

### 38. Die chemische Bedeutung somatoider Körper<sup>1)</sup>

von V. Kohlschütter †.

(25. I. 39.)

Im Verlauf von systematischen Studien über die Ausbildungsform von festen Stoffen in Abhängigkeit von den chemischen Bedingungen ihrer Entstehung wurde bereits vor längerer Zeit die Aufmerksamkeit auf kleine, abgegrenzte, innerlich gegliederte Körper im Bereich mikroskopischer Sichtbarkeit gelenkt. Es handelte sich um natürlich geformte Körper mit Dimensionen von  $10^{-4}$  bis  $10^{-2}$  cm, die bei den verschiedensten chemischen Reaktionen beobachtet werden, vollständig reproduzierbar sind und sich daher nicht als Zufallsprodukte auffassen lassen. Gewisse Züge erlauben einen Vergleich mit Krystallindividuen, andere unterscheiden sich jedoch deutlich von diesen Individuen. Denn im Gegensatz zu Krystallen, deren innerer Aufbau gittermässig geordnet ist, findet man hier die stoffliche Materie nicht ausschliesslich gittermässig zusammengefasst; sie ist nicht einmal immer einheitlich. Die äussere Form der kleinen Körper wird nicht allein von der Natur der sie aufbauenden Stoffe bestimmt; gewisse Typen wiederholen sich bei chemisch und krystallchemisch verschiedenen Stoffen; umgekehrt können bei chemisch und krystallchemisch ähnlichen Stoffen ganz verschiedene Formen entstehen. Die Körper verdienen besondere Beachtung als Produkte einer „organisierten“ Stoffbildung. Das heisst, sie sind der morphologische Ausdruck eines geregelten Zusammenwirkens physikalischer und chemischer Faktoren im Bildungsprozess. Sie sind ausgesprochen „genomorphe“ Formen und können nicht als unvollkommen entwickelte oder gestörte Krystallbildungen beiseite geschoben werden.

Auf Grund dieser Erkenntnis war es zweckmässig, die fraglichen Gebilde als eine besondere Klasse von Körpern herauszuheben; sie wurden als „Somatoide“ oder „somatoide Bildungsformen“ bezeichnet<sup>2)</sup>. Der Begriff hat sich seither für die Erforschung und das Verständnis vieler Objekte als nützlich erwiesen, und der Name beginnt sich in der physikalisch-chemischen Morphologie einzubürgern.

---

<sup>1)</sup> IX. Mitteilung über Prinzipien der genetischen Stoffbildung. Frühere Mitteilungen: *Helv.* **13**, 929, 978 (1930); **14**, 3, 305, 330, 1215 (1931); **15**, 1425 (1932); **17**, 1094 (1934).

<sup>2)</sup> V. Kohlschütter und Mitarbeiter, *Helv.* **8**, 457, 470, 697, 703 (1925); **13**, 929, 978 (1930); **14**, 3, 305, 330, 1215 (1931); **17**, 1094 (1934).

Typische Beispiele von Somatoiden sind an folgenden Stellen dieser Zeitschrift abgebildet: *Helv.* **8**, 457, 697 (1925); **13**, 929 (1930); **14**, 330 (1931); **18**, 858 (1935).

Neuerdings hat *K. Huber*<sup>1)</sup> im Zusammenhang mit der eingehenden Untersuchung eines Spezialfalles die in 10 Jahren an Somatoiden gesammelten Erfahrungen diskutiert, die über die Natur der Somatoide geäußerten Ansichten geprüft und teilweise neu formuliert.

Untersuchungen über Somatoide haben für die Aufklärung vieler chemischer Vorgänge praktische Bedeutung. Ich stelle deshalb noch einmal einige allgemeine Erfahrungen über Somatoide zusammen:

1. Obwohl ihr Aufbau stofflich und strukturell kompliziert sein kann, stellen Somatoide auffallend gleichartige Systeme von beträchtlicher Beständigkeit dar. Die Individuen einer Abscheidung haben bei gegebenen Bedingungen und Substanzen gewöhnlich auch auffallend gleiche Grösse. Sie beteiligen sich als Ganzes an Reaktionen; d. h. bei stofflichen Umbildungen, die wiederum zu festen Stoffen führen, bleibt ihre ursprüngliche Form entweder vollständig erhalten, oder es entsteht eine neue Form, die in geregelter Beziehung zu der Ausgangsform steht. Sie können als Einheiten zu charakteristischen Aggregaten zusammentreten. Dies alles berechtigt dazu, in den Somatoiden eine besondere Art physikalisch-chemischer Einheiten im körperlichen Aufbau der Materie zu sehen, die sich in einem höhern Dimensionsgebiet den Atomen, Molekeln, kolloiden Micellen anreihen.

