

ebenso nimmt auch die Größe und Stärke der Lehm bäumchen gegen den Schlund der Schwinde zu (Abb. 2). Außerdem ändert sich die Form der Lehm bäumchen im Bereich des Schlundes zu Figuren verschiedener Art. Die Größe der Lehm bäumchen und Lehmfiguren schwankt zwischen einem halben bis vier Zentimeter.

Dans une galerie de la grotte «Lamprechtsofen» près de Lofer (Salzbourg), l'auteur a observé des formations intéressantes d'argile. Dans la galerie quelques-fois inondée se trouvent de «petits arbres» d'argile dont la genèse dépasse sous des conditions spéciales.

Der schichtenweise Aufbau der Bodenzapfen

(Beiträge zur Morphologie des Höhlensinters, III)

Von Herbert W. Franke (Herrsching am Ammersee)

Wie Schnitte beweisen und wie auch aus ihrer Bildungsart hervorgeht, bauen sich Bodenzapfen schichtenweise auf. Wenn wir Näheres über Dickenverteilung und Wölbung der Schichten wissen, entschlüsselt sich auch die Form der endgültigen Bildungen. Für das Absetzen der Kalkschichten sind verhältnismäßig viele Einflüsse maßgebend, und bei einer exakten Durchdringung des Problemkreises wird man sie alle zu berücksichtigen haben. Es gibt aber gewisse allgemeine Regeln für Schichtenbildung aus ab rinnenden Flüssigkeiten, wie sie bei der Tropfsteinbildung erfolgt, die von den meisten einwirkenden chemisch-physikalischen Größen unabhängig sind. Mit anderen Worten: Der entstehende Formenschatz ist in weiten Grenzen unbeeinflusst von Größen, wie Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit, Austauschgeschwindigkeit, Verdunstungsrate usw.

Als übergeordnete Regel gilt:

1. Jede Schichtfläche muß zugleich eine prinzipiell mögliche Oberflächenform eines Tropfsteins sein. Begründung: In einem früheren Stadium bildete sie die Oberfläche des Gebildes.

Diese Regel kann zur Überprüfung jener Schlüsse verwendet werden, die wir aus der zweiten ziehen werden. Die zweite Regel gilt unter sogenannten stationären Bedingungen; das heißt, alle die Abscheidung beeinflussenden Größen bleiben konstant. Sie lautet:

2. Beim Heranwachsen eines Tropfsteines bildet sich bald eine Gleichgewichtsform heran. Diese Oberflächenform, und gemeint ist jetzt nur der gekrümmte aufwärtsgerichtete Teil der Oberfläche, ändert sich auch beim weiteren Wachsen nicht mehr, sie schiebt sich nur parallel nach oben.

Begründung: Das Lösungswasser verteilt sich, wie es ihm die Schwerkraft vorschreibt¹, um die Auftropfstelle herum, die auf einer horizontalen Fläche liegen soll. In ihrer engsten Umgebung wächst daher die Schicht am schnellsten hoch und erzeugt einen Buckel. Durch das Gefälle rund um diesen herum rinnen die Lösungen nun schneller in die Umgebung ab. Der Ausbreitung ist eine Grenze gesetzt, die davon abhängt, wie schnell die Lösungszufuhr mit der Abscheidung Schritt halten kann. Die Schichten sind also in ihrer rotations-symmetrischen Ausdehnung begrenzt, ihr Durchmesser hängt vom Verhältnis Zufuhrgeschwindigkeit/Abscheidung der Lösungen ab.

Diese Größe ist neben der Bildungszeit der maßgebende Parameter für die Tropfsteinform. Wenn wir als Z die in der Zeiteinheit mit dem Wasser zugeführte Kalkmenge und als v die pro Zeiteinheit und Flächeneinheit des Grundrisses ausgeschiedene Kalkmenge bezeichnen, so daß

$$Z = 2\pi \int v(r) dr$$

gilt, dann wird der charakteristische Quotient

$$q = \frac{Z}{\bar{v}};$$

der Ursprung des Koordinatensystems liegt dabei in der Symmetrieachse des Tropfsteins. Da v vom Radius r abhängt, wurde zunächst eine mittlere Verdunstungsgeschwindigkeit \bar{v} eingeführt.

Während des Anlaufvorgangs bildet sich also eine ihre Krümmung verstärkende Buckelform aus. Das Profil eines Querschnitts durch die Tropfsteinachse gibt die Fallinie an. Längs dieser Fallinie rinnen die Tropfen ab oder wirken die Kohäsionskräfte, die einem Auseinanderreißen des Wasserfilms entgegenwirken. Je steiler ein Abschnitt der Fallinie ist, um so stärker wird das Wasser hinuntergezogen.

