

Bemerkungen über die lineare Kraft wachsender Kristalle.

Von **George F. Becker** und **Arthur L. Day**.

Mit 3 Textfiguren.

(Schluß.)

Die gleichen Überlegungen gestatten den von BRUHNS und MECKLENBURG mitgeteilten Fall (Tab. 2) zu analysieren. Hier sind in der gleichen Lösung zwei Kristalle, einer unbelastet und einer belastet. Die Sättigungskonzentration wird gewöhnlich zuerst auf der Oberseite und den Seitenflächen des unbelasteten Kristalls, zweitens auf den exponierten (und gestrainten) Seitenflächen des belasteten Kristalls, drittens auf der tragenden Flüssigkeitsschicht unter dem unbelasteten Kristall und zuletzt in der Flüssigkeitsschicht unter dem belasteten Kristall erreicht werden. Ob die letztere Sättigungskonzentration in Gegenwart der drei niedrigeren Sättigungskonzentrationen sich überhaupt einstellt, wenn alle drei ihre Anziehung auf die Lösung ausüben, wird von den zufälligen Temperaturbedingungen, der Verdampfungsgeschwindigkeit und der Belastung abhängig sein. Es kann auch sein, daß in bezug auf den 2. und 3. Schritt die Reihenfolge eine andere als die angenommene ist. Das ist aber hier von geringer Bedeutung. Das erkennbare Hauptprinzip ist, daß potentielle Übersättigung in der am unbelasteten Kristall anhaftenden Schicht früher als in der am belastenden Kristall anhaftenden Schicht erreicht ist. Wenn keine Übersättigung eintritt, ist offensichtlich kein Wachstum des belasteten Kristalls möglich. Wachstum auf der Unterseite des belasteten Kristalls kann deshalb positiv, Null oder negativ sein und ist eher negativ und Null als positiv unter den Bedingungen, die BRUHNS und MECKLENBURG beschreiben. Verdampfungsgeschwindigkeit und Belastungsmenge beherrschen hier die Verhältnisse, vorausgesetzt immer, daß keine neuen Kerne sich bilden.

Zwei Beobachtungsreihen seien zur Stütze dieser Darstellung hier mitgeteilt. Tab. 4 enthält die Messungen an 2 Kristallen, von denen der eine belastet ist (74 g), der andere nicht, und die sich beide nach Art der Versuche von BRUHNS und MECKLENBURG in der gleichen Lösung befinden.

Die Ergebnisse bestätigen ihre Resultate vollkommen. Der unbelastete Kristall wächst auf der Oberseite, an den Seiten und auf dem Tragwulst, während der belastete Kristall in Richtung der Last kein Wachstum aufweist.

Die Ergebnisse von Tab. 5 mögen nun dazu dienen, zu zeigen, worin BRUHNS und MECKLENBURG zu weit in der Verallgemeinerung derartiger Beobachtungen gingen, wenn sie folgern, daß in der Richtung der Lastwirkung überhaupt kein Wachstum

Tabelle 4.
Bedingungen wie früher.

Zeit in Stunden	Kristall I (Last 74 g)		Kristall II (unbelastet)	
	Kristall- dicke	Dicken- zunahme	Kristall- dicke	Dicken- zunahme
0	4,6014	0 mm	3,9852	0 mm
20	4,6040	0,003	4,2588	0,274
43	4,6027	0,001	4,6636	0,678

stattfindet. Dieses Experiment (Tab. 5) zeigt zwei Kristalle, einen belasteten und unbelasteten in der gleichen gesättigten Lösung und unterscheidet sich im speziellen von dem vorhergehenden (Tab. 4) nur insofern, als die Last von 74 g auf 0,7 g erleichtert wurde. Von BRUHNS' und MECKLENBURG'S Serie (Tab. 2) unterscheidet es sich durch die Verdampfungsgeschwindigkeit, die offenbar größer als ihre ist. Die Messungen lassen an Einfachheit und Bestimmtheit des Beweises, daß ein belasteter Kristall seine Last auch in einer gesättigten Lösung heben kann, wenn (wie das BRUHNS und MECKLENBURG unglücklicherweise versuchten) die Lösung gleichzeitig einen unbelasteten Kristall enthält, nichts zu wünschen übrig. Die mitgeteilte Diskussion zeigt aber deutlich, daß die Bedingungen für das Wachstum hier weniger günstig sind. Nichtsdestoweniger wird Wachstum auch hier eintreten, wenn die Verdampfungsgeschwindigkeit groß genug ist.