2. Für die Form und für die innere Gliederung der Somatoide ist im Gegensatz zu Verbindungen aus Atomen und Molekeln und im Gegensatz zu Krystallen nicht ausschliesslich die Natur ihrer Substanz massgebend. Somatoide lassen sich nach Formtypen gruppieren, deren jeder von ganz verschiedenen Stoffarten verwirklicht werden kann. Man hat es also mit Objekten zu tun, die eine allgemeine Art der Stoffaggregation in Gestalt morphologischer Individuen repräsentieren und sich in dieser Beziehung besonders gewissen kolloiden Micellen vergleichen lassen, zu denen auch wirkliche Übergänge bestehen.

3. Mit den kolloiden Micellen teilen die Somatoide auch die empfindliche Abwandelbarkeit ihrer Form und ihrer Eigenschaften durch oft nur kleine Änderungen in den Bildungsbedingungen. Wo sie eine Fortentwicklung zeigen, indem weiteres Stoffmaterial sich an sie angliedert, wirken sich die Bedingungen, die bei der Bildungsreaktion des primären Produktes geherrscht haben, auch in der Struktur und Gestalt des neuen Gebildes aus. Vor- und Entwick-

---

<sup>1)</sup> *Helv.* **18**, 858 (1935).

lungsgeschichte bestimmen somit in jedem Falle den Charakter der Körper.

4. Eine besonders wichtige Erfahrung ist, dass Somatoide eines bestimmten Stoffes wohl nie ohne Mitwirkung eines zweiten unlöslichen Stoffes entstehen. Dieser zweite Stoff kann, aber braucht nicht „systemfremd“, d. h. absichtlich oder zufällig beigemischt sein. Vielmehr können instabile Phasen des „Hauptstoffes“, zwangsläufige Nebenprodukte der Bildungsreaktionen, unvermeidliche Begleitstoffe aus Reaktionen des Lösungsmittels mit dem ursprünglichen oder neugebildeten Material und ähnliches die massgebende Wirkung ausüben. Verschiedene „Nebenstoffe“ solcher Herkunft verursachen oft gleichartige Formen — ein Hinweis, dass Eigenschaften ihres Zustandes wirksamer sind als ihre chemische Natur. Tatsächlich spielen kolloide Substanzen eine Hauptrolle als „Formungstoffe“; aber ihre Wirkung differenziert sich deutlich mit der Stoffart und bei der gleichen Substanz mit Änderungen ihres Dispersitätszustandes. Aus der Form von Somatoiden lässt sich daher häufig auf die Art und Beschaffenheit der Nebenstoffe schliessen.

Die wirksamen Nebenstoffe müssen nicht unbedingt in den fertig gebildeten Somatoiden erhalten bleiben. Sie können im Verlauf der Somatoidbildung auf verschiedenen Wegen teilweise oder sogar vollständig wieder aus ihnen verschwinden, nachdem sie ihre Funktion ausgeübt haben. Somatoide sind daher für die chemische Analyse sehr oft praktisch einheitlich. Wo ein Gehalt an Fremdstoff in ihnen gefunden wird, ist das häufig wertvoll für die Erkennung ihrer Entstehungsweise, aber der Fremdstoff ist nicht eigentlich ein zugehöriger Bestandteil des Kleinkörpers (vgl. 6b). Damit soll freilich nicht gesagt sein, dass in andern Fällen nicht „Mischkörper“ als Somatoide auftreten, bei denen verschiedenartige Substanzen zur morphologischen Einheit zusammengefasst sind. Mitunter sind gerade solche Gebilde besonders charakteristisch und aufschlussreich für das Wesen somatoider Körper.

5. Auch im chemischen Verhalten zeigen Somatoide Besonderheiten, die auf die Aufteilung und Struktur ihres Innern zurückgehen. Da die völlige Ordnung dem energieärmsten Zustand entspricht, sind Somatoide als mehr oder weniger disperse Systeme an sich energiereicher als Krystalle. Instabile Modifikationen erlangen nun häufig eine gewisse Stabilität, wenn sie als Somatoide auftreten; sie können also in Form von Somatoiden haltbar werden (Beispiel: Vaterit). Somatoide sind also energiereicher als Krystalle der gleichen Substanz. Ebenso ist wichtig, dass Somatoide nicht nur infolge ihrer Kleinheit und inneren Dispersität besonders reaktionsfähig sind, sondern auch sozusagen „Organe“ der chemischen Wirkung betätigen können, insofern bestimmte Teile an ihnen verschieden reagieren. Hiermit hängt auch

die spezifische Art ihrer Fortentwicklung zusammen, die oben (unter 3.) erwähnt wurde.