Und nun erfolgt der Beweis, und zwar indirekt. Wir gehen also von der erreichten Endform aus und behaupten, es sei jene, auf der sich die weiteren Sinterabsätze nur so abscheiden können, daß auch sie wieder diese Oberflächenform, nur ein wenig nach oben verschoben, bilden. Das bedeutet, daß die Höhe einer Schicht überall gleich ist. Würden sich nämlich die Tropfen oder die Wasserfilme anders über die Oberfläche verteilen, dann würde sich dadurch die Form der Fallinien ändern. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten: Erstens, sie werden steiler — das heißt, die senkrecht gemessene Höhe der Schicht wächst in den oberen Regionen mehr als in den unteren. Die erhöhte Steilheit bringt aber einen stärkeren Zug und eine intensivere Wasserbewegung nach unten mit sich, dadurch wird die Ausscheidung in den unteren Partien stärker und in den oberen schwächer, die Fallinien werden so lange flacher, bis sich der Vorgang umzukehren beginnt. Da wir von

¹ H. W. Franke: Die Höhle, 7. Jg., Heft 2, S. 35, Wien 1956.

der Gleichgewichtsform ausgegangen sind, so können Abweichungen nur vernachlässigbar klein sein. Und analog wirkt sich eine virtuelle Verflachung der Falllinien aus. Dadurch wird die Ausscheidung oben stärker, und die Falllinie wieder steiler. Ist also erst einmal die Gleichgewichtskonfiguration erreicht, dann gleicht sich jede Abweichung davon von selbst aus.

Wir können nun die Regel 2 noch anders ausdrücken: Die senkrecht gemessenen Höhen jeder Tropfsteinschicht sind konstant, sobald die Gleichgewichtskonfiguration erreicht ist. Dann sind aber alle über jeder Flächeneinheit des Grundrisses abgeschiedenen Kalkmengen einander gleich, v ist also von der Entfernung von der Achse und von der Krümmung unabhängig, $v = \bar{v}$, und es gilt

$$Z = 2 \pi v R,$$

wobei R den Radius des Bodenzapfen-Horizontalschnitts bedeutet, sowie

$$q = 2 \pi R, \text{ bzw. } \bar{R} = \frac{q}{2 \pi}.$$

Mit Hilfe der Regel 2 gelingt es uns leicht, die Tropfsteingestalt des stationären Zustands abzuleiten. Wir können sie aus einzelnen gleichgroßen kappenförmigen Schichten aufbauen und kommen zur Zylinderform, zur Tropfsteinkerze. Die Dicke eines zylindrischen Bodenzapfens hängt also im wesentlichen von der Lösungszufuhr ab, sie ist ihr direkt proportional und der Ausscheidungsgeschwindigkeit (Kalkmenge pro Flächeneinheit pro Zeiteinheit) verkehrt proportional, während die Höhe der Zeit proportional ist. Änderungen des charakteristischen Verhältnisses q ändern in erster Näherung nichts an dem linearen zeitabhängigen Anstieg.

Es soll hier noch einmal betont werden, daß es sich zwar bei unseren Betrachtungen um idealisierte Bedingungen handelt, daß sich aber jede Realform von der Idealform her verstehen läßt. Beispielsweise wird sich ein Bodenzapfen nur selten wirklich aus lauter Kappen konstanter Höhererstreckung aufbauen, aber die Abweichungen werden sich stets nur als Pendeln um ihre Idealform äußern. Wenn prinzipiell andersartige Aufbauarten zu verzeichnen sind, so muß das an von der Norm stark abweichenden Bildungsbedingungen liegen, und auch diese Erkenntnis hat ihren Wert. Aber auch für die Bildungsbedingungen gilt etwas Ähnliches wie für den Formenschatz. Sie werden nie im Detail mathematisch exakt erfaßbar sein, aber normalerweise wird es sich nur um statistische Schwankungen um die idealisierten Verhältnisse herum handeln.

Vom stationären Zustand kann man leicht zu nichtstationären Zuständen übergehen, wenn dabei die Regel der konstanten Schichthöhen auch nur mehr genähert gilt. Nehmen wir zunächst an, der Quotient q und damit der Schichtkappendurchmesser nehmen stetig ab. Dann reicht der Oberflächeninhalt der darüberliegenden Schicht nicht

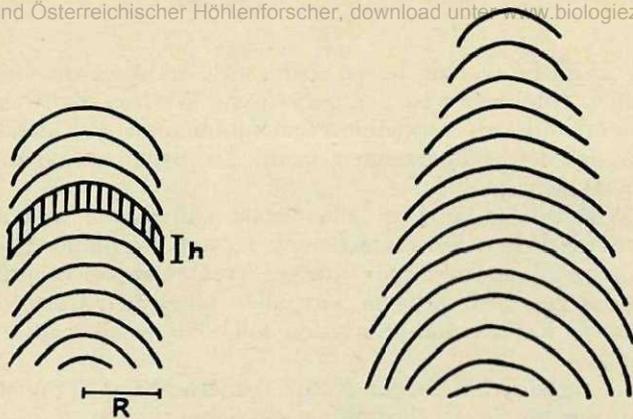


Fig. 1. Schematisches Profil eines unter stationären Bedingungen entstandenen Bodenzapfens, mit dem Radius R , aus Schichtkappen der Höhe h aufgebaut.
 Fig. 2. Schematisches Profil eines kegelförmigen Bodenzapfens; Fall des abnehmenden Verhältnisses Lösungszufuhr/Abscheidung.

