

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 21 (1980)
Heft: 3

Artikel: Zur rezenten Morphodynamik des unterirdischen Karstes
Autor: Bögli, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088882>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zur rezenten Morphodynamik des unterirdischen Karstes

ALFRED BÖGLI

1 Einleitung

Im Verlaufe der letzten dreissig Jahre hat sich die Karstforschung von der statischen, im wesentlichen deskriptiven Betrachtungsweise zur dynamischen hin entwickelt. Doch erst spät, gegen Ende der sechziger Jahre, ist der Begriff Morphodynamik (Geomorphodynamik) Allgemeingut geworden. Die Morphodynamik als Wissenschaftszweig befasst sich integral, ganzheitlich, mit den Veränderungen, bzw. mit der Entwicklung der Formen in Raum und Zeit als Funktion physikalisch-chemischer Gegebenheiten, klimatische und geologisch-tektonische Faktoren mit eingeschlossen.

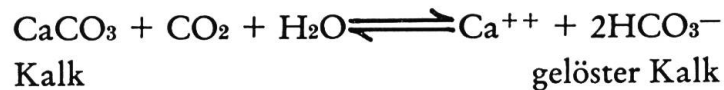
Im Verlaufe meiner Karstarbeit stand von Anfang an die quantitative morphogene Wirkung des abfliessenden Wassers im Mittelpunkt. Dabei ergaben sich zahlreiche Widersprüche zu den damals geltenden Lehrmeinungen, die zur Lösung statt einer statischen, d.h. auf den Momentanzuständen beruhenden Karstmorphologie eine dynamische verlangten. Die Deutung der Karrenformen führte zu einer intensiven Beschäftigung mit den zugrundeliegenden Lösungsvorgängen an Karbonatgesteinen, somit zu einer Dynamisierung des Karrenproblems (Bögli 1951, 1956, 1960). Schon 1946 wurde eine Hinwendung zum unterirdischen Karst, zum Endokarst, erforderlich; denn zwischen dem Kalkgehalt des versickernden Wassers und jenem des Wassers der Karstquellen bestanden grosse Differenzen. Dass es in meinem wichtigsten Arbeitsgebiet, dem Muotatal, das Hölloch gab, mit damals 4,3 km vermessener Länge, war ein Glücksfall, der mich nicht nur tief in die Morphodynamik des Endokarstes hineinführte, sondern auch weitreichende karstmorphologische Folgen haben sollte. Über den heutigen wissenschaftlichen Stand der Kenntnisse über den Endokarst orientieren Bögli: «Karsthydrographie und physische Speläologie» (1978) und «Karsthydrology and physical Speleology» (1980), Springer Verlag, Heidelberg.

2 Ausgangslage

In deutschsprachigen Ländern und weit darüber hinaus dominierten in den vierziger Jahren die Lehrmeinungen von *Otto Lehmann* (1932). In Frankreich, dessen wissenschaftliche Speläologie schon damals einen hohen Stand erreicht hatte, folgte 1952 die Arbeit «*Traité de Spéléologie*» von *Felix Trombe*, welche die Höhlenforschung stark förderte und auch Laien eine gute Grundlage bot. Nach

O. *Lehmann* waren Spalten von weniger als 2 mm lichter Weite für Wasser bei Anwesenheit von Luft undurchlässig und daher für die Entwicklung des unterirdischen Karstwassernetzes ohne Bedeutung. Infolgedessen waren geschlossene Fugen, vor allem Schichtfugen, von jeglicher karsthydrographischer Wirksamkeit ausgeschlossen.

Die Lösungsgleichung war schon damals durchaus geläufig:



Nur verzichtete man auf die volle Ausnützung ihrer Aussagen, offenbar, weil sie allzusehr im Gegensatz zu den in der Natur zu beobachtenden Gegebenheiten standen.

