© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Über die sogenannte „Kristallisationskraft".

Von **W. Bruhns** und **Werner Mecklenburg** in Clausthal (1)*).

Mit 2 Figuren im Text.

Causas rerum naturalium non plures admitti debere quam quae et verae sint et earum phaenomenis explicandis sufficiant.
(Newton. Philos. natur. princ. mathem., Lib. III).

Einleitung.

In neuerer Zeit ist in der geologisch-mineralogischen Literatur wieder mehrfach von einer Art „Kristallisationskraft" die Rede, der eine nicht unerhebliche geologische Bedeutung zugeschrieben wird. U. a. ist dies der Fall in dem inhaltreichen Werke von BORNHARDT über die Gangverhältnisse des Siegerlandes (2), das auch die erste Anregung zu der vorliegenden Untersuchung gegeben hat. Da die ältere Literatur von BORNHARDT eingehend besprochen worden ist und außerdem K. ANDRÉE (3) im dritten Bande der Geologischen Rundschau ein Sammelreferat mit einem 62 Nummern umfassenden Literaturverzeichnis veröffentlicht hat, kann hier von einer nochmaligen Aufzählung der früheren Publikationen über die „Kristallisationskraft" abgesehen werden. Nur ergänzend sei noch auf eine Mitteilung von ANDRÉE (4) „über die geologische Bedeutung des Druckes wachsender Kristalle und die Frage nach dessen physikalischer Erklärung" sowie auf die Arbeiten von WERNER (5) und von GRUBENMANN (6) hingewiesen, in denen ebenfalls von der Kristallisationskraft gesprochen wird.

Unterwirft man die Literatur über die Kristallisationskraft, etwa unter Benutzung der Übersichten von ANDRÉE oder von BORNHARDT, einer kritischen Durchsicht, so bemerkt man, daß das Wort „Kristallisationskraft", wie schon BORNHARDT betont, keinen scharf umrissenen, eindeutig definierten Begriff darstellt, sondern

*) Die in runde Klammern eingeschlossenen Zahlen beziehen sich auf die Anmerkungen am Schlusse der Mitteilung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß es nur ein recht verschiedenartige Dinge umfassendes Sammelwort ist.

Grundsätzlich scheinen sich die der Wirkung einer Kristallisationskraft zugeschriebenen Erscheinungen in zwei Gruppen einteilen zu lassen, die in ihrer Ursache und in ihrem Mechanismus vollkommen verschieden sind und in keinem erkennbaren Zusammenhange mit einander stehen, wenn sie vielleicht auch manchmal gleichzeitig und nebeneinander vorkommen: Die erste Gruppe umfaßt die Erscheinungen, bei denen die treibende Kraft eine im geschlossenen Raume unter Volumvermehrung verlaufende physikalische oder chemische „Reaktion" (7) ist, die zweite Gruppe, die, bei denen sich das Ergebnis als eine Wirkung der Adsorption und mit ihr im Zusammenhange stehender Kräfte darstellt.

Über die erste Gruppe können wir mit einigen wenigen Worten hinweggehen, denn erstens wird schon in der Literatur mehr oder minder klar darauf hingewiesen (8), daß die Erscheinungen, welche hierher gehören, Erscheinungen sui generis seien, die mit den sonstigen Äußerungen der „Kristallisationskraft" nicht verwechselt werden dürften, und zweitens vermag hier die thermodynamische Theorie die Tatsachen einfach und befriedigend zu deuten. Es genügen daher die folgenden Bemerkungen:

Reaktionen in einem stofflichen Systeme, z. B. Kristallisationsvorgänge, Verdampfung, monotrope oder enantiotrope Umwandelungen, chemische Änderungen aller Art usw. pflegen mit Änderungen des Volumens verbunden zu sein. Ist die Reaktion mit einer Volumvermehrung verbunden (9), und befindet sich das reagierende System in einem allseitig geschlossenen Raume, den es vor der Reaktion gerade ausfüllt, so wird mit der Reaktion ein der Volumvermehrung äquivalenter Druck auftreten, dessen Größe einerseits von der Größe der Volumvermehrung, andererseits von der Kompressibilität des Systems im Augenblicke der Reaktion abhängt. Wesentliche Bedingung für das Auftreten einer mechanischen Druckwirkung ist also die, daß eine unter Volumvermehrung verlaufende Reaktion in einem geschlossenen und unzureichenden Raume vor sich geht. Welcher Art die Reaktion ist, ob es sich um einen sogenannten physikalischen oder um einen chemischen Vorgang handelt, ist prinzipiell gleichgiltig.

Beispiele für Druckerzeugung bei physikalischen oder chemischen Reaktionen sind dem Geologen wohl bekannt. Gefrierendes Wasser in den Spalten und Spältchen der Felsen, das

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

durch eine Eisschicht oder durch Eispfropfen in den äußeren Enden der Spalten abgesperrt ist, vermag durch die mit der Reaktion verbundene Volumvermehrung die Spalten zu erweitern und die Felsen schließlich zu zertrümmern. Tritt Wasser zu einem in wasserdurchlässiges Gestein eingeschlossenen Anhydritlager, so wird es von dem Anhydrit unter Gipsbildung gebunden, und diese Reaktion im geschlossenen Raume — der Anhydrit oder der Gips kann ja nicht wie das Wasser die Poren des einschließenden Gesteines durchdringen — führt die bekannten Störungen herbei. Analoge Erscheinungen machen sich auch bei manchen Verwitterungsvorgängen bemerkbar.

Die hier skizzierten Erscheinungen des Reaktionsdruckes haben mit den Wirkungen der Kristallisationskraft in dem Sinne, in dem das Wort in der neueren geologischen Literatur ausschließlich gebraucht wird, nichts zu tun. Bei diesen, die zweite Gruppe unserer Einteilung bildenden Wirkungen handelt es sich vielmehr, wie weiterhin noch eingehend dargelegt werden wird, um etwas ganz Anderes. Es wird nämlich angenommen, daß in wachsenden Kristallen eine Art Innendruck oder Wachstumsdruck tätig sei, welcher sie befähigt, auch in den Richtungen zu wachsen, in denen dem Wachstum in anderen Wachstumsrichtungen nicht vorhandene mechanische Hindernisse entgegenstehen, und dabei diese Hindernisse unter einer bisweilen recht erheblichen Kraftentfaltung aus dem Wege zu räumen. Als Beweis für diese zunächst wohl sehr überraschende Anschauung werden außer Beobachtungen in der Natur vor allen Dingen Versuche angeführt, die zwei amerikanische Forscher, Becker und Day, im Laboratorium ausgeführt haben, und mit diesen Versuchen wollen wir uns zunächst beschäftigen.

Die Versuche von Becker und Day, ihre Nachprüfung und ihre Deutung.

Die Versuche von Becker und Day. — Die Versuche von Becker und Day sind in einer im Jahre 1905 unter dem Titel „The linear force of growing crystals“ veröffentlichten kurzen Abhandlung beschrieben (10).

Zunächst seien die wichtigsten Stellen der Becker-Day'schen Arbeit hier in möglichst wortgetreuer Übersetzung wiedergegeben:

„Unsere ersten Versuche“, schreiben die beiden Autoren, „waren darauf gerichtet, festzustellen, ob Kristalle einer Substanz

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie Alaun eine Glasplatte, unter welche eine gesättigte Lösung des Salzes gebracht worden war, emporheben würden. Das Experiment gelang sogleich: nach wenigen Stunden hatte eine meßbare Hebung der Glasplatte stattgefunden (The experiment was immediatly successfull, so that after a few hours a measurable rise in the glass plate was detected).

