sind und suchte durch Integration nach jenen beiden Variablen die Gesamt-Intensität der Strahlen, die in jeder dieser beiden Richtungen schwingen, so hätte man durch das Verhältniß der beiden das Maafs der theilweisen Polarisation des reflectirten Lichtes. Dasselbe könnte man auch mit dem durchgegangenen Lichte machen und sein Maafs der Polarisation suchen. Durch die Vergleichung dieser beiden Maafse der Polarisation würde man dann erkennen, ob das durchgegangene Licht in der That weniger depolarisirt seyn muß, als das reflectirte.

So annehmbar eine solche Untersuchung auf den ersten Anblick aber auch scheinen mag, so ist sie doch nicht anwendbar; denn erstens umfaßt dieselbe zugleich *alles* reflectirte oder *alles* gebrochene Licht, während, wenn man senkrecht auf die Platte sieht, doch nur hauptsächlich das Licht ins Auge gelangt, welches in dieser Richtung reflectirt oder gebrochen wird; zweitens aber würde die Untersuchung alles doppelt reflectirte Licht, sowohl das, welches nach einmaliger Reflection noch einmal an den umliegenden Kugeln, wie dasjenige, welches an der Rückwand der Platte oder der Kugel reflectirt wird, nicht mit umfassen.

Wir werden uns daher mit folgender Betrachtung, die aber das Wesen der Erscheinung sehr gut veranschaulicht, begnügen müssen.

Fällt das Licht senkrecht auf eine raue Oberfläche, die aus lauter nebeneinanderliegenden durchsichtigen Halb-

kugeln besteht, so wird das durchgegangene Licht, welches man in der Richtung der auffallenden Strahlen sieht, hauptsächlich aus dem bestehen, welches auf die Kuppen der Halbkugeln fällt; das reflectirte Licht hingegen hauptsächlich aus demjenigen, welches in die Vertiefungen fällt, und hier noch ein oder mehrere Male reflectirt wird. Da diese Strahlen unter einem sehr grossen Einfallswinkel auffallen, geht wenig von denselben hindurch. Ausserdem aber enthalten das durchgehende wie das reflectirte Licht noch Strahlen, die im Innern reflectirt sind.

Ist das auffallende Licht nun geradlinig polarisirt, so wird das durch die Scheitel der Halbkugeln gegangene in seiner Polarisation nach den bekannten Gesetzen wenig geändert, also die Gesammtheit des durchgegangenen Lichtes nicht sehr stark depolarisirt seyn. Das reflectirte hingegen, welches meist mehr als einmal zwischen den Halbkugeln reflectirt ist, wird viel mehr in seiner Polarisation geändert werden. — Was hier von den Kugeln gesagt, gilt aber allgemein von den rauhen Oberflächen. — Man kann die Sache auch so ausdrücken: Fällt polarisirtes Licht senkrecht auf eine gewöhnliche Glasplatte, so geht es zum grössten Theil hindurch und behält dabei seine Polarisation; es wird nur sehr wenig Licht reflectirt. Schleift man nun die eine Seite der Platte rau, so findet man doch, auch wenn die Rauheit ziemlich bedeutend ist, dafs noch immer viel mehr Licht hindurchgeht, als reflectirt wird. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man auf eine mattgeschliffene Glastafel mit einer Linse das Bild eines Fensters entwirft und diefs im reflectirten und durchgelassenen Lichte betrachtet.

Das Licht aber, welches nun von der rauh gemachten Fläche reflectirt wird, werden wir, da die Fläche, als sie glatt war, wenig zurückwarf, beinahe ganz auf Rechnung der Unebenheiten schieben, und da diefs Licht also nach allen möglichen Richtungen reflectirt ist, wird es auch nach allen möglichen Richtungen polarisirt, also stark depolarisirt seyn. Das durchgegangene Licht ist jetzt auch zerstreut,



aber doch durchaus nicht ganz. Da jedem durch Reflection zerstreutem Strahl doch auch nur ein durch Brechung zerstreuter Strahl zugehört, so ist von dem durchgelassenen Licht im Allgemeinen doch auch nur so viel zerstreut, als die Intensität des gesamten reflectirten Lichtes beträgt. Den Ueberschufs der Intensität des durchgelassenen Lichtes werden wir als regelmäfsig durchgegangenes ansehen müssen, dem also auch seine ursprüngliche Polarisation verblieben ist. Daher ist das durchgegangene Licht weniger depolarisirt, als das reflectirte.

Was nun bei den rauhen Flächen nur an der Oberfläche vorgeht, das geht bei den anderen zerstreuen Körpern, den durchscheinenden rauhen Oberflächen (Papier, Gewebe) und den trüben Mitteln (Beinglas) nicht blos in der Oberfläche, sondern auch in den inneren Schichten vor. Sobald das Licht die erste sehr dünne Schicht dieser Körper durchdrungen, wird wieder ein Theil reflectirt, der natürlich depolarisirt ist. Sobald nun soviel Licht aus dem Innern reflectirt ist, dafs das reflectirte und durchgegangene ungefähr gleiche Intensität haben, wird beim durchgelassenen die Depolarisation vollständig seyn. Wird weniger durchgelassen als reflectirt, so bleibt natürlich vollkommene Depolarisation beim durchgegangenen wie reflectirten Licht. In irgend dickeren Schichten lassen nun im Allgemeinen die rauhen, durchscheinenden und trüben Mittel gleich viel oder meist noch weniger Licht durch, als sie reflectiren, so dafs also in jedem Falle vollständige Depolarisation stattfindet.