Tabelle 5.
Bedingungen wie früher.

Zeit in Stunden	Kristall I (Last 0,7 g)		Kristall II (unbelastet)	
	Kristall- dicke	Dicken- zunahme	Kristall- dicke	Dicken- zunahme
0	4,0307	0 mm	3,4617	0 mm
18	4,0357	0,005	3,5516	0,090
43	4,0492	0,019	3,9907	0,529

Es darf indessen nicht behauptet werden, daß der Tragwulst des unbelasteten Kristalls kein Gewicht trage. („Er muß ja vornehmlich den Kristall tragen“, BRUHNS und MECKLENBURG p. 105)¹. Er trägt in der Hauptsache nur weniger Gewicht als der ent-

¹ Siehe Fußnote p. 343, letzter Paragraph.

sprechende Teil des belasteten Kristalls. Die Bedingungen innerhalb der anhaftenden Flüssigkeitsschicht beider Kristalle unterscheiden sich nur graduell voneinander, und einer oder beide Kristalle können, je nach den durch die Verdampfung gelieferten Übersättigungsbedingungen, wachsen. Da der Prozeß der Verteilung der Kristallmoleküle von der Diffusion abhängt, hat eine kleine Differenz der Belastung nur eine kleine Konzentrationsverschiedenheit in der Distanzeinheit zur Folge und infolgedessen einen geringen Molekularstrom. Diffusion würde auch durch Zunahme der horizontalen Distanz zwischen einem schwerbelasteten und einem unbelasteten Kristall verzögert werden, aber wir haben diese evidente Tatsache nicht besonders experimentell untersucht.

Hätten BRUHNS und MECKLENBURG ihren unbelasteten Kristall unter eine übergreifende Last des Nachbarn gebracht, so würde der Kristall allein gewachsen sein, bis er das Gewicht erreicht hätte, dann würden beide mit Geschwindigkeiten weiter wachsen, die annähernd ihren individuellen Beteiligungen an der Belastung umgekehrt proportional sind. Der Einfluß der Lastverteilung über drei Kristalle zeigt folgender einfacher Fall (Tab. 6).

Tabelle 6.

Zeit = 3 Tage. Temperatur ca. 20°. Last = 200 g.

	Dicke des Kristalls		Dickenzunahme
	Am Anfang	Zum Schluß	
Kristall 1	3,416 mm	3,527 mm	0,111 mm
Kristall 2	2,841	2,970	0,129
Kristall 3	3,033	3,108	0,075

Doch es ist nicht nötig, daß diese Messungen zur Stütze einer so wichtigen Schlußfolgerung allein dastehen sollten.

BRUHNS und MECKLENBURG konnten durch Auskristallisation von Chromalaun, mit Bechergläser belastete, Tonplatten um einen oder mehrere Millimeter emporheben. Die dazu notwendigen Bedingungen waren, daß die Tonplatten und die darauf ruhenden Bechergläser im Kontakt mit einer zur Trockenheit verdampfenden gesättigten Lösung waren. Die maximale Erhebung stellt sich bei Zusatz frischer gesättigter Lösung und darauffolgender Verdampfung ein. Diese Beobachtungen sind nicht im einzelnen gemessen worden, sind aber in den folgenden Paragraphen (BRUHNS und MECKLENBURG, l. c. p. 107 und 108) genügend beschrieben: (p. 107). „Größere oder geringere Belastung der Bechergläschen hatte keinen 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 Gläser ließ sich einwandfrei feststellen, daß 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.“

(p. 108). „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 gemessen werden konnte, getrennt waren. Bei der Auskristallisation des Chromalauns waren also Bechergläser und Tonscherben tatsächlich von ihrer Unterlage getrennt und emporgehoben worden.“

Dieses Emporheben hat, wie sie versichern, nichts mit irgend einer „Kristallisationskraft“ zu tun und hat seine Ursache in Kräften der „Kapillarität und Adsorption“. Aber gerade wie diese Kräfte das Resultat bedingen, erklären sie nicht.

