

# DIE HÖHLE

## ZEITSCHRIFT FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE

Jahresbezugspreis: Österreich S 60,—  
Bundesrepublik Deutschland: DM 10,—  
Schweiz: sfr 10,—  
Übriges Ausland: S 70,—

AUS DEM INHALT:

Gefördert vom Bundesministerium  
für Wissenschaft und Forschung (Wien)  
Organ des Verbandes österreichischer Höhlen-  
forscher / Organ des Verbandes Deutscher  
Höhlen- und Karstforscher e. V.

Zur Berechnung von Cañonprofilen (Franke) /  
Die Tätigkeit der Höhlenabteilung des Bundes-  
denkmalamtes 1977 und 1978 (Trimmel) / Die  
Hüttstatthöhle (Kat. Nr. 1624/28) im Toten  
Gebirge (Kreuz †) / Entdeckung und Er-  
schließung der Kubacher Kristallhöhle (Schrö-  
der) / Tätigkeitsberichte 1978 der höhlenkund-  
lichen Vereine Österreichs

AU ISSN 0018-3091

HEFT 2

30. JAHRGANG

AUGUST 1979

### Zur Berechnung von Cañonprofilen

*Von Herbert W. Franke (Puppling)*

Die als Cañons bekannten klammartigen Höhlenstrecken sind wesentliche Leitlinien der unterirdischen Karstentwässerung und liefern wertvolle Anhaltspunkte zum Verständnis der Höhlenentstehung. Außerdem sind sie insbesondere in den letzten Jahren oft zu Schlüsselstellen der Höhlenerkundung geworden und gewinnen daher an Bedeutung für die praktische Forschungsarbeit. Nachdem schon vor einigen Jahren Beobachtungen über den Verlauf und die Entstehung von Cañons gesammelt wurden (1, 2), griff Walter Klappacher (3) das Thema kürzlich wieder auf, und Peter Henne (4) versuchte durch eine Computersimulation eine graphische Erfassung von Cañonprofilen. In den beiden letzterwähnten Arbeiten geht es insbesondere um das Problem der Breitenerstreckung eines Cañons, die Walter Klappacher als unabhängig von der Wassermenge ansieht, während Peter Henne die schon in (1) erwähnte Abhängigkeit von Wassermenge und Cañonbreite bestätigt fand. Aus diesem Grund wurde eine mathematische Berechnung des Problems versucht, die in dieser Arbeit vorgelegt wird.

Berechnungen dieser Art können grundsätzlich nur Modellcharakter haben. Dazu werden vereinfachte Bedingungen angenommen, beispielsweise das Be-

stehen von stationären Zuständen — Zeitunabhängigkeit der Durchflußmenge usw. In der Natur sind diese Voraussetzungen nie ganz erfüllt, doch läßt sich mit Hilfe des theoretischen Modells der „Normalfall“ erfassen, von dem aus das Geschehen — und zwar als Abweichung davon — verständlich wird. Das Modell gibt gewissermaßen den Trend wieder, der in der Realität ständig mehr oder weniger gestört wird, wobei sich aber die Störfaktoren oft herausmitteln, so daß oft genug eine unerwartet gute Übereinstimmung zwischen Ideal- und Realfall erreicht wird.

Die Berechnung geht von einer Konstanz der bestimmenden Parameter aus; d. h., daß alle äußeren Bedingungen unverändert bleiben. Menge und Geschwindigkeit sowie Lösungskraft des Wassers werden als zeitlich unverändert angenommen, und ebenso wird Homogenität des Gesteins vorausgesetzt. Zwei plausibel scheinende Annahmen über das mathematische Modell der Abtragung (die korrosive und erosive Komponenten umfaßt) scheiden von vornherein aus, was sich auch ohne großen mathematischen Aufwand beweisen läßt.

a) Annahme konstanter Abtragung senkrecht zur Grenzfläche Wasser/Gestein. Nimmt man ein halbkreisförmiges Profil an, so vergrößert sich der Kreisdurchmesser im Laufe der Zeit, wobei der wirksame Kreisabschnitt durch die als konstant angenommene Durchflußmenge gegeben ist. Im Laufe der steigenden Verflachung — bis zum Grenzfall einer ebenen Sohle — verbreitert sich das Gerinne beliebig weit. Für den Realfall deutet sich somit eine Tendenz zur ständigen Verbreiterung des Cañons an, die sich nicht mit dem beobachteten Formenschatz deckt; Annahme a ist deshalb auszuschließen. Im übrigen führen auch andere für das Anfangsstadium angenommene Profilformen, beispielsweise die V-Form, zum selben Ergebnis.