„Nachdem so im Prinzip festgestellt worden war, daß auf diese Weise ein beträchtliches Gewicht gehoben werden konnte, wurde versucht, gut ausgebildete Kristalle von Alaun herzustellen und das Gewicht zu messen, das sie pro Einheit der tragenden Fläche zu heben imstande wären. Nachdem die Technik dieser Versuche genügend erprobt war, erwies es sich als zweckmäßig, Kristalle von einem Zentimeter Durchmesser wachsen zu lassen, welche ein Gewicht von einem Kilogramm um eine Strecke von mehreren Zehntel Millimetern heben würden (which would raise a weight of a kilogramm through a distance of several tenths of a millimeter). Der Kristall wurde in einem Becherglase, in dem sich eine gesättigte Lösung desselben Stoffes befand, auf eine Glasplatte gelegt und in gewünschtem Maße belastet. War das gehobene Gewicht bekannt, so mußte die Ermittelung der erforderlichen Kraft eine außerordentlich leichte Sache sein, denn man brauchte dazu ja nur die Berührungsfläche zwischen Gewicht und Kristall zu bestimmen. Hier trat jedoch eine unerwartete Schwierigkeit auf: Die untere, auf der Glasplatte aufliegende Fläche ist weit davon entfernt, eine Ebene zu sein; es entsteht vielmehr unter dem Kristall eine treppenförmige Höhlung, deren schneidenförmiger Rand während des Wachsens als eigentliche Tragfläche dient (a terraced cup forms below the crystal so that the bearing surface remains a mere edge throughout its growth). Die nebenstehende Figur möge eine Vorstellung davon geben, welchen Anblick ein Querschnitt durch den wachsenden Kristall bietet." (Figur 1, reproduziert nach BORNHARDT.)

Bestimmte Zahlenangaben finden sich in der Arbeit nicht: die Autoren begnügen sich mit der allgemeinen Bemerkung, daß der Druck pro Quadratzentimeter viele Pfunde betrüge und daß er nach wiederholten Beobachtungen ziemlich sicher von derselben Größenordnung sei wie der Widerstand, den Kristalle der Beanspruchung durch Druck entgegensetzen.

„In weiterer Verfolgung dieser Bestimmungen wurden die erhaltenen Ergebnisse durch Versuche mit anderen Salzen (Kupfer-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sulfat, Kaliumferrocyanid, Bleinitrat) bestätigt: Die Resultate waren praktisch dieselben, wie die am Alaun erhaltenen".

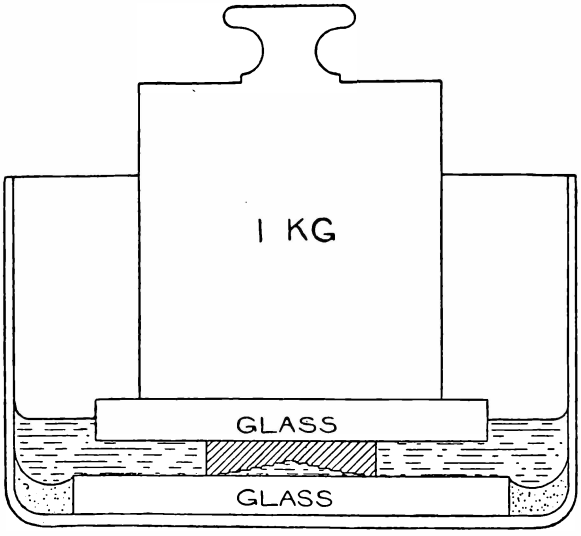


Fig. 1. Versuchsanordnung zur Messung der von einem wachsenden Kristall ausgehenden mechanischen Wirkung nach BECKER und DAY.

Die Beschreibung der Experimente ist nicht so genau und ausführlich, wie man bei einer so auffallenden Erscheinung wohl erwarten dürfte. Indessen soll an der Darstellung hier weiter keine Kritik geübt werden; die Angabe, daß nach wenigen Stunden eine meßbare Hebung der Glasplatte eintrat, ist ja hinreichend verständlich, ebenso die Erwähnung mehrerer Zehntel Millimeter.

BORNHARDT kommt nach Besprechung dieses Versuches und verschiedener Mitteilungen anderer Autoren über Beobachtungen in der Natur zu folgendem Schluß: „Aus der Gesamtheit der hier wiedergegebenen Mitteilungen scheint mir zunächst so viel mit Sicherheit hervorzugehen, daß der Vorgang der Ausscheidung kristalliner Substanz in der Tat in vielen Fällen mit der Äußerung einer mechanischen Wirkung verbunden ist."

„Man wird dabei zwischen dem freien Wachstum der Kristalle in einem leicht nachgiebigen Medium und ihrer Ausscheidung inmitten einer festen, von Hohlräumen freien und sich nur in geringem Grade oder garnicht plastisch verhaltenden Maße unterscheiden müssen. Während in Fällen der ersten Art nur geringe Kräfte entfaltet werden, ist für die Fälle der zweiten Art, von denen mir ein Teil wenigstens unzweideutig erscheint, festgestellt,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß dabei auch recht beträchtliche mechanische Effekte ausgeübt worden sind. Damit stimmen auch die wissenschaftlich gesicherten Ergebnisse der von BECKER und DAY angestellten Versuche überein" (11).

Die Wichtigkeit der Versuche von BECKER und DAY liegt in zwei Richtungen, einerseits in den Folgerungen, die sie für unsere Auffassung vom Mechanismus des Kristallwachstums besitzen, andererseits in ihrer Anwendung auf Probleme der Geologie.

Die bisherige Auffassung über das Wachstum der Kristalle war die, daß ein Kristall ausschließlich durch Stoffanlagerung von außen her wächst. Ein Kristall kann also nur dort wachsen, wo Platz für Stoffzufuhr und für Ausdehnung vorhanden ist, wo er mit der Lösung in Berührung steht. Mit dieser Auffassung stehen sehr zahlreiche Erfahrungen und Beobachtungen im Einklange. Ganz anders ist aber die Auffassung, die sich aus dem BECKER-DAY'schen Versuch über den Druck ergibt, den ein einseitig gepreßter Alaunkristall in der Preßrichtung ausübt. Nach dem Versuche von BECKER und DAY würde der Kristall auch dort wachsen, wo er mit der Lösung wenig oder garnicht in Berührung ist, würde dort eine Anlagerung von Stoff stattfinden, wo von außen Stoffzufuhr kaum möglich ist. Die Deutung der Beobachtung läge daher darin, daß ähnlich wie ein Organismus auch ein Kristall von innen her wüchse: Die Substanz dränge in das Innere des Kristalles ein und triebe ihn durch eine Art **„Innendruck"** (BORNHARDT) oder **„Wachstumsdruck"** (ANDRÉE) auseinander. In der Tat wiesen auch schon BECKER und DAY auf diese Ähnlichkeit hin (12).

Die im Wachstumsdruck der Pflanzen sich äußernde Kraft ist ja sehr erheblich. Jedermann weiß, daß wachsende Bäume Mauern sprengen können. Der Botaniker REINKE (13) fand, daß eine Schicht von 10 übereinander gelegten Lagen von je 0,1 mm dicken Laminariascheibchen, die einen Querschnitt von 50 qmm hatten, ein Gewicht von mehr als 20 kg um 0,16 mm zu heben vermochte, und als SCHROEDER den dem Wachstumsdruck der Pflanzen analogen „Quellungsdruck" von Gelatine in Wasser zu messen versuchte, indem er die Gelatine in in Wasser getauchten Tonzylindern einschloß, wurden die Zylinder beim Quellen zersprengt (14).

Wenn also die Auffassung, zu der die BECKER-DAY'schen Versuche führen, richtig ist, wenn es wirklich gestattet ist, den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wachstumsdruck organisierter Stoffe oder den mit diesem im Prinzip wohl identischen Quellungsdruck von Kolloiden mit der „Kristallisationskraft" zu parallelisieren, dann ständen wir hier einer neuen Wirkung der Naturkräfte gegenüber, deren Bedeutung für die Erklärung geologischer Phänomene nicht hoch genug veranschlagt werden könnte, ja mit deren Entdeckung vielleicht eine neue Epoche geologischer Forschung anbrechen würde.