Als weiterer Faktor ist aus deutschsprachigen Gebieten der Gegensatz zu erwähnen zwischen den Erforschern des Exokarstes, des Oberflächenkarstes, zu denen berühmte Geographen gehören, u.a. *Herbert Lehmann*, *Otto Lehmann*, *Louis Mensching*, *Carl Rathjens*, v. *Wissmann*, auch *G. Wagner* u.v.a., und den Höhlenforschern, die damals mit wenig Ausnahmen (u.a. *Bock*, *H.* 1913, *Kyrle* 1923, v. *Saar*, *R.* 1953/54) wissenschaftlich nur geringe Beachtung fanden. Zwischen den Erkenntnissen der Wissenschaft und den Erfahrungen praktischer Höhlenforschung klappte eine breite Lücke. Das war die Ausgangslage, als ich 1951 mit der Arbeitsgemeinschaft Höllochforschung, so heisst das Forschungsteam heute, das erste Mal über den Schauhöhlenteil hinaus in die dahinter liegenden, zum grössten Teil noch jungfräulichen Gebiete vorsties.

3 Probleme

Schon beim ersten Betreten des Hölloches 1946 fiel dem Autor auf, dass entgegen allen wissenschaftlichen Lehrmeinungen (O. *Lehmann*) die meisten Höhlengänge auf Schichtflächen lagen, und dass klaffende Spalten mit schlecht verkiteteten Dislokationsbrekzien häufig nicht zur Höhlenbildung herangezogen worden waren (*Bögli*, 1969 a). Die Lösungsgleichung blieb zwar unverändert, wurde nun aber neu beleuchtet. Bis 1960 wurden die Grundlagen stark erweitert und einem weiteren Kreise zugänglich gemacht, vor allem durch *Roques* in Frankreich, aber auch durch die englische und die amerikanische Schule. Die Gleichung zeigt, dass CO₂ zur Auflösung des Kalkes unerlässlich ist. Es wird aus der Luft bezogen. Steht das Wasser mit dem CO₂ der Luft im Gleichgewicht oder enthält es einen Überschuss an Kalk, oder fehlt die Luft, dann gilt noch 1960 die Meinung, dass keine Kalklösung erfolgen kann!

Erste Konsequenz: CO₂ kann nur von kalkarmem Wasser aufgenommen werden. Nur im nackten Karst oder auf unbedeckten Kalkflächen versickert das Wasser mit einem so kleinen Kalkgehalt, dass eine unterirdische Kalklösung möglich ist – vorausgesetzt, es stehe Luft zur Verfügung. Im bedeckten Karst – Karst unter

einer Bodendecke – ist i.a. das einsickernde Wasser kalkreich und kann daher keinen Kalk lösen, von speziellen Bedingungen einmal abgesehen, zu denen auch ein CO₂-Überschuss im Wasser gehört: aggressives Wasser. Dieses wird gelegentlich als «Deus ex machina» herbeigezogen. Paradoxe Weise liegen aber gerade die längsten Höhlensysteme der Welt unter bedecktem Karst: so die Flint-Mammoth-Cave mit 360 km und das Hölloch mit heute 140 km vermessener Länge.

Zweite Konsequenz: Im phreatischen, völlig wassererfüllten unterirdischen Bereich fehlt, vom aggressiven Wasser abgesehen, mangels Luft das zur Kalklösung erforderliche CO₂. Nach dem Wissensstand vor 1960 ist daher keine Kalklösung möglich, ausser das Wasser wäre noch aggressiv. Aber ein CO₂-Überschuss löst bis zum Gleichgewicht nur wenig CaCO₃, wie die stöchiometrische Berechnung zeigt. Es ist beizufügen, dass nur unter phreatischen Bedingungen die kapillaren Schichtfugen von Wasser durchströmt und zu karsthydrographisch wirksamen Wasserwegen erweitert werden können (Bögli, 1978, 1980).

Das sind karsthydrologische Probleme, die für das Verständnis der Höhlenbildung wichtig sind und damit gelöst werden müssen.

Nun gibt es aber auch morphologische Probleme. Ich beziehe mich vor allem auf die Verhältnisse im Hölloch, doch gelten sie auch für die meisten anderen Riesenhöhlen (Höhlen über 5000 m Gesamtlänge).

