

Über Dolomitkarst in Österreich

Von Rudolf Pavuza (Wien) und Helmut Traindl (Wien)

Verbreitung dolomitischer Gesteine in Österreich

Innerhalb der zentralalpiner Deckeneinheiten treten Dolomite vor allem in den triadischen Sedimentpaketen auf. Sind diese in der Schieferhülle des Tauernfensters noch relativ geringmächtig, so erreichen sie in den unterostalpinen und mittelostalpinen Einheiten (z. B. Radstädter Tauern, Stangalm) bereits einige hundert Meter Mächtigkeit. Wie in den später behandelten Nördlichen Kalkalpen handelt es sich auch in den Zentralalpen im wesentlichen um ladinischen Wettersteindolomit und norischen Hauptdolomit.

Im Oberostalpin, der obersten tektonischen Deckeneinheit, sind zunächst die paläozoischen Dolomite der Grauwackenzone (z. B. Schwazer Dolomit im Westen Österreichs) und des Grazer Paläozoikums zu erwähnen. Südlich der Zentralalpen finden sich mächtige ladinische Dolomite und Hauptdolomit in den Lienzer Dolomiten und in den Nordkarawanken, die großtektonisch noch zu den Nordalpen zu rechnen sind; ihre Mächtigkeiten übertreffen zum Teil jene der Nördlichen Kalkalpen.

Südlich der periadriatischen Naht hat Österreich noch einen kleinen Anteil an den Südalpen (Karnische Alpen und Südkarawanken), in dem neben paläozoischen Dolomiten mächtiger mitteltriadischer Schlerndolomit sowie Haupt- bzw. Dachsteindolomit auftreten.

Flächenmäßig mit Abstand am bedeutendsten sind in Österreich die praktisch nur aus der Triaszeit stammenden Dolomite der Nördlichen Kalkalpen (siehe auch TOLLMANN, 1976). Die dominierenden Schichtglieder sind mitteltriadischer Wettersteindolomit (bzw. Ramsaudolomit) sowie obertriadischer Hauptdolomit; daneben treten weitere Typen, wie etwa Gutensteiner, Steinalm- und Dachsteindolomit, auf.

Erreicht der Wettersteindolomit in den östlichen Kalkalpen eine Mächtigkeit bis zu 800 m, so können für den Hauptdolomit im Karwendelgebirge (Tirol) 2200 m angegeben werden.

Die Nördlichen Kalkalpen lassen sich grob in eine Hauptdolomit- und eine Dachsteinkalkfazies unterteilen, je nachdem, welches der beiden Schichtglieder in der Obertrias dominiert (Abb. 1). Die Dachsteinkalkfazies ist dabei südlich der Hauptdolomitfazies beheimatet. Sie reicht im Westen bis in den Raum von Lofer und im Osten bis an das Wiener Becken. Für den Wettersteindolomit ergibt sich ein etwas differenzierteres Verteilungsbild. Ist seine Bedeutung im Tiroler Raum noch verhältnismäßig gering (dort dominieren Wettersteinkalk und Partnachschichten), so findet man in der voralpinen „Traunalpenfazies“ zwischen Salzach und Enns in der Mitteltrias Wettersteindolomit und -kalk. Östlich davon, in der „Lunzer Fazies“, wird die Mitteltrias im allgemeinen von

Kalken dominiert. Eine Ausnahme bildet der Abschnitt zwischen Annaberg und Kleinzell, wo in der „Rohrer Fazies“ fast die gesamte Mittel- und Obertrias von dolomitischen Sedimenten gebildet wird und damit ein gutes Studienobjekt für den Dolomitkarst darstellt. In den Kalkhochalpen zwischen Lofer und dem Gesäuse ist in der Mitteltrias überwiegend Wetterstein- bzw. Ramsaudolomit zu finden; östlich davon im Gebiet des Hochschwabs wird die Mitteltrias jedoch kalkig.

