

# Sitzungsberichte

der

naturwissenschaftlichen Abteilung  
der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur-  
und Heilkunde in Bonn.

---

1923.

## **Sitzung vom 10. Januar 1923.**

Vorsitzender: Prof. Hesse. 1. Herr Dannemann: „Über den Parallelismus in der Entwicklung von Naturwissenschaft und Heilkunde“. 2. Jahres- und Kassenbericht des Schriftführers. 3. Herr Dannemann: Lichtbildervortrag: „Über das deutsche Museum in München“.

## **Sitzung vom 21. Februar 1923.**

Vorsitzender: Prof. Hesse. 1. Herr Bauer: „Über Probleme der Bodenseeforschung“.

## **Sitzung vom 9. Mai 1923.**

Vorsitzender: Prof. Hesse. 1. Herr Krüger: „Physikalische und physiologische Bedeutung der Chromatophoren bei Poikilothermen“. 2. Herr Schmidt: „Über die Doppelbrechung des Zahnschmelzes“. 3. Herr Hesse: „Die Durchbohrung von Blei durch Tiere“.

W. J. Schmidt:

### **Doppelbrechung und Feinbau des Zahnschmelzes.**

Der bekannte physiologische Chemiker F. Hoppe(-Seyler)<sup>1)</sup> hat 1862 gelegentlich der chemischen Untersuchung des Zahn-

---

1) Untersuchungen über die Konstitution des Zahnschmelzes. Virch. Arch. Bd. 24, S. 13. — Wenig vorher hatte G. Valentin (Die Untersuchung der Pflanzen- und der Thiergewebe in polarisiertem Lichte, Leipzig 1861) kurz erwähnt, dass der Schmelz auf Zahnquerschliffen negativ sei.

schmelzes die bemerkenswerte Beobachtung gemacht, dass der in Entwicklung begriffene noch schneidbare Schmelz (bei Mensch und Säugern) positiv einachsig doppelbrechend wirkt, der fertige aber negativ, wobei die Richtung der optischen Achse beide Male (annähernd) mit der Länge der Schmelzprismen oder -fasern zusammenfällt. Es muss also im Laufe der Schmelzhärtung eine Umkehr des optischen Charakters stattfinden. Ferner stellte dieser Forscher fest, dass der fertige Schmelz durch Erhitzen auf 800<sup>0</sup> (Unterbringen eines Schliffes für einige Zeit über siedendes Cadmium) wieder positiv wird. Da nun der Schmelz fast ausschliesslich aus anorganischen Stoffen besteht, so schloss Hoppe, dass seine Doppelbrechungserscheinungen die „Folge der Anordnung der anorganischen Stoffe“ sei, dass sie aber trotzdem „nicht durch eigene chemische Affinität dieser Körper wie im Krystalle zustande gekommen sind, sondern dass trotz des unbedeutenden Gehaltes im Schmelze an organischen Stoffen doch dieselben oder ähnliche Kräfte diese Molekularanordnung hervorbringen, welche den Zellmembranen und den verschiedenen Gewebsteilen der Pflanzen und Tiere ihre regelmässige Structur erteilen.“

Mit der Erklärung des verschiedenen optischen Charakters jungen und fertigen Schmelzes hat sich bisher nur V. v. Ebner und zwar mehrmals beschäftigt. In Sinne seiner Spannungstheorie der Doppelbrechung organisierter Substanzen<sup>1)</sup> möchte er annehmen, dass der Schmelz beim Wachstum einem Druck normal zu seiner Fläche unterliegt, indem eine Schicht auf die andere abgelagert wird „ohne dass zwischen die bereits gebildete Schmelzsubstanz neue Teilchen sich einlagern“ (s. aber unten S. 4 die spätere Auffassung v. Ebners). Solcher Druck erzeugt nun allgemein bei einem festen isotropen Körper (z. B. Glas) negative Doppelbrechung, wobei die Druckrichtung zur optischen Achse wird. Die Druckverhältnisse im jugendlichen Schmelz vergleicht v. Ebner denen, die in einem wachsenden Zylinderepithel herrschen, in welchem neue Zellen zwischen die alten eingeschaltet werden: hier unterliegt jede Zelle einem zu ihrer Längsachse allseits senkrechten Druck, wird also ebenso beeinflusst, als ob sie einem Zug in der Länge ausgesetzt wäre; Zug ruft aber bei einem isotropen Körper positive Doppelbrechung in bezug auf die Zugrichtung hervor, und so scheint v. Ebner auch das optische Verhalten des noch weichen Schmelzes im Sinne der Spannungstheorie deutbar.

Auch später<sup>2)</sup> hat sich v. Ebner nach genauer Kontrolle und

1) Untersuchungen über die Anisotropie organisierter Substanzen. Leipzig 1882.

2) Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes, Sitzber. Akad. Wien. 1890, Math.-naturw. Kl. Bd. 99, 3. Abt. S. 57.

Bestätigung der Hoppeschen Angaben wesentlich in gleicher Weise ausgesprochen: „Die Schmelzprismen sind anisotrop, aber wahrscheinlich amorph. Ein untrügliches Kennzeichen krystallinischer Struktur ist an ihnen bisher nicht gefunden worden . . . Die optische Anisotropie der Schmelzprismen ist eine Folge von Spannungen während des Wachstums . . .“ Die rätselhafte Umkehr des optischen Charakters während der Entwicklung werde nur einigermaßen begrifflich unter der Annahme von Spannungsänderungen. Insbesondere könne nicht daran gedacht werden, dass die Schmelzprismen eine Varietät des kristallinen Apatits darstellten, mit welchem nach Hoppes Untersuchungen der ausgebildete Schmelz in Härte, Doppelbrechung und bezüglich der chemischen Zusammensetzung insofern übereinstimme, als der dreibasisch phosphorsaure Kalk im Apatit und im Schmelz annähernd in demselben prozentischen Verhältnis vertreten sei, während der Zahnschmelz eine beträchtliche Menge kohlen-sauren Kalkes enthält, der dem Apatit völlig fehle. v. Ebner bestimmte den Brechungsindex des fertigen Schmelzes im Natriumlicht für den ordentlichen Strahl zu 1.6277 (gleich dem des Schwefelkohlenstoffes bei etwa 20° C.), den des ausserordentlichen zu 1.6234. Die entsprechenden Werte für Apatit lauten: 1.6461 bzw. 1.6417 sind also nicht unwesentlich grösser als jene des Schmelzes. Die Differenz der Indices, welche die Stärke der Doppelbrechung misst, ist aber bei Schmelz (0,0043) und Apatit (0,0044) zufällig fast gleich. Als neuen Befund teilt v. Ebner mit, dass der Schmelz einiger erwachsener Beuteltiere (*Hypsiprimum*, *Petaurus*)<sup>1)</sup> entschieden positiv doppelbrechend ist.

v. Ebner<sup>1)</sup> hat von der Umkehr des optischen Charakters des Schmelzes im Laufe der Entwicklung Gebrauch gemacht, um die Schmelzhärtung zu untersuchen (Schliffe in Wasser, s. u.): Der primäre, ziemlich undurchsichtige und undeutlich in Prismen gegliederte Schmelz ist nicht merklich doppelbrechend, der durchsichtige und stärker lichtbrechend gewordene schneidbare junge Schmelz mit bereits gut gesonderten Prismen positiv doppelbrechend, der harte fertige negativ doppelbrechend. Die Umwandlung des jungen positiven in den fertigen negativen Schmelz vollzieht sich durch den nur noch schwer färbbaren Übergangschmelz, von optisch neutraler (oder bereits negativer) Beschaffenheit.

