

Mündungen der Zooecien sind verrundet polygonal bis kreisförmig. Es sind nur einerlei Zooecien vorhanden, prismatische Röhrenzellen von gewöhnlich 1 mm, selten bis 1,5 mm Durchmesser und 1 cm bis höchstens 2 cm Länge, die sich mit vollständig verschmolzenen Wänden aneinanderlegen. (Eine Änderung in der Größe und der Organisation der Röhren ist mit der Richtungsänderung nicht verbunden, jeder Vergleich mit *Inversaria*, z. B. mit *Ceriopora tubiporacea* Gr., verbietet sich daher.) Die Wände und Böden sind je nach dem Grad der Reife dicht oder porös. Im Innern der Zooecien sind zahlreiche Diaphragmen und Stacheln vorhanden.

Die sogen. Tabulaten des Jura und der Kreide schrumpfen nach dem Vorstehenden merklich zusammen. Sichere Favositiden und Chaetetiden gibt es im Malm und der ganzen Kreide überhaupt nicht. Die Bryozoen, Ordnung Trepostomata, erfahren Zuwachs. Eine vermittelnde Stellung zwischen den Chaetetiden und Monticuliporiden scheint die neue Gattung *Blastochaetetes* einzunehmen. Ungewiß ist die systematische Stellung von *Chaetetopsis*.

Berlin, Geologisch-paläontologisches Institut der Universität,  
3. Oktober 1918.

## Die astigmatischen Bildfehler der Polarisationsprismen.

Von **M. Berek** in Wetzlar.

Mit 1 Textfigur.

Die erste Anregung, mich mit den astigmatischen Bildfehlern der Polarisationsprismen zu beschäftigen, erhielt ich während meiner Studienzeit, als Herr Geheimer Bergrat Prof. Dr. TH. LIEBISCH gelegentlich einer Demonstration des SORBY'schen Phänomens daran die Bemerkung knüpfte, daß es merkwürdigerweise für die Qualität der optischen Abbildung nicht gleichgültig sei, an welcher Stelle des Strahlengangs das Polarisationsprisma eingeschaltet werde. Inzwischen hat S. BECHER<sup>1</sup> die Beziehungen zwischen der Störung der homozentrischen Strahlenvereinigung und den zu beobachtenden astigmatischen Bildfehlern klargelegt. Als Biologen hat ihn indes nur die orthoskopische Beobachtungsweise interessiert. Bei den mineralogisch-petrographischen Untersuchungen ist auch die konooskopische Beobachtungsweise zu berücksichtigen. Ferner werde ich im folgenden zeigen, wie sich die allgemeine Theorie der astigmatischen Bildfehler im Polarisationsmikroskop leicht auf der Grund-

<sup>1</sup> S. BECHER, Ann. d. Phys. 47. 1915. 285—364.

lage eines einfachen Prinzips der geometrischen Optik entwickeln läßt. Es ist gewissermaßen das Grundprinzip des Strahlenganges in optischen Instrumenten.

