

DIE ROLLE DER BESCHLEUNIGTEN KORROSION BEI DER ENTSTEHUNG VON DURCHBRUCHSTÄLERN

Ivan GAMS, Ljubljana*

mit 1 Abb. im Text

INHALT

1.	Ausgangslage für die Erforschung der beschleunigten Korrosion in Slowenien	106
1.1	Petrographisch bedingte Korrosion	106
1.2	Beschleunigte Korrosion des aggressiven Wassers – Entstehungsmöglichkeiten	106
2.	Die Rolle der beschleunigten Korrosion bei der Entstehung von Durchbruchstälern im Karst.....	108
2.1	Täler, in denen keine beschleunigte Korrosion festgestellt wurde.....	109
2.2	Gerinne, bei denen eine Zunahme der Härte während des Durchflusses durch das Durchbruchstal festgestellt wurde	110
3.	Zusammenfassung: Schlußfolgerungen und kritische Betrachtung der gewonnenen Resultate	111
4.	Summary	113
5.	Literaturverzeichnis	114

* Prof. Dr. Ivan Gams, Institut für Geographie der Universität Laibach, SL-61000 Ljubljana, Aškerčeva cesta 2

1. Ausgangslage für die Erforschung der beschleunigten Korrosion in Slowenien

Terrassen, Hochebenen und Taldepressionen weisen auch im Dinarischen Karst auf eine Vorkarst- oder Fluvialphase bei der Entwicklung des bestehenden Karstreliefs hin. Wenn in der Karstentwicklungsphase die Korrosion des Niederschlagswassers gleichmäßig auf größere Oberflächen wirkt, dann werden größere, ursprünglich fluviale Reliefformen auch in niedrigerer Meereshöhe vererbt ("Modell des echten Karstes" nach ŠUŠTERŠIČ 1986). Typisch für den außertropischen Karst sind Becken verschiedener Größen, die aber auch im klassischen Dinarischen Karst in Slowenien nur bis ein Fünftel der Oberfläche umfassen (GAMS 1992). Für die Entstehung jeder Art von Karren und Becken ist eine zusätzliche Korrosion notwendig, für die sich (lokal) der Terminus *beschleunigte Korrosion* durchgesetzt hat.

Die beschleunigte Korrosion kann man nach Analysen des Karstreliefs und nach Messungen, die in der Folge teilweise angeführt sind, in folgende Typen aufteilen:

1.1 Petrographisch bedingte Korrosion

Kleinräumig gesehen, verläuft die Korrosion im zerklüfteten Gestein beschleunigt; im größeren Ausmaß kann es aber auch zu wenig ausgeprägten Mulden in den der Korrosion stärker angesetzten oberflächennahen Gesteinen kommen. Als Folge der Korrosion weisen die Gewässer aus Gebieten bestimmter Gesteine, wie zum Beispiel jene aus Riffkalksteinen (GAMS 1966), eine größere Härte auf.

1.2 Beschleunigte Korrosion des aggressiven Wassers – Entstehungsmöglichkeiten

1. Korrosion durch Gletscherbäche

Die Schmelzwässer des Triglav-Gletschers weisen eine Gesamthärte von 0,2° bis 0,8° dH (Deutsche Härte), bei langsamer Versickerung durch das zerklüftete Gestein mitunter bis 2,3° dH auf (GAMS 1962a). Die potentielle Korrosion beträgt ungefähr 40 mg CaCO₃/l, da der Gehalt an Mineralstoffen im Schmelzwasser vor dem Erreichen des Karbonatgesteins für gewöhnlich sehr niedrig ist. Bedingt durch den konzentrierten Abfluß des Gletscherwassers ist die Dichte der Schächte am Zungenende der rezenten oder pleistozänen Gletscher auf Karsthochebenen (z.B. Tennen- und Hagengebirge, Triglav- und Kanin-Stock) verständlich (GAMS 1962b). Auf der Kanin-Stock wurden neulich einige bis zu 1.300 m tiefe Schächte entdeckt.

