

Beiträge zur biologischen Kristallographie.

iii. inhomogenität und Pseudohomogenität bei organischer und anorganischer Materie.

Von **Friedrich Rinne**, Freiburg i. Br.

1. Einleitung.

BACKHUIS ROOZEBOOM nennt ein System homogen, „wenn es in allen seinen mechanisch isolierbaren Teilen die gleiche chemische Zusammensetzung und dieselben physikalischen und chemischen Eigenschaften“ besitzt. Es ist nicht zu verkennen, daß sich eine solche Homogenität, wie auch ROOZEBOOM alsbald hinzufügt, „nur in Anbetracht der Kleinheit der Moleküle und der Grobheit der Beobachtungsmittel“ ergibt. Abgesehen von der elektrischen Elementarsubstanz aller Materie besteht ja streng genommen in der realen Welt keine Homogenität. Die Stoffe sind, weil feinbaulich diskontinuierlich, inhomogen. Sie erscheinen homogen bei einer im Verhältnis zu ihrer Struktur allzu groben Beobachtung, so beim mikroskopischen Studium von Objekten, deren Teilchen kleiner sind als die halbe Wellenlänge des angewandten Lichtes, und dem Beschauer Kontinuität vortäuschen, oder beim Anblick selbst sehr grob inhomogener Gebilde aus zu großer Entfernung, wie beim Betrachten gleichmäßig hell erscheinender Flecke am nächtlichen Himmel, die sich erst bei der Sicht mit einem starken Fernrohr als Haufen vieler Einzelsterne erweisen. Entsprechend haben die Untersuchungen irdischer Materialien mit dem Spektrographen, dem Ultramikroskop und dem Röntgenoskop, im Verein mit den Deutungen der Linienserien und Beugungseffekte, die Domäne des Inhomogenen immer weiter in das Reich der Kleindimensionalität ausgedehnt, einschließlich der Kerne von Atomen mit der Ordnungszahl > 1 , also vom Helium an. Unerkannt, ob homogen oder inhomogen, sind lediglich das Elektron und Proton H^+ .

Der Grundsatz einer Inhomogenität der Stoffe ändert sich auch nicht bei wellenmechanischer Auffassung, insofern im Sinne letzterer die Korpuskeln der Atome Teilchen vorstellen, die von der Wahrscheinlichkeitswelle in denjenigen Bezirken gehalten werden, wo die Wellenamplituden von Null abweichen. Es bleibt also auch dann beim Diskontinuum.

Logischerweise darf somit in Strenge ein körperliches Gebilde nicht homogen genannt werden. Indes kommt dieser Ausdruck, bei

stillschweigender Voraussetzung, daß es sich im Grunde stets um Pseudohomogenitäten handelt, einem praktischen Bedürfnis entgegen. Eine exakte Formulierung einer solchen „Homogenität im Diskontinuum“ liegt indes, wie P. P. EWALD¹ erörtert, erst bei folgenden präzisierenden Angaben vor.

1. Bezeichnung des Volumelementes, auf das sich solch erweiterter Homogenitätsbegriff beziehen soll;
2. Vermerk derjenigen Eigenschaften und
3. der Mindestzeit, für welche Homogenität besteht;
4. Aussage über die Meßgenauigkeit.

Es hängt letztere natürlich mit der Methodenauswahl zusammen. Während bei Untersuchungen über stoffliche Inhomogenitäten chemische Verfahren in erster Linie verwandt werden, steht bei den entsprechenden physikalischen Angelegenheiten (die vielfach zugleich chemische Bedeutung haben) die optische Methode im Vordergrund. Ihre instrumentellen Variationen, namentlich hinsichtlich der Vergrößerungen, geben schon eine zumeist ausreichende Vorstellung von den Minimaldimensionen des dem gegebenen Falle zugrunde liegenden Volumelementes. In dem Sinne erscheinen die unmittelbar verständlichen Ausdrücke wie makroskopisch, mikroskopisch, ultramikroskopisch und leptoskopisch² homogen bzw. inhomogen zweckmäßig, ebenso die entsprechenden Bezeichnungen Makrosom, Mikrosom, Ultramikrosom und Leptosom für die Minimalkörper bei der in Betracht kommenden Methode. Die entsprechenden Zahlen sind etwa 0,1 mm, 0,0002 mm, 0,000001 mm, 0,000000001 mm. Eine wesentliche Rolle spielt bei den Erkennungsmöglichkeiten, wie allbekannt, außer der Photographie die Anwendung des polarisierten Lichtes zumal bei mikroskopischen Untersuchungen.

Von bedeutendem Interesse sind weiterhin die Ausführungen K. WEISSENBERG's³, über die Arten der im erweiterten Sinne gedachten Homogenität. Er behandelte die einschlägigen Umstände im Rahmen der Symmetriehlehre unter Benutzung von Koordinatensystemen und unterschied Homogenitäten periodischer und statistischer Art, wofür einerseits die Besetzung einer Linie mit Punkten in gleichen Abständen, andererseits eine solche von sehr langer Erstreckung mit unregelmäßig verteilten Punkten gehört. Die Raumgitterstruktur der Kristalle rechnet natürlich zur periodischen Homogenitätsart.

¹ P. P. EWALD, Zs. f. Krist. 79. 299. 1931.

² λεπτός = fein, zart; danach die international verständlichen Ausdrücke Leptosomen (kürzer Leptonen) = Feinbauteile; leptonisch = feinbaulich; Leptologie = Feinbaulehre.