6. Der Mechanismus der Somatoidbildung ist im einzelnen sehr verschieden und manchmal recht verwickelt; immerhin lassen sich gewisse allgemeine Prinzipien angeben, die sich dabei geltend machen.

a) Bezeichnend ist vor allem die gegenseitige Verflechtung chemischer und formgebender Vorgänge in der Bildungsreaktion. Sie ist das, was die Entstehung der kleinen Körper als einen „organisierten“ Prozess hinstellen lässt. Die Dynamik der Somatoidbildung beruht fast immer auf einer Wechselwirkung zwischen krystallinen Richtkräften auf der einen Seite und Oberflächenkräften auf der andern. Träger derselben können verschiedene Stoffarten oder verschiedene Zustandsformen derselben Stoffart sein, die bei der Bildungsreaktion in funktionellen Kontakt treten, weil sie entweder gleichzeitig, oder die einen bei Gegenwart der andern entstehen. So dürfen Somatoide sozusagen als Kompromissprodukte aufgefasst werden, welche durch die Konkurrenz von zwei Arten der Stoffformung entstehen. Können sich die krystallinen Ordnungskräfte voll auswirken, dann entstehen als das eine Extrem der Übergangsreihe Krystalle. Überwiegen die Oberflächenkräfte an kleinen Teilchen im flüssigen oder flüssigkeitsähnlichen Zustand, dann entstehen als das andere Extrem tropfenartige Gebilde. Je nachdem die Wirkung mehr in der einen oder andern Richtung liegt, bilden sich Zwischenzustände heraus, die von der einen Seite her als Verformung beweglicher Massen, von der andern her als Störung einer Krystallentwicklung erscheinen.

b) Diese zuletzt beschriebene Auffassung führt indessen erst dann zum vollen Verständnis der Somatoide, wenn sie zugleich unter einen weitem Gesichtspunkt gestellt wird, der sich aus einer sehr allgemeinen Erfahrung ergibt. Diese besteht darin, dass sich die Natur bei der genetischen Stoffbildung mit Vorliebe einer Arbeitsweise bedient, die folgendermassen beschrieben werden kann: Eine zur Reaktion gebrachte Gesamtmasse von Stoff wird in kleine Raumsysteme unterteilt, die Einheiten ebenso für chemische Reaktionen wie für die Stoffgestaltung bilden. Die Allgemeingültigkeit dieser Tatsache kann mit Erscheinungen aus den verschiedensten Gebieten belegt werden. Sie findet ihre Verwirklichung in mannigfachster Form. Immer lässt sie sich so kennzeichnen, dass eine Verteilung von Vorgängen auf „Kleinräume“ stattfindet. Im Auftreten von Somatoiden äussert sich das gleiche Prinzip. Denn die Somatoide sind die Folge von Reaktionen, die in vorher abgegrenzten Bezirken vor sich gehen. Wenn sich an Somatoiden stoffliche Umsetzungen vollziehen, stellen sie erst recht abgegrenzte Reaktionsbereiche dar. Bildung und Verhalten somatoider Körper

zeigen die Besonderheiten der sog. „Kleinraumreaktionen“, welche zusammen mit *H. Nitschmann*<sup>1)</sup> untersucht und diskutiert wurden.

c) Die Konkurrenz der Ordnungskräfte und der Oberflächenkräfte bestimmt nur den allgemeinen Zug in der Dynamik der Somatoidbildung. Jede Somatoidbildung hat ausserdem sehr spezielle Züge, und dafür sind so viele Einzelfaktoren massgebend, dass sie nur summarisch angedeutet werden können. Im wesentlichen handelt es sich um Einflüsse jener Nebenstoffe, die beim Bildungsprozess irgendwie beteiligt oder nur zugegen sind und durch ihre chemischen Eigenschaften auf die Ordnungsvorgänge oder auf die Oberflächenvorgänge wirken. Man muss sich ja gegenwärtig halten, dass die realen Vorgänge der Stoffumwandlung selten so einfach sind, wie sie in der chemischen Gleichung oder sonst einem Schema idealisiert und abstrakt dargestellt werden. Bestenfalls hebt sich ein Hauptvorgang stark heraus; aber grundsätzlich hat man bei allem chemischen Geschehen nicht nur mit den Teilnehmern an der Hauptreaktion zu rechnen. Man muss ebenso mit Vor-, Zwischen- und Nebenprodukten, sowie mit dem Medium und mit Wechselwirkungen zwischen allen rechnen. Diese zwangsläufig mit einer Reaktion verbundenen Komplikationen gewinnen für Kleinraumreaktionen und für die Formung von Stoffen, die aus solchen hervorgehen, erhöhte Bedeutung. Sie sind zum Teil schon aus den allgemeinen Erfahrungen über topochemische Vorgänge herzuleiten. Denn bei Reaktionen, die in irgend einer Weise örtlich gebunden sind, weil sie sich an oder unter Beteiligung von Festkörpern abspielen, zeigt sich als ein charakteristischer Zug der sehr ausgeprägte Einfluss kleinster Stoffmengen, die etwa als Nebenprodukte auftreten und bei einer Reaktion im grossen Raum ganz bedeutungslos werden. Die in kleinen Räumen zusammengedrängten Reaktionen, die zur Bildung von Somatoiden führen, sind eine spezielle Gruppe topochemischer Reaktionen.