2. *Beschleunigte Korrosion beim Wasserzufluß aus höher gelegenen Kalkkarstgebieten zu dem mit Boden oder Anschwemmung bedeckten Karst*

Wässer aus dem Triglav-Gebirge (Triglav, 2.864 m) mit zunächst ungefähr 3,8° dH erreichen nach Durchfließen des bedeckten Karstes im Poljeboden von Malo- und Velo-Polje bis 7° dH (GAMS 1962a, 1963). Während des Durchflusses über die alluviale Ebene mit beigemischtem Kalkschotter steigt die Konzentration an Karbonaten auf ungefähr 20 mg/l (GAMS 1963).

3. *Beschleunigte Korrosion des Wasserzuflusses auf den Karst*

Diese Korrosion ist gering oder fehlt beim Zufluß aus undurchlässigen oder halbdurchlässigen Karbonatgesteinen (einige Dolomite, Kalksteinmergel usw.). Der Nachweis gelang durch Messungen der Wasserhärten in Blindtälern in Slowenien (GAMS 1962a). Die meisten Poljen in Slowenien liegen im Bereich der Kontaktzone, wo Wasser von Dolomit auf Kalkstein übertritt. Während des Wasserdurchflusses durch die Ribnica-Polje wurde die Zunahme der Gesamt- und der Karbonathärte gemessen (GAMS 1967, S. 36). Da die Wässer aus triassischem Dolomit die gleiche oder sogar eine größere Härte als die Wässer aus Kalkstein aufweisen, und da Dolomite nicht reine Kalziumkarbonate sind, besteht die Möglichkeit der Substitution der Karbonate, Sulfate und Silikate in der Lösung (PALMER, N. & PALMER, M. 1991), was zusätzliche Korrosion bewirkt.

Leider gibt es in Slowenien keine Beispiele des Wasserzuflusses aus Silikatgestein in Karstwannen, wo die beschleunigte Korrosion am intensivsten wäre. Dies bewiesen die Messungen mit Hilfe der Standardkalktablette im Demänova-Tal (Slowakischer Karst), kurz vor Eintritt in die Verengung im Kalkstein. Hierbei war die größte Härtezunahme in der wärmeren Jahreshälfte zu beobachten (DROPPA nach GAMS 1985, S. 368).

• *Beschleunigte Korrosion der Schwindebäche im unterirdischen Karst*

Die längsten Höhlen der Welt entstanden an den größten Schwindebächen (FORD & WILLIAMS 1989, S. 246). Gleiches gilt auch für den Dinarischen Karst (GAMS 1986). Die irrtümliche Meinung, daß für die Erosion eher glatte, für die Korrosion aber eher zergliederte Felsoberflächen in den Höhlen typisch sind, führte dazu, daß der Erosion zu große und der Korrosion zu geringe Bedeutung für die Entstehung von Höhlen beigemessen wurde. Dies, trotz der Tatsache, daß Schwindebäche zwar in der Regel Karbonatschotter und Sande in den unterirdischen Karst eintragen, dieses Material aber nicht durch Karstquellen entsorgt wird (KRANJIC 1989). In der Postojna-Grotte (Adelsberger Grotte) deutet die Hälfte der Messungen des Hydrochemismus vor allem im Winter ein Überwiegen der Korrosion an (GAMS 1966, S. 35). Nur eine von elf Messungen in den Höhlen von Škocjan (St. Kanzian) bestätigte die Aggressivität des Wassers (KRANJIC 1989, S. 59). J. DELANNOY stellte mittels Standardkalktabletten die Korrosion im Schacht Gouffre Berger fest (vgl. GAMS 1985, S. 372, 377).