³ K. WEISSENBERG, Zs. f. Phys. 34. 406. 1925, auch Ann. Phys. 69. 409. 1922. Vgl. auch A. JOHNSEN, Unterschied von Mineralien und Lebewesen. 1930. 28.

2. Feinbauelemente und Entelechie.

Die Inhomogenität aller Materie, diese Gemeinsamkeit des Grundwesens der Stoffe, in dem Sinne, daß sie sich aus den gleichen Feinbautypen der Atome und Moleküle zusammensetzen, ist für den Vergleich der organischen und anorganischen Gebilde von bedeutsamster Wichtigkeit, denn es erhellt daraus, daß beide Materialengruppen von den nämlichen physikalisch-chemischen Gesetzen beherrscht werden. Ein besonderes Bauelement für die Wirkung durch eine überchemische und überphysikalische Entelechie, wie sie der Vitalismus bei den Organismen voraussetzt, ist nicht bekannt. Solche Entelechie, die nach H. DRIESCH'S Worten „nicht Energie, nicht Kraft, nicht Intensität, nicht Konstante, sondern — Entelechie“ ist, die keine quantitativen Eigenschaften besitzt, „nicht im Raume, sondern in den Raum hinein“ wirkt, aber die Fähigkeit haben soll, ein anorganisches Geschehen zu suspendieren oder zuzulassen, die also imstande sein müßte, die Wirkung der Gravitation, der Wärme, der Elektrizität, des Lichtes und anderer Naturfaktoren zurückzuhalten und wieder freizulassen, „je nachdem sie es nötig hat“ oder „wie es ihren Zwecken entspricht“, ein solcher Faktor entzieht sich nach meinem Dafürhalten einer naturkundlichen Überlegung über den Grundzug des Organischen und Anorganischen hinsichtlich feinbaulicher Ordnung. Gleichermassen scheidet die von H. DRIESCH angenommene „polar-bilaterale intime Struktur“ des Plasmas hier aus als bloße, durch kein naturkundliches Mittel erwiesene Annahme⁴.

3. Organische sowie anorganische Materie und die Aggregatzustände.

Falls von den EWALD'schen Volumelementen solche zugrunde gelegt werden, die größer als Atome und Moleküle sind, gelangt man zu Objekten, auf welche der Begriff des Aggregatzustandes (der für Atome und Moleküle ausfällt) anwendbar ist, also zu den gasigen, flüssigen und festen Massen. Allbekannte Erfahrungen zeigen, daß diese drei allgemeinen Typen der Stoffe sich sowohl im Organischen als auch im Anorganischen vorfinden, bei ersterem unter quantitativer Bevorzugung des Flüssigen, ganz besonders im Bau der Bewohner des Wassers. Enthalten doch z. B. die ausgewachsenen Froschlarven an 93 %, Meeressalgen und Quallen bis 98 % H_2O ; sie unterscheiden sich also chemisch nur wenig vom Medium, in dem sie schwimmen. Immerhin besteht auch der Landbewohner Mensch zu sehr beträchtlichen Anteilen aus Wasser, nämlich aus 58—65 %, als Embryo im dritten Monat sogar aus 94 % H_2O .

⁴ Weitere Vermerke über das vermeintliche Eingreifen der Entelechie in die naturkundliche Ordnung, gleichwie über naturphilosophisch-anorganische, speziell auch kristallographische Angelegenheiten bei: F. RINNE Grenzfragen des Lebens, besonders Abschn. 26/27. S. 113—121. 1931

Eine weitere Gemeinsamkeit des Organischen und Anorganischen im Rahmen vorliegender Betrachtung tritt in den Strukturen heraus, die zu den drei Aggregatzuständen gehören. Es handelt sich dabei um 1. amorphen (besser ataxitischen oder ataxen), 2. parakristallinen (weniger gut mesomorphen) und 3. kristallinen Feinbau mit den Kennzeichen 1. wirrer, 2. in einer Richtung paralleler und 3. dreidimensional periodischer Einstellung der Feinbauteile zueinander, die zudem im Temperaturbereich (über -273° C) sich in ständiger Bewegung befinden. Diese Bauarten und die Aggregatzustände fallen nicht zusammen. Die erstgenannte Struktur ist bei allen Aggregatzuständen zu finden, die zweite beim flüssigen und festen, die dritte bei letzterem, gelegentlich wohl auch bei flüssiger Materie. Im übrigen ist es von naturkundlicher Bedeutung, daß diese drei Gefügearten sowohl im Organischen als auch im Anorganischen vertreten sind.

Der spezielleren Betrachtung dieser Umstände dient das Folgende.

4. Gasige und flüssige Stoffe.

a) Isotrope Gase und isotrope Flüssigkeiten.

Alle normalen Gase sind in Ansehung der, feinbaulich gedacht, durchschnittlich weiten Abstände ihrer Teilchen durch praktische Unabhängigkeit dieser Partikel voneinander gekennzeichnet. Das macht ein jedes Gas zur intussuszeptionellen Aufnahme beliebiger anderer Gase in allen Mengenverhältnissen, also zu weitgehenden chemischen Variationen, fähig. Von hierhergehörigen anorganischen Naturobjekten zeigt die Atmosphäre solche chemische Komplikation in hohem Maße, wozu nicht nur der Bestand aus vielen Gasarten, wie N_2 , A, O_2 , H_2 , CO_2 , H_2O u. a. m., sondern in den tieferen Lagen der Lufthülle auch eine zugleich physikalische Inhomogenität zufolge wässriger und schneeiger Wolkenballungen, sowie unzähliger staubförmiger, anorganischer und organischer, insbesondere bakterieller Teilchen beiträgt. Dazu kommen die physikalischen Ungleichmäßigkeiten der Erwärmung und stratosphärischen Strömungen, die zusammen mit den schon erwähnten Umständen die Lufthülle der Erde zu einer im strengen Sinne ausgeprägt inhomogenen anorganischen Natureinheit machen.