Gerade unter diesen Umständen ist daher die Prüfung der Frage dringend notwendig, ob eine solche „Kristallisationskraft" wirklich existiert. Im folgenden Abschnitt soll daher über die von uns durchgeführte Prüfung der Frage, die ihren Ausgangspunkt in der Nachprüfung der Versuche von Becker und Day hat, ausführlich berichtet werden.

Die Nachprüfung der Becker-Day'schen Versuche. — Wir haben zunächst versucht, die Becker-Day'schen Versuche nachzumachen, und zwar in folgender Weise:

Die Alaunkristalle, welche wachsen sollten, wurden in geräumigen Kristallisierschalen auf ebene Glasplatten (Objektträger) gelegt und mit gesättigter Lösung, welche mehrere Tage alt und im Kristallisierraum aufbewahrt worden war, übergossen. Dabei wurde besonders darauf geachtet, daß zwischen Kristall und Unterlage bezw. Auflage keine Luftblasen hängen blieben. Wo nicht ausdrücklich Anderes bemerkt ist, wurde die Höhe der Lösung im Gefäß so gehalten, daß die Kristalle dauernd vollständig von der Lösung bedeckt blieben. Die meisten Versuche wurden in einem Kellerraum bei ziemlich konstanter Temperatur — etwa 10^0 C. — durchgeführt. Die Kristallisierschalen befanden sich in Exsikkatoren, die mit Chlorcalcium beschickt waren; die Verdunstung ging ziemlich langsam vor sich.

Zum Messen der Kristalle wurde ein in Hundertstel Millimeter eingeteiltes Schraubenmikrometer benutzt, bei dem sich Tausendstel Millimeter noch schätzen ließen. Die Kristalle wurden bei der Dickenmessung immer zwischen zwei nur zu diesem Zwecke benutzte Glasplatten von zusammen 2,083 mm Dicke gelegt. Die Zahlen in den Tabellen geben die direkt gemessenen Werte der Dicke der Kristalle plus der der Glasplatten an. Die mitgeteilten Zahlen sind arithmetische Mittel von 5 bis 8, bisweilen auch nur von 3 Einzelmessungen. Messungsfehler infolge von Unvollkommenheiten der Kristallflächen usw. blieben immer unter 0,1 mm. Für die Versuche wurden Kristalle mit glatten Flächen ausgesucht;

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bei offensichtlichen Störungen des Wachstums infolge von Temperaturschwankungen oder gelegentlichen Unglücksfällen wurden die betreffenden Kristalle ausrangiert und weiter nicht berücksichtigt. Die Alaunkristalle waren frei von Verletzungen, oktaedrisch ausgebildet, meist etwas tafelig nach einer Oktaederfläche; Würfel- und Rhombendodekaederflächen traten, wenn überhaupt, nur sehr untergeordnet auf, selten wurden vorübergehend sehr flach geneigte, kaum erkennbare Vizinalflächen (Pyramidenoktaeder) auf den Oktaederflächen beobachtet. Die Messungen beziehen sich selbstverständlich immer auf das gleiche Flächenpaar.

Zunächst brachten wir in eine Kristallisierschale mit gesättigter Alaunlösung zwei gut ausgebildete Alaunkristalle. Die Oberfläche des einen Kristalles blieb frei, die des anderen wurde erst mit einem Objektträger bedeckt, und darauf wurde ein in einer gerade passenden Kristallisierschale befindliches Gewicht von 1 kg gestellt. Beide Kristalle befanden sich, abgesehen natürlich von der Last, die der eine zu tragen hatte, unter möglichst gleichen Verhältnissen. Gemessen wurde in angemessenen Zwischenräumen das Gewicht und die Dicke der zu diesem Zweck aus der Lösung herausgenommenen und mit Fliespapier sorgfältig abgetrockneten Kristalle. Die Ergebnisse der mehrfach wiederholten Versuche sind in der folgenden Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I.

Datum	Belasteter Kristall.				Unbelasteter Kristall.			
	Gewicht		Höhe		Gewicht		Höhe	
	gr	Zunahme	mm	Zunahme	gr	Zunahme	mm	Zunahme
14. 5. 12 Vorm.	4,82	—	12,26	—	4,41	—	12,13	—
14. 5. 12 Nachm.	5,54	+ 0,72	12,27	+ 0,01	5,48	+ 1,07	13,11	+ 0,98
15. 5. 12 Vorm.	6,21	0,67	12,33	+ 0,06	6,74	1,26	13,91	0,80
17. 5. 12 Vorm.	6,36	0,15	12,32	— 0,01	7,27	0,53	14,10	0,19
25. 5. 12 Nachm.	7,51	1,15	12,33	+ 0,01	9,55	2,28	15,01	0,91
19. 7. 12	0,906	—	7,760	—	0,949	—	6,851	—
25. 7. 12	0,988	+ 0,082	7,747	— 0,013	1,121	+ 0,172	7,040	+ 0,189
2. 8. 12	1,119	+ 0,131	7,735	— 0,012	1,387	0,266	7,473	0,433
8. 8. 12	1,188	+ 0,069	7,732	— 0,003	1,527	0,140	7,833	0,360
13. 8. 12	1,422	+ —	8,187	—	1,850	—	8,244	—
16. 8. 12	1,482	+ 0,060	8,179	— 0,008	2,035	+ 0,185	8,414	+ 0,170

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Aus der Tabelle geht ganz deutlich hervor, daß ein Dickenwachstum der belasteten Kristalle auch in längeren Zeiträumen nicht stattgefunden hat. Die Differenzen sind so geringfügig, daß sie innerhalb der Fehlergrenzen liegen, und der gelegentliche Wechsel von + und — zeigt, daß von einer Zunahme mit Sicherheit nicht geredet werden kann. Die unbelasteten Kristalle aber zeigen ein andauerndes Wachstum, und die Gewichtszunahme, welche bei den belasteten Kristallen ungefähr um so viel geringer ist, als weniger freie Fläche vorhanden war, weist auf ein ganz normales Verhalten hin, d. h. wo sich Substanz anlagern kann, lagert sie sich an, wo nicht, da nicht.

Das auf dem belasteten Kristall liegende Gewicht spielt als solches keine wesentliche Rolle, das Wesentliche ist vielmehr der Umstand, daß die obere Fläche des Kristalles vor dem Zutritt weiterer Substanz geschützt war. Daher erhielten wir ganz die gleichen Resultate, als wir auf die Kristalle anstatt eines schweren Gewichtes leichte Glasplatten legten. In einer geräumigen Kristallisierschale ließen wir vier Alaunkristalle in gesättigter Lösung wachsen; zwei von ihnen waren mit passenden Glasplatten, deren Gewicht je etwa 1 g betrug, bedeckt. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II.

Datum	Unbedeckter Kristall				Bedeckter Kristall			
	I.		II.		III.		IV.	
	mm Höhe	mm Diff.	mm Höhe	mm Diff.	mm Höhe	mm Diff.	mm Höhe	mm Diff.
5. 5. 13	9,68	—	9,28	—	10,00	—	8,82	—
6. 5. 13	10,22	+ 0,54	9,76	+ 0,48	10,06	+ 0,06	8,82	0,00
7. 5. 13	10,86	+ 0,64	10,48	+ 0,72	10,04	— 0,02	8,825	+ 0,005
9. 5. 13	11,42	+ 0,56	10,98	+ 0,50	10,06	+ 0,02	8,820	— 0,005

Die unbedeckten Kristalle haben in vier Tagen an Höhe ungefähr gleichmäßig um 1,7 mm, die bedeckten aber garnicht zugenommen. Natürlich haben die bedeckten ebenso wie die unbedeckten ein Wachstum in die Breite erfahren, eine Hebung der Glasplatten oder der Kristalle konnte aber nicht festgestellt werden. Erwähnt sei hier noch, daß sich bei dem einen der bedeckten Kristalle das Deckglas einmal vorübergehend um wenige Millimeter

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verschoben hatte; etwa 4 qmm von etwa 130 qmm waren bloßgelegt worden. Dieser bloßgelegte Teil wuchs in kurzer Zeit um 0,2 mm in die Höhe, während der übrige unbedeckt gebliebene Teil der Fläche keine Anlagerung zeigte. Die Erhöhung wurde dann vorsichtig abgeschabt; die dadurch entstandene Verletzung heilte unter der Glasplatte nur sehr unvollkommen aus. —

Unsere Versuche haben also die Angaben von Becker und Day, aus denen so weitgehende Schlußfolgerungen gezogen worden sind, nicht bestätigt. Gleichwohl aber gibt es doch eine Erscheinung, welche zur Annahme eines von den wachsenden Kristallen ausgeübten Druckes zunächst tatsächlich führen könnte und, wie es scheint, auch geführt hat, und auf diese wollen wir jetzt etwas näher eingehen.