Es fällt auf, dass die grossen Gänge und Hohlräume normalerweise nicht unmittelbar unter der Erdoberfläche liegen, wo die Aggressivität des Wassers ein Maximum erreicht. In der Eisriesenwelt (42 km) befinden sich an die 600 m darunter riesige kilometerlange Gänge, ebenso in der Dachstein-Mammuthöhle (35 km). Im Hölloch (140 km) liegen sie 400 bis 800 m unter Tag. Der grösste dortige Hohlraum, an die 400 000 m³ aufweisend, befindet sich heute 400 m tief unter der Oberfläche, hat aber seinen Ursprung weitere 150 m tiefer und ist durch Inkasion (Nachbrechen) bis in den heutigen Stand hinaufgewandert. Jedes Mal, wenn sich im Hölloch ein Gang der Oberfläche nähert, wird er klein und unpassierbar. In den Peneplains von Indiana, Kentucky und Missouri, wo sich die Karstwasserfläche meist weniger als 100 m unter der Oberfläche befindet, zeigt sich der gleiche Effekt. Nicht dort, wo das Wasser einsickert, ist die Höhle am grössten, sondern in der Nähe des Abflusses, abgesehen von eher seltenen Durchbrüchen nach oben infolge Inkasion. Dazu kommt die Formung durch das Wasser, vor allem in der phreatischen Zone. Die Frage nach dem Warum wendet sich an die Karsthydrologen, die allein die nötigen Grundlagen für eine gut fundierte Antwort erbringen können. Aber wie sollen sie das ohne direkte Anschauung? Die Lösung dieser Probleme ergibt sich durch die Mischungskorrosion (s. nächstes Kapitel).

Aus dem Verhalten des Wassers (Karsthydrologie) entwickeln sich die unterirdischen Wasserwege und korrosiven Höhlenformen (Speläomorphologie). Umgekehrt kann aus diesen Formen das Verhalten des Wassers zum Teil oder ganz

abgeleitet werden. Die Speläomorphologie ist das Arbeitsfeld der wenigen wissenschaftlichen Speläomorphologen und der vielen Höhlenforscher. Hingegen wird das Verhalten des Wassers durch die Karsthydrologen bearbeitet. Bis vor kurzem haben die beiden Gruppen ihre Forschungen getrennt und mit ganz verschiedenen Blickrichtungen durchgeführt – sehr zum Schaden der Speläologie. Das ist eine Situation, die unter dem Gesichtspunkt der Morphodynamik als unverstänlich erscheint, auch wenn gewisse Kontakte vorkamen, z.B. bei Markierungen. In «Karsthydrographie und physische Speläologie» (Bögli 1978) sind erstmals die beiden Forschungsgebiete zusammengefasst im Hinblick auf die Geomorphologie/Geomorphogenese des unterirdischen Karstes und im Sinne einer Karst-Morphodynamik.

4 Die Entwicklung des unterirdischen Karstes

Auch wenn es kein allgemein gültiges Schema für die Bildung der unterirdischen Karstgewässernetze gibt, so verläuft die Entwicklung doch in der Regel entsprechend der nachfolgenden Beschreibung.

Das *Initialstadium* der unterirdischen Verkarstung beginnt mit dem unverkarsteten Karbonatgestein (Kalk, Dolomit), dessen Fugen bis nahe an die Erdoberfläche mit Wasser erfüllt sind: phreatischer Zustand. Das unterirdische Wasser beginnt erst zu fliessen, wenn sich durch die Eintiefung eines Tales, und wäre es auch nur um wenige Meter, oder aus tektonischen Gründen ein Gefälle im Karstgrundwasser einstellt; eine hydrographische Wegsamkeit, d.i. die durchgehende Abflussmöglichkeit von der Oberfläche bis zur Quelle ist Voraussetzung dazu. Als Fliesswege stehen – immer noch nach O. Lehmann – nur einige Spalten in den Talflanken und Zerrklüfte zur Verfügung. Zahlreiche Höhlen, darunter das Hölloch, beweisen aber, dass auch Schicht- und geschlossene Kluftfugen in diesem Sinne wirken können. Darin kann das Wasser jedoch nur unter phreatischen Bedingungen und immer sehr langsam durchsickern, d.h. ohne Kontakt mit der Luft. Nach der Lösungsgleichung könnte daher kein Kalk gelöst werden, und die Fuge würde sich nicht erweitern.