Im allgemeinen entsprechendes gilt für die Flüssigkeiten und für die Hydrosphäre im besonderen. Immerhin macht sich beim flüssigen Aggregatzustande die engere Nachbarschaft der Feinbauteilchen nicht nur durch Viskosität, sondern auch durch geringere Mischbarkeit geltend, wobei hinsichtlich der feinbaulichen Vermengung die chemische Verwandtschaft neben dem Wärmegrad eine maßgebende Rolle spielt. Von großem Interesse bezüglich des Inhomogenitätsverhältnisses ist der „kritische Zustand“ (in welchem sich Flüssigkeit und Gas nicht unterscheiden) durch die Häufigkeit ört-

licher Ungleichmäßigkeiten der Aggregation, die sich durch ein Opaleszieren des Materials verraten.

b) Autonom anisotrope Flüssigkeiten und Gele.

Die hier zu würdigenden „flüssigen Kristalle“ besitzen als einheitliche Substanz jeweils eine chemische Homogenität, was natürlich eine Mischbarkeit untereinander und auch mit ihnen unverwandten Stoffen nicht ausschließt. Die Erfahrungen von O. LEHMANN, D. VORLÄNDER und besonders von R. SCHENCK bestätigen das.

In feinbaulicher Hinsicht tritt bei den in Rede stehenden Stoffen eine im Vergleich zu den gewöhnlichen Flüssigkeiten erhöhte Gleichmäßigkeit zufolge molekularer Parallelrichtung auf. Seit den klassischen Untersuchungen von D. VORLÄNDER ist es bekannt, daß für eine solche Bündelung der Feinbauteile deren langgestreckte Gestalt wenn auch nicht die durchgreifende Bedingung, so doch einen ganz besonders günstigen Umstand vorstellt. Die für flüssige Kristalle kennzeichnende Doppelbrechung ist die Folge dieser Parallelisierung der an sich bereits anisotropen Moleküle. Eine Vorstufe der flüssigen Kristalle sind die Häutchen, z. B. von Fettsäuren. Diese zickzackförmig langgestreckten Moleküle $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ regeln sich zueinander nach HARDY, LANGMUIR und HARKINS in gleichmäßig senkrechter oder schiefer Stellung ihrer Hauptbau- richtung zur Oberfläche des Wassers, in welches ihr (COOH)-Ende eintaucht. Auch bei den flüssigen Kristallen vollzieht sich die in Rede stehende, weitgreifende homogenisierende gegenseitige Ausrichtung, wie G. und E. FRIEDEL an aufgehängten Tropfen besonders überzeugend nachwiesen, völlig selbständig, „im eigenen stofflichen Felde“, wenn auch die Wärmebewegung die Gleichmäßigkeit der Lagerung gelegentlich deutlich stört. Besonders hübsch tritt das zwischen gekreuzten Nicols orthoskopisch in dem von MAUGUIN geschilderten örtlichen „Wackeln der optischen Achse“ aufgerichteter flüssiger Kristalle durch das lokale Funkeln der im allgemeinen isotrop erscheinenden Aggregate heraus. Es scheint mir diese Erfahrung für die Beurteilung der Struktur flüssiger Kristalle von Bedeutung zu sein. Da BROWN'sche Bewegung in üblicher Auffassung durch den Stoß freier, autonom beweglicher Moleküle auf gröbere, etwa kolloiddimensionierte oder mikroskopische Teilchen hervorgerufen wird, so geben die obigen Beobachtungen an nematischen flüssigen Kristallen Anlaß zur Vorstellung von örtlich und zeitlich wechselnden Lockerstellen, deren freie oder weniger assoziierte Moleküle den Bewegungseffekt hervorrufen. Ihre stark erhöhte Mobilität überträgt sich durch Stoß örtlich auch auf geregelte Nachbarpacken⁵.

⁵ Vgl. auch Wo. OSTWALD, Zs. f. Krist. 79. 246. 1931.

Die röntgenographischen Studien von W. KAST⁶ am Paraazoxy-anisol im magnetischen Felde und die anschließenden bestätigenden Untersuchungen von P. W. GLAMANN, K. HERRMANN und A. H. KRUMMACHER⁷ am selben Material, sowie die Forschungen der beiden letztgenannten⁸ am Phenetolazoxybenzoesäureäthylester haben erwiesen, daß die isotrope Schmelze ihre stark wärmebewegten Moleküle auch im kräftigen magnetischen Felde in wirrer Dispersion erhält. Debye-Scherrer-Ringe einer Ordnungszahl sind der Beweis dafür. Diese Beugungserscheinung reduziert sich, wenigstens in ausgeprägten Fällen, zu scharfen Sichelrn beim Einsetzen der nematischen Phase, und zwar regeln sich die Teilchen parallel den Kraftlinien des magnetischen Feldes. Die erwähnten Lockerstellen machen sich nicht mehr geltend. BROWN'sche Bewegung fehlt den geligen, smektischen Substanzen wenigstens zumeist. Ihr straffer geregelter Feinbau kommt zudem oft durch individuelle längliche Formentwicklung zum Ausdruck. Sonstige Anklänge an Raumgittergebilde liegen bei solchen smektischen Modifikationen, wie bekannt, in der translationsähnlichen Verschiebbarkeit nach Ebenen senkrecht zur optischen Achse und in einfachen Linienspektren vor, die G. und E. FRIEDEL⁹ an Gemischen von Azoxybenzoesäureäthylester mit ein wenig der entsprechenden Zimtsäureverbindung erzielt haben.