Bei dieser Gelegenheit hebt v. Ebner nochmals hervor, dass einzelne Prismen bei keiner Stellung optisch völlig neutral sind, also unter keinen Umständen Einzelkristalle sein können, dass

1) Über die histologischen Veränderungen des Zahnschmelzes während der Erhärtung, insbesondere beim Menschen, Arch. f. mikr. Anat. Bd. 67 (1906), S. 18.

ferner die optische Achse der Prismen mit ihrer Länge Winkel bis zu  $20^{\circ}$  bilden kann. Ferner teilt er die neue Beobachtung mit, dass eine Reihe von Flüssigkeiten, welche den Schmelz nicht angreifen, aber imbibieren, die positive Doppelbrechung des jugendlichen in negative verwandeln, oder dieselbe fast zum Verschwinden bringen: Positiven optischen Charakter zeigte der junge Schmelz ausser im lufttrockenen Zustand, wenn auch schwächer, bei Untersuchung in Wasser und Alkohol, erheblich schwächere positive Doppelbrechung in Terpentinöl, Benzin, Paraffinöl; konzentriertes Glyzerin senkte die Doppelbrechung fast auf 0 und bewirkte bisweilen bereits negativen optischen Charakter, ähnlichen Einfluss übten aus Origanumöl, Xylol, Monobromnaphthalin, etwas stärkeren Anisöl und Schwefelkohlenstoff. Zimtöl, Cassiaöl, Nelkenöl, Salicylaldehyd, Anilinöl aber riefen deutliche negative Doppelbrechung hervor, die jedoch viel schwächer war als die ursprüngliche positive. Da nun nach dem Auswaschen der genannten Flüssigkeiten der Schmelz genau dasselbe Maß von positiver Doppelbrechung zeigte wie vorher, schloss v. Ebner, dass die Flüssigkeiten keine bleibende Strukturveränderung in ihm hervorriefen, und er glaubte, den Vorgang so erklären zu können, dass die Flüssigkeiten, in die anscheinend schon homogenen Prismen eindringend, in ihrer porösen Masse Spannungen erzeugten, welche die Umkehr der Doppelbrechung bedingten. Aus der nachgewiesenen Porosität der jugendlichen (färbbaren!) Prismen folgert nun v. Ebner weiter, dass bei der Ausbildung der Prismen nicht nur eine Verdickung derselben durch Anlagerung, sondern auch durch Neueinlagerung von Kalksalzen zwischen die kleinsten Massenteilchen stattfindet. Damit steht im Einklang, dass der Brechungsindex des ordentlichen Strahles mit der Schmelzhärtung von 1,5889 auf 1,6277 steigt. Die fertigen Prismen, die keine Änderung des optischen Charakters zeigen, werden offenbar nicht mehr imbibiert, wie sie auch keine Farbstoffe mehr aufnehmen. —

Eine genauere Beschäftigung mit der Umkehr des optischen Charakters jugendlichen Schmelzes durch Imbibition mit bestimmten Flüssigkeiten belehrte mich, dass die Erklärung dieses Vorganges in ganz anderer Richtung liegt, als sie bisher gesucht wurde; und die Lösung dieses Rätsels machte es zugleich verständlich, warum der Zahnschmelz im Laufe seiner Entwicklung den Charakter der Doppelbrechung umkehrt.

Als Untersuchungsobjekt dienten mir einmal Längsschliffe durch Schneidezähne von Neugeborenen<sup>1)</sup>, dann der junge Schmelz

---

1) Herrn Privatdozenten Dr. Lauche danke ich verbindlichst für Überlassung von Material.

von einem noch im Kiefer eingeschlossenen Molaren eines indischen Elefanten, auf dessen noch teilweise isolierten Dentikeln das Email eine Schichtdicke bis zu 3 und 4 mm erreicht, sodass man von einem einzigen Dentikel durch Abschaben mit dem Messer viele tausend Proben zur mikroskopischen Untersuchung entnehmen kann; bei richtig gewählter Stelle am Dentikel genügt ein schwacher Druck auf das Deckglas, um die Gruppen von Prismen in die einzelnen auseinanderfallen zu lassen, wobei man oft Prismenbruchstücke von mehr als  $300\ \mu$  Länge erhält.

Diese Schiffe bzw. Prismengruppen durchtränkte ich nun unter dem Deckglas mit verschiedenen Flüssigkeiten wie Alkohol (1.36), Chloroform (1.44), Glycerin (1.45), Xylol (1.49), Benzol (1.50), Nelkenöl (1.54), Kanadabalsam (1.54), Anilin (1.58), Zimtöl (1.61), Schwefelkohlenstoff (1.62), Monobromnaphthalin (1.66), konzentrierter Thouletscher Lösung (1.71), Methylenjodid (1.74), geschmolzenem (flüssigem) Schwefel (1.8—1.9), geschmolzenem Schwefel mit Zusatz von 33% Selen (2), wobei die den Substanzen in Klammern beigefügten Zahlen den auf 2 Stellen abgerundeten Brechungsindex für eine mittlere Wellenlänge angeben. Schon hiernach stellte sich bei Prüfen des optischen Charakters mit der Gipsplatte Rot I.O. deutlich heraus, dass der optische Charakter des jugendlichen Zahnschmelzes von dem Brechungsindex der chemisch sehr verschiedenen Flüssigkeiten abhängt, mit welchen er durchtränkt wird: Denn bis zum Brechungsindex 1.49 ungefähr ist die Doppelbrechung positiv, von 1.51 bis 1.71 negativ, bei noch höherem Brechungsindex aber wieder positiv. Dieses Ergebnis, das — mit Ausnahme des positiven Charakters oberhalb von einem Brechungsindex 1.71 — auch bereits aus den v. Ebnerschen Beobachtungen (s. oben S. 4) mit einiger Sicherheit herausgelesen werden kann, lässt sich auch so formulieren, dass der jugendliche Zahnschmelz bei Durchtränken mit Flüssigkeiten von steigendem Brechungsindex **zweimal** den optischen Charakter wechselt: er geht aus positiver Doppelbrechung in negative, aus dieser wieder in positive über.

Noch überzeugender ergibt sich das gleiche Resultat, zweimaliger Wechsel des optischen Charakters, wenn man den Brechungsindex der Imbibitionsflüssigkeit nicht sprunghaft durch Anwendung immer anderer Flüssigkeiten ändert, sondern wenn man das Objekt mit einer hochbrechenden Flüssigkeit durchtränkt und dann schrittweise deren Brechungsindex durch langsames, tropfenweises Zusetzen einer niedrig brechenden Flüssigkeit am Deckglasrand senkt. Damit erscheint zugleich ein Einfluss der chemischen Natur der Imbibitionsflüssigkeiten auf den Charakter der Doppelbrechung wohl ausgeschlossen, da sie ja jetzt wesentlich

dieselbe bleibt. Für solche Versuche eignet sich am besten Methyljodid (1.74) und als Zusatzflüssigkeit Xylol (1.49).