Becker und Day stießen, wie weiter oben bereits bemerkt worden ist, bei der Messung der angeblich von dem wachsenden Kristall ausgeübten hebenden Kraft auf unerwartete Schwierigkeiten. Die Unterseite des belasteten Kristalles war nicht eben, sondern hohl, konkav (cupped d. h. becherartig), derart, daß der Kristall nur mit schmalen randlichen Wülsten auf der Unterlage aufruhte. In der Wiedergabe der Becker-Day'schen Originalfigur ist die Erscheinung auch angedeutet. Becker und Day schließen aus ihrer Beobachtung, daß der Kristall von unten her wächst, ein bereits früher auf Grund der gleichen Beobachtung gezogener und schon im Jahre 1855 von H. Kopp (15) experimentell widerlegter Schluß. Die Bildung solcher Hohlflächen ist dem Kristallzüchter schon lange bekannt. Will man Kristalle mit glatten Flächen haben, so muß man sie entsprechend oft umdrehen oder sie schwebend wachsen lassen. Auch wir haben solche Hohlflächen nicht nur gelegentlich, sondern regelmäßig, und nicht nur bei belasteten oder bedeckten Kristallen, sondern in gleicher Weise auch bei unbedeckten Kristallen beobachtet und ihre Entstehung und ihr Verhalten in z. T. ausschließlich zu ihrer Untersuchung angestellten Versuchen verfolgt.

Zunächst sei festgestellt, daß die Hohlflächen bei verschiedenen Salzen verschieden stark entwickelt, bei Steinsalz z. B. viel weniger tief sind als bei Alaun, wenn beide Salze unter sonst gleichen Bedingungen kristallisieren. Vielleicht steht diese Verschiedenheit im Verhalten mit der verschiedenen Kristallisationsgeschwindigkeit der verschiedenen Stoffe im Zusammenhang. Ferner treten die Hohlflächen in der Natur nie oder mindestens sehr selten auf,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wenigstens haben wir sie an vielen aufgewachsenen Kristallen vergeblich gesucht.

Über die Art und Weise, wie die Hohlflächen entstehen, haben wir uns auf Grund unserer sehr zahlreichen Beobachtungen eine Vorstellung gebildet, die im Folgenden mitgeteilt werden soll. Zum leichteren Verständnis müssen wir etwas weiter ausholen und auf einige meist wohl bekannte Erscheinungen der Kristallbildung und des Kristallwachstums hinweisen.

Die Ausscheidung von Kristallen aus einer Lösung erfolgt dann, wenn die Lösung übersättigt ist. Den Zustand der Übersättigung führt man bei Laboratoriumsversuchen z. B. in der Weise herbei, daß man bei konstanter Temperatur das Lösungsmittel — in unserem Falle Wasser — verdunsten läßt. Das Wasser verdunstet von der Oberfläche, und so bildet sich zunächst an dieser eine übersättigte Schicht. In der Tat scheiden sich die ersten Kristalle an der Oberfläche der Flüssigkeit aus. Geht die Verdunstung sehr rasch vor sich, so überzieht sich die Oberfläche bald mit einer zusammenhängenden Kristallschicht, die die weitere Verdunstung verhindert, eine allbekannnte Erscheinung. Erfolgt die Verdunstung langsam, so ziehen sich einige Kristalle an den Rand des Gefäßes und setzen sich dort fest, die anderen sinken unter, wenn sie eine gewisse Größe erreicht haben. Außerdem setzt sich die Übersättigung nach unten fort, und es beginnt dann eine weitere Ausscheidung von Kristallen am Boden (16).

Ein weiterer Umstand, der für die Bildung der Hohlflächen in Betracht kommt, ist der, daß der Kristall beim Laboratoriumsversuch in Glasgefäßen oder dergl. seine Unterlage nicht direkt berührt, sondern schwimmt und zwar schwimmt auf einer Wasser- oder Lösungsschicht, welche dem Glase und dem Kristall adhäriert. Das Auftreten solcher Adhäsions- oder Adsorptionsschichten ist hinreichend bekannt; sie fehlen in der Tat nur da, wo die Kristalle mit ihrer Unterlage fest verwachsen sind. Dank der flüssigen Schicht zwischen Kristall und Unterlage kann nun die übersättigte Lösung, wenn die Diffusionsgeschwindigkeit in der Kapillarschicht wohl auch kleiner als in der freien Flüssigkeit ist, unter den Kristall diffundieren. Weit wird sie aber nicht gelangen, denn die den Sättigungsgrad der Flüssigkeit überschreitenden Moleküle müssen, wenn sie in so außerordentlich großer Nähe am Kristall vorbeidiffundieren wollen, rasch abgefangen werden, d. h.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

es muß sich, wie es die Beobachtung auch wirklich zeigt, am äußeren Rande des Kristalles ein Wulst bilden.

Die Wulstbildung wäre demnach ein Beweis für mangelnde Stoffzufuhr (17) und sollte daher ausbleiben, wenn in irgend einer Weise für hinreichende Stoffzufuhr gesorgt wird. Auch für die Richtigkeit dieser Folgerung hat sich ein Beweis gefunden: Wir legten auf den Boden einer mit gesättigter Alaunlösung gefüllten Kristallisierschale einige Stücke Filtrierpapier und überließen die Lösung langsamer Verdunstung. Die am Boden der Schale sich ausscheidenden Kristalle zeigten ohne jede Ausnahme Hohlflächen, wenn sie auf dem undurchlässigen Glase lagen, während kein einziger Kristall, der auf dem durchlässigen Filtrierpapier lag, Hohlflächen aufwies. Als aber der Versuch einige Tage fortgegangen war, schieden sich auch in den Poren des Filtrierpapieres Kristalle ab (18), die Durchlässigkeit der Unterlage wurde schlechter und schlechter, und damit erschienen auch auf dem Filtrierpapiere Kristalle mit Hohlflächen (19).

Nun hätte man vermuten können, daß, wenn der beschriebene Vorgang sich oft wiederholt und sich beim Wachstum des Kristalles in die Breite Wulst auf Wulst legt, schließlich doch eine beträchtliche Hebung des Kristalles, wenn auch nicht durch „Kristallisationskraft", so doch durch Adsorption tatsächlich zustande kommen sollte. Das ist aber, wie unsere Untersuchungen beweisen, nicht der Fall, es hat vielmehr mit den Hohlflächen folgende eigentümliche Bewandtnis: Wenn man einen größeren Alaunkristall auf eine glatte Fläche in eine verdunstende gesättigte Alaunlösung legt, so bildet sich an seiner Unterfläche eine Hohlform, aber nicht eine richtige treppenförmig vertiefte Hohlfläche, wie z. B. bei den bekannten Wachstumsformen von Steinsalz oder Wismut, sondern es tritt nur ein schmaler randlicher Wulst auf, während der innere Teil der Fläche fast eben bleibt. Auch bei weiterem Wachstum bildet sich nicht eine Treppe heraus, sondern der Wulst wandert nach außen, und die von ihm eingefaßte Fläche bleibt auch weiter im wesentlichen eben.