Im Beitrag I zur biologischen Kristallographie in diesem Cbl. A. 1931, Nr. 7, S. 233 konnte ich ausführlich erweisen¹⁰, daß bei gewissen Spermien geliger parakristalliner Stoffe organische Beispiele vorliegen, wie ja auch sonst „flüssige Kristalle“ insbesondere in den animalischen Lipoiden bei Organismen verbreitet sind. Im übrigen stellen viele künstliche parakristalline Stoffe insofern Analogien zum parakristallinen Chromatin von Spermien vor, als sie nicht durch Schmelzung von festkristallinem Material, sondern als Ausscheidung aus wässrigen Lösungen bei niedriger Temperatur entstehen¹¹. Als Beispiele seien die Bromphenanthrensulfosäure, Salvarsan und Benzopurpurin genannt.

c) Zwangsweise anisotrope Flüssigkeiten.

Dem Gefüge der flüssigen Kristalle entspricht im feinbaulichen Grundzuge, wie bekannt, die zwangsmäßige Homogenisierung von Flüssigkeiten, indes dauert dieser Effekt immer nur so lange an, wie der von außen kommende Einfluß. Die Verknüpfung der Teilchen

⁶ W. KAST, Ann. Phys. 83. 418. 1927. Zs. f. Krist. 79. 315. 1931.

⁷ P. W. GLAMANN, K. HERRMANN und A. H. KRUMMACHER, Zs. f. Krist. 74. 73. 1930.

⁸ K. HERRMANN und A. H. KRUMMACHER, Zs. f. Krist. 79. 134. 1931.

⁹ G. u. E. FRIEDEL, Zs. f. Krist. 79. 325. 1931.

¹⁰ Vgl. auch F. RINNE, Naturwissenschaften 1930, 83 und das besondere Werk: Grenzfragen des Lebens. Abschn. XIV. 59. 1931.

¹¹ Ausführlichere Darlegungen in einem weiteren Beitrag.

ist also, wie D. VORLÄNDER eindringlich hervorhebt, nicht wie bei den flüssigen Kristallen assoziativ. Es wurde bislang auch keine Relaxationszeit vorgefunden. Dahin gehört der durch elektrische Feldwirkung gekennzeichnete, an vielen Stoffen festgestellte K e r r - e f f e k t. Er liefert zeitweise Zwangsparallelisierungen mit charakteristischer, bei den Karolus'schen Bild-Fernübertragungen ausgenutzter Doppelbrechung. Sie ist bei niedrigen Temperaturen am stärksten, zum Zeichen, daß die dann verringerte Molekularbewegung es gestattet, eine größere Anzahl von Teilchen in Form von Zügen im noch wirt gebauten Rest zu parallelisieren als es bei höheren Wärmegraden geschieht.

Auch durch Bewegung sich reibender Flüssigkeiten kann man, wie zunächst besonders A. KUNDT¹² erkannte und danach andere Forscher¹³ an mannigfachen Beispielen beobachteten, eine Zwangsparallelisierung der Feinbauteilchen in mehr oder minder großem Ausmaße erzielen, was sich als „Strömungsdoppelbrechung“ bekundet. Aus der Lage der Auslöschung ist zu erschließen, daß die Moleküle sich mit einer Hauptbaurichtung unter 45° zur Tangente der zirkulären Bewegung lagern; bei sehr schneller Rotation von Eiweißgemischen fanden R. SIGNER und G. BOEHM (l. c.) indes tangentielle Einstellung. Die Doppelbrechung ist um so kräftiger, je mehr Teilchen zufolge verstärkter Umdrehungszahl der Apparatur eingeregelt werden.

Auch in zahlenmäßiger Hinsicht erscheinen mir die erwähnten Versuche von R. SIGNER und G. BOEHM von großem Interesse; sie erweisen, daß schon 1 % parallelisierbarer Teile optische Anisotropie wenn auch erst schwachen Ausmasses hervorrufen können. Im gleichen Sinne sind die von D. VORLÄNDER (l. c.) studierten Strömungsdoppelbrechungen an Mischungen bedeutsam. Die Optik erweist sich auch hier als ein sehr empfindliches Hilfsmittel, das nicht selten der röntgenographischen Methode überlegen ist¹⁴.

Aus all diesen Umständen zwangsweiser molekularer Parallelisierung läßt sich nach meinem Dafürhalten eine bemerkenswerte Schlußfolgerung ziehen, insofern hier, wie auch in Ansehung der BROWN'schen Bewegung ein Hinweis darauf vorliegt, daß eine Doppelbrechung flüssiger Stoffe nicht absolut erweist, daß alle Teilchen der betreffenden Substanz parallelisiert sein müssen, was natürlich bei flüssigen Kristallen gleichfalls, besonders bei

¹² A. KUNDT, *Annal.* **13.** 110. 1881 und Arbeiten seiner Schüler in derselben Zeitschrift.