- *Korrosion im Karbonatgestein unter Schwemmaterial, bedingt durch die beschleunigte alluviale Korrosion der Schwindebäche bei deren Versickerung*
In Slowenien wurden hierzu nur wenige Messungen in Blindtälern, die eine ähnliche Entstehung wie Randpoljen aufweisen, vorgenommen (GAMS 1962, MIHEVC 1991). In der slowenischen Karstterminologie setzte sich infolge der kennzeichnenden Lage der Karstwannen und zahlreicher Höhlen im Übergangsbereich vom Karbonatgestein zum angrenzenden Material der Terminus "Kontaktkarst" (MIHEVC 1989) bzw. "Kontaktfluviokarst" (GAMS 1986) durch.

2. Die Rolle der beschleunigten Korrosion bei der Entstehung von Durchbruchstätern im Karst

Fälle, in welchen Talbildungen in undurchlässigen Sedimentgesteinen eine Fortsetzung in mitunter gleich hohen oder höher ansteigenden, harten Karbonatgesteinen in Form von Engtälern, Schluchten oder Canyons finden, sind häufig anzutreffen. Ein solcher "Fremdlingsfluß" (FORD & WILLIAMS 1989, S. 424 und S. 426, zählen die sogenannten "through valleys" zu Karstformen) wird sowohl durch Karstquellen mitgespeist, wie er auch nach Flußschwinden unterirdisch weiter verlaufen kann (PAVUZA & TRAINDL 1988, für das Untere Inntal in Österreich). All dies ist mitunter auch von der tektonischen Hebung oder Senkung des Karstreliefs abhängig. FORD & WILLIAMS (1989, S. 426) führen das Donautal im Schwäbischen Jura, dessen Flußlauf periodisch völlig in unterirdische Kanäle bis zur Ortschaft Fridingen versiegt, als Beispiel für die "through valleys" an. Diese ausgehöhlten Kanäle beweisen die Aggressivität des Donauwassers, dessen Quellgebiet sich in Silikatgesteinen des Schwarzwaldes befindet. MELIK (1962/63) stellte im slowenischen Karst die Ähnlichkeit zwischen Flußcanyons, Trockentälern mit periodischem Fluß (Halbtrockental) und Dauertrockentälern, die die drei Stadien der Verkarstung widerspiegeln, fest. Beispiele dafür sind der Kolpa-Canyon, das Tal des Limsikanales in Istrien und das Čepovantal.

Durchbruchstäler größeren Ausmaßes befinden sich vor allem in den jungen Gebirgen alpidischen Typs, die zentral flankiert aus paläozoischen Silikatgesteinen und jüngeren magmatischen Gesteinen, aber aus mesozoischen Karbonatgesteinen aufgebaut sind (zum Beispiel die Ostalpen mit Durchbruchstätern in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen, aber auch im Kaukasus). Die Entstehung dieser Täler wird in geomorphologischen Lehrbüchern der fluviatilen Erosion und teilweise der Glazialerosion zugeschrieben. Nach dem Erkenntnisstand von Korrosionsprozessen (BOEGLI 1978, FORD & WILLIAMS 1989) löst das Niederschlagswasser nach längerem Kontakt mit Karbonaten – nur mit dem Ausgleich des Partialdrucks CO_2 in Luft und Wasser – in einem Liter Wasser zwischen 60 und 75 mg CaCO_3 auf. Bezugnehmend auf die angegebene Literatur ist zu erwarten, daß bei der Entstehung dieser Durchbruchstäler auch die beschleunigte Korrosion (beschleunigt infolge des Wasserlaufs) mitwirkt. Dieser These sind die

Messungen des Hydrochemismus am Ein- und Ausgang einiger Durchbruchstäler in den Ostalpen gewidmet:

An jeder Lokalität wurden Wasserproben entnommen, die Messungen wurden im Physiogeographischen Labor der Universität in Ljubljana nach der Standardmethode durchgeführt. Im Gelände wurden Wasser- und Lufttemperatur, im Labor Karbonat-, Gesamt-, Calcium- und Magnesiumhärte, SO_4^{2-} , PO_4^{3-} und elektrische Leitfähigkeit gemessen. In der Folge wird die *beschleunigte Korrosion* jenen Wässern zugeschrieben, in denen die Zunahme der Gesamt- oder (und) Karbonathärte wenigstens $0,2^\circ$ dH beträgt, sofern auch die Mehrzahl der Hilfsanalysen damit übereinstimmt. Die zugehörigen Täler sind in der Übersichtsskizze angeführt. Geologische Daten sind der Geologischen Karte Sloweniens 1 : 100.000 entnommen.