Klocke (20) beschreibt allerdings einen Versuch, durch den eine Hebung des wachsenden Kristalles nachgewiesen sein sollte: Er schliff an ein Alaunoktaeder eine Würfelfläche an, legte den Kristall mit der Würfelfläche nach unten in eine gesättigte Alaunlösung und beobachtete, nach „mehrmonatlichem Wachstum", daß die angeschliffene Hexaederfläche nicht weiter gewachsen, wohl

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aber von einem treppenförmig vertieften Rand umgeben war. Durch diesen Rand war nach der von KLOCKE gezeichneten Figur der Kristall um nahezu das $1\,^1/_4$-fache seiner ursprünglichen Höhe und um beinahe $^1/_3$ seiner Höhe am Schluß des Versuches gehoben worden.

Wir haben den KLOCKE'schen Versuch nachgemacht:

An zwei ziemlich gut ausgebildete oktaedrische Alaunkristalle schliffen wir nach dem Vorgange von KLOCKE Würfelflächen an, legten die Kristalle mit der Würfelfläche auf Objektträger in gesättigte Alaunlösung und ließen sie wachsen. Beide Kristalle setzten an den Auflageflächen in gewohnter Weise den randlichen Wulst an, aber trotz längeren Stehens wuchs der Wulst nicht erheblich nach unten, wie es KLOCKE zeichnet, sondern blieb fast ganz flach. Nach 8 Tagen wurde nur noch die eine der beiden Lösungen ständig erneuert, so daß der in ihr liegende Kristall dauernd von der Flüssigkeit bedeckt blieb, die andere wurde nicht erneuert und dunstete daher innerhalb 3 Wochen zur Trockene. Ab und zu wurden die Kristalle aus ihren Lösungen herausgenommen und untersucht: Ihre Unterflächen zeigten bis zuletzt keinen erheblichen Unterschied. Am Schluß des Versuches, nach 4 Wochen, konnte man auf der angeschliffenen Hexaederfläche die darauf bei Beginn des Versuches eingeritzten Zeichen noch deutlich erkennen, eine wesentliche Ausheilung hatte nicht stattgefunden. Der Durchmesser der Kristalle war auf der Würfelfläche (von ursprünglich 0,9 mm Dm.) gemessen um etwa 18 mm größer geworden. Die Höhe des randlichen Wulstes war bei beiden Kristallen nur ganz unbedeutend — etwa 0,1—0,2 mm (21).

Allerdings haben auch wir die treppenförmige Hohlform — auf dem Oktaeder ein hohles Hexakisoktaeder — beobachtet, aber nur bei kleinen Kristallen. Läßt man die Kristalle weiter wachsen, so wächst die Treppe gewöhnlich nicht in gleicher Weise weiter, d. h. die Hohlform wird nicht vertieft, die Treppe wird im Gegenteil flacher, und es bildet sich in der Mitte der Unterfläche allmählich eine Ebene aus, indem der erhöhte Rand kontinuierlich nach außen rückt. Die folgenden Abbildungen stellen den interessanten Vorgang schematisch dar (Figur 2). Wie die Abbildung andeutet, geht der Wulst meist nicht in glattem Abfall, sondern durch Vermittelung einiger Stufen in die innere Ebene über.

Das Wandern des Wulstes ist natürlich nur möglich, wenn der Wulst selbst sich an seinem Innenrande dauernd löst und an

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

seinem Außenrande dauernd neu gebildet wird, und tatsächlich ist der innere Rand des Wulstes fast immer unregelmäßig begrenzt und läßt deutliche Spuren von Wiederauflösung (Aetzfiguren) er-

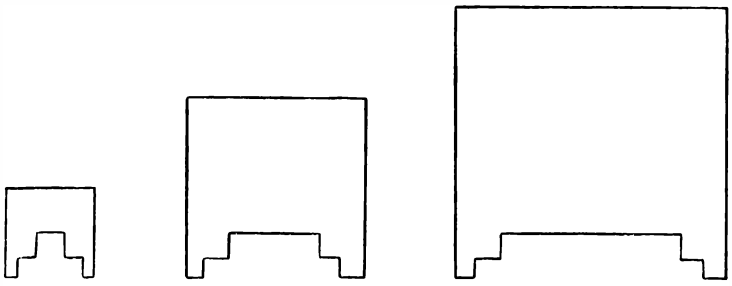


Fig. 2.

kennen, eine Tatsache, die sich übrigens nicht nur auf den inneren Rand des Wulstes, sondern auf den ganzen inneren Teil der Unterfläche, also auch auf die von dem Wulst umrandete Ebene bezieht. Die notwendige Schlußfolgerung, zu der diese Beobachtungen führen, scheint uns die zu sein, daß der Wulst an sich ein ziemlich wenig beständiges Gebilde ist, welches nur durch die von außen her an den Kristall tretende übersättigte Lösung erhalten wird; da, wo die übersättigte Lösung nicht hingelangen kann, tritt Auflösung des Wulstes ein. Ihre Erklärung findet die Erscheinung möglicherweise darin, daß der lasttragende Wulst — er muß ja vornehmlich den Kristall tragen — eine größere Löslichkeit als die übrigen Teile des Kristalles hat; vielleicht spielt auch eine Verschiedenheit der Löslichkeit in verschiedenen kristallographischen Richtungen eine Rolle.

Die Höhe des Wulstes bleibt während der Wanderung mit dem allmählich vorrückenden Außenrande des Kristalles annähernd konstant. Nach einer größeren Zahl von Messungen, die an Kristallen verschiedenen Alters unter dem Mikroskop angestellt worden sind, ergab sie sich ziemlich gleichmäßig zu etwa 0,12 mm, eine Tatsache, die möglicherweise mit der Dicke der Flüssigkeitsschicht zwischen Kristall und Unterlage in Zusammenhang steht (22). Bei Kristallen, die in zur Trockene gedunsteten Lösungen gewachsen sind, dürfte er etwas größer sein, weil die letzten Lösungsreste sich infolge von Adsorption und Kapillarität unter den Kristallen anzusammeln pflegen und die in ihnen enthaltene Substanz sich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bei vollständiger Austrocknung meist der Unterfläche des Kristalles anlagern wird. Ob durch öftere Wiederholung dieses Vorganges — der vollständigen Austrocknung der Lösung — eine merkliche Hebung des Kristalles zustande kommen kann, ist nicht näher untersucht worden, muß aber nach den Versuchen über die Hebung von Fremdkörpern in zur Trockene dunstenden Lösungen, über die nunmehr berichtet werden soll, als möglich angesehen werden.

Die Hebung von Fremdkörpern in **völlig** eintrocknenden Lösungen. — Daß durch das **völlige** Eintrocknen von Lösungen Fremdkörper gehoben werden können, wird durch die folgenden Versuche bewiesen:

1. In eine trockene Kristallisierschale wurden mehrere kleine trockne Gesteinssplitter gelegt und mit einer konzentrierten Lösung von Kalisalpeter übergossen. Die Lösung drang natürlich sofort durch Adsorption auch zwischen Gesteinssplitter und Gefäßboden, sodaß die Steinchen nicht mehr direkt auf dem Boden der Schale lagen, sondern von ihm durch eine Adsorptionsschicht getrennt waren. Wir ließen nun die Lösung vollständig eintrocknen und fanden dann, daß sich einzelne Kriställchen zwischen den Gesteinssplittern und dem Boden des Gefäßes festgesetzt hatten. Als wir dann unter sorgfältiger Vermeidung von Erschütterungen wieder Lösung aufgossen, drang diese wieder unter die Steinchen, sodaß trockne Stellen unter diesen nicht mehr zu sehen waren; möglicherweise trat dabei auch eine geringfügige partielle Wiederauflösung der vorher ausgeschiedenen Kriställchen ein. Bei dem Wiedereintrocknen der Lösung vergrößerten sich die zuerst ausgeschiedenen Kristalle, und neue kamen hinzu. Nach mehrmaliger Wiederholung des Vorganges war eine zusammenhängende Kristallschicht entstanden, welche die Gesteinssplitter vollständig vom Boden der Schale trennte, d. h. die Steinchen waren tatsächlich gehoben worden. Es sei aber ausdrücklich betont, daß der Versuch nicht gelang, wenn wir nicht die Masse bis zum Grunde trocken werden ließen.