Lithologie und Geochemie der Dolomite

PETTIJOHN (1957) unterscheidet zwischen „Dolomit“ (19,5–21,6% MgO) und „kalkigem Dolomit“ (10,8–19,5% MgO). Bezogen auf das von uns zur Charakterisierung der Wässer verwendete Ca/Mg-Verhältnis (ausgehend von den Gehalten in mg/l), entspricht ein Wert $Ca/Mg < 2$ dem Dolomit, Werte von 2 bis 4,5 entsprechen kalkigen Dolomiten. Chemische Analysen von Hauptdolomit aus der Literatur wie auch aus eigenen Untersuchungen zeigen, daß bis zu einem Viertel der untersuchten Hauptdolomitproben chemisch-petrographisch eigentlich als kalkige Dolomite anzusprechen wären. Rein äußerlich konnten aber keine Unterschiede zwischen dem eigentlichen Dolomit (nach der Definition von PETTIJOHN) und dem kalkigen Dolomit beobachtet werden. Es zeigte sich ferner, daß der allgemein übliche Test mit 5% iger Salzsäure keine

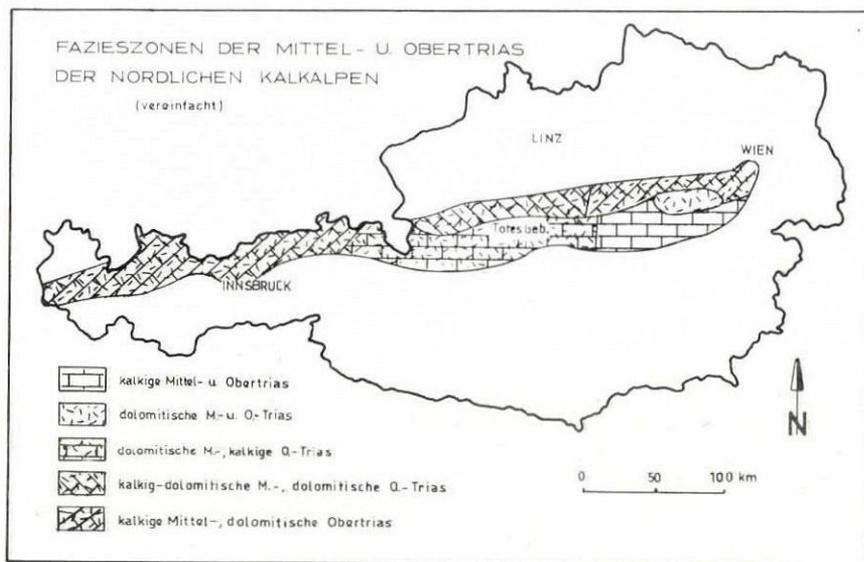


Abb. 1.

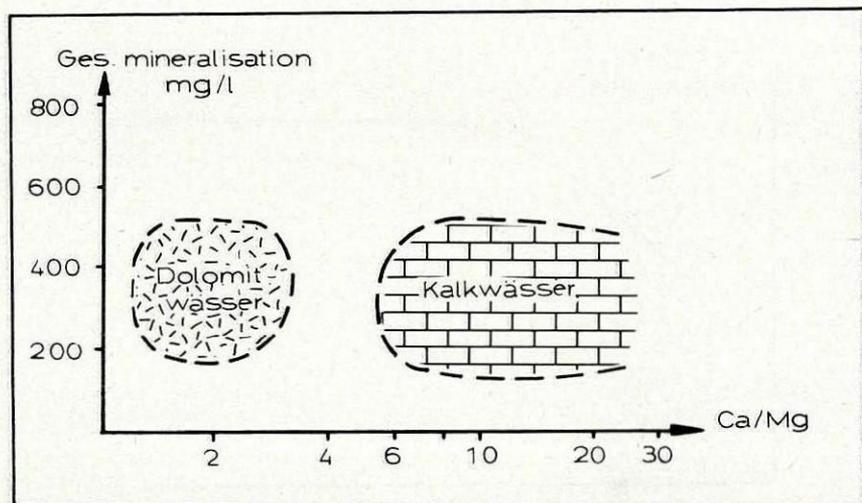


Abb. 2. Hydrochemisches Faziesdiagramm.

100% ige Aussage über den Dolomit- bzw. Kalkanteil des untersuchten Gesteins ermöglicht.

Das äußere Erscheinungsbild von Hauptdolomit und Wettersteindolomit – den wie bereits erwähnt bedeutendsten Dolomiten in den Nördlichen Kalkalpen – reicht von dünnbankig bis massig. Im Gegensatz zu Kalken dominiert die Feinklüftigkeit. Eben diese ist sowohl für das hydrogeologische Verhalten von Dolomitkarstgebieten wie auch für die im allgemeinen geringere Höhlenbildung von Bedeutung.