Sind zwei parallele Oberflächenebenen durch einen Flüssigkeitstropfen getrennt, der sie beide benetzt, so ist bekanntermaßen der Kapillaritätseffekt, sie zusammenzupressen, gegeben durch $\frac{2T \cdot V}{d^2}$, wo T die Oberflächentension, V das Volumen des Tropfens und d die Distanz zwischen den Platten ist. Diese Kraft kann groß genug sein, um den Schmelzpunkt eines Eisblockes zu ändern oder zu ermöglichen, Lagen schweren Tafelglases gemeinsam zu brechen. Eine ebene Porzellanplatte (oder Scherbe), befeuchtet mit Alaunlösung und ruhend auf einer Glasplatte, würde einen nach unten wirksamen Druck ausüben, als ob das Glas belastet wäre.

Hat eine Lösung eine größere oder kleinere Oberflächentension als das Lösungsmittel, so tendiert das Gelöste dahin, die Oberfläche gegen die Lösung zu verlassen oder sie aufzusuchen, und in der Physik der Kolloide ist die Konzentration des Gelösten an einer Oberfläche durch Analogie als Adsorption bekannt. Wie E. DORSEY¹ und andere gezeigt haben, kommt wässrige Lösungen von Salzen, wie Chloriden und Carbonaten der Alkalien und Zinksulfat, eine größere Oberflächentension als Wasser zu, und nach POINTING und THOMSON² übertrifft allgemein die Oberflächentension von Salzlösungen die von Wasser. Die Adsorption als eine mögliche hebende Kraft ist in diesem Falle negativ. Adsorptionserscheinungen in ihrer Beziehung zum Kristallwachstum sind experimentell ausführlich von MARC in einer Reihe von 4 Arbeiten:

¹ Phil. Mag. 44. p. 369. 1897.

² Properties of Matter. 181. 1902.

„Über Kristallisation aus wässerigen Lösungen“ (1908—1910)¹ und später „Über Adsorption und gesättigte Oberflächen“ (1913)¹ untersucht worden, ohne irgend etwas zutage zu fördern, das für die von BRUHNS und MECKLENBURG angenommene Hypothese sprechen würde.

Weder Kapillarität noch Adsorption üben einen aufwärts gerichteten Druck in den unter Diskussion stehenden Experimenten aus und die Adsorption verhindert die Ausübung des nach unten wirksamen großen Druckes, den die Oberflächentension des Wassers ausübt, nicht. Dennoch kristallisiert der Alaun und hebt dabei die Bechergläser.

In der Meinung der Beobachter ist es essentiell, daß zur Hebung der Tonplatten und Bechergläser die Verdampfung vollständig ist². Fand die Erhebung dann statt, nachdem die Kristallisation beendet und die Masse erstarrt war? Die Beobachter machen keine derartige Bemerkung, die in der Tat absurd erscheinen würde. Aber wenn die Hebung nicht nach der Erstarrung entstand, hat sie vor dem Eintrocknen stattfinden müssen, während die darunter liegende Schicht flüssig war und die Kristallisation fortschritt, trotz der Kapillaritätskraft und trotz der Belastung.

LIESEGANG scheint diesen Widerspruch in den Angaben von BRUHNS und MECKLENBURG bemerkt zu haben. Indem er ihren Schlußfolgerungen beistimmt, sucht er sie durch folgende Erklärung zu beheben³ (bezugnehmend auf die Experimente von BRUHNS und

¹ Die hauptsächlichsten Resultate sind in nachstehenden Zitaten zusammengefaßt. (Zeitschr. f. phys. Chemie):

„Es wurde gefunden, daß, soweit Bestimmungen möglich waren, die Kristallisationsgeschwindigkeit aller untersuchten Stoffe dem Quadrat der Übersättigung proportional verläuft“ (l. c. 67. p. 500. 1909).