1961 entdeckte ich die Mischungskorrosion, die ich 1964 in der Zeitschrift «Erdkunde» unter dem Titel «Mischungskorrosion, ein Beitrag zum Verkarstungsproblem» bekannt machte. Kurz zusammengefasst: Mischen sich zwei Gleichgewichtswässer mit verschiedenem Kalkgehalt, dann wird die Mischung kalkaggressiv und löst erneut Kalk. Gleichgewichtswässer stehen mit dem Kalk im Lösungsgleichgewicht und können für sich allein keinen Kalk mehr auflösen. Beispiel: Mischt sich im Hölloch während des Frühjahrshochwassers das Gangwasser mit 60 ppm¹ Kalkgehalt – das sind 60 mg Kalk pro Liter Wasser – mit dem Kluftwasser von 190 ppm im Verhältnis 1 : 1, dann können bei 5° C zusätzlich 14 ppm Kalk gelöst werden.

1 ppm = parts per million, Millionstel

Mit Hilfe der Mischungskorrosion werden viele der kapillaren Wasserwege überall da erweitert, wo Wasser aus den Kluftfugen sich mit jenem der Schichtfugen mischt. Berechnungen zeigen, dass zu deren Erweiterung auf 1 mm viele zehntausend Jahre vergehen müssen. Damit endet die Initialphase, denn das unterirdische Karstwassernetz ist nun festgelegt und das Wasser fliesst um mehrere Zehnerpotenzen schneller. Es ist immer noch phreatisch, jedoch schon mit sinkender Karstwasserfläche. Darüber entwickelt sich die vadoso Zone.

Im *Jugendstadium* geht die Verkarstung um vieles schneller vorwärts. Jugendstadium bezieht sich auf das Entwicklungsalter im Sinne von Davis (1930), nicht aber auf die zyklische Entwicklung des gleichen Autors. Die zahlreichen Wasserwege gelangen zur karsthydrographischen Wirksamkeit, gekennzeichnet durch die schnelle Reaktion der Wassergeschwindigkeit auf das Wasserangebot. Die grosse Zahl kleiner Karstquellen nimmt ab, wogegen deren Ergiebigkeit wächst und sogar das Ausmass von Stromquellen erreichen kann. Das ist der äussere Ausdruck der Konzentration der unterirdischen Gewässer auf einige wenige Wasserwege innerhalb eines grossen Hohlraumsystems. Mit der fortgesetzten Absenkung der Karstwasserfläche wächst das Ausmass der vadosen Zone; viele Hohlräume werden inaktiv, andere dienen als Zubringer. Die Hochwasserzone – bei Hochwasser mit phreatischen Bedingungen, bei Niedrigwasser luftgefüllt – erreicht ihre maximale Mächtigkeit. In der phreatischen Zone entwickeln sich die Wasserwege bis zur Höhlengrösse (Höhlendefinition: unterirdischer natürlicher Hohlraum, gross genug, einem Menschen Durchschlupf zu gewähren). In alpinen Höhlen mit hohem Gesteinsdruck, der im Hölloch zwischen 700 und 2300 kg/m² beträgt, bilden sich linsenförmige Ellipsenquerschnitte, in Tafelländern mit geringen Drücken vor allem Rechteckquerschnitte.

Im *Reifestadium* senkt sich die Karstwasserfläche weiter, und das Gefälle zur Quelle hin nimmt ab. Die Hochwasserzone hat das Maximum der Mächtigkeit überschritten. Zwar erreicht sie im hinteren Hölloch auch heute noch eine Mächtigkeit von 180 m bezogen auf den winterlichen Normalwasserstand, während sie im viel älteren Flint-Mammoth-Cave System kaum mehr 5 m ausmacht. Die Erweiterung der wasserdurchflossenen Gänge führt zu Grössen, die an die Grenze der Standfestigkeit des Gesteins reichen und sie lokal überschreiten. Dann machen sich erste Anzeichen der Inkasion bemerkbar. Sie übernimmt in der inaktiven vadosen Zone die Formung der Felsoberfläche, die dadurch unregelmässig eckig/kantig wird.