¹³ D. VORLÄNDER und Mitarbeiter in *Zs. f. phys. Chem.* **118.** 1. 1925 und **152.** 47. 1931; R. SIGNER, *Zs. f. phys. Chem.* **150.** 257. 1930; auch R. SIGNER und G. BOEHM, *Ber. d. d. Chem. Ges. u. Zentralbl. f. Biol.* 1931 (im Druck).

¹⁴ F. RINNE, *dies. CBl. A.* 1925. S. 225. 1927. S. 1. *Zs. f. Krist.* **63.** 236. 1926.

Mischungen, speziell auch bei Spermien in Betracht kommen könnte und weiteren willkommenen Spielraum für einen Aufbau aus einer Mannigfaltigkeit von Stoffen gewährt.

Immerhin weist sehr hohe Doppelbrechung bei künstlichen flüssigen Kristallen und beim Chromatin der Spermien auf einen mindestens sehr großen Anteil parallelisierter Moleküle hin.

5. Kolloide.

a) Organische Kolloide.

Die Grundsubstanz alles Organischen, das Plasma, ist schon durch ihren wesentlichsten Bestandteil, das Eiweiß, als kolloides Material gekennzeichnet. Seine „fest-flüssige“ Konsistenz wechselt mit vielen Abstufungen; es hat die Eigenschaft zu fließen, besitzt andererseits eine mehr oder minder ausgeprägte Elastizität, so daß Deformationen sich öfter nur langsam wieder ausgleichen. Unter dem Mikroskop erkennt man nach dem Ausdruck RHUMBLER's ein S p u m o i d g e f ü g e mit gasigen, flüssigen und auch festen Bestandteilen. Das Ultramikroskop zeigt an klarem Plasma ein typisch kolloides Bild mit dispergierten flüssigen und festen Teilen in einem flüssigen Dispersionsmittel, also zugleich einen Emulsions- und Suspensionskomplex, an welchem sich mehr oder minder deutlich BROWN'sche Bewegung auswirkt. Alles analytisch Chemische, zusammen mit den physikalischen Eigenschaften zu quellen und andererseits zu koagulieren, ev. synäretisch mit beträchtlicher Ausscheidung eines Sols aus dem kolloiden System, macht das Plasma zu einem ausgeprägt labilen System. Dazu kommt, daß es als vielphasiges Kolloid mit seinen in summa gewaltig großen inneren Grenzflächen so recht zu Adsorptions- und Katalysator-geschehnissen geeignet ist¹⁵. Es wird dadurch, wie Wo. OSTWALD vermerkt, zu einem ausgezeichneten, physikalisch-chemischen Tummelplatz für komplizierte, nebeneinander herlaufende Reaktionen. Ersichtlich hat es, wie auch künstliche Mischungen von Kolloiden¹⁶ zeigen, die Fähigkeit, sich gewissermaßen in viele kleine Laboratorien zu differenzieren.

b) Anorganische Kolloide.

Es interessiert nun, zu erfahren, ob sich im Anorganischen analoge Bildungen und Geschehnisse zeigen. Das ist in weitgehendem Maße der Fall. Das ungemein anregende, sehr bekannte Werk von Wo. OSTWALD „Die Welt der vernachlässigten Dimensionen“ und

¹⁵ Ein Würfel mit einer Kantenlänge $a = 1$ cm, in Würfelchen mit $a = 0,1 \mu\mu$ geteilt, erlangt eine Oberfläche, die der eines Würfels von 100 m Kantenlänge, also insgesamt 60 000 qm Oberfläche gleichkommt.

¹⁶ Vgl. die Untersuchungen von M. BEIJERINCK über die mikroskopische Entmischung von Gelatine- und Stärkelösungen in Wo. OSTWALD, Welt d. vernachl. Dimensionen. 9./10. Aufl. 185.

viele ausgezeichnete Lehrbücher im Verein mit der Kolloid-Zeitschrift sind reiche Fundgruben einschlägiger Erkenntnisse.

Es kommen von anorganischen Kolloiden als textuelle Parallelstücke zum Plasma hier Emulsionen, Suspensionen und Schäume in Betracht, für die beispielsweise die künstlichen Emulsionen von Benzol, Phenol oder Gelatine mit Wasser, hinsichtlich der Suspensionen die mannigfachen Metallsole, Kieselgallerte und das Eisenhydroxydgel, schließlich die Schäume, etwa von Luft mit saponinhaltigen Alkoholen und Säuren, genannt seien. Es ist selbstverständlich, daß sich solche künstlichen anorganischen Kolloide physikalisch-chemisch wie die der Organismen verhalten, so hinsichtlich der Morphologie durch Oberflächenspannung, welche letztere zur Herausbildung von hautartigen Hüllen und dahin führt, daß Stoffe, welche diese Spannung verringern, sich an der Tropfenoberfläche konzentrieren. Bedeutsam für die Vergleiche zwischen niederen Organismen und anorganischen Stoffen sind auch die vielberedeten *Bewegungserscheinungen*, z. B. von Kampfer auf Wasser und der flüssigen Kristalle, wie des Paraazoxyzimtsäureesters, bei denen als wirksame Umstände ein Wechsel der Oberflächenspannung wahrscheinlich ist¹⁷. Die gleiche Labilität wie bei organischer Materie hat bei der Verwandlung von anorganischen Solen in Gele und umgekehrt, also bei ihrer *Koagulation* und *Peptisation*, statt. Insbesondere führt der bedeutsame Umstand, daß viele Eigenschaften, wie z. B. Durchsichtigkeit bzw. Trübung, Viskosität, Härte, ein Maximum oder Minimum bei kolloider Dispersität erreichen¹⁸, zur Parallelisierung anorganischer Umstände mit solchen der organischen Materie. Die ungemein bedeutsamen *O. WARBURG'schen* Atmungs- und Narkotisierungsmodelle unter Benutzung der eisenhaltigen Blutkohle mögen als Beispiel dafür dienen¹⁹. Immer mehr hat sich gezeigt, daß die organischen Enzyme ihr Analogon in anorganischen Katalysatoren haben, die in der chemischen Technik eine so außerordentlich große Rolle spielen. Auch haben die *BUCHNER'schen* Untersuchungen nachgewiesen, daß die Gärung, wenn

