

DIE HÖHLE

ZEITSCHRIFT FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE

Jahresbezugspreis: Österreich S 100,—
Bundesrepublik Deutschland DM 16,—
Schweiz sfr 14,—
übriges Ausland S 110,—

Gefördert vom Bundesministerium
für Wissenschaft und Forschung (Wien)

Organ des Verbandes österreichischer Höhlenforscher / Organ des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V.

AU ISSN 0018-3091

HEFT 1

AUS DEM INHALT:

Wachstumsgeschwindigkeiten und Durchmesser von Kerzenstalagmiten (Dreybroth-Franke) / Messungen über Wachstumsgeschwindigkeiten von Sinterröhrchen (Weinbruch) / Das neue Ehrenzeichen „Für Verdienste um Österreichs Höhlenforschung“ (Ilming-Stummer) / Karst, Höhlen, Natur- und Umweltschutz / Kurzberichte / Veranstaltungen / Schriftenschau / Impressum

38. JAHRGANG

1987

Wachstumsgeschwindigkeiten und Durchmesser von Kerzenstalagmiten

Beiträge zur Morphologie des Höhlensinters

Von W. Dreybrodt (Universität Bremen) und H. W. Franke (Universität München)

Einige grundlegende Regeln für die Morphologie des Höhlensinters wurden schon in den fünfziger Jahren erkannt (Franke 1956, 1961, 1963). Tropfsteine erwiesen sich als durch äußere Kräfte geprägte (dissipative) Formen, bei deren Entstehung die Abscheidungs-dynamik von CaCO_3 aus übersättigten Kalklösungen und der Einfluß der Gravitation auf die absickernden dünnen Wasserschichten maßgebend sind. Damit wurde der Unterschied zwischen Boden- und Deckenformen erklärbar. Die Bodenformation beruht auf Schichtenbildung, die zur stabilen (stationären) Form des Kerzenstalagmiten führt. Sie ist von der geometrischen Form der Unterlage, auf die der Stalagmit aufwächst unabhängig (Dreybrodt und Lamprecht, 1981). Eine mathematische Berechnung der Form und Stratigraphie von Kerzenstalagmiten ist möglich; sie bietet die Basis für das Verständnis komplizierter Formen.

Die Wachstumsgeschwindigkeit von Höhlensinter wird bestimmt durch die Abscheidungsrate S

$$S = \alpha \cdot ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq}) \frac{\text{mmol}}{\text{cm}^2 \text{s}}; \quad (1)$$

$[Ca^{++}]$ ist die Kalkkonzentration der auftropfenden Lösung, $[Ca^{++}]_{eq}$ die Konzentration im Gleichgewicht mit dem CO_2 -Partialdruck p_{CO_2} der Höhlenatmosphäre. α ist eine Konstante, die abhängt von der Temperatur, der Schichtdicke δ des auf dem Sinter stehenden Wasserfilms und dem CO_2 -Partialdruck p_{CO_2} . Für p_{CO_2} im Bereich zwischen $3 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ atm zeigt sich allerdings eine so schwache Abhängigkeit von α , daß für diesen Bereich α als konstant betrachtet werden kann. Das Gleiche gilt bei laminar abströmenden Wasserfilmen für die auf Stalagmiten vorkommenden Schichtdicken des Wasserfilms zwischen 0.01 bis 0.02 cm.

Die Berechnung des Parameters α stellt ein kompliziertes mathematisches Problem dar, bei dem die Oberflächenkinetik der Kalkabscheidung (Plummer et al. 1978), die langsame Umwandlung des bei der Abscheidung entstehenden H_2CO_3 in CO_2 und Diffusionsprozesse berücksichtigt werden müssen. Diese Rechnungen wurden von Buhmann und Dreybrodt (1985) durchgeführt, die Ergebnisse experimentell bestätigt. Für 10°C beträgt der Wert von $\alpha \approx 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$ und für 20°C gilt $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$.

Abb. 1 zeigt die Resultate für eine Temperatur von 10°C . Wir nehmen an, daß in Zeitabständen T (s) ein Tropfen mit dem Volumen V (cm^3) auf den Stalagmiten auftropft. Dieser bildet auf dem Stalagmiten einen Wasserfilm der Dicke $\delta \approx 0,01$ cm. Aus diesem Film scheidet sich während der Zeit T Kalk ab, bis durch einen neuen Tropfen der alte Wasserfilm abgespült und durch einen neuen ersetzt wird.