Im *Altersstadium* schliesslich beherrscht in den grossen Hohlräumen Inkasion die Formung, während die früh inaktiv gewordenen Gänge ihre ursprüngliche Form bewahren, oder allenfalls durch Sinterbildungen, z.B. Tropfsteine, eine Veränderung erfahren. Durch Inkasion werden die Gesteinsphysik bzw. die Tunnelgeologie als weitere Faktoren mit einbezogen, im Sinne der integralen Erfassung der Formungsfaktoren in der Morphodynamik.

Die geschilderten Entwicklungsphasen des unterirdischen Karstes verlaufen

unterschiedlich schnell. Es ist indessen schwierig, ein zeitliches Mass für den Abtrag zu finden. Wir beschränken uns zum Schluss darauf, die heutige Situation festzuhalten.

5 Der rezente Kalkabtrag

Seit man im letzten Jahrhundert begonnen hat, die Lösungsfracht der Flüsse quantitativ zu erfassen (*A. Penck* 1894), ist man auch in der Lage, den mittleren Kalkabtrag im Karst zu bestimmen. Es war aber nicht möglich, daraus auch den unterirdischen Abtrag zu berechnen. Neuere Untersuchungen im Gebiete des Hölloches (*Bögli* 1951, 1971, 1978/80) haben etwas Licht in dieses Problem gebracht. Im nackten Karst werden bei 2400 mm jährlichen Niederschlages im Jahrtausend 71 mm Kalk weggelöst. Davon entstammen von der Erdoberfläche 14 mm; dieser Wert wurde morphometrisch, z.T. mit Hilfe der Sockel der Karrentische, bestimmt. Die restlichen 57 mm entfallen auf den unterirdischen Karst. Im tiefer gelegenen Waldkarst mit 2200 mm Niederschlag beträgt der Gesamtabtrag 91 mm/1000 Jahre; der höhere Wert bei kleinerem Niederschlag ist eine Folge des biogenen CO₂ aus den auflagernden Rendzinen und der höheren Temperatur. Höchstens 10 mm Kalk werden im Untergrund gelöst; dieser Wert schwankt beträchtlich von Ort zu Ort und hängt vom Anteil an unbedecktem Gestein ab. Ausserdem kann das Lösungsausmass nicht mit der gleichen Genauigkeit wie im nackten Karst gemessen werden. Es kann aber festgestellt werden, dass im Waldkarst das Lösungsverhältnis Oberfläche/Untergrund ca. 8 : 1 beträgt, im nackten Karst dagegen ca. 1 : 4 (*Bögli* 1978).

Wo im Untergrund die Kalklösung wirksam wird, hängt von lokalen Umständen ab. Entscheidend ist besonders, wie schnell und mit welcher Temperatur das Wasser die phreatische Zone erreicht, wo die Luft und damit das CO₂ fehlt. In der Regel erfolgt die Korrosion besonders im Bereiche der Grenze Hochwasserzone/phreatische Zone. Bei Hochwasser sind die Fliessgeschwindigkeiten der unterirdischen Gewässer hoch, bis zu zehnmal höher als bei Niedrigwasser, so dass kalkarmes Wasser im vadosen Bereich keine Zeit findet zum Erreichen des Gleichgewichtes mit der Höhlenluft. Mit konstanter Konzentration, abgesehen von einer allfälligen Zunahme durch Mischungskorrosion, erreicht es die Quelle. Im Hölloch enthalten Hochwasser der Vorsommerschneesmelze infolge tiefer Temperatur und daher kleiner Lösungsgeschwindigkeit bei 5° C, einer Abstandsdistanz bis zu 6 km und einer Fliessdauer von 48 Stunden bloss 56 ppm Kalk, also um ca. 30 ppm weniger als der Gleichgewichtskonzentration entspräche (CO₂-Partialdruck ca. 0,04%). Bei winterlichen Niedrigwasserbedingungen steigt die Fliessdauer im gleichen Bereiche auf 196 Std. und der Kalkgehalt erreicht zwischen 90 und 100 ppm, einerseits wegen der relativ grossen Kontaktfläche Wasser/Luft, andererseits wegen des Zusickerns kalkreichen Wassers – bis zu 210 ppm Kalk – aus den Waldböden. Das liegt eindeutig über dem Gleichgewicht zum CO₂-Gehalt der Höhlenluft von 0,04%. Für das kalkreiche Wasser