2.1 Täler, in denen keine beschleunigte Korrosion festgestellt wurde

Hier sind nur größere Schluchten an größeren Flüssen angeführt, und zwar:

1. *Der Canyon der Kolpa*

Fluß mit Durchfluß $47 \text{ m}^3/\text{s}$, an der slowenisch-kroatischen Grenze, entspringt in einem 72 m tiefem Schacht und entwässert zusammen mit dem Nebenfluß Čabranka die Karbonatgesteine und teilweise die Silikatgesteine aus dem Karbon und Perm. Im 40 km langen und 150 bis 400 m tiefen Canyon zwischen Kostel und Vinica sank die Gesamthärte des Wassers am 13.5.1994 von $8,7^\circ$ auf $8,2^\circ$, die Karbonathärte von $8,1^\circ$ auf $7,4^\circ$ dH. Die beiden wichtigsten linken Nebenflüsse, Bilpa und Dolski potok, wiesen niedrigere Härten auf. Zuflüsse vom größeren rechten Flußgebiet erfolgen unterirdisch und sind daher nicht sichtbar. Sie erhöhen die Durchflußmenge jedoch erheblich.

2. *Der Canyon der Sava Bohinjska (Wocheiner Save, Julische Alpen)*

zwischen den Ortschaften Bohinjska Bistrica und Bohinjska Bela in triassischen und jurassischen Kalken 100 bis 500 m tief eingeschnitten. Der Fluß entwässert höherliegende, vor allem triassische Kalksteine, und nur vereinzelt undurchlässige oligozäne Gesteine. Während des 12 km langen Laufs sank die Gesamthärte am 6.2.1994 von $8,1^\circ$ auf $7,4^\circ$ dH. Die Karstquellen aus den Hochebenen (Pokljuka und Jelovica) vergrößern den Durchfluß und verringern die Wasserhärte des Flusses.

3. *Die Schlucht der Kokra*

zwischen den Karawanken und den Kamniker Alpen (Steiner Alpen) gelegen (zwischen den Ortschaften Fužine und Preddvor). Die Kokra durchfließt die dort vorherrschenden Kalken und Dolomiten, lokal auch Silikatgesteine aus dem Perm. Das Quellgebiet bilden vorwiegend Kalksteine sowie Silikat- und Karbonatgesteine aus dem Karbon und Perm. Während des 11 km langen Laufs sank die Gesamthärte am 15.5.1994 von $9,7^\circ$ auf $9,5^\circ$ dH.

4. *Der Canyon der Sava*

im Bergland von Sava (Posavsko hribovje) zwischen dem Kessel von Litija und Zagorje gelegen. In dem 200 bis 500 m tiefen Canyon aus mesozoischen Kalken und teilweise Dolomiten verringerte die Sava bei ihrem Hochstand am 8.2.1994 während des 10 km langen Laufs zwischen den Ortschaften Sava und Zagorje die Gesamthärte von 11,6° auf 11,3° dH. Die meisten der unterirdischen Zuflüsse sind nicht bekannt.

2.2 Gerinne, bei denen eine Zunahme der Härte während des Durchflusses durch das Durchbruchstal festgestellt wurde

Es wurden die Messungen an kleineren Gerinnen in Slowenien sowie solche aus Gewässern in Österreich vorgestellt.