### Ist der Astigmatismus der Polarisationsprismen bei der Beobachtung störend?

Zur Demonstration des SORBY'schen Phänomens wird gewöhnlich ein Netzmikrometer benutzt. Ein solches Objekt läßt zwar die astigmatische Differenz ganz deutlich hervortreten, wenn man das anisotrope Medium unmittelbar auf das Mikrometer legt; für die Beurteilung der Bildfehler im Polarisationsmikroskop ist es aber weniger geeignet. Seine Strukturelemente erscheinen unter einem gewissen Gesichtswinkel, der sich mit der Vergrößerung ändert. Im Gegensatz hierzu sind die in einem Gesteinsdünnschliff auftretenden Trennungslinien der verschiedenen Medien, ferner die Zwillingsgrenzen, die Kanten usw. ideal feine Strukturen, deren Gesichtswinkel auch bei starker Vergrößerung Null bleibt. Zur Entscheidung unserer Frage wird sich daher ein beliebiger, nicht zu feinkörniger Gesteinsdünnschliff am besten eignen. Um durch die Interferenzfarben nicht gestört zu sein, entfernen wir den Polarisator. Wir wählen ein schwaches Objektiv (No. 1 oder 2 der einzelnen Firmen) und ein mittleres oder noch besser ein starkes Okular. Den Tubusanalysator schalten wir zunächst aus. Vollziehen wir nun langsam die Einstellung, so wird mit der Annäherung an die Scharfeinstellung unser Auge unruhig und fühlt sich erst in dem Augenblick entlastet, wo die Scharfeinstellung erreicht ist. Machen wir denselben Versuch bei eingeschaltetem Tubusanalysator, so werden wir zumeist den Tubus über die Stellung optimaler Schärfe hinauschieben und geben ihm erst nachträglich eine Lage, in der uns das Bild am wenigsten schlecht erscheint. Die Qualität dieses Bildes ist ganz erheblich minderwertiger; verschieden orientierte Strukturelemente besitzen einen verschiedenen Schärfegrad, und deshalb wechselt die Akkommodation des Auges auch nach endgültiger Einstellung des Bildes ständig. Der durch den Astigmatismus erzwungene ständige Akkommodationswechsel während der Beobachtung, nicht das Farbenspiel der Interferenzen ist es, was die Beobachtung im Polarisationsmikroskop mit dem Tubusanalysator so ermüdend macht und das Auge viel mehr schädigt, als die Beobachtung im gewöhnlichen Mikroskop.

Machen wir nun den gleichen Versuch, indem wir unter Beibehaltung unseres Okulars zu stärkeren Objektiven übergehen, so finden wir, daß die schwachen Systeme die Störungen in höherem Maße zeigen als die starken. Gerade die schwachen und mittleren Systeme werden aber bei petrographischen Arbeiten am meisten

gebraucht. Wenn E. A. WÜLFING<sup>1</sup> seinen Verzicht auf Korrektion der astigmatischen Bildfehler im Polarisationsmikroskop mit den Worten begründet: „Die astigmatischen Störungen sind bei mineralogisch-petrographischen Untersuchungen übrigens auch vielfach nicht von der Bedeutung wie bei biologischen Arbeiten, weil unsere Objekte nicht jenen Grad der Feinheit und unsere Vergrößerungen auch für gewöhnlich nicht ein solches Maß erreichen, daß jener Astigmatismus besonders hervortrete,“ so kann dem nicht beigestimmt werden.

Im Verlaufe unserer weiteren Darlegungen werden wir die Erklärung dafür erbringen, warum die schwächeren Objektivsysteme die astigmatischen Störungen der Polarisationsprismen stärker hervortreten lassen.

### Bezeichnungen.

Zur Vermeidung von Wiederholungen seien die benutzten Abkürzungen zusammengestellt.

- E,  $\mathcal{E}$ : reziproke Ebenen.  
 U, II: astigmatische Unschärfe in E bzw.  $\mathcal{E}$ .  
 B,  $\mathcal{B}$ : astigmatische Verzerrung in E bzw.  $\mathcal{E}$ .  
 0,132: astigmatische Konstante für Paraxialstrahlen.  
 l: Prismenlänge.  
 u, u: halber Öffnungswinkel in der Ebene E bzw.  $\mathcal{E}$ .  
 $\alpha$ : halber Öffnungswinkel in der Präparatebene des Mikroskops.  
 A: wirksame Apertur des Objektivs.  
 $\mathcal{A}$ : wirksame Apertur der BERTRAND'schen Linse.  
 r, r: Blendenradien in E bzw.  $\mathcal{E}$ .  
 $\rho$ : Radius des wirksamen orthoskopischen Gesichtsfeldes im Objekt.  
 R,  $\mathcal{R}$ : Radius der Austrittspupille im Orthoskop bzw. Konoskop.  
 f: Brennweite (allgemein).  
 $\bar{f}_1$ : desgl. des Objektivs.  
 $\bar{f}'_1$ : desgl. der BERTRAND'schen Linse.  
 $\bar{f}_2$ : desgl. des Okulars.  
 F: desgl. des orthoskopischen Mikroskops.  
 $\bar{f}$ : desgl. des konoskopischen Mikroskops (BERTRAND'sche Linse + Okular).  
 v, v: Lateralvergrößerungen in E bzw.  $\mathcal{E}$ .  
 $v_1, v'_1, v_2, V, \mathcal{B}$ : Lateralvergrößerungen der verschiedenen Linsensysteme entsprechend den Bezeichnungen für die Brennweiten.  
 l: Abstand der reziproken Ebenen E und  $\mathcal{E}$  (im Mikroskop: optische Tubuslänge).  
 e, e: Abstand der Ebenen E bzw.  $\mathcal{E}$  von der zugehörigen Hauptebene eines optischen Systems.