Ähnliches lässt sich natürlich auch mit schwächer brechenden Flüssigkeiten ausführen, z. B. konzentrierter Thouletscher Lösung und Zusatz von Wasser, oder Schwefelkohlenstoff, besser Anilin, bei Zufügen von Alkohol; doch kann man dann, gemäss dem niedrigeren Brechungsindex, mit dem man beginnt, den Vorgang nur unvollständig beobachten, nämlich einzig den Übergang von negativer in positive Doppelbrechung mit sinkendem Brechungsindex. Andererseits lässt sich auch der Wandel von negativer in positive Doppelbrechung mit steigendem Brechungsindex verfolgen, wenn man Schmelzprismen in Schwefel unter dem Deckglas einschmilzt, darauf erkalten lässt, wobei der Schwefel auskristallisiert, und dann Schwefelkohlenstoff zusetzt. Der Schwefel löst sich nun z. T. auf, und einzelne Prismen treten, aus der Schwefelmasse befreit, frei hervor; sie sind im ersten Augenblick ihres Ausschmelzens positiv doppelbrechend, werden aber sehr bald negativ. Nach einiger Zeit beginnt der Schwefel durch Verdunsten des Schwefelkohlenstoffs wieder auszukristallisieren; jetzt kann man — besser als vorher — in der Flüssigkeit, nahe an der Grenze des festen Schwefels, beobachten, wie die negative Doppelbrechung schwächer wird, erlischt und dann in schwach aber deutlich positive Doppelbrechung übergeht; kurz darauf kristallisiert der Schwefel in den Prismen aus und erteilt ihnen durch die Einlagerung der Schwefelkristalle starke Doppelbrechung.

Die letzten Versuche habe ich nur der Vollständigkeit halber erwähnt; sie bieten bei dem schnellen Ablauf der Vorgänge mancherlei Schwierigkeiten für die Beobachtung und empfehlen sich daher zu einer genaueren Untersuchung der Erscheinungen mindestens im Anfang nicht; ebenso wenig wie es etwa bei der starken erforderlichen Erwärmung der Präparate und dem bald eintretenden Erstarren des Beobachtungsmediums bequem ist, die (allerdings kräftigere als im Methyljodid) positive Doppelbrechung des jungen Schmelzes in hochbrechenden Medien mit geschmolzenem Schwefel oder Schwefel-Selengemisch vorzuführen, statt mit Methyljodid. Vielmehr empfiehlt es sich, für die genauere Betrachtung und Erklärung der Vorgänge an den Versuch mit Methyljodid-Xylol anzuknüpfen, der im einzelnen folgendermassen verläuft.

Bringt man die Schmelzprismen in Methyljodid und prüft ihren optischen Charakter in der üblichen Weise mit der Gipsplatte Rot I. O., so erweisen sie sich als deutlich positiv in bezug auf die Länge: sie erscheinen in einem gegebenen Falle etwa violett II O unter  $+45^{\circ}$ . Bei allmählichem Zusatz von Xylol geht die Farbe in Rot I. O über, d. h. die positive Doppelbrechung hat (scheinbar, s.

u.) Isotropie Platz gemacht; bei weiterem Verdünnen mit Xylol macht sich allmählich wieder steigende Doppelbrechung bemerkbar; aber der Charakter ist jetzt negativ in bezug auf die Länge der Prismen: sie erscheinen unter  $+45^\circ$  gelblich I O (unter  $-45^\circ$  violett II O). Bei fortschreitendem Zusatz von Xylol sinkt aber die negative Doppelbrechung der Prismen wiederum, die Prismen werden abermals rot wie das Sehfeld — II. Durchgang durch (scheinbare) Isotropie! — und dann nehmen sie wieder steigende positive Doppelbrechung an, die ihr Höchstmaß erreicht, wenn das Methyljodid ganz durch reines Xylol ersetzt ist. (Obwohl die positive Doppelbrechung in Xylol deutlich ist, kann man den Versuch noch eklatanter gestalten, wenn man zum Schluss das Xylol noch durch Alkohol verdrängt; man bekommt dann eine noch kräftigere positive Doppelbrechung.) Der Versuch lehrt also, dass mit abnehmendem Brechungsindex der imbibierenden Flüssigkeit von 1.74 an der optische Charakter der Prismen unter zweimaligem Durchlaufen von (scheinbarer) Isotropie allmählich aus positiv in negativ, dann wieder in positiv übergeht.

Macht man den gleichen Versuch, beobachtet aber ohne eingeschaltete Gipsplatte, so wird bei ziemlich raschem Zusatz von Xylol, der Schmelz, welcher zunächst weisslich aufleuchtet, dunkel (I. Durchgang durch Isotropie), dann wieder hell, darauf wieder dunkel (II. Durchgang durch Isotropie), und schliesslich wieder hell. Fügt man aber das Xylol sehr vorsichtig zu, so beobachtet man im Bereich des scheinbaren zweimaligen Durchlaufens der Isotropie lebhaft anomale Interferenzfarben. Das ist der zweite wichtige, bisher übersehene Punkt der Imbibitionserscheinungen des jugendlichen Schmelzes: Die zweimalige Umkehr des optischen Charakters geht durch **anomale Farben** vor sich. Ein Schliff durch den Zahn eines Neugeborenen z. B. zeigte beim Beginn des Versuches an einer bestimmten Stelle blauweiss I. O. (positiver Charakter gemäss Prüfung mit Gips). Beim Zugeben von Xylol änderte diese Stelle ihre Farbe fortschreitend in blau, rot, gelbbraun, weiss (jetzt Charakter negativ), blauweiss, blau, rotgelb, gelb, weiss (positiver Charakter). Wer mit den Interferenzfarben vertraut ist, erkennt die anomale Natur der blauen, roten und gelben Farben ohne weiteres an der Nuance; sie wird aber auch für den weniger Erfahrenen dadurch offenbar, dass sie, gemäss der Kontrolle mit der Gipsplatte, dann auftreten, wenn diese Isotropie anzuzeigen scheint, also in einem Bereich erscheinen, der in der normalen Skala der Interferenzfarben einem lichtschwachen Graublau zukommt.

Dass die anomalen Farben in den scheinbaren Isotropiebereichen auftreten, ergibt sich auch beim Durchtränken eines Schliffes nach

einander mit verschiedenen Flüssigkeiten von bekanntem Brechungsindex, wobei zugleich der Brechungsindex annähernd festgelegt werden kann, bei dem die anomalen Farben erscheinen. (In dem Methylenjodid-Xylol-Versuch ist ja der Brechungsindex in einem gegebenen Augenblick des Ablaufes unbekannt.) Eine bestimmte Stelle vom Schmelz eines Zahnes eines Neugeborenen erschien am Schliff in

Alkohol (1.36) gelb I. O.	} Prüfung mit der Gipsplatte: positiv
Chloroform (1.44) weiss	
Glyzerin (1.45) matt weislich	}
Benzol (1.50) gelbbraun	
Nelkenöl (1.54) weisslich blau	} negativ
Anilin (1.58) weiss	
Zimtöl (1.61) weissblau	
Schwefelkohlenstoff (1.62) weiss <sup>1)</sup>	
Schwefelkohlenstoff + Schwefel (Lösung) gelbbraun	
Thouletsche Lösung (1.71) gelblich bis rötlich	} positiv.
Schwefel (geschmolzen 1.8—1.9) gelbrot I. O.	