2. In eine große Kristallisierschale wurden drei poröse, ebene, etwa 0,5 cm dicke Tonplatten gelegt, und darauf wurden sechs kleine Bechergläschen — je nach der Größe der Tonplatten auf die eine eins, auf die zweite zwei und auf die dritte drei — gestellt, die durch hineingelegte Eisenstücke beschwert waren, drei mit je etwa 70 g und drei mit je etwa 140 g. Dann wurde ge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sättigte Lösung von Chromalaun bis zur Höhe von etwa 2 cm darüber gegossen, sodaß die Tonplatten vollständig bedeckt waren. Die Lösung drang zunächst nur wenige Millimeter zwischen den Boden der Bechergläser und die Tonplatten, auf denen sie standen, von den Seiten her ein, wobei einige Luftbläschen entwichen, die Mitte unter den Gläschen blieb frei. Unter den Tonplatten überzog die Lösung in dünner Schicht den Boden der Kristallisierschale vollständig. Nunmehr blieb die Schale mit Inhalt an einem vor Erschütterungen möglichst geschützten Orte stehen, bis die Lösung — bei Zimmertemperatur — vollkommen zur Trockne verdunstet war. Dann wurde wieder neue Lösung vorsichtig aufgegossen, wieder vollständiger Eintrocknung überlassen und dies mehrmals in gleicher Weise wiederholt. Nach etwa fünf Monaten wurde der Versuch abgebrochen und das entstandene Präparat untersucht.

Auf dem Boden der Kristallisierschale hatte sich eine zusammenhängende, die Tonplatten überkrustende Kristallschicht von etwas wechselnder Dicke, im Durchschnitt aber mindestens 0,5 cm dick, gebildet. Tonplatten und Bechergläser waren festgewachsen, sodaß man die ganze Schale umdrehen konnte, ohne daß etwas herausfiel, ja die Bechergläser ließen sich nur mit verhältnismäßig erheblicher Gewalt losbrechen. Die Kristallschicht bestand in der Hauptsache aus Chromalaunoktaedern, untergeordnet waren grüne, feinfaserige Massen zwischengelagert, vielleicht hydrolytisch abgespaltenes Chromoxydhydrat oder Chromisulfat. Die Ansammlung von Kaliumsulfat in gut begrenzten Partien war mit Sicherheit nicht zu konstatieren; vielleicht war es zum Teil in die porösen Tonplatten hineindiffundiert. Vorübergehend — im Laufe des zweiten Monats — glaubten wir unter den Bechergläsern weiße Kristalle zu bemerken, von denen jedoch bei Abbruch des Versuches nichts mehr zu sehen war. Unter den Becherglaschen hatten sich vom Rande her kleine, schön rot durchscheinende Chromalaunoktaeder abgeschieden, welche die Mitte frei ließen. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung in folgendem: Unter den Becherglaschen, welche einen flach nach oben gewölbten Boden hatten, befand sich bei Beginn des Versuches Luft. Diese Luft wurde beim Aufgießen der Lösung eingeschlossen, konnte nicht entweichen und hinderte die Flüssigkeit am weiteren Vordringen. Ein Kontrollversuch zeigte, daß, wenn der Boden des Gläschens durchbohrt war, die Lösung sofort den ganzen Raum unter dem Gläschen erfüllte. Größere oder geringere Belastung der Becherglaschen hatte keinen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sichtbaren Einfluß auf die Kristallentwicklung. Alle sechs Bechergläschen ruhten nun — das ist das Wesentliche — nicht mehr direkt auf den Tonscherben, sondern auf Chromalaunkristallen. Nach Losbrechen der Gläschen ließ sich einwandfrei feststellen, daß die die Bechergläschen tragenden Kristalle mindestens 1 mm hoch, an manchen Stellen sogar noch etwas höher waren und daß die Bechergläschen die Tonscherben nirgends mehr berührten.

Betrachtete man das Präparat von unten, so konnte man auf dem Boden der Kristallisierschale eine durch wenige luftblasenartige Hohlräume unterbrochene, im übrigen in sich fest zusammenhängende Kristallschicht erkennen. Nachdem ein Stück der Kristallisierschale abgesprengt war, um Vertikalschnitte durch das Präparat zu erhalten, ließ sich auch hier mit Sicherheit erkennen, daß die Tonscherben den Boden der Schale nirgends mehr berührten, sondern von ihm durch eine Kristallschicht, deren Dicke zu 1 bis 2 mm gemessen werden konnte, getrennt waren. Bei der Auskristallisation des Chromalauns waren also Bechergläser und Tonscherben tatsächlich von ihrer Unterlage getrennt und emporgehoben worden (23).

Die Erklärung der Tatsachen bietet keine Schwierigkeiten: Durch Adsorption und Kapillarität dringt die Lösung zwischen den Boden der Glasschale und die Tonscherben sowie zwischen diese und die Bechergläschen ein, und wenn das Lösungsmittel verdunstet, bleibt zwischen den Körpern eine dünne Schicht von Kristallen, die durch mehrmalige Wiederholung des Versuches verstärkt werden kann. Die eigentliche Hebung wird auch hier wieder durch Adsorptions- und Kapillaritätskräfte hervorgebracht. Die Kristallisation wirkt nur insofern, als sie eine feste Schicht liefert, die das Zusammenfallen der getrennten Körper verhindert. Mit „Kristallisationskraft“ hat die Erscheinung nichts zu tun.

Die Erscheinungen der Effloreszenz.

Anhangsweise seien hier noch einige Worte über die Erscheinungen der Effloreszenz gesagt, die schon im Jahre 1877 von Quincke (24) richtig gedeutet worden sind, nämlich als Wirkungen der Adsorption und Kapillarität.

Läßt man eine Salzlösung in einer Schale stehen, so bedeckt sich in vielen Fällen der Teil der Schale, der von der Flüssigkeit überhaupt frei geblieben ist, mit einer dicken Salzkruste, ja die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Salzkruste kann sich sogar über den Rand der Schale hinweg ausdehnen („kriechen"). Die Erklärung liegt in folgendem: Die Adsorptionskraft zwischen der Wandung der Schale und der Lösung ist so groß, daß die Wandung die Lösung an sich emporzieht; verdunstet jetzt das Wasser, so bleibt das Salz als mehr oder minder poröse Kruste zurück, die nunmehr ihrerseits durch Adsorption und Kapillarität weitere Lösungsmengen hebt.

Ein Hinweis darauf, daß diese Erklärung in der Tat die richtige ist, liegt darin, daß das Kriechen keineswegs eine immer auftretende, allen Salzlösungen gemeinschaftliche Eigenschaft ist, sondern wie die Adsorption eine Funktion sowohl der chemischen Natur der Lösung als auch derjenigen der Grenzfläche, d. h. des Schalenmaterials ist.

Als Beispiel dafür, daß ein festes Salz durch Adsorption und Kapillarität auf seine eigene Lösung wirken kann, seien hier zwei von uns gemachte Beobachtungen angeführt:

Als wir eine gesättigte Kupfersulfatlösung, in der einige große, über die Oberfläche der Flüssigkeit hervorragende Kupfersulfatkristalle lagen, zur Trockene dunsten ließen, kletterte die Lösung während des Verdunstungsvorganges an den Kristallen empor auf ihre Oberfläche; die hochgekletterte Flüssigkeit verdunstete aber vollständig, bevor sie den mittleren Teil der Oberfläche der großen Kristalle erreicht hatte, und so entstand am Rande der ursprünglich ziemlich ebenen Oberfläche der Kristalle ein deutlicher Wulst. Ähnliche Beobachtungen haben wir auch an zur Trockene gedunsteten Alaunlösungen gemacht.