<sup>1</sup> E. A. WÜLFING, Abh. Heidelberg. Akad., math.-nat. Kl. (6.) 1918. 34.

- $x, r$ : Abstand der Ebenen E bzw.  $\mathcal{E}$  von dem zugehörigen Brennpunkt eines optischen Systems.  
 S: Schirmabstand vom hinteren Brennpunkt des Gesamtsystems (bzw. deutliche Sehweite).  
 $n$ : Brechungsindex einer homogenen Immersion.  
 $d, \delta$ : astigmatische Differenz.

### Die astigmatische Differenz.

Zunächst sei an einige fundamentale Erscheinungen erinnert. Wir setzen voraus, daß der Analysator ein normal polarisiertes Gesichtsfeld besitze<sup>1</sup>. Ein axiales ursprünglich homozentrisches Strahlenbündel besitzt nach Durchgang durch ein solches Prisma entsprechend dessen optischem Symmetriecharakter nur mehr zwei aufeinander senkrechte Symmetrieebenen. Demgemäß erfahren nur Strukturelemente, die parallel und senkrecht zum Hauptschnitt des Prismas orientiert sind, eine scharfe Abbildung in beziehentlich zwei Ebenen, deren Abstand die astigmatische Differenz genannt wird. Die senkrecht zum Hauptschnitt einfallenden Strahlen konvergieren infolge der kleineren Vertikalverschiebung, die sie bei dem Durchgang durch das Prisma erfahren, früher als die im Hauptschnitt verlaufenden Strahlen. Die Differenz dieser Vertikalverschiebungen in den beiden Symmetrieebenen, die astigmatische Differenz, ist unabhängig von der Schnittweite des Strahlenbündels, aber eine Funktion seines Öffnungswinkels und proportional der Prismenlänge. Für Paraxialstrahlen erreicht sie einen maximalen Grenzwert vom Betrage

$$\delta = 0,132 l \quad (1)$$

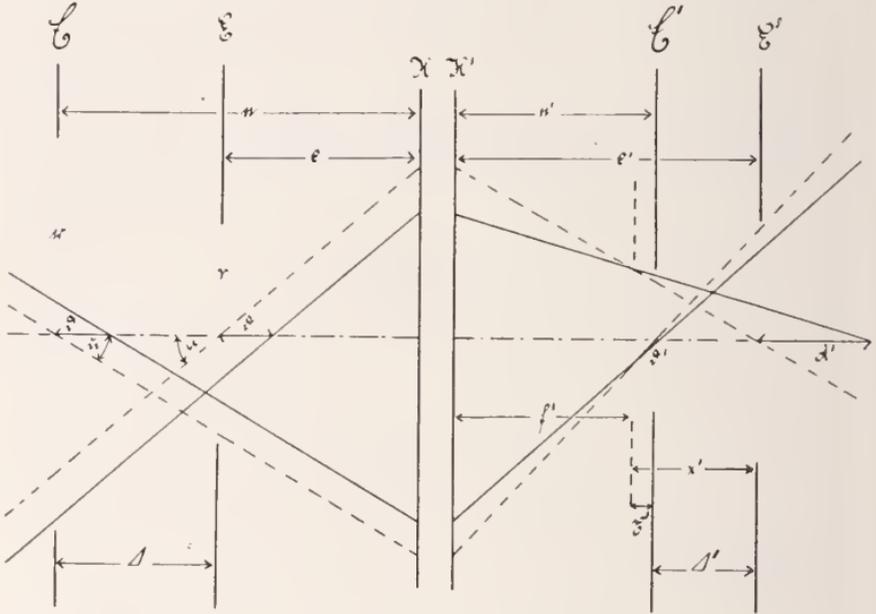
Indes ändert sich innerhalb der durch das brauchbare Gesichtsfeld des Prismas gesteckten Grenzen  $\delta$  um noch nicht  $1\frac{1}{2}\%$ . Diese Genauigkeit reicht aus, um unbeschadet der Allgemeinheit die Abhängigkeit der astigmatischen Differenz vom Öffnungswinkel zu vernachlässigen.