¹⁷ Ausführliche physikalisch-chemische Erörterungen über amöboide Bewegungen bei *L. RHUMBLER*, Zs. f. wiss. Zool. 83. Zusammenfassungen, auch hinsichtlich der im Organischen und Anorganischen mitspielenden elektrischen Verhältnisse in biologischen und physikalisch-chemischen Lehrbüchern. Die Erfahrungen *O. LEHMANN's* an seinen „scheinbar lebenden“ flüssigen Kristallen verdienen zweifellos eine weitere experimentelle und erklärende Würdigung auch im Interesse der Biologie.

¹⁸ *Wo. OSTWALD*, Kolloidchem. Beihefte. 32. 1. 1930.

¹⁹ Vgl. auch die Rektoratsrede von *R. HÖBER*, Das Lebendige als Objekt naturw. Forschung. Kiel 1930; auch sein Lehrbuch, Physik. Chemie d. Zelle u. d. Gewebe. 6. Aufl. Kap. 9 sowie *H. BECHHOLD*, Die Kolloide in Biologie u. Medizin. 5. Aufl. 4. Teil und *R. E. LIESEGANG*, Biologische Kolloidchemie.

auch schwächer, so doch im übrigen ganz gleich verläuft wie bei unbeschädigten Hefezellen, wenn der Saft ihres abgetöteten Materials als Ferment verwandt wird.

Der Überblick all dieser Umstände bei Kolloiden zeigt deutlich, daß in dem Gebiete der Dimensionalität von 10^{-5} bis 10^{-7} cm als dem Hauptfelde der lebenden Substanz, wie es im Plasma vorliegt, ein sehr beachtenswerter baulicher Parallelismus zwischen der organischen und anorganischen Materie und damit hinsichtlich vieler physikalisch-chemischer Umstände vorliegt. Dabei ist zu bedenken, daß die mehrkomponentigen Kolloide entsprechend viele Phasen vorstellen. Das gilt natürlich gleichmäßig für Organisches und Anorganisches. In beiden Fällen ist in den Kolloiden gewissermaßen die beste Gelegenheit zur inhomogenen Mannigfaltigkeit vielphasiger Gebilde gegeben.

6. Feste Stoffe.

Feste ataxe Natur- und Kunstprodukte erscheinen zwar als beträchtliche Massenobjekte, z. B. als vulkanische und künstliche Gläser, immerhin tritt das wirre Gefüge bei festen Materialien doch beträchtlich zurück. Harte parakristalline Stoffe sind nur in gewissen harzartigen Modifikationen als Unterkühlungen flüssiger Kristalle bekannt²⁰. Der Raumgitterbau waltet also bei festen Stoffen vor. So bieten die vielen spezifischen Arten letzterer besonders guten Anhalt, die chemischen und physikalischen Inhomogenitätsverhältnisse am festen Objekt zu studieren.

Verbunden mit der Verdichtung der Materie zu festen Stoffen und den hierbei verstärkten gegenseitigen leptonischen Einflüssen ist die Tendenz zur chemischen Homogenität. Gilt doch mit Recht das Kristallisieren als ein Reinigungsvorgang. Beim Entstehen und Wachsen eines Kristalls hebt, wie ausführlicher von mir bereits in Beitrag II zur biologischen Kristallographie hervorgehoben wurde, dem Wachstum von Organismen vergleichbar, ein Auswählen aus einer eventuell sehr großen stofflichen Mannigfaltigkeit, ferner ein Ummodeln und ein Lokalisieren der Teilchen an. Die feinbauliche stoffliche Inhomogenität der isomorphen Mischungen als VAN'T HOFF'scher fester Lösungen beschränkt sich auf ein Vikariieren von gleichräumigen Atomen, Radikalen und nach H. VEGARD²¹ auch von Molekülen.

Die zarteste physikalische Inhomogenität, auch fester Stoffe, liegt in dem unvermeidlichen Nebeneinander der ge-

²⁰ D. VORLÄNDER, Zs. f. Krist. 79. 346. 1931. Vgl. auch F. RINNE, dies. Cbl. A. 1931. 234.

²¹ H. VEGARD, Naturwissenschaften. 1931. 443.

wichtsverschiedenen, aber chemisch gleichen Isotopen einer Atomart vor.