tritt als Folge auch eine Abgabe von CO_2 aus dem Wasser an die Luft auf, was allenfalls Kalkausscheidung bedeutet (Sinter, Tropfstein), keinesfalls aber Kalklösung. Wenn beim Anstieg des Wasserspiegels beim Einbruch von Warmluft die Siphons geschlossen werden und dadurch die Luftzirkulation unterbrochen wird, dann steigt der CO_2 -Gehalt der Höhlenluft in den tieferen Lagen des Hölloches vorübergehend bis 0,1% CO_2 , also auf das $2^{1/2}$ -fache (Näheres darüber in *Bögli* 1969, 1976). Bei geschlossenen unterirdischen Hohlräumen passen sich der CO_2 -Gehalt der Luft und der Kalkgehalt des Wassers gegenseitig an: Bei hohem Kalkgehalt des Wassers wird CO_2 an die Luft abgegeben, was eine Kalkübersättigung des Wassers und evt. Kalkausscheidungen zur Folge hat; es tritt allerdings ein metastabiler Zustand auf, der die Kalkausscheidung um Tage oder Wochen hinauszögern kann. Zugleich steigt der CO_2 -Gehalt der Höhlenluft. Ist das Wasser kalkarm, dann entzieht es der Höhlenluft CO_2 , so dass sie an diesem Gas verarmt (*Bögli*, 1976 b). Beim Schwyzerschacht über dem Hölloch wurde am Schachteingang noch ein CO_2 -Gehalt von 0,010% festgestellt, während die Außenluft 0,030% aufwies.

ABSTRACT

This paper shows the development of the knowledges of the subterranean karst from a rather static and descriptive point of view to a morphodynamic one. Thus the chemical and physical behaviour of the water became of first importance. In consequence today the sciences of karst-hydrology and physical speleology have approached and form now more or less a unity in the morphodynamics of underground karst. Finally the author sets an example for the karst in the Muota Valley.

LITERATUR

- Bock, H.* (1913): Der Karst und seine Gewässer. Mitt. Höhlenkunde 6/3, Wien
- Bögli, A.* (1951): Probleme der Karrenbildung. Geogr. Helv. 3 (S. 191–204)
- Bögli, A.* (1956): Der Chemismus der Lösungsprozesse ... auf die Entstehung des Karstes. Rep. Comm. Karst Phenomena IGU, New York, S. 7–17
- Bögli, A.* (1960): Kalklösung und Karrenbildung. Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 2, S. 4–21
- Bögli, A.* (1964): Mischungskorrosion, ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. Erdkunde 18/2, S. 83–92
- Bögli, A.* (1969): CO₂-Gehalt der Luft in alpinen Karstböden und Höhlen. 5. Int. Kongr. Speläol., Stuttgart, S. 28/1–9
- Bögli, A.* (1969 a) Neue Anschauungen über die Rolle von Schichtfugen und Klüften in der karsthydrographischen Entwicklung. Geol. Rundschau 58, S. 395–408
- Bögli, A.* (1969 b): Diskussionsbeitrag zu Ek. 5. Int. Kongr. Speläol., Stuttgart, S. 14/2
- Bögli, A.* (1971): Karstdenudation. Regio Basiliensis 12/2, S. 352–361
- Bögli, A.* (1976): CO₂-Gehalt der Luft und Kalkgehalte von Wässern im unterirdischen Karst. Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 26, S. 153–162
- Bögli, A.* (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. Springer-Verlag, Heidelberg
- Bögli, A.* (1980): Karsthydrology and Physical Speleology. Springer-Verlag, Heidelberg
- Davis, W. M.* (1930): Origin of Limestone Caverns. Geol. Soc. Amer. Bull. 41, S. 475–628
- Kyrle, G.* (1923): Theoretische Speläologie. Österr. Staatsdruckerei, Wien
- Lehmann, O.* (1932): Die Hydrographie des Karstes. Franz Deutike, Wien
- Penck, A.* (1894): Morphologie der Erdoberfläche. Bd. 1, Berlin
- v. Saar, R.* (1953/54): Beiträge zur Meteorologie der dynamischen Wetterhöhlen. Mitt. Höhlen-Komm., Jg. 1953
- Trombe, F.* (1952): Traité de Spéléologie. Payot, Paris