Man ersieht also auch aus dieser Zusammenstellung,<sup>a</sup> dass die anomalen Farben (durch Sperrung gekennzeichnet!) im Bereich der Isotropie (scheinbaren! — gemäss Untersuchung mit Gips —) auftreten, dort wo bei einem Brechungsindex von etwa 1.50 positive in negative bzw. bei 1.71 negative in positive Doppelbrechung übergeht. Ebenfalls bei dem oben genannten Versuch mit in Schwefel eingeschmolzenen und dann mit Schwefelkohlenstoff herausgelösten Prismen (s. S. 6) machen sich sowohl im Augenblick des Ausschmelzens als kurz vor der Rekristallisation des Schwefels anomale Farben für aufmerksame Beobachtung geltend.

Wie ist die doppelte Umkehr des optischen Charakters von positiv in negativ, dann wieder in positiv unter zweimaligem Durchlaufen anomaler Farben in den Umschlaggebieten zu erklären? H. Ambronn<sup>2)</sup> hat mehrfach eingehend dargelegt, dass solche Erscheinungen, wenn sie in Abhängigkeit vom Brechungsindex des Imbibitionsmittels auftreten, auf dem Zusammenwirken einer strukturell bedingten, positiven Doppelbrechung (sog. Stäbchendoppelbrechung, s. u.) mit einer negativen Eigendoppelbrechung der die Struktur aufbauenden (im kolloidalen Grössenbereich sich

1) Dass die Polarisationsfarbe des Schmelzes im Zimtöl anomal, in Schwefelkohlenstoff aber normal ist, hängt mit der ungewöhnlich starken Dispersion des Zimtöls zusammen.

2) Vgl. insbesondere die zusammenfassende Darstellung: „Über die akzidentelle Doppelbrechung im Zelloidin und in der Zellulose“, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1919.



haltenden) Teilchen beruhen. Diese submikroskopischen Teilchen müssen wegen der Eigendoppelbrechung als kristallin gelten und verdienen daher die Nägeline'sche Bezeichnung „Micelle“. Ihre Eigendoppelbrechung, welche durch ihre gleichmässige (die Struktur bedingende) Ordnung summiert zum Vorschein kommt, kann daher auch als Micellardoppelbrechung bezeichnet werden.

Ambronn ging dabei von den theoretischen Betrachtungen O. Wieners über die Doppelbrechung von Mischkörpern aus, die aus zwei Komponenten mit verschiedenem Brechungsindex bestehen, insbesondere von Wieners Darlegungen über Stäbchendoppelbrechung: Ein System aus im Vergleich zur Lichtwellenlänge kleinen, mehr oder minder genau parallel geordneten Stäbchen wirkt positiv einachsig doppelbrechend in bezug auf die Länge der Teilchen, wenn der Brechungsindex der Stäbchen und der sie trennenden Masse (etwa einer Flüssigkeit) verschieden ist. Die Stärke der Stäbchendoppelbrechung nimmt zu mit der Differenz der Brechungsindices von Stäbchen und Zwischenmasse, gleichgültig, welche von den beiden Komponenten den grösseren Brechungsindex hat. Haben aber beide gleichen Brechungsindex, so schwindet die Doppelbrechung. Ferner hängt die Stärke der Doppelbrechung von der Regelmässigkeit der Anordnung der Teilchen (Maximum bei Parallelstellung) und von dem relativen Volumverhältnis beider Komponenten ab (Maximum bei Gleichheit des Volums von Stäbchen und Zwischenmasse).

Nimmt man nun an, dass in einem solchen System die Stäbchen selbst und zwar negativ doppelbrechend sind, so wird die positive Stäbchen- und die negative Eigendoppelbrechung an der Gesamtdoppelbrechung zusammenwirken. Das System wird positiv erscheinen, wenn die Stäbchendoppelbrechung die Eigendoppelbrechung überkompensiert, negativ aber, wenn die Eigendoppelbrechung stärker ist als die Stäbchendoppelbrechung, isotrop schliesslich, wenn Stäbchen- und Eigendoppelbrechung gleich stark sind, aber sich kraft ihres entgegengesetzten optischen Charakters aufheben. Da nun die Stärke der Stäbchendoppelbrechung ceteris paribus durch die Differenz der Brechungsindices von Stäbchen und Zwischenmasse (s. o.) bestimmt wird, so kann man ihr durch geeignete Wahl des Brechungsindex der Imbibitionsflüssigkeit einen solchen Wert erteilen, dass Isotropie eintritt; das wird aber sowohl dann geschehen, wenn der Brechungsindex der Imbibitionsflüssigkeit um einen gewissen Betrag kleiner ist als derjenige der Stäbchen, als auch wenn er um denselben Betrag grösser ist. D. h. wenn man das System mit Flüssigkeiten von steigendem Brechungsindex durchtränkt, wobei man mit solchen beginnt, die erheblich geringere Brechkraft als die Stäbchen haben,

so wird es zweimal isotrop werden müssen. Ferner wird die negative Eigendoppelbrechung rein hervortreten, wenn das System mit einer Flüssigkeit vom Brechungsindex der Stäbchen durchtränkt, also die Stäbchendoppelbrechung beseitigt wird.

Die Kompensation von Stäbchen- und Eigendoppelbrechung, d. h. Isotropie des Systems, ist aber nicht gleichzeitig für alle Farben durchführbar wegen der verschiedenen Dispersion der Doppelbrechung beider<sup>1)</sup>. Sondern in den beiden scheinbaren Isotropiebereichen tritt die Aufhebung der Doppelbrechung für die einzelnen Farben des weissen Lichtes (in der Richtung von blau nach rot bei steigendem Brechungsindex der Imbibitionsflüssigkeit) nacheinander ein. Die Farbe, für welche jeweils Isotropie besteht, wirkt an der Entstehung der Polarisationsfarbe nicht mit und daher wird diese (bei Versuchsanstellung in weissem Licht) anomal.

Zweimalige allmähliche Umkehr positiven optischen Charakters bei steigendem Brechungsindex des Imbibitionsmittels unter Durchlaufen anomaler Farben in der Nähe der beiden Umkehrpunkte ist also nach Ambronn charakteristisch für das Zusammenwirken von positiver Stäbchen- und negativer Eigendoppelbrechung. Da nun der junge Zahnschmelz, wie oben dargelegt, diese typischen Erscheinungen darbietet, so schliessen wir, dass die Doppelbrechung desselben auf dem Zusammenwirken von positiver Stäbchendoppelbrechung mit negativer Eigendoppelbrechung seiner kleinsten Teile beruht. Positiv erscheint der junge Zahnschmelz bei den Imbibitionsversuchen, wenn die Stäbchendoppelbrechung stärker ist als die Eigendoppelbrechung, negativ, wenn die letzte überwiegt. Ist der Brechungsindex der Durchtränkungsflüssigkeit gleich dem des Zahnschmelzes, so wird die Stäbchendoppelbrechung (fast — Einfluss der Dispersion s. o.) ganz beseitigt und die negative Eigendoppelbrechung tritt rein hervor. In der Tat beobachtet man stärkste negative Doppelbrechung bei Durchtränken mit Flüssigkeiten wie Schwefelkohlenstoff, deren Brechungsindex dem des Schmelzes ungefähr gleichkommt (s. S. 3). Zeigt der Schmelz anomale Farben, d. h. ist er für eine bestimmte Farbe isotrop, so halten sich Stäbchen- und Eigendoppelbrechung das Gleichgewicht<sup>2)</sup>.