b) Annahme einer nur senkrecht wirksamen Eintiefung. Dieses Modell ergäbe eine Parallelverschiebung jeder anfangs vorliegenden Profilform nach unten. Im Realfall würden sporadisch eintretende Verminderungen der Wasserführung zu sukzessiven Verengungen des Gerinnes führen, die — infolge des Fehlens seitlicher Abtragungskomponenten laut Annahme — durch nachfolgende Steigerungen der Wasserführung nicht mehr ausgeglichen würden. Daraus ergibt sich für den Realfall eine Tendenz zur ständigen Verengung des

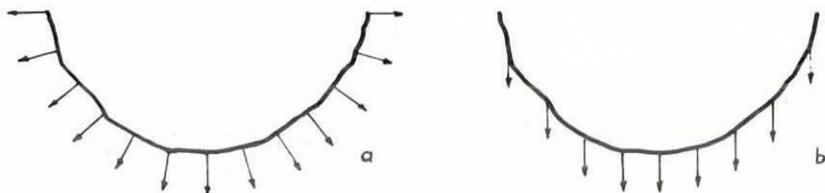


Fig. 1: Abtragung senkrecht zur Begrenzungsfläche — Tendenz zur Verbreiterung des Profils

Fig. 2: Abtragung vertikal abwärts — Tendenz zur Verengung des Profils

Gerinnes bis zur messerscharfen Spalte, die bis oben mit Wasser gefüllt ist — eine Situation, die ebenfalls in der Natur nicht beobachtet wird. Auch Annahme b ist somit auszuschließen.

c) Die Modelle a und b kennzeichnen Extremfälle: extreme Verbreiterung einerseits und extreme Verengung andererseits. Das wirklichkeitsentsprechende mathematische Modell muß demgemäß eine Übergangssituation zwischen a und b beschreiben: Wenn für den stationären Fall weder stetige Verbreiterung noch stetige Verengung möglich ist, dann bleibt nur noch die Annahme einer konstanten Cañonbreite in Frage. Unabhängig von den zufällig gegebenen topographischen Anfangsbedingungen sollte sich im stationären Fall ein Gleichgewicht einstellen — in Übereinstimmung mit der bei natürlichen Prozessen oft gemachten Erfahrung, nach der ungedämpfte positive oder negative Rückkopplungen nicht auf Dauer aufrechterhalten bleiben können. Die Entstehung des Cañonprofils kann man sich dann durch eine Verlagerung des Cañon-

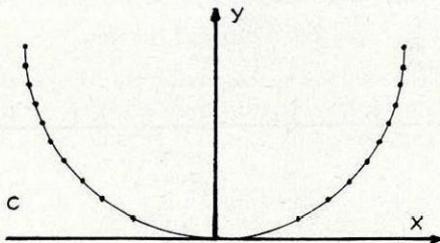


Fig. 3: Abtragung in Abhängigkeit vom Neigungswinkel — Fall 3 — führt zur Ausbildung eines parabelförmigen Profils

gerinnes senkrecht abwärts vorstellen; dabei wird das Sohlenprofil parallel nach unten verschoben. Anschaulich dadurch zu erklären, daß der Annahme des Gleichgewichts gemäß keine Einflüsse auftreten, die eine Änderung erzwingen würden. Die senkrechte Eintiefungsgeschwindigkeit wird mit  $h$  bezeichnet; davon zu unterscheiden ist die Abtragungsgeschwindigkeit  $s$ , die senkrecht zur benetzten Fläche gemessen wird. Im stationären Fall besteht zwischen beiden die Beziehung

$$(1) \quad s = h \cos \alpha$$

dabei ist  $h$  die Eintiefung pro Zeiteinheit und  $\alpha$  der Neigungswinkel des Sohlenprofils. Wenn man dieses als eine Funktion  $y = f(x)$  darstellt — siehe Zeichnung —, dann läßt sich die Beziehung (1) auch in folgender Weise schreiben

$$(2) \quad s = \frac{h}{\sqrt{1 + y'^2}}$$

Dabei bedeutet  $y'$  den Differentialquotient  $y$  nach  $x$ . Diese Gleichung gilt nur für stationäre Zustände und macht schon von der erwähnten Tatsache Gebrauch, daß keine Breitenänderung des Gerinnes erfolgen soll.