Es ist so eben gesagt, dafs die Zerstreuung, die bei den rauhen Flächen nur an der Oberfläche stattfindet, bei den rauhen durchscheinenden und den durchscheinenden trüben Körpern im Innern vorgehe. Bei den rauhen durchscheinenden Körpern (Papier, Gewebe, Pulver) ist der Vorgang leicht einzusehen. Diese Körper haben meist eine körnige oder faserige Structur und zeigen sich im Innern ebenso rauh als an der Oberfläche. Ein Lichtstrahl, der also die erste Schicht durchdrungen hat, wird von irgend

Einem Körnchen oder Faserchen der zweiten Schicht reflectirt usw. Wie aber bei den durchscheinenden Körpern (Beinglas) eine solche Zerstreuung im Innern vor sich gehe, da sie doch im Bruche vollständig glatt sind, darüber müssen wir uns hier des Urtheils enthalten, und die Zerstreuung im Innern als ein durch den Augenschein bewiesenes Factum annehmen.

Was wir bisher über die Depolarisation des zerstreuten Lichtes gesagt haben, führt uns aber sogleich noch auf die Erklärung der Erscheinung, daß dunkle rauhe Oberflächen das Licht viel weniger depolarisiren als weiße und der bekannten Thatsache, daß wenn polarisirtes Licht sehr schief auf eine weiße Wand auffällt, dasselbe nur sehr wenig depolarisirt wird.

Zur Erklärung dient die folgende Betrachtung:

Wir haben oben gesagt, daß das Licht, welches von einer matten Glastafel senkrecht reflectirt wird, beinahe ganz auf Rechnung der Unebenheiten zu schieben sey. Es ist klar, daß wir von dem gesammten von einer rauhen Glastafel reflectirten Lichte so viel als sie reflectiren würde, wenn sie eben wäre, nicht als zerstreutes, sondern als *regelmäßig zurückgeworfenes* Licht betrachten müssen. Diefes wird denn auch seine ursprüngliche Polarisation behalten haben.

Nun wird bei senkrechter Incidenz auf eine Glasplatte diefs Licht gegen das zerstreute verschwindend seyn; fällt dagegen das Licht schief auf, so nimmt bei einem glatten Körper die Intensität des reflectirten Lichtes mit der Größe des Einfallswinkels zu, also wird mit schieferer Incidenz auf einer rauhen Oberfläche der Antheil des *regelmäßig zurückgeworfenen* Lichtes gegen das zerstreute zunehmen. Da diefs *regelmäßig zurückgeworfene* Licht, wenn das auffallende polarisirt war, ebenfalls immer polarisirt ist, so muß dadurch, daß diefs polarisirte Licht zu dem unpolarisirten zerstreuten kommt, die Depolarisation des Gesamtlichtes um so viel geringer werden.

Da ich mich, wie bereits im Anfange gesagt, in dieser

Untersuchung, um nicht zu weit zu greifen, auf senkrecht einfallendes Licht beschränken mußte, so bleibt es für die Zukunft noch zu untersuchen, ob die Abnahme der Depolarisation bei schiefer Incidenz wirklich der Zunahme des regelmäfsig reflectirten Lichtes entspricht.

Die Erscheinung, dafs ein rauher Körper, je nachdem er weifs oder dunkel ist, das reflectirte Licht mehr oder weniger depolarisirt, ist in der That sehr überraschend. Die Erklärung ist aber nach dem Bisherigen nicht schwer zu geben. Wengleich bei einer ebenen Glasplatte von senkrecht auffallendem Licht sehr wenig reflectirt wird, so können doch andere Körper bei senkrechter Incidenz bedeutend mehr Licht reflectiren, z. B. das Quecksilber etwa die Hälfte des auffallenden Lichtes. Fällt nun auf einen rauhen dunklen Körper senkrecht geradlinig polarisirtes Licht, so wird *nur an der Oberfläche* Licht reflectirt und diefs Licht besteht aus regelmäfsig reflectirtem und zerstreutem Licht. Sobald nun das *regelmäfsig reflectirte Licht* das *zerstreute an Intensität stark übertrifft, wird sich auch keine Depolarisation zeigen*. Ist jedoch derselbe rauhe Körper weifs, so reflectirt nicht blos die Oberfläche, sondern auch die inneren Schichten Licht. Diefs Licht ist immer zerstreut und depolarisirt, und da es aus sehr vielen inneren Schichten reflectirt ist, wird es das an der Oberfläche regelmäfsig zurückgeworfene an Intensität übertreffen, und daher nun auch das depolarisirte Licht das polarisirte bedeutend überwiegen, mithin die Gesamtintensität fast vollständig depolarisirt seyn.

Eine Frage, die sich hieran anschliesst, und die der ferneren Untersuchung vorbehalten bleiben muß, ist: ob nun nicht auch das Umgekehrte stattfindet, also das Licht, welches eine weisse rauhe Oberfläche nur theilweise polarisirt, dieselbe rauhe Oberfläche, wenn sie schwarz ist, nicht stärker polarisiren würde?