1) Genaueres hierüber s. bei Ambronn a. a. O. oder in meinem Aufsatz „Über den Feinbau tierischer Fibrillen“ in „Die Naturwiss.“ 1924, Heft 15 u. 16.

2) Im Hinblick darauf, dass einige der von mir benutzten Imbibitionsflüssigkeiten Phenole sind, sei noch bemerkt, dass man bei gewissen organisierten Substanzen z. B. kollagenen Fasern eine einmalige(!) Umkehr des optischen Charakters durch Behandlung mit Phenolen beobachten kann (v. Ebner). Diese Erscheinung hat mit der hier behandelten nichts zu tun, sondern ist unabhängig vom

Aus dieser Auffassung der Doppelbrechungserscheinungen an jugendlichen Schmelz ergeben sich nun wichtige Folgerungen für den Bau des Zahnschmelzes. Da der junge Schmelz Stäbchendoppelbrechung zeigt, so muss sein Aufbau aus kleinsten, stäbchenartigen Teilchen vorausgesetzt werden, die mit ihrer Länge untereinander und zur optischen Achse — und damit auch annähernd zur Prismenachse — mehr oder minder genau parallel geordnet sind.

Beim Zahnschmelz des Elefanten bieten sich für einen solchen Feinbau auch deutliche mikroskopisch wahrnehmbare Hinweise. Die jüngsten Prismen, wie sie in der eigentümlich körnigen Oberfläche des Schmelzbelages der Dentikel vorliegen, zeigen nämlich neben einer Querstreifung eine ganz ausgeprägte Längsstreifung, die im wesentlichen der Prismenachse parallel geht. Sie beruht auf einer Zusammensetzung des Prismas aus nadelartigen Elementen. Denn nicht nur sieht man solche Nadeln am Rande der Prismen öfter frei vorstehen, sondern man findet auch Prismen in allen möglichen Stadien des Zerfalls in Nadeln. Auf etwas älterem Entwicklungszustand wird der Aufbau aus Nadeln schwerer nachweisbar, vielmehr bieten die Prismen unter stärksten Vergrößerungen eine feine Punktierung dar, die ihre Porosität verrät. An Prismen, welche bereits flügelartige Anhänge besitzen, konnte ich noch sehr gut eine Auffaserung in Nadeln an den Bruchenden wahrnehmen und späterhin verrät sich dieser Aufbau noch in längsverlaufenden zackigen Rissen der Prismen. Schliesslich gehen aber auch diese Anzeichen verloren und der Bruch erfolgt mehr oder minder glatt in einer Weise, die keinen Rückschluss mehr auf die geschilderte faserig-nadlige Zusammensetzung der Prismen erlaubt.

An menschlichen Zahnschmelzprismen ist ein Aufbau aus nadeligen Elementen bisher im allgemeinen nicht nachgewiesen. v. Ebner z. B. (1906 a. a. O.) rechnet mit einer globulitisch-wabigen Struktur im Sinne von Bütschli; doch würde eine solche bei nach allen Richtungen gleichmässiger Ausbildung keine strukturelle Doppelbrechung hervorrufen. Aber v. Ebner hebt doch hervor, dass die flügelartigen Anhänge der Prismen nicht selten in eine Reihe feiner Nadeln aufgelöst erscheinen, die schräg zur

---

Brechungsindex dieser Flüssigkeiten. Z. B. wirkt die schwach lichtbrechende Pikrinsäure (konz. wäss. Lösung  $n = 1.33$ ) bei Kollagen ebenso den optischen Charakter umwandelnd wie das stark lichtbrechende Nelkenöl ( $n = 1.54$ ); beim Zahnschmelz dagegen erzeugt die Pikrinsäurelösung keine Umwandlung des optischen Charakters, sondern verhält sich so wie eine andere Flüssigkeit vom gleichen Brechungsindex, etwa Wasser.

Längsachse der Prismen gerichtet sind. Nun divergieren auch an den Prismen des Elefanten die nadeligen Bauelemente öfter leicht gegen das fortwachsende Ende hin: sodass auch hier der Verlauf der Nadeln gegen die Prismenachse geneigt ist (womit übrigens auch der bogige Verlauf der Querstreifung auf den einzelnen Prismen innig zusammenhängt, worauf hier nicht näher eingegangen werden soll). In der nadeligen Zersplitterung der Flügel bei den menschlichen Schmelzprismen möchte ich daher ein mikroskopisches Anzeichen eines faserigen Aufbaues im ganzen erblicken, wie ihn die Stäbchendoppelbrechung dieser Prismen verlangt. Erwähnt doch auch v. Ebner (1906 a. a. O. S. 26): „Ausnahmsweise kommen bei Tieren auch Prismen vor, welche der Länge nach aus feinen Fäserchen zusammengesetzt sind. So finde ich in der aus gekreuzten Prismenlamellen bestehenden inneren Schmelzlage in den Nagezähnen des Eichhörnchens die Schmelzprismen an Längsschliffen fein längsstreifig und an Querschliffen deutlich punktiert.“

Die beschriebenen gröberen und feineren Nadeln halte ich nun keineswegs für die letzten morphologischen Elemente des Schmelzes, sondern ich erblicke darin vielmehr den Ausdruck eines faserigen Aufbaues des Emails, der aus dem mikroskopischen ins submikroskopische Gebiet kontinuierlich übergeht. Wie man für kollagene und Muskelfibrillen etwa einen Aufbau aus submikroskopischen, stäbchenförmigen, der Faserachse parallel gerichteten Teilchen annehmen muss<sup>1)</sup>, so halte ich auch einen ähnlichen Bau für den Schmelz gegeben. Seine Prismen verdienen daher den von manchen Autoren gebrauchten Namen Schmelzfasern nicht nur gemäss ihrer äusseren Form, sondern erst recht im Hinblick auf ihren den Fasern verwandten Feinbau.

Woraus bestehen nun die stäbchenförmigen, als faserige Aggregate in den Bereich der mikroskopischen Wahrnehmung eintretenden Submikronen des Schmelzes? Organische Substanz ist im jungen und erst recht im fertigen Schmelz in so bescheidenem, ja verschwindendem Maße vorhanden, dass er an seinem Aufbau einen ganz untergeordneten Anteil hat. Nur aus den anorganischen Salzen können die gesuchten submikroskopischen Bausteine des Schmelzes bestehen. Die Eigendoppelbrechung des Schmelzes nötigt uns nun diese Salze, insbesondere die Kalksalze, in Gestalt von kleinsten stäbchenartigen doppelbrechenden, d. h. also kristallinen Teilchen anzunehmen. So kommen wir zur Vorstellung, dass zwar keineswegs ein Schmelzprisma einem Kristallindividuum verglichen werden kann, dass es aber doch aus länglichen submikroskopischen Kriställchen der Kalksalze besteht, die

1) Siehe meinen auf S. 10 Anm. 1 genannten Aufsatz.

untereinander und zur Prismenachse ungefähr parallel gelagert sind.