In den tektonisch tieferen kalkalpinen Deckeneinheiten ist für den Hauptdolomit die Zwischenschaltung bunter, toniger „Keuperlagen“ typisch. Bereichsweise kommt es ferner zu Einschaltungen bituminöser Tonschiefer (Typ „Seefeld der Ölschiefer“), die wie die vorher erwähnten Keuperlagen als relative Stauer wirken und zur Bildung lokaler Karstwasserspeicher führen können.

Zur Hydrochemie der Dolomite

Der unterschiedliche Anteil an Magnesium im Quellwasser ermöglicht eine hydrochemische Unterscheidung zwischen Kalk- und Dolomitwässern. Der Magnesiumanteil wird durch das Ca/Mg-Verhältnis – ausgehend von den Gehalten in mg/l – ausgedrückt (Abb. 2).

Dabei stellt sich die Frage, wie weit die morphologische und hydrologische Entwicklung von Dolomitkarstgebieten mit der „Verkarstungsfähigkeit“ dieser Gesteine in Zusammenhang steht. Daß zwischen Kalkkarst und Dolomitkarst in

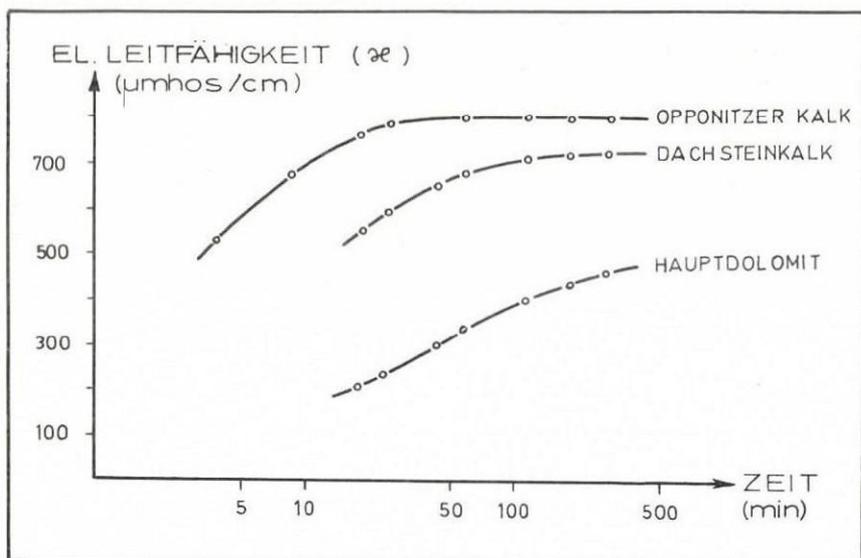


Abb. 3. Lösungsversuch von Kalken und Hauptdolomit. Ermittlung der Konzentrationszunahme der Lösung durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit.

dieser Hinsicht beträchtliche Unterschiede bestehen, ist bekannt, dafür führt THRAILKILL (1977) drei mögliche Gründe an:

- a) die Wässer sind im Schnitt eher in bezug auf Dolomit als in bezug auf Calcit gesättigt;
- b) Dolomite zeigen eine andere – langsamere – Lösungskinetik;
- c) die lithologischen und kleintektonischen Verhältnisse beeinflussen die Verkarstung in hohem Maße.

Hinsichtlich des ersten Punktes ergaben die Berechnungen von THRAILKILL (1977), daß der Großteil der von ihm untersuchten Wässer aus Karstgebieten der östlichen Vereinigten Staaten – auch die Wässer aus Dolomitgebieten – eher in bezug auf Kalk als auf Dolomit gesättigt waren. Eigene Untersuchungen in den Kalkvoralpen Nieder- und Oberösterreichs ergaben für Dolomitwässer ebenfalls Werte, die zeigen, daß unter normalen Bedingungen (Mineralisationen unter 1000 mg/l und Temperaturen unter 15 °C) die Calcitsättigung praktisch immer höher ist als die Dolomitsättigung. Dadurch ist erwiesen, daß die Ursache für die Verschiedenartigkeit der Verkarstung in Kalken und in Dolomiten anderswo liegen muß.