Es wurde oben angegeben, dafs die zu untersuchenden Platten immer in den Brennpunkt  $F$  gehalten werden sollten, so dafs die Zerstreuung des Lichtes auf der Platte

auch nur in diesem einen Punkt stattfand. Entfernt man nun aber die Platte aus  $F$ , indem man sie entweder dem Auge nähert oder von demselben entfernt, so wird alsdann eine ganze Kreisfläche der Platte von den Strahlen getroffen, und dieselben mithin auf diese Weise durch die ganze Kreisfläche zerstreut. Ist nun diese Kreisfläche bei geringer Entfernung aus  $F$  irgend bedeutend, d. h. sind die Lichtstrahlen ziemlich divergent, so wird damit die Lichtintensität eines jeden Punktes des erleuchteten Kreises sehr schnell abnehmen, so daß bei den bisher betrachteten Platten mit Entfernung derselben aus  $F$  die Intensität des durchgehenden zerstreuten Lichtes sehr bald Null wird, also das Gesichtsfeld dunkel wird. Es ist dies aber kein Aufhören der Depolarisation der Platte, sondern nur eine Abnahme der Intensität des Lichtes. Eine *durchsichtige, nicht zerstreuende* Platte dagegen wird, wenn sie etwa durch Depolarisation den Punkt  $F$  erkennen läßt, ihn mit derselben Intensität erblicken lassen, mag man sie in  $F$  selbst oder an irgend einer andern Stelle halten. Dies ist nun in der That der Fall mit den Platten die jetzt betrachtet werden sollen, dieselben sind ganz durchsichtig, und es ist mithin auch für die Depolarisation und Intensität gleich, an welcher Stelle der Strahlen sie sich befinden.

Gerade dies verschiedene Verhalten der Platten in den divergirenden Strahlen giebt ein directes Unterscheidungsmittel der beiden Arten der Depolarisationen. Wenn man auch mit den bloßen Augen sehen kann, ob eine Platte Licht zerstreut oder nicht, so mußte doch dem Einwand, daß die jetzt zu betrachtende Depolarisation auch nur durch Zerstreuung hervorgebracht werde, direct entgegnet werden können, und dies geschieht durch das so eben angegebene verschiedene Verhalten der depolarisirenden Platten.

## II. Depolarisation durch Doppelbrechung sehr vieler sehr kleiner Krystalle.

Die Herstellung solcher Schichten kleiner Krystalle, die das Licht wirklich gut depolarisiren, ohne irgendwie das

Licht zu zerstreuen, hat einige Schwierigkeiten. Es müssen erstens die Krystalle in der That sehr klein seyn, dann müssen sie möglichst gleichmäfsig neben einander liegen und endlich mufs die ganze Schicht möglichst wenig rauh oder trübe seyn.

Ich habe solche Platten auf zweierlei Weisen hergestellt:

1. Von den zu untersuchenden krystallinischen Körpern machte ich eine möglichst verdünnte Lösung. Von dieser wurden einige Tropfen auf eine gut gereinigte 4 □Zoll grofse Glasplatte gegossen und nun liefs man sie auskrystallisiren. Bei den wenigsten Lösungen aber wurden, wenn man sie ruhig auskrystallisiren liefs, die Krystalle so klein, dafs sie die Erscheinungen zeigten. Die Krystallisation mufste durch Erhitzen über einer Flamme möglichst beschleunigt werden, so dafs sich nur kleine Krystalle bildeten. In manchen Fällen half auch dies noch nichts und ich mufste während des Erhitzens ganz leise mit dem Finger auf der Platte herumrühren.

Durch ein langes Probiren erhielt ich endlich Platten, die nur mit einem leisen Hauch von Krystallen überzogen schienen und doch das Licht sehr gut depolarisirten. Bei einigen Lösungen reichte dagegen das einfache Auskrystallisiren ohne Erwärmung aus. Um die Platten sodann zu schützen, in einigen Fällen auch um ihnen das wenige zerstreute Licht zu nehmen, wurde etwas venetianischer Terpentin darauf geträpfelt, eine zweite gleichgrofse Glasplatte darauf gelegt und nun das Ganze an den Rändern luftdicht verklebt.

2. Die zweite Methode solche Platten darzustellen bestand darin, dafs ich den zu untersuchenden Krystall möglichst fein zerstiefs, so auf eine Glasplatte brachte, Terpentin darüber gofs und eine zweite Glasplatte darauf klebte.

Auf die erste Weise, durch Auskrystallisiren, wurden Platten hergestellt von:

salpetersaurem Uranoxyd,  
schwefelsaurem Uranoxyd,

schwefelsaurem Kupferoxyd,  
salpetersaurem Natron,  
salpetersaurem Kali,

Als Krystallpulver wurde untersucht:

zerstossener Gyps,  
" Bergkrystall,  
" Doppelspath,  
" Zucker.

*Die sämmtlichen Platten liefsen das Licht sehr gut durch und depolarisirten das auffallende Licht in jeder Lage der Platte, mochte man diese nahe N', in F, oder nahe N'' halten.*

Wenn es richtig ist, dafs die Depolarisation dieser Platten durch die Doppelbrechung der unendlich kleinen Krystalle hervorgebracht wird, so ist es klar, dafs kleine Krystalle des regulären Systems keine Depolarisation hervorbringen können. In der That zeigt der Versuch:

*dafs Schichten unendlich kleiner Krystalle des regulären Systems die auf die oben angegebene Weise hergestellt werden, keine Spur von Depolarisation zeigen.*

Es wurden Platten untersucht von:

Chlornatrium,  
Kali-Alaun,  
Ammoniak - Thon - Alaun.