Die Frage ob und wie die einzelnen anorganischen Bestandteile des Schmelzes, Calciumphosphat, -karbonat, -fluorid und -chlorid, unter einander gebunden sind, insbesondere ob Calciumphosphat und -fluorid als apatitähnliches Doppelsalz vorliegen, die Submikronen des Schmelzes also als kolloidal dispergierte Apatitkriställchen aufzufassen sind, oder ob hier neben solchen von Calciumphosphat auch solche von Calciumchlorid, -karbonat usw. vorkommen, kann nicht vom Morphologen entschieden werden; sie fällt hauptsächlich ins Gebiet des Chemikers. Aber ich möchte doch bemerken, dass die Bedenken, welche v. Ebner (s. o. S. 3) gegen die zunächst von Hoppe gemachte Erwägung einer apatitähnlichen Zusammensetzung des Schmelzes erhebt, wohl nicht mehr so sehr ins Gewicht fallen, weil die neuere Mineralogie Mischapatite kennt, in denen der isomorphe Chlor-, Fluor- und Karbonatapatit sich in wechselndem Verhältnis vertreten können. Auch mag darauf hingewiesen sein, dass auch in der unbelebten Natur Apatit in faserigen Massen (als sog. Phosphorit) erscheinen kann, wie er denn auch gleich dem Zahnschmelz eine negative Doppelbrechung und zwar von ähnlicher Stärke zeigt.

Es sei hier kurz daran erinnert, dass nach den chemischen Untersuchungen A. Werners und Th. Gassmanns der phosphorsaure und kohlensaure Kalk im Knochen ein apatitähnliches Doppelsalz bilden. Die kalkige Grundmasse des Knochens und Zahnbeins erscheint — wie vor allem durch von Ebner und Schaffer bekannt — nach Beseitigen der positiv doppelbrechenden kollagenen Fibrillen (durch Auskochen unter erhöhtem Druck, Zerstörung bei der Fossilisation, oder Ausglühen<sup>1)</sup> schwach negativ doppelbrechend in bezug auf die Verlaufsrichtung der Fibrillen, wofern durch Imbibition mit einer geeigneten Flüssigkeit dafür gesorgt wird, dass die positive Stäbchendoppelbrechung, welche die ehemals von den Fibrillen erfüllten feinen fadenartigen Räume zusammen mit der sie trennenden Grundmasse erzeugen, nicht zur Geltung kommt. Solcher entfibrillierter (also feinporöser) Knochen ähnelt im optischen Verhalten jugendlichem Zahnschmelz, indem auch hier

---

1) H. Petersen hat neuestens in seiner „Histologie und mikroskopische Anatomie“ (III. Abschn. 1924, S. 217, Anm. 2) darauf hingewiesen, dass Glühen von Schliffen die Kalksalze wohl verändert. Dieser nicht unberechtigte Einwand bleibt aber für die obige Ausführung bedeutungslos, weil der negative Charakter der Grundsubstanz auch nach schonendem Entfernen der kollagenen Fibrillen durch Auskochen bei 120<sup>0</sup> und durch Fossilisation gleicherweise zutage tritt.

positive Stäbchendoppelbrechung und negative Eigendoppelbrechung je nach dem Brechungsindex des Imbibitionsmittels zu verschiedenem Gesamterfolg zusammenwirken. Nach den von uns für die Kalksalze im Zahnschmelz entwickelten Anschauungen liegt es nahe, auch im Knochen und Zahnbein die Erdsalze in kolloidaler Zerteilung als submikroskopische Apatitkriställchen anzunehmen, die mehr oder minder regelmässig, wahrscheinlich mit dem längsten Durchmesser parallel den (erst gebildeten) kollagenen Fibrillen geordnet sind, deren Anwesenheit für die regelmässige Orientierung der Kalkteilchen sicher bedeutungsvoll ist. —

Wir kommen nunmehr zur Frage, warum sich der optische Charakter im Laufe seiner Entwicklung umkehrt, warum der fertige Schmelz im Gegensatz zum jungen sich negativ doppelbrechend verhält, unabhängig davon, in welchem Medium er untersucht wird. Bereits v. Ebner hat hier den Anfang des richtigen Weges gewiesen (s. o. S. 4): der fertige Schmelz ist nicht mehr porös. Und zwar ist seine Porosität dadurch verloren gegangen, dass immer neue Kalkteilchen zwischen die bereits vorhandenen eingelagert wurden. Die Porosität des Schmelzes und die mit ihr gegebene Imbibitionsfähigkeit, allgemein gesagt, der Aufbau des Schmelzes nach Art eines Mischkörpers im Sinne von O. Wiener (s. S. 9), war aber die Ursache seiner Stäbchendoppelbrechung. Gemäss den Beziehungen, die zwischen dem Volumverhältnis der beiden Komponenten des Mischkörpers und der Stärke der Doppelbrechung bestehen, wird der junge Schmelz in einem bestimmten Stadium seiner Entwicklung — bei einer gewissen Porengrösse — ein Höchstmass von Stäbchendoppelbrechung (bei einer gegebenen Maximaldifferenz der Brechungsindices beider Komponenten: Luftfüllung der Poren) erreichen. Wird darüber hinaus die Porengrösse verkleinert, so nimmt die Stäbchendoppelbrechung ab, bis sie schliesslich mit dem völligen Schwinden der Poren ganz erlischt. Mit dem Sinken der Stäbchendoppelbrechung nimmt die aus ihrem Zusammenwirken mit der Eigendoppelbrechung resultierende positive Gesamtdoppelbrechung immer mehr ab, wird bald von der negativen Eigendoppelbrechung kompensiert (optisch neutraler Übergangschmelz) und geht schliesslich in negative Doppelbrechung über, die bis zum restlosen Ausfüllen der Poren ansteigt. Damit beruht die Doppelbrechung des fertigen Schmelzes nur auf seiner negativen Eigendoppelbrechung.

Die durch v. Ebner aufgefundene Tatsache, dass der Schmelz bei Beuteltieren auch im fertigen Zustand positiv doppelbrechend sein kann, habe auch ich in einigen Fällen (*Phascolarctus*, *Phascolumys*, *Phalangista*) bestätigen können. Hier handelt es sich offenbar um ein dauerndes Porösbleiben des Schmelzes, wie denn

auch hier durch Imbibition die Umkehr des optischen Charakters erzwungen werden kann. Übrigens sah ich gelegentlich auch bei dem Schmelz anderer erwachsener Säuger anomale Interferenzfarben an den in Balsam eingebetteten Schliffen, ein Beweis, dass auch hier der Schmelz streckenweise porös bleibt.

Dass fertiger Schmelz nach Hoppe und v. Ebner, was auch ich bestätigen kann, durch Erhitzen wieder positiv wird, ist wahrscheinlich so zu erklären, dass hierbei erneut eine feinporöse Beschaffenheit in Abhängigkeit von der Faserstruktur erzeugt wird, wie das bei kalkigen Gebilden aus dem Tierkörper nicht selten ist und wahrscheinlich mit dem Verdampfen minimaler Wassermengen darin zusammenhängt. Eine Umkehr des optischen Charakters durch Imbibition gelang mir aber bei durch Erhitzen positiv gewordenem Schmelz nicht, vielleicht deshalb, weil die feinen Hohlräumen allseits abgeschlossen sind.