Von größerem Interesse ist ein zweiter Versuch: Wir ließen eine gesättigte Salpeterlösung in einer Kristallisierschale, auf deren Boden einige aus der Flüssigkeit herausragende Stückchen von Grauwacke lagen, verdunsten. Hierbei kletterte die Flüssigkeit auf die ursprünglich trockene Oberfläche der Steinchen, und es bildete sich oben auf den Steinchen ein kleiner Salpeterberg.

Nach dem Verdunsten der Lösung wurde wieder etwas Lösung in die Schale gegossen, so jedoch, daß die Oberfläche der Steinchen wieder frei blieb, und sofort kletterte die Lösung, wie der Augenschein mit Sicherheit ergab, wieder auf die Steinchen und weiter auf den darauf liegenden Salpeterberg. Bei Wiederholung des Versuches wurde der Salpeterberg auf der steinernen Grundlage stalaktitenähnlich höher und höher und erlangte schließlich bei verhältnismäßig geringem Querschnitt (z. B. 0,5 qcm) eine recht

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

beträchtliche Höhe (z. B. 2 cm). Ähnliche Erscheinungen kann man häufig an dem oberen Rande und den Wandungen von Kristallisierschalen beobachten, in denen sich „kriechende Lösungen" befinden. Diese Beobachtung ist darum wichtig, weil sie es durchaus als möglich erscheinen läßt, daß auch in der Natur stalaktitenähnliche Gebilde genau so wie der Salpeter„stalaktit" im Experiment von unten nach oben (bezw. bei senkrechter Aufwachsfläche nach der Seite) durch Adsorption und Kapillarität wachsen können (25).

Die Hebung der Kristallmasse ist hier und in ähnlichen Fällen, wie sie ja häufig in der Literatur beschrieben werden, nicht etwa die Wirkung einer mystischen „Kristallisationskraft", sondern eine Wirkung der Adsorption und der Kapillarität. Erst kommt die Hebung der Lösung zustande, und dann tritt, von diesem Vorgange ganz unabhängig, die Verdunstung der Lösung und damit die Kristallisation ein.

Schluß.

Das Ergebnis unserer Untersuchungen ist hinreichend klar: Einen Beweis für die Existenz einer besonderen „Kristallisationskraft" im Sinne der Becker-Day'schen Versuche und damit in dem Sinne, in dem das Wort in der neueren geologischen Literatur ausschließlich gebraucht wird, haben wir nicht finden können. Die im Laboratorium beobachteten Erscheinungen lassen sich — soweit experimentelle Nachprüfung die Richtigkeit der Beobachtungen bestätigte — als Wirkungen wohl bekannter Kräfte wie Adsorption und Kapillarität erklären, die von dem eigentlichen Kristallisationsvorgange unabhängig sind.

Was die natürlichen Vorkommen anbelangt, so können wir uns, da eine weitere Kritik fremder Beobachtungen nicht im Rahmen dieser Arbeit liegt, mit einigen kurzen Hinweisen begnügen.

Allen Berichten über natürliche Vorkommen muß man mit einer gewissen Skepsis gegenübertreten. In der Natur haben wir es mit Erscheinungen zu tun, die das Endergebnis von verschiedenen Prozessen sind, welche in ihrer Art und in ihrem Verlaufe nicht vollständig und mit allen Einzelheiten beobachtet werden können. Es liegt somit immer die Möglichkeit einer unrichtigen Deutung infolge unzureichender Kenntnis der mit-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wirkenden Faktoren nach Art und Zahl vor. Bei der Bildung von Kristallen und Konkretionen in Sedimenten und ähnlichen Erscheinungen dürfte es sich z. B. wohl um Diffusionsvorgänge (26) eventuell in Verbindung mit chemischen Reaktionen oder physikalischen Zustandsänderungen handeln. Bei Ringelerzen (27) und verwandten Bildungen können — die Tatsächlichkeit des „Schwimmens" fremder Bruchstücke in der Gangmasse angenommen — außer Adsorptions- und Kapillarwirkungen, Metasomatose, und andauernden tektonischen Bewegungen während der Kristallisation noch Umkristallisationen oder Zustandsänderungen der Gangmasse u. a. m. in Frage kommen.

Als einwandfreie Beweismittel für die Existenz einer neuen Naturkraft können natürliche Vorkommen bei der Schwierigkeit ihrer Deutung meist nicht angesehen werden. Wenn das Experiment auch nicht alle in der Natur gegebenen Bedingungen zu erfüllen vermag, so spielt es unter diesen Umständen doch eine ausschlaggebende Rolle, und wir sind deshalb wohl berechtigt, auf Grund unserer Untersuchungen die „Kristallisationskraft" bis auf weiteres abzulehnen.

Königl. Bergakademie zu Clausthal i. H., 15. Juni 1913.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Anmerkungen.

1. Über die allgemeinen Ergebnisse dieser Untersuchung hat der eine von uns (BRUHNS) auf der Herbst-Hauptversammlung des Niedersächsischen Geologischen Vereins in Hannover am 19. Oktober 1912 berichtet. Eine vorläufige Mitteilung über den gleichen Gegenstand gab er in der Festrede zur Kaisergeburtstagsfeier 1912 (vergl. die Chronik der Königl. Bergakademie zu Clausthal für das Studienjahr 1911/12).

2. W. BORNHARDT, Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung, 2 Bde., Berlin 1910 und 1912; vergl. insbesondere Bd. I, S. 213 bis 229.

3. K. ANDRÉE, Geolog. Rundschau, Bd. 3, S. 7 bis 15; 1912.

4. K. ANDRÉE, Sitzungsberichte d. Ges. z. Beförd. d. gesamt. Naturw. zu Marburg, Nr. 1 vom 10. Mai 1911.

5. WERNER, Die Silbererzgänge von St. Andreasberg i. H., Glückauf 1910, Nr. 29 und 30; Ber. d. Abteil. f. prakt. Geologie des Intern. Kongr. f. Bergbau, Hüttenwesen usw., Düsseldorf 1910, S. 202.

6. U. GRUBENMANN, Fortschr. d. Mineral., Kristallogr. und Petrogr., Bd. 2, S. 202; 1912.

7. Unter „Reaktion" wird hier, neuerem Sprachgebrauche gemäß, ganz allgemein jeder physikalische oder chemische Vorgang verstanden, der sich in dem betrachteten System abspielt.

8. Vergl. z. B. K. ANDRÉE, Sitzungsberichte usw. (Anmerkung 4).

9. Im Falle einer Volumverminderung tritt, sofern die Volumverminderung selbst nicht möglich ist, als Aquivalent ein „negativer Druck" (Zug) auf; vergl. die Untersuchungen von JULIUS MEYER, „Zur Kenntnis des negativen Druckes in Flüssigkeiten". Abhandl. der Bunsengesellschaft, Heft 6, Halle a. S., 1910. Hier braucht dieser Fall nicht berücksichtigt zu werden.

10. GEORGE F. BECKER und ARTHUR L. DAY, Proc. of the Washington Academy of Sciences, vol. 7, pag. 283 bis 288 (24. Juli 1905).

11. BORNHARDT, l. c., S. 227 bis 228.

12. Am Schlusse ihrer Arbeit sagen BECKER und DAY: „The power which roots exhibit to prise apart large building stones we are content to classify as „vital" and mysterious. We cannot so easily dispose of the similarly intense force with which, as it appears, inorganic molecules drive themselves into place, much as oakum is driven into the seams of a ship by a caulking iron".

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

13. Zitiert nach HERBERT FREUNDLICH, Kapillarchemie, Leipzig 1909, S. 498 ff.

14. Systematische Untersuchungen über den Quellungsdruck sind neuerdings im Laboratorium von FREUNDLICH von E. POSNJAK ausgeführt worden; vergl. E. POSNJAK, Kolloidchem. Beihefte, Bd. 3, S. 417, 1912.