„. . daß der eigentlichen Kristallisation ein rasch verlaufender Vorgang vorausgeht, der als ein Adsorptionsvorgang angesehen wird. Diese Anschauung wird noch speziell dadurch unterstützt, daß gerade dieser primäre Vorgang von kleinen Verunreinigungen der Oberfläche der Kristalle sehr stark abhängig ist“ (l. c. 73. p. 718). 1910.

„Eine Beziehung zwischen Konzentration und adsorbierter Menge ließ sich nicht auffinden“ (l. c. 73. p. 686. 1910).

„In allen Fällen wird die Geschwindigkeit des Kristallisationsvorganges durch Zusatz solcher Stoffe, die vom Kristall adsorbiert werden, verlangsamt, eventuell praktisch gleich Null gemacht“ (l. c. 73. p. 718. 1910).

„Es wurde gezeigt, daß an den kristallinen Stoffen sich im wesentlichen Kolloide adsorbieren lassen, während Kristalloide sich im allgemeinen an denselben nur äußerst wenig adsorbieren lassen“ (l. c. 81. p. 692. (1913).

² BRUHNS und MECKLENBURG, l. c. p. 105. „Es sei aber ausdrücklich betont, daß der Versuch nicht gelang, wenn wir nicht die Masse bis zum Grunde trocken werden ließen.“

³ R. E. LIESEGANG, Kristallisationskraft. Naturw. Rundschau der Chem.-Ztg. Zweiter Jahrgang. 1913. p. 183.

MECKLENBURG): „Nicht ein Wachstumsdruck der Kristalle, sondern Kapillar- und Adsorptionskräfte bewirkten hier aber die Hebung. Das heißt, die Leistung war schon vollbracht, ehe Kristalle auftraten“.

„Die Leistung war schon vollbracht, ehe Kristalle auftraten.“ Das ist von BRUHNS und MECKLENBURG nicht behauptet worden, noch läßt es sich durch irgend einen experimentellen Befund stützen.

Wir können keinen Grund für das Heben der Bechergläser infolge Kapillarität oder Adsorption einsehen. Sie könnten die Hebung nur verhindern und müssen durch eine die Kristallisation begleitende lineare Kraft, wie in unseren eigenen Experimenten, überholt werden.

Es ist indessen nicht angemessen, in physikalischen Dingen sich auf Überlegungen allein zu stützen, wenn Experimente ausführbar sind. Deshalb versuchten wir die Kräfte, welche BRUHNS und MECKLENBURG in Anspruch nehmen, durch Verdampfung einer kolloidalen Lösung (Gummi arabicum), in der ein den Alaunkristall ersetzender Glasblock zwischen zwei Glasplatten eingetaucht ist (Tab. 7), zu trennen. Verdampfung zur Trockenheit verursachte keine Erhebung der oberen Glasplatte, wie es der Fall sein sollte, wenn Kapillarität und Adsorption die Quellen der hebenden Energie wären.

Tabelle 7.

Glasblock den Alaunkristall in Fig. 1 ersetzend. Belastung (Glasplatte = 24 g). Glasblock und Last vollständig in 2 % Lösung von Gummi arabicum in Wasser getaucht. Zimmertemperatur.

Zeit (Stunden)	Sphärometerablesungen	Dickenzunahme	Bemerkungen
0	37,2609	0 mm	
3,1	37,2649	+ 0,004	
28,1	37,2654	+ 0,0045	
45,1	37,2621	+ 0,001	
50,2	37,2615	+ 0,001	Zur Trockenheit verdampft

Neu gefüllt mit 2 % Gummi arabicum-Lösung. Unverändert gleiche Bedingungen.