Zur weiteren Klärung dieser Frage wurde nun die Lösungsgeschwindigkeit der Dolomite im Vergleich zu jener von Kalken untersucht. Es wurden jeweils mehrere Proben von Hauptdolomit, Dachsteinkalk und Opponitzer Kalk aus den niederösterreichischen Kalkvoralpen in CO₂-hältiges destilliertes Wasser

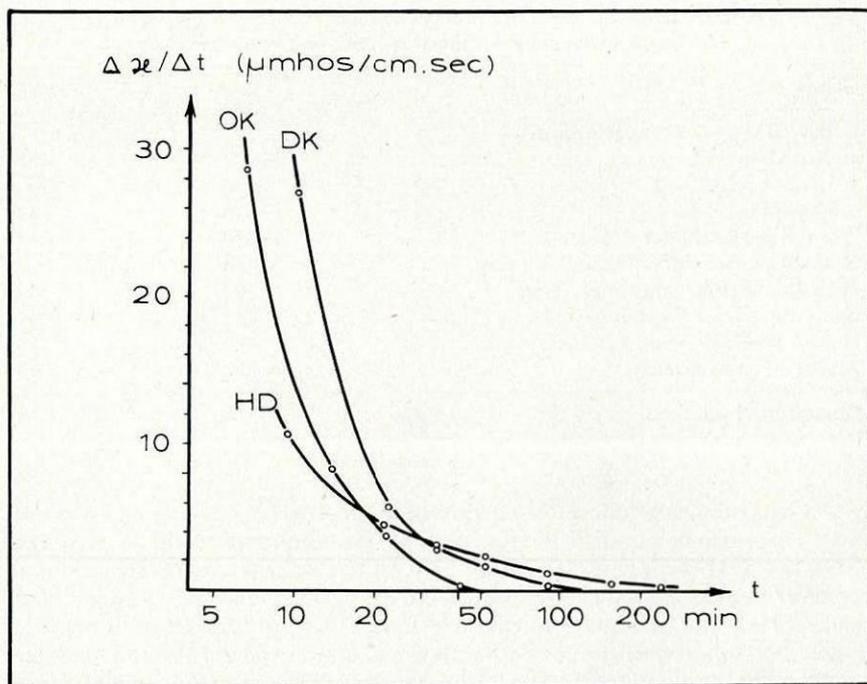


Abb. 4. Lösungsversuch von Kalken und Hauptdolomit. Leitfähigkeitsänderung pro Zeiteinheit für Dachsteinkalk (DK), Opponitzer Kalk (OK) und Hauptdolomit (HD).

eingebraucht und die Konzentrationszunahme der Lösung mittels Messung der elektrischen Leitfähigkeit verfolgt (Abb. 3).

Der wertmäßige Unterschied ist dabei kaum als Kriterium heranzuziehen, da er von verschiedenen Faktoren wie etwa der Korngröße der (pulverisierten) Probe beeinflusst wird. Wesentlich ist jedoch die Tatsache, daß beim Dolomit — im Gegensatz zu den Kalken — auch noch nach Stunden ein nennenswerter Reaktionsumsatz erfolgte. Dies kommt in Abbildung 4 zum Ausdruck, in der die Leitfähigkeitsänderung pro Zeiteinheit in bezug auf die Versuchsdauer aufgetragen ist, jeweils auf die Mitte des Beobachtungsintervalls bezogen. Dabei zeigt sich die langsamere Reaktionsgeschwindigkeit des Hauptdolomits sehr deutlich.

Aus diesem Befund müßte man zwangsläufig schließen, daß bei gleichen äußeren Bedingungen wie Temperatur, CO_2 -Partialdruck und Verweilzeit die Wässer aus dem Dolomit im Durchschnitt eine geringere Mineralisation aufweisen als Quellwässer aus dem Kalkkarst. Einige Beispiele aus eigenen Untersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen (Tabelle 1) zeigen aber, daß dies durchaus nicht der Fall ist.

Tabelle 1: Durchschnittliche Gesamtmineralisation in mg/l von Quellwässern aus Einzugsgebieten im Kalkkarst (K) und im Dolomitzkarst (D)

Gebiet	K	D
Kalkvoralpen im Raum Waidhofen an der Ybbs – Weyer,		
östlicher Teil	340	340
westlicher Teil	390	340
Westteil der Lechtaler Alpen	320	310
Nordostteil des Untersberges, Salzburg	320	280
Östliches Wettersteingebirge, Tirol	200	310
Nordwestteil des Karwendelgebirges, Tirol	220	340
Nordwestteil des Kaisergebirges, Tirol	450	360
Almtal, Oberösterreich	300	290
Gesamtdurchschnitt	318	321