15. In seiner interessanten Arbeit „über die Bildung von Kristallen mit Kernen" (Liebigs Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. 94, S. 124: 1855) sagt KOPP: „Es ist, auch noch in neuerer Zeit, behauptet worden, die Kristalle könnten durch ihr Bestreben zu wachsen mechanische Effekte ausüben und z. B. ein Hindernis mechanisch beseitigen, welches ihrer Ausbildung entgegensteht. So unwahrscheinlich dieses ist, stellte ich doch einige Versuche auch in dieser Richtung an. Ein Kristall von nur wenig größerem spec. Gewicht, als das der Lösung, in welcher er wächst, drückt nur mit sehr geringer Kraft auf seine Unterlage, und es wäre nach jener Ansicht wohl zu erwarten, daß der Kristall beim Wachsen diesen geringen Druck überwinde und sich etwas hebe, um auch nach unten zu wachsen. Läßt man einen durch eine geringe Menge Chromalaun gefärbten Alaunkristall in einer reinen Alaunlösung wachsen, so kann man sehr deutlich sehen, wo an ihm Vergrößerung stattfindet; ich konnte indessen nie etwas beobachten, was die Ansicht unterstützte, daß ein Kristall sich heben kann, um auch an der Fläche, mit welcher er aufsitzt, zu wachsen." Auch wir haben, ehe uns diese Stelle von KOPP bekannt wurde, Chromalaunkristalle von Aluminiumalaun umwachsen lassen und können die Angabe von KOPP nur bestätigen.

16. Die Übersättigung muß sich von der Verdunstungsfläche her sowohl durch die Wirkung der Schwerkraft als auch durch die Wirkung der Diffusion nach unten fortsetzen. Wenn das Untersinken der übersättigten Lösung durch Schlieren und mit solcher Geschwindigkeit erfolgt, daß die Diffusion die Konzentrationsunterschiede zwischen den Schlieren und der umgebenden Flüssigkeit während des Untersinkens nicht auszugleichen vermag, muß sich am Boden des Gefäßes ebenfalls eine Schicht bilden, welche stärker übersättigt ist als die Flüssigkeit in den Mittelschichten. Folgende Beobachtung sei hier mitgeteilt: Wir hatten in gesättigter Alaunlösung, die sich in einem verhältnismäßig hohen Becherglase befand, in einer gekreuzten Drahtschlinge einen großen Alaunkristall aufgehängt und konnten verfolgen, wie sich im Laufe der Zeit der in der Mitte der Lösung schwebende, mehrere Gramm schwere Alaunkristall allmählich auflöste, während sich gleichzeitig sowohl an der Oberfläche der Flüssigkeit als auch am Boden viele einzelne Kristalle ausschieden. Dies weist, wenn wohl auch kleine Temperaturschwankungen mitgespielt haben, darauf hin, daß sich an der Oberfläche und am Boden der Lösung Schichten befanden, die eine höhere Konzentration besaßen als die mittlere Schicht.

17. Wülste treten daher gelegentlich auch an der Oberseite bedeckter Kristalle unter den Deckplatten auf, was auch schon BECKER und DAY beobachtet haben.

18. Versucht man eine übersättigte Alaunlösung zu filtrieren, so scheidet sich leicht in den Poren des Filters kristallisierte Substanz ab, das biegsame

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Filtrierpapier wird steif, und die Filtration kommt infolge vollständiger Verstopfung der Poren zum Stehen.

19. Die in der Natur häufig vorhandene Durchlässigkeit der Unterlage ist wohl einer der Gründe, weshalb Hohlflächen in der Natur nicht auftreten.

20. F. KLOCKE. Neues Jahrb. f. Mineralogie, 1871, S. 571.

21. In der KLOCKE'schen Zeichnung liegt vermutlich eine zu weitgehende Schematisierung und Übertreibung der Wirklichkeit vor. Wenn der Kristall mehrere Monate in verdunstender Alaunlösung wirklich gewachsen ist, so müßte er auch bei sehr langsamer Verdunstung einen Durchmesser von mehreren Zentimetern, wie in der Zeichnung, haben, und die Tiefe der Hohlfläche müßte über 1 cm groß, also sehr gut meßbar gewesen sein.

22. Der Umstand, daß der Wulst in der Regel die Höhe von 0,12 mm besaß, die Höhe des Kristalles selbst aber sicher nicht um diese Höhe zugenommen hat, läßt darauf schließen, daß der Wulst wenigstens zum Teil nicht durch Anlagerung von Substanz am Außenrande der Grundebene, sondern wie bereits im Text angedeutet worden ist, durch Auflösung des inneren Teiles dieser Ebene entstanden ist. Die Ursache für diese Auflösung ist möglicherweise in der größeren Löslichkeit der unter Druck stehenden Grundfläche des Kristalles zu suchen. Tatsächlich zeigt ja nicht nur der innere Rand des Wulstes, sondern auch die von ihm umschlossene Ebene Spuren von Auflösung.

An einem von Kalialaun umwachsenen Chromalaunkristall wurde die Höhe des Wulstes zu 0,3 mm gemessen; hier spielt zweifellos die verhältnismäßig starke Löslichkeit des Chromalauns in der Aluminiumalaunlösung eine Rolle.

23. In eintrocknender Alaunlösung kann man, wie wir uns auch überzeugt haben, die Hebung von Glasplatten ebenfalls beobachten. Was es mit dem von BECKER und DAY angeführten Glasplattenversuch für eine Bewandtnis hat, läßt sich bei dem Mangel an näheren Angaben in ihrer Arbeit nicht entscheiden.

24. Vergl. O. LEHMANN, Molekularphysik, Bd. 1, Leipzig 1888, S. 343.

25. Das könnte z. B. für die als Eisenblüte bekannte Varietät des Aragonits und ähnliche Bildungen der Fall sein.

26. Auf die große Bedeutung des Diffusionsvorganges in den Gesteinen hat bereits seit längerer Zeit LIESEGANG hingewiesen (vergl. auch RAPHAEL ED. LIESEGANG, Geologische Diffusionen, Dresden 1913): Solange die fremde Substanz hinreichend beweglich ist, wechselt sie mit der sich anlagernden, manchmal aus weitem Umkreise herbeiwandernden Kristallsubstanz den Platz. Ist sie nicht hinreichend beweglich, so wird sie eingeschlossen. Schwefelkieskristalle in Tonschiefern enthalten doch oft recht reichliche Toneinschlüsse, und man kann einschlußreiche und einschlußarme Kristalle in demselben Handstück dicht nebeneinander sehen. Auf die Sandkörner in Kalkspat- oder in Schwerspatkristallen und sonstige Einschlußerscheinungen hier näher einzugehen, ist wohl nicht nötig; sie sind ja allgemein bekannt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Im Laboratorium kann man beobachten, daß Kristalle Fremdkörper einschließen, die sich an ihrer Oberfläche so fest anheften, daß sie durch die normalerweise in der Lösung vorhandenen Strömungen nicht fortgeführt werden können. Sorgt man für lebhaftere Bewegung in der Flüssigkeit, wie es z. B Wulff oder Marc bei ihren bekannten Untersuchungen gemacht haben, so werden die Kristalle bei gleich rascher Kristallisation reiner. Daß Diffusionen bezw. Stoffwanderungen nicht nur in Flüssigkeiten, sondern auch im festen Medium vor sich gehen, wird auch durch metallographische Untersuchungen hinreichend bewiesen (vergl. z. B. W. Guertler, Metallographie, Bd. I, Berlin 1909, S. 56).

Auf die Erscheinungen der Selbstreinigung der Kristalle bei der Abscheidung aus andere gelöste Stoffe enthaltenden Lösungen wird der eine von uns (Mecklenburg) in anderem Zusammenhange näher eingehen.

27. Über die Ringelerze wird der eine von uns (Bruhns) an anderer Stelle ausführlichere Mitteilungen machen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahresbericht der Naturhistorischen Gesellschaft zu Hannover

Jahr/Year: 1911-1918

Band/Volume: 62-68

Autor(en)/Author(s): Bruhns Wilhelm Franz Siegfried, Mecklenburg W.

Artikel/Article: Über die sogenannte „Kristallisationskraft“ 1092-1115