Aus der pro sec und cm^2 auf dem Stalagmiten abgeschiedenen Kalkmenge

$$\langle Ca^{++} \rangle = \frac{\delta}{T} \left(1 - \exp \left[\frac{-\alpha T}{\delta} \right] \right) ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq})$$

erhält man dann die Wachstumsgeschwindigkeit in cm a^{-1} (Dreybrodt 1980) als

$$W = 1.174 \cdot 10^6 \cdot \langle Ca^{++} \rangle \frac{\text{cm}}{\text{a}}. \quad (2)$$

Damit lassen sich Wachstumsgeschwindigkeiten und Kerzendurchmesser berechnen.

Die Berechnung des Durchmessers D ergibt sich aus folgender Überlegung: 1. Das am Stalagmiten ablaufende Wasser hat alle Übersättigung verloren. 2. Nach den Formprinzipien des Wachstums von Stalagmiten ist im stabilen Zustand die vertikale Wachstumsgeschwindigkeit W überall auf seiner Oberfläche gleich groß. Damit ist die pro Zeiteinheit auf der Oberfläche des

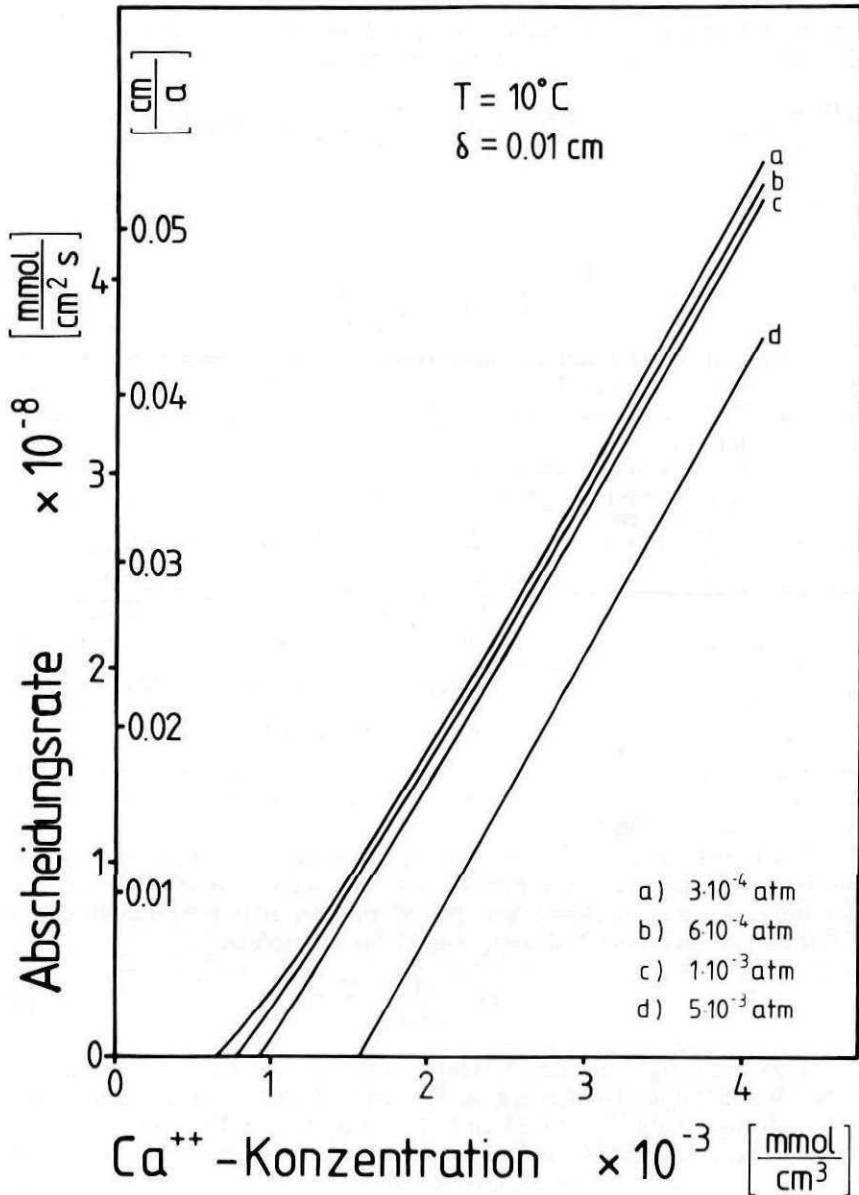


Abb. 1: Abscheidungs geschwindigkeit einer übersättigten Kalklösung für verschiedene p_{CO_2} -Drucke in der Höhlenatmosphäre. Der auf dem Stalagmiten stehende Wasserfilm hat eine Dicke von 0.01 cm, die Umgebungstemperatur ist 10°C

Stalagmiten abgeschiedene Kalkmenge gleich der durch das Tropfwasser pro Zeiteinheit zugeführten Übersättigung. Es gilt also

$$\frac{\pi D^2}{4} \frac{\delta}{T} ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq}) \left(1 - \exp \left[\frac{-\alpha T}{\delta} \right] \right) = \frac{V}{T} ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq}). \quad (3)$$

Daraus folgt

$$D^2 = \frac{4V}{\delta \cdot \pi \left(1 - \exp \left[\frac{-\alpha T}{\delta} \right] \right)}. \quad (4)$$

Damit ist der Durchmesser unabhängig von der Konzentration der auf-tropfenden Lösung. Er wird nur bestimmt durch die Kinetik der Kalkabschei-dung, die Dicke des Wasserfilms und den Abstand der Tropfen und ihr Volu-men ($V = 0.1 \text{ cm}^3$).