- Der *Nebenfluß Pasjek*, der im Bergland von Sava (Posavsko hribovje) Sandsteine und Schiefersteine entwässert. In der 1,7 km langen Schlucht aus triassischen Dolomiten vor der Mündung in die Sava stieg die Gesamthärte des Wassers – infolge des Anstieges der Calciumhärte – von 5,5° auf 6,6° dH (nach slowenischer geologischer Definition können Dolomite bis zu 80% CaCO₃ aufweisen).
- Im *Bach Ložnica* (Hügelland von Ložnica, Kessel von Celje/Cilli) erhöhte sich während des 1,5 km langen Laufes, zwischen dem Zusammenfluß mit dem Bach Hotunjščica und dem Ende des engen Tales im Kalkstein, am 28.4.1994 die Gesamthärte von 10,2° auf 10,4° dH.
- Im *Bach Trnava* (Hügelland von Ložnica), der miozäne Tone und Tuff-Gesteine entwässert, erhöhte sich am 28.4.1994 die Gesamthärte während des 5,1 km langen Laufs im wenig eingetieften, engen Tal aus triassischen Kalken von 11,2° auf 12,6° dH.
Nur zwei Bäche vom Südhang des zu den Zentralalpen gehörenden Pohorje-Berglandes (Bacher-Gebirge) mit seinen metamorphen, paläozoischen Silikatgesteinen durchbrechen die benachbarten Karawanken (Karbonate, mesozoische Kalke und Dolomite) in Schluchten, nachdem sie vorher den Gürtel miozäner, undurchlässiger Mergel-Gesteine durchquert hatten.
- Im *Bach Hudinja* erhöhte sich, unterhalb der Ortschaft Vitanje in einer 100 bis 400 m tiefen Schlucht, die Gesamthärte am 18.2.1994 von 5,0° auf 6,8° und am 6.6.1994 von 6,6° auf 9,2° dH. Hauptsächlich infolge der Zunahme der Calciumhärte, aber auch durch die im Flußbett austretende Karstquelle.
- In der *Paka (Nebenfluß der Savinja)* erhöhte sich, während des 9 km langen Laufs durch das in triassische Dolomite eingeschnittene enge Tal vor Velenje, am 20.9.1994 die Gesamthärte von 10,9° auf 11,4° dH.

In der magmatisch-metamorphen Zone der mittleren Karawanken (Periadriatische Naht oder Karawankenfurche) befindet sich das Quellgebiet zweier Flüsse, der Meža und der Bela (Vellach), deren Täler sich am Übergang in die mesozoischen Kalke und Dolomite der nördlichen Kalkkette der Karawanken, zu einer Schlucht verengen.

- In der *Meža (Mieß, Nebenfluß der Drau)* erhöhte sich am 15.1.1994 die Gesamthärte während des 5,1 km langen Laufs zwischen den Ortschaften Črna und Mežica von 4,4° auf 7,7° und am 2.6.1994 von 5,1° auf 8,6° dH. Der Fluß führt nur wenig Wasser (Durchfluß unter 100 l/s), da der Großteil des Wassers für den Betrieb eines Wasserkraftwerkes abgeleitet wird.
- In der *Vellach (Bela, Nebenfluß der Drau)* zwischen Eisenkappel und Miklauzhof in den österreichischen Karawanken, erhöhte sich am 15.1.1994 nach 4,2 km langen Lauf durch ein 150 bis 600 m tiefes Kerbtal, die Gesamthärte von 8,8° auf 10,3° dH., vor allem in Folge der höheren Magnesiumhärte.
- Im *Trögernbach (Nebenfluß der Vellach)*, der paläozoische Sandsteine, Schiefer und Kalke entwässert, erhöhte sich am 15.5.1994 nach 4 km langen Lauf durch die touristisch bedeutende Trögernerklamm (im österreichischen Bundesland Kärnten) die Gesamthärte von 7,6° auf 7,9° dH.
- In der *Salzach (Salzburger Kalkalpen, Österreich)* erhöhte sich während ihres 8 km langen Laufs durch mesozoische Kalke zwischen dem Hagen- und Tennengebirge am 12.3.1994 die Gesamthärte von 6,5° auf 7,5° dH. Der Wasserstand bei Werfen (von Werfen bis zum Paß Lueg kam es zu keinen Veränderungen im Chemismus) wurde durch Schmelzwasserzuflüsse aus Silikatgesteinen der Zentralalpen erhöht. Oberhalb von Salzburg werden Durchflußmenge und Wasserhärte der Salzach durch Grundwasserspenden aus quartären Sedimenten und teilweise durch rechte Zuflüsse vergrößert.