### Die astigmatischen Bildfehler in reziproken Ebenen.

Jede optische Störung in einem von abbildenden Strahlen durchsetzten Raum läßt sich hinreichend und eindeutig erfassen, wenn wir den Strahlenverlauf in zwei reziproken Ebenen E und  $\mathcal{E}$  des Strahlenganges betrachten. Diese sind dadurch definiert, daß die von einem Punkte der Ebene E ausgehenden Strahlenbündel ihre Basis in  $\mathcal{E}$  haben, und umgekehrt. Legen wir den Hauptschnitt des Prismas in die Zeichenebene der Figur, so werden senkrecht zum Hauptschnitt liegende Strukturelemente in dem mit E bzw.  $\mathcal{E}$  bezeichneten Ebenen unscharf abgebildet. Als Maß dieser

<sup>1</sup> Prisma nach GLAN-THOMPSON, AHRENS, GLAN-FOUCAULT, FRANK & RITTER.

astigmatischen Unschärfe sehen wir an die Breite U bzw. ll der Zerstreuungslinie in E bzw. E' für die im Hauptschnitt verlaufenden, nach dem zweiten axialen Schnittpunkt konvergierenden Bündel. Der Astigmatismus in E bewirkt ferner, daß die Durchstoßpunkte der parallel und senkrecht zum Hauptschnitt verlaufenden Strahlen in der reziproken Ebene E' verschiedenen Abstand von der Achse haben, und der gleiche Zusammenhang besteht zwischen dem Astig-



Astigmatismus eines Polarisationsprismas mit normal-polarisiertem Gesichtsfeld in reziproken und konjugierten Ebenen.

Die ausgezogenen Strahlen verlaufen im Hauptschnitt, die gestrichelten senkrecht zum Hauptschnitt des Prismas. Die linke Hälfte der Figur ergibt die primären Bildfehler, die rechte Hälfte die sekundären nach Abbildung durch ein optisches System HH'.

matismus in E und den Durchstoßpunkten in E. Die Blenden in E und E' erscheinen also verzerrt. Als Maß dieser Verzerrung wählen wir den Ausdruck

$$B = \frac{r_{II} - r_{I}}{r_{I}} \text{ bzw. } \mathfrak{B} = \frac{r_{II} - r_{I}}{r_{I}}$$

Aus der Figur ergeben sich dann folgende Beziehungen für die astigmatischen Bildfehler:

$$\begin{aligned} U &= 2b \operatorname{tg} u & ll &= 2b \operatorname{tg} u \\ B &= -\frac{b}{\Delta} & \mathfrak{B} &= +\frac{b}{\Delta} \end{aligned} \quad (2)$$

Der Astigmatismus in einer Ebene erzeugt in dieser Ebene eine Unschärfe der Abbildung und in der zu ihr reziproken Ebene eine Bildverzerrung. Die astigmatischen Unschärfen in zwei reziproken Ebenen verhalten sich wie die Tangenten der zugehörigen Öffnungswinkel. Die astigmatischen Verzerrungen der Blenden in zwei reziproken Ebenen sind numerisch gleich, aber von entgegengesetztem Sinn.

Aus der Figur folgt ferner:

$$\operatorname{tg} u = \frac{r_{\perp}}{f} \quad \operatorname{tg} u = \frac{r_{\perp}}{f}$$

und demnach

$$U : u = r_{\perp} : r_{\parallel}$$

Die astigmatischen Unschärfen der Abbildung in zwei reziproken Ebenen verhalten sich umgekehrt wie die zugehörigen Blendenradien senkrecht zum Hauptschnitt.