Abb. 2 zeigt Wachstumsgeschwindigkeit und Durchmesser für $T > 10$ s für Temperaturen von 10°C und 20°C und eine Übersättigung $[Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq}$ von $2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$. Für $T < 2000$ s hängt die Wachstumsgeschwindigkeit stark von der Temperatur ab, weil nach der Zeit T die Lösung noch übersättigt bleibt. Für $T > 2000$ s ist aber aller Kalk abgeschieden, und damit wird W unab-hängig von der jeweiligen Kinetik und somit auch von der Temperatur. Die Übersättigung von $2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$ entspricht den Wassern der Höhlen unserer Mittelgebirge. In alpinen Höhlen liegt die Übersättigung bei $2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$, und das Wachstum ist um einen Faktor 10 reduziert. Die berechneten Werte stimmen mit den Ergebnissen von Datierungen nach der ^{14}C Methode überein (Geyh und Franke 1970).

Die Durchmesser der Tropfsteine hängen weniger stark von der Tempera-tur ab; hier ergeben sich bei höheren Temperaturen die kleineren Durchmesser. Bei hoher Lösungszufuhr steigen die Werte. Bei sehr hohen Zuflußraten $T < 100$ s läßt sich eine Näherungsformel für D angeben:

$$D^2 = \frac{4V}{\pi \alpha T}. \quad (5)$$

Dies zeigt, daß sich für die Durchmesser insbesondere bei kontinuierlicher Wasserzufuhr Größenordnungen von mehreren Metern ergeben. Bei einer Lösungszufuhr $V/T = 0,25 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ und 10°C wird $D = 178 \text{ cm}$ und bei $V/T = 2,5 \text{ cm}^3/\text{s}$ $D = 564 \text{ cm}$. Die entsprechenden Wachstumsraten haben dabei den nach Glg. 3 maximalen Wert von

$$W = 1.174 \cdot 10^6 \cdot \alpha \cdot ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{eq}) \frac{\text{cm}}{\text{a}}. \quad (6)$$

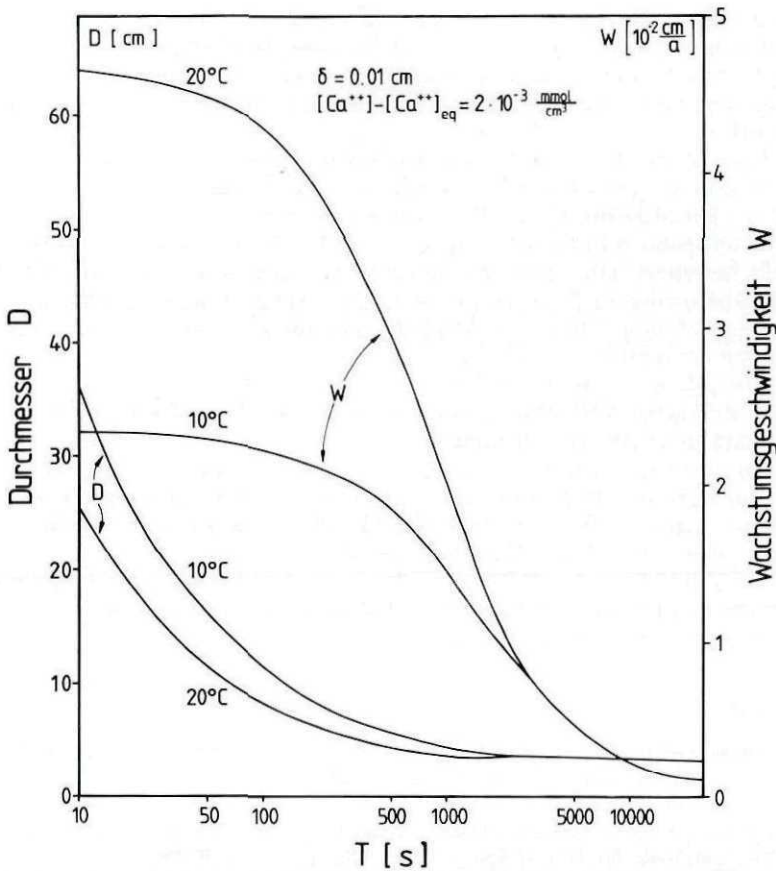


Abb. 2: Durchmesser (linke Skala) und Wachstumsgeschwindigkeit (rechte Skala) als Funktion des zeitlichen Abstandes zweier aufeinander folgender Tropfen für 10° C und 20° C. Die Wachstumsgeschwindigkeit zeigt eine starke Abhängigkeit von der Temperatur bei kleinen Tropfabständen