3. Zusammenfassung: Schlußfolgerungen und kritische Betrachtung der gewonnenen Resultate

Die oben angeführten Zunahmen der Gesamt- und Karbonathärte können in einigen Fällen die Folge der Austritte unbekannter Karstquellen ins Hauptflußbett sein, aber für die Gesamtheit aller Meßwerte kann diese Zunahme so nicht erklärt werden.

Die beschleunigte Korrosion in den Durchbruchstätern im Karbonatgestein ist bei Bächen mit niedriger Gesamthärte bewiesen. Die Zunahme der Wasserhärte auf 9° dH und darüber tritt selten auf. Die Erhöhung der Gesamthärte während des

Laufes ist offensichtlich vom Anfangsgrad der Aggressivität bzw. von der Sättigung des Wassers mit Karbonaten abhängig. Die stärkere Zunahme der Wasserhärte bei kleineren Bächen durch die Korrosion kann dadurch erklärt werden, daß aggressives Wasser hier in relativ viel größerem Ausmaß in Kontakt mit Karbonatsedimenten (Karbonatschotter und -sand) kommt, als bei größeren Flüssen. In letzteren wird keine chemisch meßbare und somit keine sichere Zunahme der Wasserhärte beobachtet, was durch deren größere Durchflußmenge erklärt wird. Die beschleunigte Korrosion kann trotzdem intensiv sein.

Ziel dieser vorläufigen Messungen war nicht die Feststellung genauer Mengen von gelösten Karbonaten. Dafür wären die täglichen Messungen der Wasserhärte über einen langen Zeitraum an Haupt- und Nebenflüssen notwendig. Die bisher gewonnenen Ergebnisse bestätigen aber die These, daß die beschleunigte Korrosion als zusätzlicher Prozeß der Umformung bei der Eintiefung einiger sogenannter Durchbruchstäler mitwirkt. Die Begrenzung der beschleunigten Korrosion auf das Flußbett und damit auf den unmittelbaren Bereich der Taleintiefung verstärkt an den steilen Hängen einer Schlucht oder eines Kerbtals die mechanische Verwitterung. Der dadurch ins Wasser stürzende Schutt ist aufgrund seiner relativ großen Oberfläche (im Vergleich zum Volumen) der beschleunigten Korrosion des aggressiven Wassers besonders unterworfen.

Nach bisherigen Messungen tritt stärkere Korrosion an einigen Stellen im Sommer, an anderen hingegen im Winter auf. Zur Erhöhung der Wasserhärte trägt an einigen Stellen vor allem Calciumkarbonat, an anderen wieder Magnesiumkarbonat bei. Die Lösung der Gesteine in vergangenen Zeitabschnitten, in denen enge Täler entstanden, ist wegen der paläoklimatischen Verhältnisse (subtropische pliozäne, kalte pleistozäne Zeitabschnitte), die auf die Korrosionsintensität eingewirkt haben, nur mit Unsicherheit zu ermitteln. Da es, wie erwähnt, zur beschleunigten Korrosion sowohl im Sommer- als auch im Winterhalbjahr kommt, kann angenommen werden, daß die beschleunigte Korrosion in den seinerzeitigen klimatischen Verhältnissen nicht wesentlich anders verlaufen ist.