58,8	37,2669	+ 0,006	
68,6	37,2670	+ 0,006	
76,1	37,2670	+ 0,006	
116,9	37,2653	+ 0,004	Zur Trockenheit verdampft

Eine gesättigte Alaunlösung zu dem Kolloid hinzugefügt (Tab. 8) erzeugt Kristalle, die sofort, wenn auch mit bedeutend geringer Geschwindigkeit als ohne Kolloid, wachsen.

Tabelle 8.

Gleiche Platten, gleicher Glasblock und gleiche Bedingungen, ausgenommen daß die 2 % Gummi arabicum-Lösung mit Kalialuminiumsulfatlösung gesättigt worden ist.

Zeit in Stunden	Sphärometerablesungen	Dickenzunahme
0	37,2653	0 mm
4,2	37,2694	0,004
24	37,2721	0,007
29	37,2812	0,016
46	37,2816	0,017
71	37,2842	0,019
95	37,2857	0,020
148	37,2873	0,022
173	37,2916	0,026
214	37,3079	0,043
287	37,3178	0,052
366	37,3170	0,052
409	37,3185	0,053

Dies ist mit den Experimenten von MARC¹ in vollkommener Übereinstimmung. Neben einer Bestätigung der Resultate von MARC beweist dieses Experiment, daß die „lineare Kraft“ hier ebenfalls, trotz des Einflusses des Kolloids auf Diffusionsverminderung (infolge zunehmender Viskosität und Bildung einer Adsorptionshaut auf der Kristalloberfläche) wirksam ist.

Die Bedingungen in den Erzlagerstätten scheinen sehr gut mit den Laboratoriumsbedingungen übereinzustimmen, da die Kristallisation von lokalen Erscheinungen linearen Druckes begleitet sein kann oder nicht, gemäß der Größe und Verteilung der widerstrebenden Kräfte. Sein Fehlen gibt sich oft in der Kammstruktur (comb structure) kund, die man in Spalten findet, deren beide Wände mit dichthaftenden Kristallen besetzt sind, welche ineinandergreifen und durch den ganzen Spalt hindurchwachsen oder sich in Nähe der Mitte berühren und gegenseitig weitere Entwicklung verhindern. Diese Kammstruktur ist häufig in Adern zu finden, doch ist sie lange nicht die einzige.

Es mag auch erwähnt werden, daß einseitige (lineare) Drucke eine untergeordnete Rolle in vielen komplexeren Phänomenen spielen.

Die Herren BRUHNS und MECKLENBURG scheinen den letzten Abschnitt unserer Arbeit mißverstanden zu haben, in dem wir die Aufmerksamkeit auf die Tatsache richteten, daß man die lineare

¹ Siehe Fußnote p. 368, Paragraph 3.

Kraft wachsender Kristalle nicht als etwas Mysteriöses, dem Wachstum der Pflanzen Vergleichbares ansehen darf. Es ist ein scharf definierter physikalischer Prozeß, der der experimentellen Untersuchung zugänglich ist. Er mag nicht ganz verstanden werden, aber er ist nicht mysteriös.

Die Schlußfolgerung dieser Autoren scheint zu sein, daß während des Wachstums Material nur an der Oberseite und den Seitenflächen des Kristalls sich anfügt, so daß ein einmal adidiertes Molekül auf seinem ursprünglichen Niveau bleibt. Das war KOPP's Auffassung im Gegensatz zu der von LAVALLE, dessen Schlußfolgerungen indessen von LEHMANN und andern, so auch uns, bestätigt wurden.

Bleibt ein gegebenes Masseninkrement nach der Ablagerung während des Wachstums auf seinem ursprünglichen Niveau, so übt es keine lineare Kraft aus, während, wenn die Bewegung des Partikelchens eine vertikale Komponente hat, infolge der vertikalen Ausdehnung der Kristallseitenflächen eine lineare Kraft ausgeübt wird.