Im übrigen heben sich im Feinbau als physikalische Ungleichmäßigkeiten, die natürlich, wie alle physikalischen Angelegenheiten, auch chemische Bedeutung haben, bei den Kristallen die bekannten Gliederungen in Baugruppen heraus. Als strukturell gewissermaßen führende Tendenzen interessieren besonders das feinbauliche Parallelstück zur morphologischen Kantenentwicklung, die kettenförmige Gruppierung von Atomen und Atomkomplexen, weiterhin das feinbauliche Flächenmotiv des ebenen Netzbaues, der z. B. bei Graphit und Glimmer die äußere Blättchenform ursächlich begleitet.

Physikalisch inhomogenisierend wirken im übrigen auch die SMEKAL'schen Lockerstellen der Realkristalle, ferner die Zwillingsbildungen, chemisch und physikalisch die durch feinbauliche Anklänge bewirkten gesetzmäßigen Verwachsungen und die gelegentlich in kolloide Dimensionen herabgehenden eutektischen Vermengungen verschiedener Substanzen, LIESEGANG'sche Bänderungen, sowie schließlich die so häufige ursprüngliche Umschließung gasiger, flüssiger und fester Materialien bzw. deren nachträgliche Ausscheidung. An Inhomogenitäten auch im Kristallinen mangelt es also wirklich nicht.

Experimentell ist es oft ein leichtes, die *Inhomogenität* eines Kristalls zu erhöhen, etwa durch mechanische künstliche Zwillingsbildung, allgemein durch Drücken, Ziehen und Verbiegen, andererseits durch ein Erhitzen, das zur örtlichen Stoffausgliederung aus der vorher einheitlichen Phase führt. Ein Tempern von Cementit oder von Spinellen mit Tonerdeüberschuß, das eine Ausscheidung von Kohlenstoff bzw. von Korund mit sich bringt, sind ausgezeichnete Beispiele dafür²². Andererseits lassen sich bei festen Stoffen mancherlei Vorgänge im Sinne der Erzielung höherer Gleichmäßigkeit ins Werk setzen, wofür die mechanische Gefügeregelung, sowie die trockene und flüssige Sammelkristallisation auch technisch bedeutsame Beispiele liefern.

Bei natürlichen festen Stoffen ist schließlich auch eine mehrphasige kolloide *Inhomogenität* eine nicht seltene Erscheinungsform sowohl bei künstlichen Erzeugnissen, wie z. B. dem Goldrubinglas und entsprechend feingebauten Metallegierungen, als auch bei Naturprodukten. Die Verwitterungszone, die sich auf der Oberfläche der Lithosphäre in gewaltigem Flächenausmaße, aber verhältnismäßig geringer Mächtigkeit als z. T. kolloid zusammengesetzte Erdhaut ausbreitet, ist ein Hauptobjekt dafür. Im kleinen Maßstabe stellen blaues Steinsalz, gefärbte Flußspate²³ und pleochroitische Höfe Beispiele vor.

²² F. RINNE, N. Jb. f. Min. Beil.-Bd. 48. A. 43. 1928.

²³ Vgl. L. GOEBEL, Forschungen und Fortschritte. 1930. 463.

7. Großdimensionale Pseudohomogenität.

Die fortschreitende Vergrößerung des der Pseudohomogenität zugrunde gelegten Volumenelementes führt bei festen Stoffen schließlich zu petrographischer und geologischer statistischer Homogenität. Bei vielen technischen Überlegungen wird erstere zugrunde gelegt. Man gelangt zu „quasi-isotropen“ Materialien, wie z. B. Marmor, Sandstein und Granit, und schließlich zu den geologischen Dimensionen der Gesteinsmassen. Eine großzügige, ja erdumspannende tektonische Beanspruchung bringt oft gewissermaßen eine Unbekümmertheit mechanischer Effekte um die Einzelheiten der Erdtextur mit sich, so in Form weithinziehender, vielerlei Gesteine durchsetzender und dennoch im großen ganzen gleichmäßig verlaufender Verwerfungen und im Streichen richtungsbeständiger Faltengebirge.

8. Zeitlich wachsende Inhomogenisierung beim Erdgeschehen.

In allgemein naturkundlicher Hinsicht hat es Interesse, den großen Gang des Erdgeschehens im Sinne der obigen Erörterungen über Gleich- und Ungleichmäßigkeiten der Materie zu überblicken. Es ist mit diesen Vorgängen eine wachsende Inhomogenität verbunden. Astronomische Beobachtungen und irdische Umstände weisen deutlich darauf hin. Möge in der Hinsicht in aller Kürze insbesondere auf EDDINGTON's packende Darlegungen über die feinbaulichen Vorgänge beim Abklingen der ungeheuren Wärmeturbulenz des Sonnenumaterials hingewiesen werden. Es handelt sich um die Wandlung der Materie in strahlende Energie und weiterhin um den Differenzierungsvorgang, der von freien Protonen und Elektronen zur jetzigen Mannigfaltigkeit der Atomarten und ihrer molekularen Aggregate führt. Aus der in hoher Temperatur einst einheitlich gasigen Erde entwickelte sich das heutige, aus drei anorganischen Kugelschalen und einem anorganischen Kern bestehende Erdsystem, dem sich nach langen Zeitläufen eine Biosphäre einschaltete. Sie entstand und entfaltete sich dort, wo das für sie so besonders bedeutsame Flüssige an das Feste und Gasige grenzt (zum Zeichen, daß zwar vor allem das Wasser, schließlich jedoch alle drei Stoffgruppen zu ihrem Bestehen nötig sind), dabei zugleich in derjenigen Erdzone, in welcher sich durch die überraschende Gunst vieler zusammenwirkender Umstände eine um $\pm 0^{\circ}$ C nur wenig schwankende Temperatur vorfand und Jahrmilliarden lang erhielt. Der petrefaktische Bestand in den Sedimenten vom Untercambrium an ist ein sicherer Beweis dafür.