Schon eine einfache Berechnung zeigt uns, daß die korrosive Eigenschaft der Gerinne ein wirksamer morphogenetischer Faktor sein kann: Der Wasserstrom aggressiven Wassers löst bei durchschnittlichem Durchfluß von $1 \text{ m}^3/\text{s}$ und Zunahme der Härte auf $20 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$ durch ein Engtal im Karbonatgestein jährlich $630,7$ Tonnen des Gesteins auf, das bedeutet $233,6 \text{ m}^3$ (bei der Kalkstein-Dichte $2,7$). Für den Zeitraum des Quartärs (2 Millionen Jahre) ergibt dies $1.261.440$ Tonnen oder 467.185 m^3 Gestein. Viele der oben genannten Flüsse mit beschleunigter Korrosion weisen eine höhere Härte und einen größeren durchschnittlichen Durchfluß auf. Der Beginn der Entstehung der Täler ist aber vermutlich im Tertiär anzusetzen.

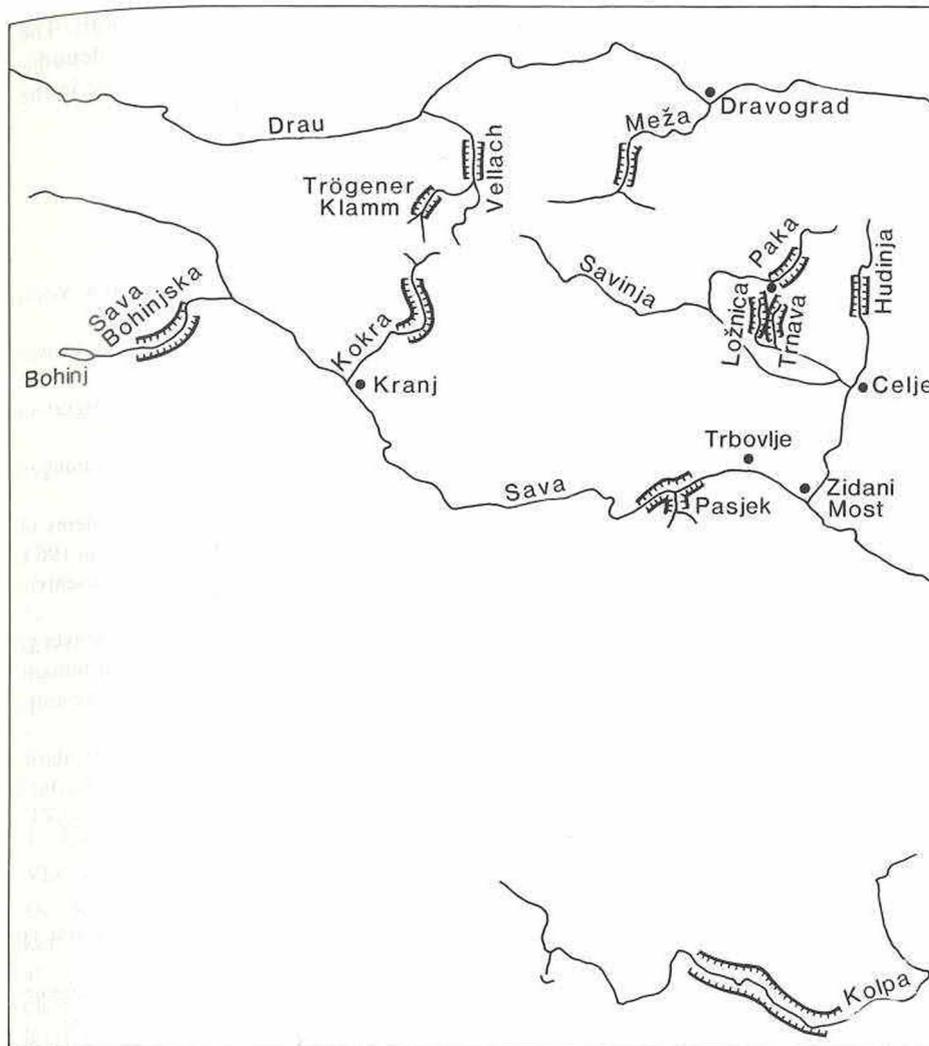


Abb. 1: Lokalitäten, die im Text erwähnt sind

4. Summary

Ivan Gams: The Importance of Accelerated Corrosion in the Development of Through Gorges

The paper examines the contribution of corrosion to the valley incision of allogenic rivers traversing a karst area. In smaller rivers the mean water hardness

clearly increases between the entrance and the exit of the through gorge. The author concludes that the river bed must have undergone some solutional denudation and claims that erosion by karst solution also played an important role in the formation of the big gorges of major rivers.