aus, um die darunterliegende zu bedecken. Das Höhenwachstum behält seinen Wert, aber das Dickenwachstum nimmt ab. Wir kommen zur Kegelform.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, daß durch einen stetig ansteigenden Schichtkappenradius ein auf der Spitze stehender Kegel entstehen sollte. Wenn wir uns aber an das Schwerkraftgesetz der Sinterbildung erinnern, so merken wir, daß dort, wo sich die größeren Schichten über die unten liegenden kleineren Schichten stülpen, ein anderes Bildungsprinzip gilt, das der Zergliederung. Es bilden sich zwar größere Kappen, aber dort, wo sie über den senkrechten Rand hinausragen, müssen sie sich auffalten.

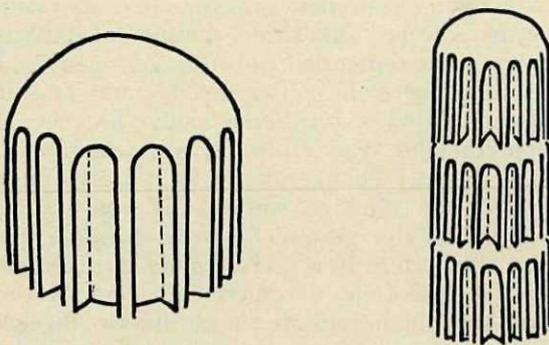


Fig. 3. Bodenzapfen, schematisch; Fall des zunehmenden Verhältnisses Lösungszufuhr/Abscheidung.
 Fig. 4. Kaskadenförmiger Bodenzapfen, schematisch; Fall eines zyklisch wechselnden Verhältnisses Lösungszufuhr/Abscheidung.

Auf ähnliche Weise lassen sich auch nichtlineare Bedingungen untersuchen. Interessant ist der periodische Wechsel zwischen sich vergrößerndem und sich verkleinerndem Quotienten q . Dann entstehen, wie man sich leicht überzeugen kann, Tropfsteinkaskaden, in denen sich Klimazyklen spiegeln.

In Wirklichkeit wird es keine exakt stationären und auch keine stetig veränderlichen Verhältnisse geben, stets werden wir statistische Schwankungen berücksichtigen müssen. Wie man leicht prüfen kann, läßt sich das gegebene Schema auch allen möglichen Unregelmäßigkeiten anpassen. Extra erwähnt werden soll, daß es aber Mikrovorgänge nicht erfaßt.

Der Vergleich mit in der Natur vorgefundenen Tropfsteinformen zeigt, daß wir hier eine Vorstellung gewonnen haben, die sich erstaunlich leicht zur ersten orientierenden Klassifizierung der Bodenzapfen verwenden läßt.

L'auteur s'occupe avec la morphologie des stalagmites. Les types des formes stalagmitiques s'expliquent par les conditions génétiques. En étudiant les relations déterminant la croissance d'un stalagmite, on peut faire des conclusions en ce qui concerne les conditions climatiques pendant la genèse des cristallisations.

Über „falsche“ Höhlenschotter

Von Othmar Schaubberger (Hallstatt)

Als Höhlenschotter bezeichnet der Speläologe kleinere oder größere Anhäufungen von zumeist sehr gut gerundeten Geröllen, wie sie in jeder größeren aktiven Wasserhöhle, nicht selten aber auch in Höhlen angetroffen werden, die hoch über dem heutigen Talniveau liegen und — abgesehen von unbedeutenden Sekundärgerinnen — keine durchlaufende Wasserführung mehr aufweisen. Gerade in solchen Höhlen gelten die Schotter als Beweis für die ehemalige Existenz eines Höhlenflusses mit entsprechender Wasserführung und Schleppkraft. Da es sich aber immerhin auch um Pseudogerölle, d. h. um ursprünglichen Bruchschotter, der durch die ständige Einwirkung von stationären Sickerwässern mehr oder minder gerundet wurde, handeln könnte, scheint solchen Schottern besondere Beweiskraft dann zuzukommen, wenn sie *ortsfremde* Gerölle enthalten, die nicht aus dem Muttergestein der Höhle bestehen. Auch dann muß aber noch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß solche Gerölle aus älteren Schotterüberlagerungen der Landoberfläche oder aus Moränen in mehr oder minder bereits „fertigen“ Zustand erst später durch Spalten oder Schächte in die Höhle gelangt sind, wie dies z. B. W. Biese für die Konglomerate im

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1961

Band/Volume: [012](#)

Autor(en)/Author(s): Franke Herbert W.

Artikel/Article: [Der schichtweise Aufbau der Bodenzapfen 8-12](#)