Ganz offensichtlich spielen demnach die geologisch-tektonischen Verhältnisse eine entscheidende Rolle für die Kalk- und Dolomitlösung. Je nach dem Grad der Tektonisierung des Dolomits wird die langsamere Reaktionskinetik gegenüber dem Kalk durch erhöhte Feinklüftigkeit mehr oder weniger wettgemacht, die zu geringerer Fließgeschwindigkeit führt. Für jedes Karstgebiet ergibt sich so ein spezifisches Zusammenspiel dieser beiden Faktoren. Im allgemeinen ist aber der unterirdische Lösungsabtrag in Dolomitgebieten nicht signifikant kleiner als jener in Kalkkarstgebieten. Aus hydrochemischer Sicht ist also eine Hohlrumbildung auch im Dolomit möglich; welche Einschränkungen hierfür jedoch bestehen, wird im Abschnitt über die Höhlenbildung in Dolomitzkarstgebieten zu erörtern sein.

Quelltemperaturen

Untersuchungen im Raum Waidhofen an der Ybbs – Weyer (Nieder- und Oberösterreich) ergaben, daß sich bei sommerlichen Trockenperioden die Quelltemperaturen (T) mit der nach geologischen und hydrologischen Daten abgeschätzten mittleren Seehöhe des Einzugsgebietes (SE) in Zusammenhang bringen lassen. Kalke und Dolomite verhalten sich dabei in diesem Abschnitt der Kalkalpen sehr ähnlich, so daß eine für beide Gesteine gültige Gesamtfunktion angegeben werden kann:

$$T \text{ (in } ^\circ\text{C)} = 11,23 - 0,0051 \cdot \text{SE}$$

Die Quelltemperaturen liegen dabei in der Regel 1° bis 1,5 °C über der jeweiligen durchschnittlichen Jahrestemperatur der Luft.

Interessant ist, daß diese Feststellungen zu Befunden aus hochalpinen Gebieten in Gegensatz stehen, in denen Dolomitwässer im allgemeinen wärmer

waren als Kalkwässer aus einem gleich hoch gelegenen Einzugsgebiet. Es muß allerdings angemerkt werden, daß Angaben über das Einzugsgebiet im Hochgebirge mit seiner mächtigen vadosen Zone wesentlich schwieriger zu machen sind als in voralpinen Karstgebieten.

Einzelbemerkungen zur Hydrogeologie des Dolomits

In Dolomitkarstgebieten ist auf Grund der größeren Zahl von Quellen die Erstellung von Karstwasserschichtenplänen häufiger möglich als in Kalkgebieten (Abb. 5). Voraussetzung dafür ist die Ausklammerung von Quellen, die lokalen Karstwasserkörpern angehören. Dies ist zumeist auf Grund des hydrochemischen und hydrodynamischen Verhaltens dieser Quellen möglich.

Isolierte, kleine Karstwasserkörper können dann auftreten, wenn im Gestein isolierende Zwischenlagen eingeschaltet sind. So zeigt der Hauptdolomit der Kalkvoralpen nicht selten Einschaltungen von tonigen „Keuperlagen“, die lokale Karstwasserkörper voneinander trennen. Ein Beispiel dafür konnte