Um das Profil zu berechnen, muß eine Annahme über die Lösungskraft des Wassers in Abhängigkeit von den Koordinaten gemacht werden. Es zeigt sich, daß manche zunächst durchaus möglich erscheinende Annahmen zu unhaltbaren Konsequenzen führen (siehe a und b), so daß sich die Zahl der möglichen Annahmen von vornherein einschränkt. Als erste Näherung, die zu vernünftigen Ergebnissen führt, wird die Lösungskraft des Wassers versuchsweise als der Entfernung vom Wasserspiegel und damit dem Wasserdruck proportional gesetzt:

$$(3) \quad S = \frac{h}{H} (H - y)$$

wobei H die Höhe des wassererfüllten Querschnitts angibt. Durch Vereinigung der Gleichung 2 und 3 ergibt sich eine Differentialgleichung

$$(4) \quad \frac{h}{H} (H - y) = \frac{h}{\sqrt{1 + y'^2}}$$

Ihre Lösung läßt sich auf eine einfache Integration — siehe Anhang 1 — zurückführen. Die Lösung ist

$$(5) \quad x = \sqrt{2Hy - y^2} + \text{const.}$$

Diese Gleichung zweiter Ordnung beschreibt eine Kurvenform; um den vom Wasser benetzten Teil des Cañongerinnes zu erhalten, muß sie an der y-Achse gespiegelt werden. x an der Stelle  $y = H$  ergibt die halbe Breite des Gerinnes:

$$(6) \quad x|_{y=H} = \sqrt{H^2} = H = \frac{B}{2}$$

Die Gerinnebreite selbst, die der Cañonbreite gleich ist, ergibt sich als der doppelte Wert der Gerinnetiefe:

$$(7) \quad B = 2H$$

Eine hydrologisch wichtige Beziehung besteht zwischen der Querschnittfläche des aktiven Gerinnes F und den Größen H und B:

$$(8) \quad F = B \cdot H - 2 \int y dx$$

Die in dieser Gleichung angedeutete Integration ist im Anhang 2 durchgeführt. Für F erhält man so:

$$(9) \quad F = 1,414 \cdot H^2$$

Mit Hilfe dieser Beziehung läßt sich aus einer gegebenen Querschnittgröße des aktiven Gerinnes dessen Tiefe und Breite berechnen. Wenn F n m<sup>2</sup> umfaßt, so ergibt sich für die Höhe der Wert von

$$(10) \quad H = 0,84 \sqrt{n}$$

und für die Breite

$$(11) \quad B = 1,68 \sqrt{n}$$

Haben wir es mit einem aktiven Querschnitt von einem Quadratmeter zu tun, so erhalten wir eine Gerinnetiefe von 84 cm und eine Breite — die der

Cañonbreite gleich ist — von 168 cm. Dieses Ergebnis dürfte größenordnungsmäßig mit den Erfahrungen mit aktiven Gerinnen übereinstimmen.

Analoge Berechnungen lassen sich vornehmen, wenn man andere Abhängigkeit der Lösungskraft annehmen will. Vielleicht wird es sich als notwendig erweisen, zwischen chemischer und mechanischer Abtragungintensität zu unterscheiden; an der grundsätzlichen Annahme, daß die Abtragung senkrecht zur bemessenen Fläche erfolgt, wird sich allerdings nichts ändern. Wahrscheinlich dürften sich nur geringe Änderungen der Profilform ergeben.

Der Einfluß veränderlicher Bedingungen, etwa zeitweise veränderte Wasserführung oder schichtenweise unterschiedliche Gesteinslöslichkeit, wurde im vorgelegten stationären Modell nicht berücksichtigt. In der Natur wird es daher häufig Abweichungen von idealisierten Bedingungen, die hier Voraussetzung waren, geben. Andererseits aber treten in lokalen Bereichen von Höhlen auch oft genug Situationen auf, in denen die Voraussetzungen weitgehend erfüllt sind. Diese Fälle sind insbesondere im Hinblick auf paläohydrologische und -klimatologische Fragen interessant. Wenn wir es, wie die Modellberechnung zeigt, im stationären Zustand mit konstanten Cañonbreiten und einer gleichbleibenden Eintiefungsgeschwindigkeit zu tun haben, dann liegt uns in der Cañontiefe ein Maß für eine Bildungszeit und in seiner Breite ein solches für die Wasserführung vor. Wenn auch an eine quantitative Auswertung noch nicht zu denken ist, so dürfte der aufgezeigte Modellfall unter Umständen für Grob-schätzungen der genetischen Situation nützlich sein.