Die jetzt behandelte Depolarisation unterzieht sich viel leichter einer theoretischen Betrachtung als diejenige durch Zerstreuung, und zwar in folgender Weise. Man denke sich, dafs die Schicht der kleinen Krystalle nur eine einfache sey, d. h. dafs die Krystalle nur dicht nebeneinander in einer Ebene, nicht übereinander liegen. Diese ganze Schicht nehmen wir als eben und sehr dünn an, so dafs das Licht ohne jede Zerstreuung hindurchgeht. Die kleinen Krystalle liegen mit ihren optischen Axen nach allen beliebigen Richtungen gleichmäfsig vertheilt, und sollen so klein angenommen werden, dafs auf jeden gerade ein Lichtstrahl fällt. Nimmt man nun die Schwingungsebene der Strahlen des vordern Nicols (N') als Anfangsrichtung der

Winkelzählung, so daß also die Schwingungsebene des zweiten Nicols ( $N''$ ) das Azimuth  $90^\circ$  hat, und bezeichnet bei irgend einem der kleinen Krystalle den Winkel, den eine der Schwingungsebenen desselben mit der Anfangszählung macht mit  $v$ , die Amplitude des auffallenden Strahles mit  $a$ , so wird der Strahl durch den kleinen Krystall in die beiden Strahlen

$$a \cos v \text{ und } a \sin v$$

zerlegt, die in den Azimuthen  $v$  und  $90 + v$  schwingen. Zerlegt man jeden dieser beiden Strahlen, die unabhängig von einander schwingen, nach den Azimuthen  $0$  und  $90^\circ$ , so giebt der Strahl  $a \cos v$  die Componenten:

$$a \cos v \cos v \text{ und } a \cos v \sin v;$$

der Strahl  $a \sin v$  die Componenten:

$$a \sin v \sin v \text{ und } a \sin v \cos v.$$

Man hat also die Intensitäten:

$$\text{im Azimuth } 0^\circ \quad a^2 \cos^2 v + a^2 \sin^2 v,$$

$$\text{im Azimuth } 90^\circ \quad 2a^2 \sin^2 v \cos^2 v.$$

Diese Intensitäten giebt ein kleiner Krystall: will man die Gesamt-Intensität aller kleinen Krystalle umfassen, so ist nur  $v$  jeder beliebige Werth zu geben und das Integral jener Ausdrücke zu suchen.

$v$  kann nun variiren von  $0$  bis  $360^\circ$ ; wir brauchen aber die Gränzen nicht so weit zu nehmen, denn eine der beiden Schwingungsebenen des kleinen Krystalles wird immer durch den ersten Quadranten der Zählung gehen, und wir brauchen nur die Veränderung der Lage dieser zu betrachten, da von den beiden Schwingungsebenen keine einen Vorzug vor der andern hat. Man braucht mithin die Integrale nur in den Gränzen von  $0$  bis  $90^\circ$  zu nehmen; diese Integrale unterscheiden sich von den andern beiden nur um den constanten Factor 4. Man hat somit als Gesamt-Intensität der Strahlen im Azimuth  $0$

$$J = a^2 \int_0^{90} (\cos^2 v + \sin^2 v) dv;$$

und für die Strahlen im Azimuth  $90^\circ$ :

$$J' = a^2 \int_0^{90} 2 \sin^2 v \cos^2 v dv$$

Wäre nun  $J'$  also das zweite Integral, gleich Null, so wäre sämtliches durchgegangene Licht noch polarisirt, es hätte also gar keine Depolarisation stattgefunden. Wäre  $J = J'$ , so hätten wir rechtwinklig zu einander polarisirte Strahlen gleicher Intensität, also natürliches Licht, die Depolarisation wäre also vollkommen.

Beides ist nicht der Fall, man findet vielmehr, wenn man in den gegebenen Gränzen integrirt:

$$J = \frac{3}{8} a^2 \pi$$

und

$$J^1 = \frac{1}{8} a^2 \pi.$$

Man sieht  $J$  ist gröfser als  $J^1$ ; das gesammte Licht, das wir nach zwei rechtwinkligen Richtungen zerlegt haben, hat also in diesen Richtungen nicht gleiche Intensität, ist also nicht natürliches Licht, sondern theilweise polarisirtes. Es könnte auch elliptisches seyn; dafs es diefs nicht ist, wird weiter unten angegeben werden.

$2J'$  ist die Intensität des natürlichen Lichts

$J - J'$  die Intensität des polarisirten, also

$\frac{J - J'}{2J}$  das Verhältnifs des polarisirten zum natürlichen, das Maafs der theilweisen Polarisation. Diefs ist  $= 1$ . Es ist mithin die Hälfte des einfallenden Lichtes nach dem Durchgang noch polarisirt, die andere Hälfte ist natürliches Licht, also depolarisirt. Diese letztere Deduction über das Maafs der Polarisation gilt jedoch nur, wenn das Licht, welches nach dem Durchgang noch polarisirt ist, auch noch in seiner ursprünglichen Ebene polarisirt ist, also in dem Azimuth  $0^\circ$  schwingt. Wäre das nicht der Fall, so könnte das Maafs der theilweisen Polarisation ein ganz anderes seyn.