Außerdem gilt noch

$$\operatorname{tg} u = \frac{r_{\parallel} - r_{\perp}}{b} \quad \operatorname{tg} u = \frac{r_{\perp} - r_{\parallel}}{b}$$

und mithin

$$U = 2(r_{\parallel} - r_{\perp}) \quad u = 2(r_{\perp} - r_{\parallel})$$

Die astigmatische Unschärfe in einer Ebene ist numerisch gleich der Differenz der verzerren Durchmesser in der reziproken Ebene.

Bei der Abbildung des reziproken Ebenenpaares durch ein optisches System wird die astigmatische Unschärfe entsprechend der Maßstabsbeziehung zwischen Objekt und Bild vergrößert; die astigmatische Bildverzerrung hingegen bleibt ungeändert, weil sie als Quotient zweier achsensenkrechten Längen definiert ist. Bedeutend  $v$  und  $v$  die Lateralvergrößerungen in  $E'$  und  $E'$ , so erhalten wir für die astigmatischen Bildfehler im Bildraum:

$$\begin{aligned} U' &= v U & u' &= v u \\ B' &= B & B' &= B \end{aligned} \quad (3)$$

Die Lateralvergrößerungen können in verschiedener Weise bestimmt werden:

1. durch den Abstand konjugierter Ebenen von den Hauptpunkten:

$$v = \frac{e'}{e} \quad v = \frac{e'}{e} \quad (4)$$

2. durch den Objektabstand oder Bildabstand vom zugehörigen Hauptpunkt und durch die Brennweite:

$$v = \frac{e' - f'}{f'} = \frac{f}{e - f} \quad v = \frac{e' - f'}{f'} = \frac{f}{e - f} \quad (5)$$

3. durch den Objektastand oder Bildastand vom zugehörigen Brennpunkt und durch die Brennweite:

$$v = \frac{x'}{\bar{f}'} = \frac{\bar{f}}{x} \quad v = \frac{x'}{\bar{f}'} - \frac{\bar{f}}{x} \quad (6)$$

Obwohl nach den Formeln (3) die astigmatischen Fehler im Bildraum in sehr einfacher Beziehung zu den ursprünglichen Fehlern des Objektraumes stehen, ist der Charakter des Astigmatismus in den Bildebenen  $E'$  und  $G'$  ein wesentlich anderer geworden als der im Objektraum. Im Bildraum hat die astigmatische Differenz infolge der verschiedenen Axialvergrößerung verschiedene Werte. Sie ist also nicht mehr unabhängig von der Schnittweite. Man findet

$$d' = \frac{\bar{f}^2 d}{(e - \bar{f})(e - \bar{f} - d)} = \frac{(e' - \bar{f}')^2 d}{\bar{f}'^2 - (e' - \bar{f}') d} \quad (7)$$

$$d' = \frac{\bar{f}^2 d}{(e - \bar{f})(e - \bar{f} - d)} = \frac{(e' - \bar{f}')^2 d}{\bar{f}'^2 - (e' - \bar{f}') d}$$

Die astigmatischen Unschärfen in den reziproken Bildebenen stehen daher nicht mehr in derselben einfachen Beziehung zueinander wie im Objektraum, wohl aber die Blendenverzerrungen.

Diese Grundlagen reichen für die allgemeine Theorie der astigmatischen Bildfehler im Polarisationsmikroskop aus.

(Schluß folgt.)

## Personalia.

Berufen: Dr. R. Groß, Privatdozent an der Universität Greifswald, als außerordentlicher Professor für Mineralogie und Petrographie an die Universität Hamburg. — Prof. Dr. Erich Kaiser, der sich im Herbst 1913 auf eine Forschungsreise nach Deutsch-Südwestafrika begeben hatte und dort von dem Krieg überrascht worden war, ist nach Deutschland zurückgekehrt und hat seine Lehrtätigkeit in Gießen wieder aufgenommen. — Dr. Heinrich Baumhauer, Professor der Mineralogie in Freiburg i. d. Schweiz, begeht am 11. August sein 50jähriges Doktorjubiläum.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [1919](#)

Autor(en)/Author(s): Berek M.

Artikel/Article: [Die astigmatischen Bildfehler der Polarisationsprismen. 218-224](#)