d) Aus dem Umstand, dass in einem und demselben Stoffsystem unter gleichen äusseren Bedingungen vollständig reproduzierbare Somatoide entstehen, folgt, dass die Komplikationen im Bildungsprozess der Somatoide geregelt sind. Es liegt eine organisierte Stoffbildung vor. Die physikalischen und chemischen Bedingungen sind funktionell miteinander verknüpft. Mit diesen Betrachtungen ergibt sich dann auch eine Begrenzung des Begriffs „Somatoid“ als besondere Einheit und Aufbauelement der Materie, unabhängig von ihrer speziellen Form und Grösse: Wo die für die Stoffgestaltung massgebenden Faktoren durch funktionelle Verbindung ein spezifisches Gebilde hervorbringen, das der körperliche Ausdruck ihres Zusammenwirkens ist, hat man es mit Somatoiden zu tun. Dass eine derartige funktionelle Verbindung vieler

---

<sup>1)</sup> Helv. 14, 1215 (1931).

physikalischer und chemischer Faktoren nur in kleinen abgegrenzten Reaktionsräumen zustande kommen kann, folgt allein schon aus der Überlegung, dass die Oberflächenkräfte eine massgebende Rolle spielen; denn diese vermögen nur an kleinen Massen erhebliche formgebende Wirkungen auszuüben.

---

Die bisherigen Untersuchungen über Somatoide bezogen sich hauptsächlich auf Einzelindividuen. Von Anfang an wurde nun aber auch festgestellt, dass sich Somatoide in besonderer Art zu Aggregaten vereinigen und dabei als abgrenzbare Bestandteile in grössere (räumlich oder flächenhaft ausgebildete) Körper eingehen können. Es wurde speziell auf die elektrolytischen Metallabscheidungen<sup>1)</sup> hingewiesen, die ja stets strukturierte Systeme von verschieden grober (übermolekularer) Diskontinuität darstellen.

Die Aufstellung einer umfassenden, vor allem auch den praktischen Bedürfnissen des Chemikers entsprechenden Systematik derjenigen Aggregationsformen, die komplizierter als Einkristalle sind, ist eine auch heute noch unvollständig gelöste Aufgabe. *Wesselowski* und *Wassiliew*<sup>2)</sup> haben früher eine derartige Systematik „disperser Strukturen“ erörtert. Sie benutzten als Grundlage die Unterscheidung mehrerer „Ordnungen“ von Strukturelementen. Sie unterschieden: 1. Krystallite, also einheitliche Gitterverbände jeder Form und Grösse bis herab zu Ultramikronen; 2. Aggregate von Krystalliten, die selbst noch wieder Einheiten darstellen und Somatoide als grössere, Micellen von kolloiden Dimensionen als kleinere Gebilde mitumfassen; 3. Texturen, die als relativ grobe Elemente beträchtliche Teile des Körpers bilden.

Indem diese Strukturelemente in verschiedener Weise räumlich zueinander angeordnet und mit verschiedenen Kräften miteinander verbunden werden, lassen sich viele praktische Beispiele disperser Strukturen zweckmässig beschreiben. Eine derartige Systematik ist aber erst dann fruchtbar und entwicklungsfähig, wenn die physikalischen und chemischen Entstehungsbedingungen der Strukturelemente und ihre Verknüpfung mit einbezogen werden. Das heisst, die formelle Betrachtung muss durch die genetische Betrachtung der Strukturelemente ergänzt werden. In welcher feinfühlernden Weise dies geschehen muss, haben die bisherigen chemischen Erfahrungen an somatoiden Körpern gelehrt.

Die Kenntnisse über das Auftreten somatoider Strukturelemente konnten — wie die folgende Mitteilung zeigt — durch die Untersuchung der elektrolytischen Metallabscheidung erweitert werden.

Bern, Chemisches Institut der Universität,  
Anorganische Abteilung.

---

<sup>1)</sup> V. *Kohlschütter*, *Faraday* **31**, 1181 (1935).    <sup>2)</sup> *Z. Kryst.* **89**, 156 (1934).