Man kann sich nun aber experimentell durch das Drehen des Nicols  $N''$  leicht überzeugen, dafs die Ebene der theilweisen Polarisation des durch die Krystalle gegange-



nen Lichtes mit der ursprünglichen Polarisationssebene zusammenfällt. Außerdem sieht man beim Drehen, wenn die Schicht der Krystalle sehr dünn ist, daß bei parallelen Nicoln das Gesichtsfeld mehr als doppelt so hell ist, als bei gekreuzten. Nach der strengen Rechnung müßte es drei Mal so hell seyn, in der einen Lage  $\frac{3}{8}a^2\pi$ , in der andern  $\frac{1}{8}a^2\pi$ ; doch man kann nie darauf rechnen, daß man nur eine einzige Schicht neben einander liegender Krystalle habe; es werden auf den nach unserer Methode bereiteten Platten immer noch Krystalle auf einander liegen und das verstärkt, wie man weiter unten sehen wird, die Depolarisation. Will man auf die oben angestellte Rechnung über die Depolarisation nicht eingehen, so kann man sich den ganzen Vorgang leicht geometrisch veranschaulichen. Denkt man sich jeden auffallenden geradlinig polarisirten Strahl durch einen Krystall zerlegt, und alle diese Theilstrahlen um einen Punkt ihrer Richtung und Größe nach aufgetragen, so ist klar, daß sich um das Azimuth 0 das des einfallenden Lichtes, die Strahlen mit den größten Amplituden schaaren, und die Intensität nimmt allmählich nach dem Azimuth  $90^\circ$  ab. Zerlegte man nun alle Strahlen nach den Azimuthen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ , so ist klar, daß die Gesamt-Intensität im Azimuth  $0^\circ$  viel größer seyn wird, als die im Azimuth  $90^\circ$ .

Eine gleichmäßige Vertheilung der Lage der optischen Axen der kleinen Krystalle, wie wir sie angenommen, wird auch in der Wirklichkeit immer sehr annähernd vorhanden seyn, da beim Auskrystallisiren oder Aufstreuen eines Krystallpulvers keine Richtung einen Vorzug vor der anderen hat. Liegen mehrere Krystalle nach einer Richtung, so werden im Allgemeinen eben so viel Krystalle nach allen anderen Richtungen mit ihren Axen liegen und unsere Betrachtung wird dadurch nur um eine Constante geändert.

Fällt auf eine solche einfache Schicht, wie wir sie angenommen, natürliches Licht, so wird dieß ungeändert hindurchgehen. Für solches Licht kann man bekanntlich zwei rechtwinklig zu einander polarisirte Strahlen gleicher In-

tensität setzen. Jeder von ihnen würde nun in theilweis polarisirtes Licht umgewandelt werden, da aber das Maafs der theilweisen Polarisation bei beiden dasselbe und die Ebenen der theilweisen Polarisation senkrecht zu einander stehen würden, so bilden diese beiden Theile wieder natürliches Licht mit einander.

Besteht die krystallinische Platte nicht aus einer einzigen Schicht, liegen die Krystalle nicht blofs neben, sondern auch über einander, so kann man sich eine solche dickere Schicht doch in einfache Schichten zerlegt denken. Durch die erste einfache Schicht wird das auffallende polarisirte Licht in theilweis polarisirtes Licht verwandelt, also haben wir nach dem Durchgang durch diese erste Schicht zur Hälfte polarisirtes, zur Hälfte natürliches Licht, wie oben gezeigt. Auf das natürliche Licht hat der Durchgang durch die weiteren Schichten, wie oben angegeben, keinen Einfluss mehr. Das polarisirte Licht wird jedoch in der zweiten Schicht wieder zur Hälfte in natürliches verwandelt, und so fort in den nächsten Schichten, so dafs die Polarisation immer mehr abnimmt, und man somit durch eine dickere Schicht kleiner Krystalle eine fast vollständige Depolarisation des Lichtes erzielen kann.

Nachdem so eben die Theorie der Depolarisation durch Doppelbrechung erörtert, bleiben nun noch einige Einzelheiten und einige weitere Versuche zu betrachten.

Zuerst ist zu erwähnen, dafs eine Untersuchung mittelst der Kalkspathplatte oder eines Gypsblättchens dann, wenn die Platte wirklich gut hergestellt war, immer theilweise Polarisation des durchgegangenen Lichtes ergab, nicht eine elliptische. War die Platte nicht gut, d. h. waren die Krystalle nicht hinreichend klein und lagen sie nicht in der That mit ihren Axen gleichmäfsig nach allen Richtungen, zeigte sich also etwa eine sichtbare strahlige Krystallisation, dann verriethen die Platten an einzelnen Stellen elliptische oder auch circuläre Polarisation. Solche Platten entsprechen aber eben nicht den Anforderungen, die wir an die Anfertigung der Platten stellen.

Sodann ist zu bemerken, da das salpetersaure Uranoxyd sehr leicht verwittert, so ist es sehr schwer Platten mit demselben längere Zeit aufzubewahren. Außerdem giebt es beim Erwärmen einen Theil seiner Säure ab und wird zu einem zähen Brei, von dessen nicht krystallinischer Beschaffenheit, auch wenn er auf der Glasplatte etwas antrocknet, man sich leicht dadurch überzeugt, daß eine solche Platte keine Spur von Depolarisation zeigt. Man mußte die Lösung ruhig auskrystallisiren lassen, wodurch freilich die Krystalle etwas groß wurden, doch zeigten sie die Depolarisation sehr gut.