In den so durch Aufteilen der Materie entstandenen Teilstücken der Erde vollzog sich eine weitere Differenzierung. Die Magmen erstarrten, oft unter Absinken schwerer und unter Aufsteigen leichter Mineralien sowie flüchtiger Stoffe, zu einer großen Mannigfaltigkeit fester Stoffe. Im Ungleichgewicht mit ihrer Umgebung wurden diese

Mineralien durch Vorgänge der mechanischen und chemischen Zerstörung in Rückstände und Lösungen zerlegt und zu klastischen und Ausscheidungssedimenten verwandelt. An der Herausbildung ihrer Variationsfülle ist auch die Biosphäre reichlich beteiligt, sei es durch Ablagerungen tierischer Hartgebilde und pflanzlicher Reste, sei es indirekt durch ihren Einfluß auf die Verwitterungsvorgänge und die Art der Sedimente, insbesondere seitens der Pflanzenwelt und zumal nachdem letztere im Laufe der paläozoischen Periode auch das feste Land erobert hatte²⁴. Das organische Reich entfaltetete sich zur jetzigen erstaunlichen Differenzierung in Hunderttausende von Tier- und Pflanzenarten.

Jedoch gilt das Anwachsen solcher Inhomogenität nur für den großen Gang der Dinge, insbesondere bei organischer Materie. Sehr niedrige Gruppen bleiben bestehen und entstehen auch wohl neu. Und so kommt es, daß sich verschiedene Inhomogenitätsstufen, auch in engeren Gruppen, nebeneinander finden, beispielsweise protozoische Amöben in Form einfacher Plasmaklumpchen, Bakterien z. T. selbst ohne deutlichen Kern und anderseits gleichfalls protozoische Wesen mit hoher körperlicher Differenzierung, wie das Infusor *Paramecium caudatum*. Sein Körper gliedert sich mannigfaltig in eine bewimperte, trichozystenreiche Haut, in Mund, Schlund, Vakuolen mit zuleitenden Kanälen und Groß- und Kleinkern, alles in einer einzigen Zelle. Anderseits läßt die paläontologische Kenntnis der Entwicklung und des Niederganges großer Tier- und Pflanzenstämme die Vermutung zu, daß die organische Welt als Ganzes einem Maximum und anschließendem Ausklingen zustrebt.

9. Schluß.

Im Überblick aller obigen Erwägungen ist vor allem hervorzuheben, daß hinsichtlich des Inhomogenitätsgrades zwischen anorganischer und organischer Materie kein durchgreifender Unterschied besteht. Die inhomogenen atomistischen und molekularen Prototypen stellen das feinbauliche Gemeingut aller Materie dar. Organisches und Anorganisches sind also in ihrer intimsten Inhomogenitätsart ident. Ein Vergleich der aus den Urtypen zusammengesetzten Reihen ergibt natürlich am ehesten Erfolg beim Gegenüberstellen gleichstufiger Komplikationen, wie sie in den plasmatischen und beliebig verwickelbaren anorganischen Kolloiden vorliegen. Nach meinem ausführlich begründeten Dafürhalten²⁵ liegt in den näher untersuchten *Sepia*-Spermien ein Beispiel der Verknüpfung von organischer und anorganischer Materie insofern vor, als diese Spermien eine ausgeprägt lebende

²⁴ Vgl. E. KAISER, Zs. d. D. geol. Ges. 83. 389. 1931.

²⁵ F. RINNE, dies. Cbl. A. 1931. 233.

Substanz vorstellen und in ihren an Masse weit überwiegenden Bauteilen zugleich die wesentlichen Kennzeichen künstlich hergestellter, also anorganischer, flüssiger Kristalle besitzen.

Hinsichtlich der im Grundzug für Organismen und alle Kristalle gemeinsamen baulichen und physiologischen Organgliederung sei auf den Beitrag II zur biologischen Kristallographie²⁶ hingewiesen.

Weitere Verknüpfungen des Organischen und Anorganischen stellen auf der einen Seite die Erreger der Pocken, Masern, Hundswut und zahlreicher anderer Krankheiten dar. Diese Organismen sind bislang der unmittelbaren, bildlichen Sichtbarmachung entzogen, also wohl nicht größer als c. $\frac{1}{100000}$ mm und, entsprechend dieser geringen Dimension wohl von stark herabgeminderter Inhomogenität. Von der anorganischen Seite rücken die in minimalen Dosen wirksamen katalysatorischen Stoffe, beispielsweise die eisenhaltige Substanz der Blutkohle, in eine sehr enge Verwandtschaftsnähe zu den in Rede stehenden subvisiblen Organismen, die H. BECHHOLD mit Recht als eine Brücke zwischen der Welt der Lebewesen und der anorganischen Materie bezeichnete.

Mineralog.-petrogr. Institut der Universität Freiburg i. Br.

²⁶ F. RINNE, ebenda 1931. 273.

Bei der Redaktion eingegangen am 29. Juli 1931.