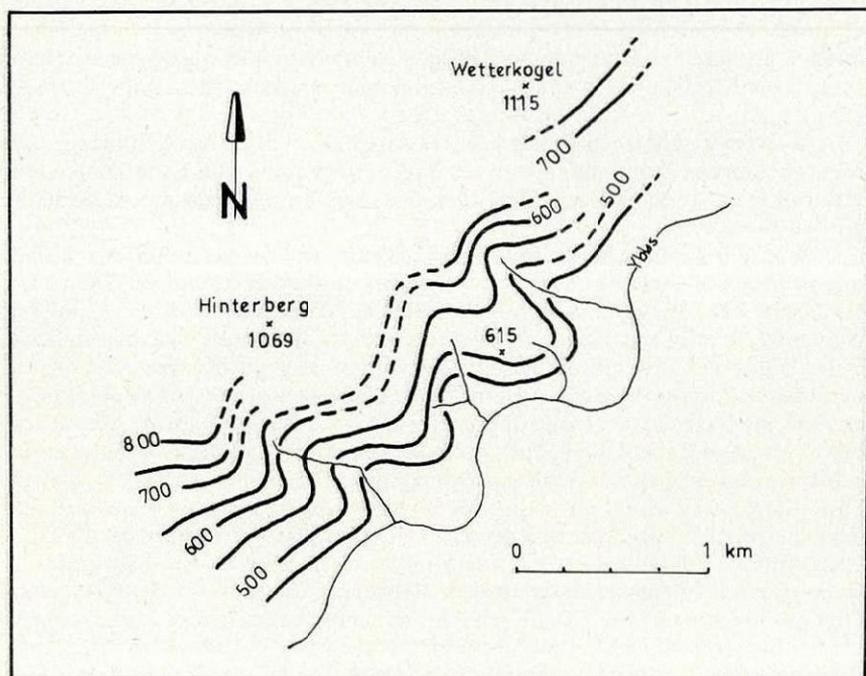


Abb. 5. Karstwasserschichtenplan für den Brenntenberg südwestlich von Opponitz (Niederösterreich).

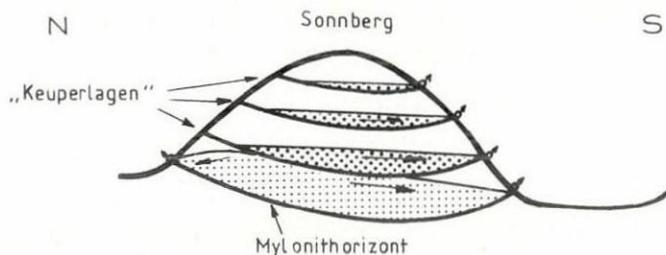


Abb. 6. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch den Sonnberg südwestlich von Waidhofen an der Ybbs (Niederösterreich).

am Sonnberg südwestlich von Waidhofen an der Ybbs (Niederösterreich) beobachtet werden (Abb. 6).

In den Kalkvoralpen südwestlich von Waidhofen an der Ybbs konnten auch Beobachtungen hinsichtlich des unterschiedlichen hydrodynamischen Verhaltens von Quellen gemacht werden, die aus Kalken und Dolomiten mit teilweise ähnlichen Strukturen kommen, wie dies besonders für das System Opponitzer Schichten – Hauptdolomit gilt. Im allgemeinen zeigen die Kalkquellen größere Schüttungsschwankungen (Maximalschüttung/Minimalschüttung: 3 bis 22) als die Dolomitquellen (Maximalschüttung/Minimalschüttung: 2 bis 5).

Wasserwirtschaftlich ist die größere Ausgeglichenheit der Schüttung von Karstquellen aus Dolomitgebieten ein Vorteil gegenüber von Karstquellen aus Kalkgebieten; andererseits fehlen aber den Dolomitgebieten meist die ganz großen Quellen.

Wie sich das unterschiedliche Auslaufverhalten von Karst- und von Dolomitspeichern in der Hydrochemie der Quellwässer äußert, konnte im Gebiet des Hochsalm bei Grünau im Almtal (Oberösterreich) überprüft werden. In diesem Gebiet werden Gerinne von Karstwasserspeichern sowohl im Dolomit als auch im Kalk gespeist. Auf Grund des im allgemeinen ausgeglicheneren Auslaufverhaltens von Dolomitspeichern ist in Trockenperioden der Anteil an „Dolomitwasser“ im Bachwasser (ausgedrückt durch das Ca/Mg-Verhältnis) wesentlich höher als nach Regenfällen. Aber auch auf Grund der langsameren Reaktionsgeschwindigkeit bei der Dolomitlösung, die sich besonders beim raschen Durchsatz des Wassers im Zuge von Niederschlagsereignissen auswirkt (vgl. dazu die Ausführungen über die Hydrochemie der Dolomite), muß das Ca/Mg-Verhältnis von Bachwasser, das aus kombinierten Kalk-Dolomit-Komplexen stammt, nach Niederschlägen ab dem Zeitpunkt, an dem das durchsetzende Niederschlagswasser die Quelle erreicht, zunächst zwangsläufig etwas steigen. Da bei längeren Verweilzeiten, die dem Trockenwetterabfluß entsprechen, die Auswirkungen des reaktionskinetischen Unterschiedes der Kalklösung einerseits und der Dolomitlösung andererseits immer geringer werden, verschiebt sich das Ca/Mg-Verhältnis wieder in Richtung zu niedrigeren Werten, was eben-

falls im Gebiet des Hochsalm beobachtet werden konnte (PAVUZA & TRAINDL, 1982).