Wie man nach Ambronn's<sup>1)</sup> Entdeckung tierischen und pflanzlichen Fasern durch Färben mit gewissen Stoffen Pleochroismus erteilen kann, so lässt sich auch der jugendliche Zahnschmelz künstlich pleochroitisch machen. Färbt man z. B. die Prismen mit Kongorot, und prüft sie mit einem Nikol (über dem Polarisator allein), so erscheinen sie kräftig braunrot, wenn ihre Länge mit der Schwingungsrichtung des Polarisationsprismas zusammenfällt, blassrot bei einer Drehung des Objektisches um  $90^\circ$ . Der längs der optischen Achse (im Hauptschnitt) schwingende ausserordentliche Strahl wird also stärker absorbiert. Auch durch längeres Behandeln der Prismen mit 1%iger Silbernitrat- oder Goldchloridlösung, nachfolgendem kurzem Auswaschen in destilliertem Wasser, Trocknenlassen und ein- bis mehrwöchiger Belichtung lässt sich am Zahnschmelz Pleochroismus erzielen. Bei Silberbehandlung ist der Pleochroismus zweierlei Art: entweder erscheinen die Prismen parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators orientiert dunkelbraun, senkrecht dazu hellbraun, oder aber sie bieten in den genannten Stellungen violettblaue und blass rötlich blaue Färbung dar. Goldbehandelte Prismen sind bei Parallelstellung zur Polarisatorschwingungsrichtung violettblau, um  $90^\circ$  dazu gedreht rötlich. Ich bemerke noch, dass die Metallbehandlung nur dann, wenn sie homogen wie eine Färbung ausfällt, pleochroitisch wirkt; ist sie körnig, so fehlt Pleochroismus. Mit Ambronn muss man den Pleochroismus dadurch erklären, dass doppelbrechende (kristalline) pleochroitische Farbstoff- bzw. Metallteilchen orientiert

---

1) Vgl. insbesondere: Über Pleochroismus pflanzlicher und tierischer Fasern, die mit Silber- und Goldsalzen gefärbt sind. Ber. Ges. Wiss. Leipzig, math.-naturw. Kl. Bd. 48 (1896), S. 613.

dem submikroskopischen Gefüge der Schmelzprismen eingelagert werden. Übrigens zeigen auch gefärbte Varietäten des Apatits kräftigen Dichroismus.

Der Pleochroismus bleibt unbeeinflusst von der infolge Imbibition mit Flüssigkeiten von geeignetem Brechungsindex erzielten Umkehr des optischen Charakters. Diese Tatsache ist insofern von Bedeutung, als sie ausschliesst, dass bei der Imbibition Lageänderungen der kleinsten Teile auftreten, wobei ja der Pleochroismus leiden oder gar verschwinden müsste. Übrigens erscheint die Doppelbrechung des Schmelzes durch Einlagerung des Kongorots gesteigert.

Zum Schluss möchte ich noch kurz auf die schönen Dispersionserscheinungen hinweisen, die der junge Zahnschmelz (des Elefanten — an menschlichem Schmelz sah ich sie nicht so auffallend —) in gewöhnlichem Lichte zeigt. Bringt man ihn in Thouletsche Lösung, so erscheint er im durchfallenden Licht (Hellfeld) unter dem Mikroskop so kräftig bräunlich-gelb, dass ich beim ersten Anblick dieses Phänomens an eine wirkliche Färbung (etwa durch eine Jodverbindung) dachte. Prüft man die Farbe aber bei schräger Beleuchtung oder im Dunkelfeld (auch bei auffallendem Licht), so erscheint der Schmelz nunmehr bläulich-weiss. Ähnlich beobachtet man bei Imbibition mit Schwefelkohlenstoff oder Zimtaldehyd: im Hellfeld gelbe, im Dunkelfeld leuchtend blaue Farbe des Schmelzes. In dem schwächer brechenden Salicylaldehyd dagegen erscheint umgekehrt der Schmelz im Dunkelfeld bräunlich-gelb, im Hellfeld bläulich. Man sieht also, dass auch dieses Phänomen vom Brechungsindex des Imbibitionsmittels abhängt, und zwar sind die Farben am kräftigsten in solchen Flüssigkeiten, die ungefähr denselben Brechungsindex wie der Zahnschmelz haben. Die Erklärung dieser Erscheinung wird wohl so zu geben sein, dass diejenigen Wellenlängen, für welche Gleichheit des Brechungsindex von Schmelz und Imbibitionsflüssigkeit besteht, durch die Feinstruktur der Prismen nicht abgelenkt werden, wohl aber jene, für welche Unterschiede im Brechungsindex vorhanden sind. Die letzten kommen im Dunkelfeld rein zur Geltung<sup>1)</sup>; das unabgelenkte durchgelassene Licht aber wiegt bei der Farbe des Objektes im Hellfeld über. Die Farbe im Hellfeld und Dunkelfeld ist daher komplementär.

Die Abhängigkeit der genannten Erscheinungen vom Brechungsindex der imbibierenden Flüssigkeit tritt noch überzeugender hervor bei folgendem Versuch: Man bringt auf einen Objektträger

---

1) Vgl. M. Berek, Über selektive Beugung im Dunkelfeld und farbige Dunkelfeldbeleuchtung, Z. f. Mikr. Bd. 38, 1921, S. 237.



ein kleines rundliches Häufchen Schmelz und durchtränkt es mit einem kleinen Tropfen Thouletscher Lösung; dann legt man ein Deckglas auf, stellt das Präparat mit schwacher Vergrößerung unter dem Mikroskop und zwar im Dunkelfeld<sup>1)</sup> (oder bei stark schiefer Beleuchtung) ein, weil die Farbenercheinungen hier viel kräftiger sind als im Hellfeld. Nun fügt man am Rande des Deckglases so viel Wasser zu, dass das Objekt allseits von ihm umgeben ist. Es bildet sich dann bald im Objekt eine ringförmige peripherische Zone, in der Thouletsche Lösung und Wasser sich mischen, wobei der Brechungsindex des Gemischs, das aussen an reines Wasser, innen an konzentrierte Thouletsche Lösung grenzt, von innen nach aussen im Objekt allmählich von 1.71 bis 1.33 absinkt. In dieser Mischzone beobachtet man nun eine kontinuierliche Folge farbiger Ringe, die in dem Maße, wie die Verdünnung der Thouletschen Lösung nach der Mitte des Objektes fortschreitet, sich verengern und schliesslich verschwinden. Die Folge der Farben in der Ringzone ist von innen nach aussen gerechnet: bläulich weiss (reine Thouletsche Lösung), bläulich, tief blau, rotviolett, bräunlich gelb, gelblich, weiss (in Wasser). Mit zunehmender Verdünnung der Thouletschen Lösung tritt Gleichheit des Brechungsindex zwischen Objekt und imbibierender Flüssigkeit nach einander für die einzelnen Farben des Spektrums ein und zwar in der Richtung von rot nach blau; die komplementäre Farbe wird dann jeweils abgebeugt und bestimmt die Farbe des Objektes im Dunkelfeld. Besteht Verschiedenheit der Brechungsindices von Objekt und Imbibitionsflüssigkeit für alle Farben, wie in reinem Wasser, so werden alle Farben abgebeugt und das Objekt erscheint weiss im Dunkelfeld.