Sind anderseits mehrere Kristalle in der Lösung, von denen einer oder mehrere belastet sind, die andern aber nicht, so werden die belasteten Kristalle nur wachsen, wenn die Konzentration der Lösung im Kontakt mit ihnen die Sättigungskonzentration für jeden Kristall überschreitet. Druck erhöht bekanntermaßen die Löslichkeit der meisten Salze¹ (bezw. erhöht er den Sättigungspunkt). Unter diesen Bedingungen werden die unbelasteten Kristalle, oder genauer die weniger belasteten Kristalle, für gewöhnlich die einzigen sein, die eine hebende Kraft ausüben; aber auch in diesem Falle wird während des Wachstums das Gewicht eines jeden Kristalls gehoben.

So sind BRUHNS' und MECKLENBURG's Resultate mit belasteten Tonplatten leicht verständlich. Sie experimentierten mit Lösungen von vielen kleinen Kristallen, von denen einige belastet waren, andere nicht. Eine Hebung war nicht meßbar, bis die Flüssigkeit tief stand und ihre Oberfläche (und infolgedessen die Verdampfungsgeschwindigkeit) durch hervorschießende feste Masse stark zunahm, oder bis die Kristalle vom Boden des Gefäßes die Platten erreichten und hoben.

Wiederholung der Operation in Ausdehnung über wenige Tage erzeugte eine Gesamterhebung von 5,0 mm. Vergleicht man das mit unseren ursprünglichen Messungen, die im Verlauf dieser

¹ Wie wohl bekannt, erhöht Druck die Löslichkeit, wenn der Lösungsvorgang bei konstanter Temperatur von einer Verminderung des totalen Volumens und von Wärmeabgabe begleitet ist. Das ist der Fall für die meisten kristallinen Stoffe, einschließlich Alaun. Ist die Volumänderung eine Vergrößerung wie bei NH_4Cl , erniedrigt Druck die Löslichkeit.

Kontrolle zweimal bestätigt wurden, ergibt sich, in Rücksicht auf den schmalen Rand, auf welchen sie wirken, daß Drucke überwunden werden von derselben Größenordnung wie der Widerstand, den die Kristalle der Beanspruchung durch Druck entgegensetzen. Und man darf wohl nicht zweifeln, daß das eine Kraft ist, die sich sowohl in der Materialienkunde¹ wie in der Geologie² bemerkbar machen kann.

Zusammenfassung.

1905 zeigten wir durch geeignete Versuchsanordnung, daß ein einziger Kristall in seiner gesättigten Lösung im Verlauf des Wachsens (durch potentielle Übersättigung der Lösung infolge Verdampfung) ein darauf gelegtes Gewicht hebt. Diese Beobachtung ist in dieser Arbeit bestätigt worden.

1913 brachten BRUHNS und MECKLENBURG zwei Kristalle in eine ähnliche gesättigte Lösung, der eine Kristall war belastet und der andere frei. Sie beobachteten, daß die Last auf dem einen Kristall nicht gehoben wurde, obschon der freie Kristall rasch wuchs. Dieses Experiment führte sie dazu, zu bestreiten, daß es eine „Kristallisationskraft“ gebe, die ein fremdes Gewicht heben könne, doch gaben sie zu, daß eine Kraft des unbelasteten Kristalls sein eigenes Gewicht hebe. Es scheint, daß sie übersahen, daß für die meisten Substanzen die Löslichkeit eines belasteten Kristalls größer als die des unbelasteten Kristalls ist, und daß es sich nur um einen graduellen Unterschied handelt, weil auch der unbelastete Kristall ein Gewicht trägt (nämlich sein eigenes).

Infolge dieser größeren Löslichkeit werden bei Anwesenheit eines belasteten und eines unbelasteten Kristalls in der gleichen Lösung die notwendigen Bedingungen der potentiellen Übersättigung in der dem unbelasteten Kristall anhaftenden Schicht eher als in der dem anderen Kristall benachbarten Schicht erreicht sein, und das Wachstum des unbelasteten Kristalls kann dauernd die Konzentration unter der für das Wachstum des belasteten Kristalls notwendigen halten. Das scheinen die Bedingungen zu sein, die in den Experimenten von BRUHNS und MECKLENBURG vorhanden waren. Ist hingegen die Wachstumsgeschwindigkeit des unbelasteten Kristalls ungenügend, um den durch die Verdampfung erzeugten Sättigungsüberschuß aufzunehmen, so kann auch die für das Wach-

¹ Vergleiche die Untersuchungen von Dr. HANS KÜHLE, Die Ursachen des Treibens der Zemente. *Tonindustrie-Ztg.* 36. 1912. p. 1331—4, und KLEIN und PHILLIPS, Hydration of Portland Cement. *Technologic Papers of the Bureau of Standards.* No. 43. p. 50, 56, 57. 1914.