Eine interessante Erscheinung bot das schwefelsaure Kupferoxyd dar. Liefs man diefs ruhig auskrystallisiren, so wurden die Krystalle bedeutend zu groß; liefs man aber die Lösung unter schneller Erwärmung krystallisiren, so konnte man es bei hinreichend verdünnter Lösung dahin bringen, daß die Krystalle so klein wurden, daß auf der Platte nur ein ganz leiser bläulicher Hauch zu liegen schien, der mit bloßem Auge nichts Weiteres erkennen liefs. Unter dem Mikroskop selbst zeigte die Platte kaum einen Anflug von Krystallisation. Dieser zarte Ueberzug zeigte aber die Depolarisation durch Doppelbrechung sehr gut. Stand nun eine solche Platte, bevor sie mit Terpentin und einer zweiten Glasplatte bedeckt wurde, einige Zeit an der Luft, so begann sie allmählich sich zu verändern; man sah mit bloßem Auge auf derselben Kreisflächen sich bilden, die aus lauter kleinen Strahlen bestanden, die von den Mittelpunkten der Kreise ausgingen. Diese Erscheinung kann ihren Grund nun darin haben, daß bei der starken Erwärmung der Platte beim Krystallisiren die kleinen Krystalle mit nicht so viel Wasser krystallisiren, als das schwefelsaure Kupferoxyd im gewöhnlichen Zustande enthält, und daß diese kleinen Krystalle beim Stehen an der Luft das ihnen fehlende Wasser aus dieser aufgesogen und sodann in ihre gewöhnliche Form übergegangen sind. Ob die beiden Formen identisch oder nicht, kann man nicht entscheiden, da diejenigen Krystalle, die man durch

Erhitzen erhalten, viel zu klein sind, um an ihnen, selbst unter dem Mikroskop, die Form zu erkennen. Wir können, gestützt auf die Depolarisation, nur sagen, daß jener leise Hauch, den wir auf der Glasplatte sehen, krystallinisch ist, und daß die kleinen Krystalle, wie die gewöhnlichen des schwefelsauren Kupferoxyds, doppeltbrechend sind.

Mit einigen Worten müssen wir jetzt noch auf die oben angeführten Beobachtungen Babinet's zurückkommen. Daß die beim Pulver des Bergkrystalls beobachtete Depolarisation vollkommen unter die hier behandelte fällt, liegt auf der Hand. Die Thatsache, daß Glaspulver ebenso wie Krystallpulver das Licht depolarisirt, habe ich bestätigt gefunden, doch ist diese Depolarisation nur sehr gering und scheint von der Art des angewandten Glases abzuhängen. Das Réaumur'sche Porzellan zeigt zerstoßen ebenfalls Depolarisation durch Doppelbrechung.

Da die Pulver nur dadurch die Depolarisation durch Doppelbrechung zeigen können, daß die einzelnen Stückchen doppeltbrechend sind, so werden wir diese Eigenschaft nothwendig auch den kleinen Glassplitterchen zuertheilen müssen. Es kann nur gefragt werden, ob sie diese bereits in dem größeren Glasstück haben, also das Glas, aus dem das Pulver bereitet ist, in seinen kleinen Theilen doppeltbrechend ist, oder ob dem Pulver vielleicht erst durch den Druck des Zerstoßens diese Doppelbrechung zukommt. Es ist wohl anzunehmen, daß beide Ursachen wirkend sind.

Die Depolarisation des Glaspulvers, wenn man es auf die oben angegebene Weise zwischen zwei Glasplatten bringt, ist aber nur sehr gering; ich habe eine andere Methode gefunden, mittelst deren man dem Glas eine sehr energische depolarisirende Kraft ertheilen kann. Erhitzt man ein Stückchen Glas stark, etwa in der Flamme eines Glasblasetisches, und taucht dann dieß erhitze Glas schnell in Wasser, so wird es, wenn auch einzelne Stücke abspringen, doch nicht in lauter kleine Stückchen zerspringen. Die größeren Stücke sind aber von einer Menge von Ris-

sen durchzogen, und man erkennt bald, daß sie eigentlich aus lauter kleinen Stückchen bestehen, die nur noch, da sie so eng in- und aneinander hängen, nicht auseinander fallen. Jedes kleine Stückchen ist aber durch die Abkühlung doppeltbrechend geworden und die Axen dieser Stückchen liegen nach allen möglichen Richtungen. Man hat also eine Platte aus lauter kleinen doppeltbrechenden Körperchen. Ein solches Stück Glas zeigt dann auch wirklich die Depolarisation durch Doppelbrechung sehr schön.

Bisher ist nur von dem Lichte gesprochen worden, welches durch die kleiner Krystalle hindurchgegangen; beobachtet man aber auf dieselbe Weise, wie oben bei den rauhen Oberflächen, das von einer krystallinischen Schicht senkrecht reflectirte Licht, so zeigt sich *dieses ebenfalls depolarisirt*.

Abgesehen von den Glasplatten, die bei uns in den meisten Fällen die krystallinische Schicht umgeben, und die wir unberücksichtigt lassen können, ist klar, daß bei einer solchen krystallinischen Schicht auffallendes Licht an der Vorder-, und nachdem es die Schicht einmal durchdrungen, an der Hinterfläche reflectirt wird. Diefes von der Hinterfläche reflectirte Licht ist auf alle Fälle, da es ja durch die Platte gegangen, depolarisirt. Von dem an der Vorderfläche reflectirten Licht ist dies nicht ohne Weiteres zu sagen, wenn dasselbe auch seine Polarisation ändert, so wird es doch kaum nach allen Seiten polarisirt werden.

Mag nun aber auch dies an der Vorderfläche reflectirte Licht in der Einfallsebene oder nach allen Richtungen polarisirt seyn, so wird wegen der Reflection an der Rückseite das Gesamtlicht doch immer depolarisirt seyn.