Zur Geomorphologie von Dolomitgebieten

Der karstspezifische Formenschatz in Dolomitkarstgebieten ist in der Regel bescheiden im Vergleich zur Formenvielfalt in Karstgebieten. Typische Karstformen wie etwa Dolinen sind im Dolomitkarst eher selten. Im allgemeinen ist der Formenschatz von Karstgebieten zu einem guten Teil vom Zerklüftungsgrad des jeweiligen Karstgesteines abhängig. Infolge der im Vergleich zu Kalken großen Zahl gleichwertiger Klüfte der Dolomite gibt es bei diesen seltener bevorzugte Lösungsstellen. Der Lösungsabtrag scheint demnach eher flächenmäßig zu sein.

Eine besonders typische Karstform in Dolomitkarstgebieten dürften Trockentäler darstellen; ihre Physiognomie unterscheidet sich deutlich von jener der Trockentäler in Kalken. Für die Entwicklung der Trockentäler im Dolomit – vor allem im voralpinen Raum – ergibt sich folgendes Bild: Ihre Anlage erfolgt in erster Linie in tektonischen Schwächezonen. Da es in solchen (stärker geklüfteten und daher besser wasserwegsamem) Schwächezonen bevorzugt zu Quellaustritten kommt (wenn die geologischen Rahmenbedingungen dies ermöglichen), verursachen diese Wasseraustritte eine durch die „Feinklüftigkeit“ begünstigte fortschreitende Bildung von Tälchen durch rückschreitende Erosion. Wenn die Tieferlegung des Karstwasserspiegels rascher vor sich geht als das erosive Einschneiden der Täler, kommt es zum Versiegen der Quellen. Sobald dieses Entwicklungsstadium erreicht ist, ist eine Erweiterung oder Überformung der nunmehrigen Trockentäler nur mehr durch Nachsackung nach Lösungsvorgängen im Untergrund, durch Oberflächenerosion nach Starkregen oder durch glaziale Vorgänge möglich.

Es wäre allerdings falsch, in Dolomitgebieten nur Trockentäler zu vermuten. Je nach den jeweiligen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen können wasserführende Täler in Dolomitgebieten auch sehr verbreitet sein. Täler mit Oberflächengerinnen sind in zwei Fällen möglich. Eine Möglichkeit dafür liegt dann vor, wenn der Karstwasserspiegel (noch) im Bereich des Talniveaus liegt. An Stellen, an denen der Karstwasserspiegel durch das Tal angeschnitten wird, erfolgt ein Austritt von Quellwasser, in vielen Fällen diffus im Bachbett. Ein gutes Beispiel dafür liegt im Gebiet des Brenntenberges südwestlich von Opponitz (Niederösterreich) vor (Abb. 5).

Eine zweite Möglichkeit des Auftretens wasserführender Täler bietet die Anpeisung von Quellwasser aus lokalen, „hängenden“ Karstwasserkörpern, während eine nachfolgende Versickerung im Talbereich durch die Feinklüftigkeit des Dolomits stark gebremst wird. Zuweilen kann aber auch eine abschnittsweise Abdichtung des Bachbettes durch feinkörniges Verwitterungsmaterial, durch Ablagerungen aus tonigen Zwischenlagen oder durch noch vorhandene quartäre Sedimente beobachtet werden. Ein typisches Beispiel dafür

bietet der zur Gänze aus Hauptdolomit aufgebaute Sonnberg nordöstlich von Weyer (Oberösterreich, Abb. 6). Durch eine Vielzahl übereinanderliegender, lokaler Karstwasserkörper, deren Auftreten durch die Zwischenschaltung toniger Keuperlagen bedingt ist, erfolgt ein dauernder, diffuser Zutritt von Quellwasser zum Bach. In den zwischen den einzelnen lokalen Karstwasserspeichern im Tal durchflossenen Strecken kommt es zu keiner merkbaren Versickerung.