Dies entspricht bei 10° C für Wasser der Mittelgebirge einer Wachstumsrate von 0.024 cm/a. Bei Lösungszufuhr in Tropfen bei Tropfabständen $T > 10$ s liegen die Werte für D im Bereich von einigen 10 cm. Für Tropfabstände $T > 1000$ s ergibt sich der bereits von Curl (1973) postulierte Minimaldurchmesser von 3,5 cm.

Die Ergebnisse unserer Rechnungen stimmen gut mit den Beobachtungen im Feld überein und liefern damit einen Beitrag zur Interpretation der Morphologie von Stalagmiten. Diese ist nicht nur von theoretischem Interesse. Ein praktischer Aspekt ergibt sich bei der Entnahme von Tropfsteinproben für radiometrische und isotopephysikalische Messungen. Solche Proben müssen

immer an jenen Stellen entnommen werden, wo das Wachstum des Stalagmiten im Gleichgewicht erfolgt ist, also nur an Kerzenstalagmiten, die über die ganze Länge einen relativ konstanten Durchmesser zeigen. Entnahme an den die Stalagmiten oft umgebenden Sinterschichten am Boden erweisen sich als nicht sinnvoll.

Eine andere Nutzung betrifft die Rekonstruktion von Klima und Vegetationsbedingungen während des Wachstums von Stalagmiten. Die Tropfsteinhöhle ist ein Indikator für die Wachstumsdauer (wobei jahreszeitlich bedingte Wachstumspausen zu berücksichtigen sind). Der Durchmesser ist zur Wasserzufuhr korreliert. Die geometrischen Abmessungen sollten deshalb Schlüsse auf paläoklimatische Bedingungen zulassen. Dabei ist aber immer die Stratigraphie des Stalagmiten zu berücksichtigen, aus der ersichtlich wird, ob der Stalagmit im stationären Wachstum war.

Außerdem liegen in der freien Natur meist von den speziellen Örtlichkeiten abhängige Verhältnisse vor, denen bei der Interpretation der Daten Rechnung getragen werden muß.

Mit der quantitativen Lösung des Problems von Wachstumsgeschwindigkeit und Kerzendurchmesser haben die Arbeiten über die Morphologie von Kerzenstalagmiten, über die zum ersten Mal 1956 in dieser Zeitschrift berichtet wurde, einen vorläufigen Abschluß erreicht.

Der Zukunft bleibt, den Nutzen dieser Theorie durch Anwendung auf das ergiebige Fundmaterial in Höhlen im Rahmen der verstärkt aufgenommenen paläoklimatischen Untersuchungen zu beweisen.

Literatur:

- D. Buhmann und W. Dreybrodt* (1985): The Kinetics of Calcite Dissolution and Precipitation in Geologically Relevant Situations of Karst Areas, *Chem. Geol.* 48.
- R. L. Curl* (1973): Minimum Diameter Stalagmites, *The NSS Bulletin*, 1–9.
- W. Dreybrodt* (1980): Deposition of Calcite from Thin Films of Natural Calcareous Solutions and the Growth of Speleothems, *Chem. Geol.*, 29, 89.
- W. Dreybrodt und G. Lamprecht* (1981): Computer Simulationen des Wachstums von Stalagmiten, *Die Höhle*, 31, S. 11–21.
- H. W. Franke* (1956): Beiträge zur Morphologie des Höhlensinters I, *Die Höhle*, 7, 35.
- H. W. Franke* (1961): Der schichtweise Aufbau des Bodenzapfens (Beiträge zur Morphologie des Höhlensinters III), *Die Höhle*, 12, 8.
- H. W. Franke* (1963): Formprinzipien des Tropfsteins. Akten des 3. Internationalen Kongresses für Speläologie 1961 in Wien-Obertraun-Salzburg, II, 63.
- M. A. Geyh und H. W. Franke* (1970): Zur Wachstumsgeschwindigkeit von Stalagmiten; *Atompraxis*, 16, 1.
- Plummer et al.* (1978): The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5°C to 60°C and 0.0 to 1.0 atm CO₂. *Am. J. Science*, 278, 179–216.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [038](#)

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

Artikel/Article: [Wachstumsgeschwindigkeiten und Durchmesser von Kerzenstalagmiten 1-6](#)