Abgesehen davon, daß die vorstehende Untersuchung der krystallinischen Körper theoretisch einiges Interesse bietet, indem sie zeigt, wie bei einer Kleinheit der Krystalle, die sie einzeln jeder optischen Untersuchung entzieht, dieselben in ihrer Menge der Untersuchung wieder zugänglich werden und zugleich das Gesetz dieser Gesamtwir-

kung kennen lehrt, scheint dieselbe auch von einigem practischen Nutzen seyn zu können.

- 1) Ist durch die Beobachtung der Depolarisation durch Doppelbrechung ein Mittel gegeben, bei einem Körper, der nur in sehr feiner Zertheilung, oder als ein Aggregat sehr kleiner krystallinischer Gebilde vorkömmt, und bei dem sich die Krystallform dem Auge, vielleicht selbst dem Mikroskop, entzieht, die krystallinische Beschaffenheit, freilich hier wie in den folgenden Angaben mit Ausschluss des regulären Systems, nachzuweisen.
- 2) Giebt die Depolarisation durch Doppelbrechung ein sehr gutes Mittel bei einer Aenderung der irgend ein Krystall unterworfen wird, z. B. durch Abgeben von mehr oder weniger seines Krystallwassers, zu entscheiden, ob er bei dieser Aenderung krystallinisch bleibt, oder amorph wird.
- 3) Kann die Depolarisation durch Doppelbrechung in vorzüglichem Maasse dazu dienen, bei einem Körper, der in der That keine krystallinische Form hat, wie Glaspulver, oder die erhitzten zersprungenen Glasstücke, doch noch eine krystallinische Beschaffenheit, d. h. verschiedene Elasticität nach verschiedenen Richtungen nachzuweisen. Dafs ein Glaskörperchen in seiner Kleinheit doch noch nach den verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticität hat, dürfte durch keine andere Methode, weder durch das Mikroskop oder sonst (auch sicher nicht durch Farben im Polarisations-Apparat) erkennbar seyn, als eben durch die oben angegebene Depolarisation.

Es bleibt uns nun nur noch, worauf wir oben verwiesen haben, übrig, anzugeben, welches die Erscheinungen sind, wenn das einfallende Licht nicht geradlinig, sondern elliptisch oder circular polarisirt wird, und wenn auch die Analyse nicht blofs geradlinig, sondern ebenfalls elliptisch oder circular geschieht. Diese Beobachtungen lassen sich mit dem Polarisations-Apparat vom Hrn. Professor Dove

sehr gut auf die bekannte Weise durch Vorlegen von Glimmerblättchen, die jedes gerade einen Gangunterschied von  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge für die beiden Strahlen in ihnen haben, und durch Einschalten einer Kalkspathplatte anstellen. Wir wollen nur kurz bei den verschiedenen Combinationen verschiedener Polarisationen und Analyse das Bild, welches die Kalkspathplatte zeigte, angeben.

Diese Bilder sind bei den krystallinischen Platten, da diese meist sehr durchsichtig sind, und die Depolarisation nie einen gewissen Grad übersteigt, sehr gut sichtbar; bei den rauhen und trüben Körpern ging oft nicht sehr viel Licht hindurch, und dann war auch oft die Depolarisation, wie oben angegeben, so vollkommen, daß keine Farben erschienen. Mattes Glas, die Perlenplatten und die Platten mit Pulver etc. zeigten aber die Bilder sehr gut. Ebenso erschienen dieselben Bilder der Kalkspathplatte in dem von den Platten reflectirten Licht.

Außerdem bleibt uns dann noch die Pflicht, den Zusammenhang der Depolarisation durch Doppelbrechung mit den interessanten Erscheinungen, die Hr. Prof. Dove im rotirenden Polarisations-Apparat beobachtet hat <sup>1)</sup>, nachzuweisen.

Die Erscheinungen bei verschiedener Polarisation und Analyse sind kurz in den Satz zusammen zu fassen:

*Die Depolarisation beim Durchgang durch rauhe und trübe Körper und durch Platten sehr kleiner doppelbrechender Krystalle geschieht immer so, daß ein Theil des Lichtes in natürliches umgewandelt wird, während der andere Theil seine ursprüngliche Polarisation behält. Dasselbe gilt von dem von den Platten reflectirten Licht.*

Also wie oben beim geradlinig polarisirten Licht theilweise geradlinige Polarisation eintrat, so zeigt das elliptische Licht eine Mischung von elliptischem und natürlichem, das circulare von circularem und natürlichem. Man sieht mithin bei geradliniger Analyse im ersten Falle die farbigen

1) Pogg. Ann. Bd. LXXI, S. 97; Farbenlehre, S. 213.

Ringe mit schwarzem oder weißem Kreuz, im zweiten das Kreuz in die Hyperbeln geöffnet, im dritten endlich nur die Farbenringe ohne Kreuz, aber dieselben sind in der bekannten Weise in den Quadranten verschoben. Nur die Intensität der Bilder ist geringer, als ohne Einschaltung der zu untersuchenden rauhen, trüben oder krystallinischen Platte. Bei diesen letzten Platten, die aus lauter kleinen Krystallen bestehen, gilt aber das Gesagte nur dann, wenn die Platten wirklich gut sind, d. h. die Krystalle sehr klein und möglichst gleichmäfsig vertheilt sind. Ist dieß nicht der Fall, entsprechen eben die Platten nicht den theoretischen Anforderungen, so zeigen sie bei allen Arten von Polarisation an den verschiedenen Stellen und in den verschiedenen Lagen verschiedene Bilder.