#### ANHANG 1

$$\frac{h}{H} (H - y) = \frac{h}{\sqrt{1 + y'^2}}$$

$$\frac{1}{H} (H - y) \sqrt{1 + y'^2} = 1$$

$$H - y \rightarrow u$$

$$u \sqrt{1 + u'^2} = H$$

$$1 + u'^2 = \frac{H^2}{u^2}$$

$$u' = \sqrt{\frac{H^2}{u^2} - 1}$$

$$u' = \frac{1}{u} \sqrt{H^2 - u^2}$$

$$x = \int \frac{u}{\sqrt{H^2 - u^2}} du$$

$$u^2 \rightarrow v$$

$$dv = 2u du$$

$$H^2 - v \rightarrow r$$

$$x = -\frac{1}{2} \int \frac{dr}{\sqrt{r}}$$

$$x = \sqrt{r} + \text{const.}$$

$$r = H^2 - u^2$$

$$r = H^2 - (H - y)^2$$

$$r = 2Hy - y^2$$

$$x = \sqrt{2Hy - y^2}$$

## ANHANG 2

$$y = H \pm \sqrt{H^2 + x^2}$$

$$\int y dx = Hx \Big|_0^H \pm \frac{1}{2} \left[ H^2 \operatorname{arcsinh} \frac{x}{H} + x \sqrt{H^2 + x^2} \right] \Big|_0^H$$

$$\int y dx = H^2 \pm \frac{\sqrt{2}}{2} H^2$$

$$\int y dx = \left( 1 \pm \frac{1,414}{2} \right) H^2$$

$$\int y dx \Big|_1 = 1,717 H^2$$

$$\int y dx \Big|_2 = 0,283 H^2$$

$$F = 2H^2 - 2 \cdot 0,283 H^2$$

$$F = 2(0,717) H^2$$

$$F = 1,414 H^2$$

### Literatur

1. H. W. Franke, H. Ilming (1963): Beobachtungen in der Dachsteinmammuthöhle (OÖ.). Die Höhle, 14, 36.
2. H. W. Franke (1975): Bemerkungen zur Höhlenbildung in den Dachsteinhöhlen (OÖ.). Die Höhle, 26, 64.
3. W. Klappacher (1976): Beobachtungen in Cañonhöhlen. Vereinsmitteilungen des Landesvereins für Höhlenkunde Salzburg, 4, 20.
4. P. Henne (1977): Berechnungen zur Formentwicklung von Höhlenprofilen. Die Höhle, 28, 73—83.

## Die Tätigkeit der Höhlenabteilung des Bundesdenkmalamtes in den Jahren 1977 und 1978

Von Hubert Trimmel (Wien)

Die Tätigkeit der Höhlenabteilung des Bundesdenkmalamtes<sup>1)</sup> ist stets in dieser Zeitschrift, zuletzt für das Jahr 1976<sup>2)</sup>, dokumentiert worden. Die allgemeinen Aufgaben und zusammenfassenden Arbeiten der Abteilung, über die im letzten Bericht gesprochen wurde, sind unverändert geblieben. Es erscheint daher nicht notwendig, ihren Aufgabenkreis nochmals umfassend zu beschreiben. Da jedoch in den vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung jährlich im Druck veröffentlichten, zusammenfassenden „Arbeitsberichten“ der ihm angeschlossenen Dienststellen die Tätigkeit

<sup>1)</sup> Die Abteilung ist im Österreichischen Amtskalender 1976/77 als „Abteilung 23“, im Amtskalender 1978/79 als „Abteilung 22“ des Bundesdenkmalamtes bezeichnet.

<sup>2)</sup> H. Trimmel, Tätigkeitsbericht der Abteilung 23 (Naturhöhlen) des Bundesdenkmalamtes für das Jahr 1976. Die Höhle, 28, 2, Wien 1977, 55—61.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [030](#)

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

Artikel/Article: [Zur Berechnung von Canonprofilen 25-30](#)