5. Literaturverzeichnis

- BOEGLI A. (1978), *Karsthydrographie und physische Speläologie*. Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- FORD D., WILLIAMS P. (1989), *Karst Geomorphology and Hydrology*. London, Unwin Hymen Ltd. 601 S.
- GAMS I. (1962a), *Slepe doline v Sloveniji (Blind valleys in Slovenia)*. In: *Geografski zbornik*, VII. Ljubljana.
- GAMS I. (1962b), *Dodatne raziskave Triglavskega brezna 1962 (Ergänzende Forschungen im Triglavschacht 1962)*. In: *Naše jame*, IV, S. 21-23. Ljubljana.
- GAMS I. (1963), *Velo polje in problem pospešene korozije (Velo polje and Problems of Accelerated Corrosion)*. In: *Geografski vestnik*, XXXV, S. 55-64. Ljubljana 1964.
- GAMS I. (1965), *Types of Accelerated Corrosion*. In: *Problems of Speleological Research*, S. 133-140. Praha.
- GAMS I. (1966), *Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa (Factors and Dynamics of Corrosion of the carbonatic Rocks in the Dinaric and Alpine Karst of Slovenia)*. In: *Geografski vestnik*, XXXVII, S. 3-68. Ljubljana.
- GAMS I. (1985), *Mednarodne primerjalne meritve površinske korozije s pomočjo standardnih apneniških tablet (International Comparative Measurements of the Surface Solution by Means of Standard Limestone Tablets)*. In: *Razprave IV*, Cl. SAZU, XXV, S. 361-386. Ljubljana.
- GAMS I. (1986), *Kontaktni fluviokras (Contact Fluviokarst)*. In: *Acta carsologica*, XIV-XV, S. 71-88. Ljubljana.
- GAMS I. (1992), *Les influences des climats dans les regions karstiques*. In: *Karst en evolution climatiques*, S. 43-49. Bordeaux, Hommage J. Nicod.
- KRANJC A. (1989), *Recent Fluvial Cave Sediments, their Origin and Role in Speleogenesis*. In: *Opera*, 27, Institutum Carsologicum ZRC SAZU, S. 1-55. Ljubljana.
- MELIK A. (1962/63), *O dolih na krasu (On dry valleys in Karst)*. In: *Arheološki vestnik*, XII-XIV. Ljubljana.
- MIHEVC A. (1989), *Morfoloske značilnosti ponornega kontaktnega krasa v Sloveniji (Morphological Properties of Contact Karst in Slovenia)*. In: *Geografski vestnik*, 63, S. 41-50.
- PALMER A., PALMER M.V. (1991), *Replacement Mechanism among Carbonates, Sulfates and Silica in Karst Regions. Some Appalachian Examples*. Appalachian Karst Symposium. Huntsville-Alabama, National Speleological Society.
- PAVUZA R., IRIANDL H. (1988), *Wechselwirkung von Karst- und Grundwasser im Unterinntal (Tirol, Österreich)*. International Symposium on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst. Košice, International Geographical Union.
- ŠUŠTERŠIČ F. (1986), *Model čistega krasa in nasledek v interpretaciji površja (The "pure" Karst Model and its consequences in the Karst Relief Interpretation)*. In: *Acta carsologica*, XIV-XV, S. 59-69. Ljubljana.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [137](#)

Autor(en)/Author(s): Gams Ivan

Artikel/Article: [Die Rolle der beschleunigten Korrosion bei der Entstehung von Durchbruchstäler 105-114](#)