Analysirt man nicht linear, wie so eben, sondern elliptisch oder circular, so ändert die Depolarisation eben so wenig die Bilder der Kalkspathplatte, dieselben werden nur schwächer, oder verschwinden bei vollkommener Depolarisation natürlich ganz. Wir führen von den Versuchen nur an, dafs man also auch beim Einschalten einer theilweis depolarisirenden Platte bei circularer Polarisation und circularer Analyse das Ringsystem ohne Kreuz sieht.

Was den Zusammenhang unserer Untersuchungen mit den Beobachtungen, die Hr. Prof. Dove im rotirenden Polarisationapparat gemacht hat, anlangt, so ist derselbe folgender:

Hr. Prof. Dove hat bei jenen interessanten Untersuchungen auch die Anordnung so getroffen, dafs er ein Glimmerblättchen, welches im Azimuth  $45^\circ$  die circulare Polarisation giebt, zwischen zwei feststehenden Nicoln rotiren liefs. Eine eingeschaltete Kalkspathplatte zeigte alsdann als Resultante sämmtlicher Erscheinungen des circularen, elliptischen und linearen Lichts bei linearer Analyse die Erscheinungen des theilweis geradlinig polarisirten Lichtes, bei circularer, die einer Mischung von natürlichem und circularem.

Ganz die Stelle nun, die hier das rotirende Glimmer-



blättchen einnimmt, nimmt in unseren Untersuchungen eine aus sehr kleinen doppeltbrechenden Krystallen bestehende Platte ein. Dasjenige, was bei dem rotirenden Glimmerblättchen sehr schnell in *der Zeit nacheinander* geschieht, nämlich daß das aus dem ersten Nicol austretende Licht durch das Glimmerblättchen nach allen möglichen Azimuthen polarisirt wird — jedoch so, daß die Intensitäten der Strahlen mit dem Annähern ihrer Polarisations Ebenen an die Ebene der ursprünglichen Polarisation zunehmen — oder anders ausgedrückt, indem man nun gleich zwei zusammengehörige Strahlen zusammenfaßt, daß das austretende Licht in der Zeit nach einander alle Arten von polarisirtem Lichte giebt, dasselbe geschieht bei den Platten aus kleinen Krystallen *im Raume sehr nahe bei einander*, und es ist immerhin interessant das übereinstimmende Resultat dieser beiden verschiedenen Anordnungen zu sehen.

Aber noch eine andere Beobachtung des Hrn. Professor Dove dürfte hierherzuziehen seyn, nämlich diejenige, die derselbe in derselben Abhandlung unter No. 10 anführt. Es wird dort angegeben, daß wenn man das auf den vordern Nicol seines Apparates fallende Licht geradlinig polarisirt, und dann diesen Nicol rotiren läßt, daß dann das aus dem Nicol austretende Licht theilweis in der ursprünglichen Ebene polarisirt sey. Hier ist an die Stelle des Glimmerblättchens der Nicol getreten, und durch die Rotation desselben wird das Licht nach allen möglichen Richtungen, freilich mit verschiedenen Intensitäten, geradlinig polarisirt.

Es entspricht diese Anordnung noch mehr, oder vielmehr ganz genau unseren obigen theoretischen Betrachtungen, und das Resultat ist denn beim geradlinig polarisirten Licht auch vollständig dasselbe, wie bei unseren Beobachtungen. Polarisirte aber Hr. Prof. Dove das auf den rotirenden Nicol fallende Licht circular, so erhielt er vollkommen natürliches. Bei unseren Versuchen dagegen zeigte sich, daß das circulare Licht durch eine Platte klei-

ner Krystalle nicht in natürliches, sondern in theilweis circulares Licht umgewandelt wurde.

Der Grund dieser Verschiedenheiten dürfte der seyn, dafs bei dem rotirenden Nicol in der That lauter Strahlen von gleicher Intensität nach jedem Azimuth austreten, die gewissermassen unabhängig von einander sind, also auch nicht zu circularem oder elliptischem Licht Veranlassung geben können, während beim Durchgang von circularem Licht durch die kleinen Krystalle, die beiden senkrecht zu einander polarisirten Strahlen, in die das circulare Licht zerlegt wird, sich wieder vereinigen, sey es zu circularem, elliptischem oder linearem. Diefs wird jedesmal von der Verzögerung, die die beiden Strahlen gegeneinander beim Durchgang durch einen kleinen Krystall erleiden, abhängen, da aber diese Krystalle sehr klein sind, so wird diese Verzögerung verschwindend seyn; die meisten senkrecht zu einander polarisirten Strahlenpaare werden also ihren alten Phasenunterschied behalten, also zusammen wieder circulares Licht geben, aus dem sie entstanden sind. Wenn mithin auch einzelne Strahlenpaare in elliptisches oder geradliniges Licht übergehen, so werden doch die meisten circular bleiben, und folglich wird die Gesamtintensität des aus der depolarisirenden Platte austretenden Lichtes nicht natürliches, sondern theilweis circular polarisirtes Licht seyn.

---

## II. *Ueber die physikalische Ursache der Eiszeit;* *von Dr. E. Frankland,*

Professor der Chemie an der *Royal Institution* von Großbritannien  
(Von Hrn. Verf. übersandt).

---

Unter den Umständen, welche von mächtigem Einflufs auf die physikalische Beschaffenheit unserer Erde waren, hat die ihrer Gröfse nach fast unbegreifliche Wirkung alter Gletscher sich allmählich, aber unwiderstehlich dem Blicke