Im Gebiet der farbigen Ringe ist der Schmelz (Prüfung im Hellfeld) durch starke negative Doppelbrechung ausgezeichnet, was ja verständlich ist, weil in ihm der Brechungsindex von Schmelz und Flüssigkeit annähernd ausgeglichen ist, also die Eigendoppelbrechung zutage tritt.

Natürlich kann man ähnliche Versuche auch mit anderen Flüssigkeiten anstellen, z. B. mit Zimtaldehyd, der mit Alkohol verdünnt wird. Die Farbenercheinungen werden um so reiner ausfallen, je grösser die Unterschiede in der Dispersion von Flüssigkeit und Schmelz sind. Flüssigkeiten von vergleichsweise geringer

1) Die gewöhnlichen Dunkelfeldkondensoren besitzen ein zu kleines erleuchtetes Feld, um einen grösseren Bezirk überschauen zu lassen. Für den genannten Versuch muss man daher eine Zentralblende geeigneten Durchmessers im Abbe-Kondensor oder den Zeiss'schen Planktonkondensor verwenden. Am einfachsten ist es, bei schiefer Beleuchtung zu arbeiten; es genügt, ein schwarzes Kartonstück dicht unter dem Kondensor von einer Seite her einzuführen.

Dispersion z. B. Zedernöl, deren Brechungsindex an sich geeignet wäre, bieten sie also nicht dar.

### Zusammenfassung.

1. Stärke und Charakter der Doppelbrechung des jungen, noch schneidbaren Zahnschmelzes (von Elefant und Mensch) ist eine Funktion des Brechungsindex der Flüssigkeit, mit welcher er durchtränkt wird. Mit steigendem Brechungsindex der Imbibitionsflüssigkeit (begonnen mit Wasser,  $n = 1.33$ ) geht sein optischer Charakter (immer auf die Prismenlänge bezogen) allmählich aus positiv in negativ, dann wieder in positiv über. Positiv ist der junge Zahnschmelz bei Imbibitionsmedien von einem Brechungsindex von 1 (Luffterfüllung) bzw. 1.33 bis ungefähr 1.49, negativ von 1.49 bis etwa 1.71, bei noch höherem Brechungsindex (geprüft bis ungefähr 2) wieder positiv. Die Umkehr des optischen Charakters in den Gebieten annähernder Isotropie (bei 1.45 und 1.71) vollzieht sich beide Male durch eine Folge anomaler Farben.

2. Diese Befunde nötigen zur Annahme des Zusammenwirkens einer mit der Differenz der Brechungsindices von Schmelz und Imbibitionsflüssigkeit wachsenden positiven, strukturell bedingten Doppelbrechung und zwar Stäbchendoppelbrechung mit einer negativen, vom Brechungsindex unabhängigen Eigendoppelbrechung des Zahnschmelzes. Hat die Imbibitionsflüssigkeit den gleichen Brechungsindex wie der Zahnschmelz (ca. 1.62), so wird die Stäbchendoppelbrechung beseitigt und die Eigendoppelbrechung tritt rein hervor. In allen übrigen Fällen konkurrieren positive Stäbchen- und negative Eigendoppelbrechung, wobei die negative Eigendoppelbrechung nur vermindert, aufgehoben (völlig nur in monochromatischem Licht möglich!) oder überkompensiert werden kann.

3. Bei solcher Deutung des optischen Befundes muss eine Zusammensetzung des Zahnschmelzes aus kleinen (submikroskopischen) stäbchenförmigen, untereinander und zur optischen (und damit ungefähr auch zur morphologischen) Achse der Prismen parallel geordneten Teilchen angenommen werden, die an sich doppelbrechend, also kristallin sind und daher mit Nägeli als Micelle bezeichnet werden können. Die Micelle bestehen aus den Kalksalzen, die den Schmelz aufbauen.

4. Für eine solche „Faser“struktur des Schmelzes lassen sich an den Prismen des Elefanten auch überzeugende mikroskopische Befunde, nämlich nadeliger Aufbau, ins Feld führen. Auch bei dem Schmelz des Menschen (und anderer Säuger), dem gemäss dem optischen Befund ebenfalls Faserstruktur zugesprochen werden muss, sind mikroskopisch wahrnehmbare Anzeichen solchen Feinbaues bekannt.

5. Mit der fortschreitenden Einlagerung neuer Kalkteilchen zwischen die bereits vorhandenen verliert der Schmelz im Laufe der Entwicklung allmählich seine Porosität und Imbibitionsfähigkeit und also auch den Charakter eines Mischkörpers im Sinne von O. Wiener, der die Grundlage für die Entstehung der Stäbchendoppelbrechung abgab. Die negative Doppelbrechung des fertigen Schmelzes ist also seine rein zutage tretende Eigendoppelbrechung.

6. Die beim Schmelz erwachsener Beuteltiere, gelegentlich auch anderer Säuger beobachtete positive Doppelbrechung ist, wie Imbibitionsversuche lehren, auf Bestehenbleiben der Porosität, also Überwiegen positiver Stäbchendoppelbrechung zurückzuführen.

7. Die positive Doppelbrechung, die fertiger Schmelz durch Glühen erhält, ist wahrscheinlich durch das Entstehen einer Porenstruktur bedingt.

8. Gleich anderen tierischen Fasern können auch die jungen Schmelzfasern durch Färbung und Behandlung mit Gold- und Silber-salzen pleochroitisch gemacht werden.

9. Im gewöhnlichen Licht zeigt der junge Schmelz (des Elefanten) sowohl im Hellfeld wie im Dunkelfeld auffällige Dispersionserscheinungen bei Durchträngung mit Flüssigkeiten von annähernd gleichem Brechungsindex wie dem des Schmelzes.

10. Aus Gründen der Analogie kann es als wahrscheinlich gelten, dass die Erdsalze im Knochen und Zahnbein gleich den anorganischen Salzen im Schmelz als (parallel den kollagenen Fasern geordnete) submikroskopische Kriställchen (vielleicht einer apatitähnlichen Verbindung) vorliegen.

---

### Widmung.

Als ein bescheidenes Zeichen meiner Verehrung widme ich die vorstehende Abhandlung (welche ich, insbesondere nach der morphologischen Seite erweitert und mit Abbildungen ausgestattet, an anderer Stelle ausführlicher zu veröffentlichen gedenke) dem Nestor unter den Histologen deutschen Sprachgebiets

Herrn Professor Dr. V. v. Ebner in Wien,  
der die Erscheinung entdeckte, von der diese Untersuchung ausging, und manches Meisterstück feinsinniger und gedankenreicher mikroskopischer Forschung schuf und

Herrn Professor Dr. H. Ambronn in Jena,  
der in einer Zeit, als polarisationsmikroskopische Untersuchungen in der Biologie kaum Beachtung fanden, unbeirrt an ihnen festhaltend die strukturell bedingte Doppelbrechung organisierter Substanzen von ihrer Eigendoppelbrechung sondern lehrte und so unser Verständnis von ihrem Feinbau wesentlich vertiefte.

---

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1925

Band/Volume: [80](#)

Autor(en)/Author(s): Schmidt W. J.

Artikel/Article: [Doppelbrechung und Feinbau des Zahnschmelzes. A001-A019](#)