² Vergl. neuere Beobachtungen von STEPHEN TEBER: *Virginia Geol. Surv. Bull.* No. VII. 222. 1913, ebenso: *Rock salt. Its origin, geological occurrences and economic importance in the State of Louisiana.* *Bulletin* No. 7, *Geol. Surv. of Louisiana.* p. 75. 1907.

tum des belasteten Kristalls notwendige potentielle Übersättigung erreicht oder gar überschritten werden, und der belastete Kristall wird auch wachsen und seine Last heben. Diese Bedingungen sind ohne Schwierigkeit in hier mitgeteilten Experimenten erreicht worden. Nimmt die Konzentration noch rascher zu und ist es den belasteten und unbelasteten Kristallen unmöglich, im Wachstumsverlauf den Sättigungsüberschuß aufzunehmen, so werden sich neue Keime bilden, um die sich der Überschuß absetzt. Das scheinen Bedingungen zu sein, wie sie in den letzten Versuchsreihen von BRUHNS und MECKLENBURG erreicht wurden, als Verdampfung zur Trockenheit stattfand.

Hier wurden sechs mit Gewichten belastete Tonplatten alle um einen Millimeter oder mehr in der gleichen Lösung gehoben; aber BRUHNS und MECKLENBURG schreiben dieses Resultat der Kapillarität und Adsorption zu und bestreiten, daß die „lineare Kraft wachsender Kristalle“ eine solche mechanische Verschiebung zur Folge haben könne.

Eine einfache Analysis genügt, zu zeigen, daß die Kapillarität in einer zur Trockne verdampften Lösung keinen anderen Effekt haben kann, als den Kristall auf seine Unterlage zu pressen mit einer Kraft $\frac{2TV}{d^2}$, wo T die Oberflächentension, V das Volumen des zwischen Kristall und Unterlage befindlichen Flüssigkeitstropfens, d die Distanz zwischen den beiden sind, und daß das von BRUHNS und MECKLENBURG beobachtete Heben trotz und nicht wegen dieser entgegengesetzten Kraft stattfand. Adsorption verzögert die Diffusion und verringert die Wachstumsgeschwindigkeit, aber fördert sie nicht. Diese Kräfte können daher nicht zur Erklärung der von BRUHNS und MECKLENBURG und von uns beobachteten Erscheinungen herbeigezogen werden.

Wir kehren daher zu unserer ursprünglichen Annahme zurück, daß das Wachstum der Kristalle in einer gesättigten Lösung eine lineare Kraft in Richtung der Belastung entwickle und daß weder die Größe der Last (bis zur Festigkeitsgrenze) noch ihr Charakter (ob nur Kristallsubstanz oder z. T. fremde Substanz) einen anderen Effekt hat, als die Löslichkeit zu erhöhen und damit auch die zur potentiellen Übersättigung und zum Wachstum nötige Konzentration. Dieser Grad der Übersättigung kann mit Leichtigkeit durch Verdampfung oder anderswie erreicht werden, und wenn er erreicht ist, werden die Gewichte gehoben. Mit dieser Annahme stehen die Beobachtungen von BRUHNS und MECKLENBURG und unsere eigenen in keinem Widerspruch, und alle experimentellen, bekannten Daten sind damit in vollkommener Übereinstimmung.

Geophysikalisches Laboratorium, Carnegie Institut Washington.
Washington D. C., 20. Februar 1916.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: [1916](#)

Autor(en)/Author(s): Becker George F., Day Arthur L.

Artikel/Article: [Bemerkungen über die lineare Kraft wachsender Kristalle. \(Schluß.\) 364-373](#)