Zur Höhlenbildung in Dolomitgebieten

Aus hydrochemischer Sicht wäre eine Hohlraumbildung in Dolomit analog zu jener in Kalken zunächst durchaus denkbar, da – wie im Abschnitt über die Hydrochemie der Dolomite gezeigt werden konnte – beim Durchtritt des Wassers durch das jeweilige Gestein im allgemeinen ähnliche Kalk- bzw. Dolomitmengen gelöst werden. Nach den Überlegungen von B. WHITE (1977) wird aber bei feinklüftigen Gesteinen, zu denen in den Ostalpen im allgemeinen sowohl der Hauptdolomit wie auch der Wettersteindolomit zu rechnen sind, bei gleichem CO_2 -Partialdruck und bei gleichen hydraulischen Gradienten die „kritische Distanz“ – jene Distanz, die das Wasser im Gestein zurücklegen muß, um eine 90% ige Sättigung zu erreichen – geringer sein als in grobklüftigen Gesteinen. Das bedeutet aber, daß der Großteil der Lösungskapazität des Wassers im Dolomit relativ kurz nach dem Eintritt in den Karstwasserkörper verbraucht wird, während bei den grobklüftigeren Kalken die hauptsächliche Kalklösung auf eine längere Strecke verteilt ist, was an sich bereits eine günstigere Voraussetzung für die Bildung größerer Höhlenräume darstellt. Überdies wirken die aggressiven Wässer bei den Dolomiten auf viele feine Klüfte, während bei den Kalken eine relativ geringe Anzahl größerer Klüfte erweitert wird (Abb. 7). Dadurch wird das geringere Ausmaß der Höhlenraumbildung in Dolomit erklärbar; die Entstehung von Karsthohlräumen in Dolomit wird aber durch das unterschiedliche Lösungsverhalten nicht ausgeschlossen.

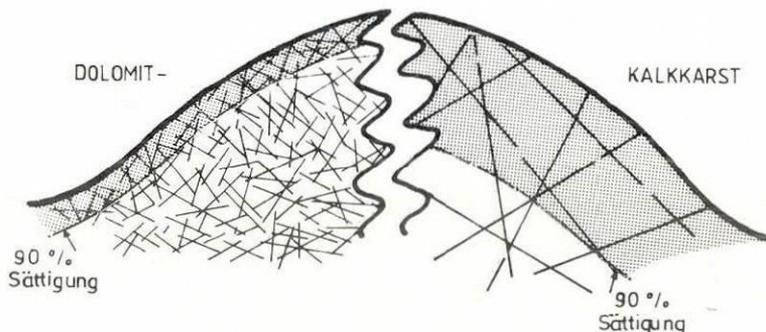


Abb. 7. Sättigung der Sickerwässer in Kalk- bzw. Dolomitkarstkomplexen (nach B. WHITE, 1977, schematisch).

Daß in Dolomitgebieten neben kleinen Höhlenräumen und nischenartigen Ausbrüchen mitunter auch ausgedehntere, „echte“ Karsthöhlen zu finden sind, geht einerseits auf das gelegentliche Auftreten kalkiger Dolomite, andererseits auf eine stellenweise Grobklüftigkeit des Dolomits zurück, die mit verschieden starker tektonischer Beanspruchung ursprünglich einheitlicher Dolomitvorkommen im Zuge der Gebirgsbildungsvorgänge erklärt werden kann. Im allgemeinen sind aber großräumige und ausgedehntere Höhlen in Dolomit, wie etwa Teile des Geldlochs im Ötscher oder das Goldloch im Türitzer Höger (beide Niederösterreich), eher selten anzutreffen.

Zusammenfassung

Die Dolomite der Nördlichen Kalkalpen sind prinzipiell gut verkarstungsfähig. Stärke und Art der Verkarstung ergeben sich aus dem Zusammenwirken von Klüftigkeit und Löslichkeit des Dolomits. Die langsamere Reaktionskinetik des Lösungsvorgangs beim Dolomit wird zumeist durch eine höhere Verweilzeit ausgeglichen.

Dolomite sind bessere Karstwasserspeicher als Kalke, da das Gesamthohlraumvolumen des Dolomits größer ist und die generelle Feinklüftigkeit außerdem ein langsamerer Auslaufen des Speichers gewährleistet. Ursache dafür ist die Vielzahl feiner Klüfte gegenüber einer relativ geringen Zahl „grober“ Klüfte in Kalken, wodurch sich schon rein rechnerisch beim Dolomit ein größeres Kluftvolumen ergibt. Auf Grund dieser Feinklüftigkeit steht der Dolomitaquifer hinsichtlich seines hydrogeologischen Verhaltens zwischen dem Lockersedimentaquifer (Sande und Kiese) und dem „klassischen“ Kluftaquifer der Kalke.

Die gegenüber Kalken im allgemeinen stark zurücktretende Tendenz zur Höhlenbildung in den Nördlichen Kalkalpen ist darauf zurückzuführen, daß die meist starke Tektonisierung die Standfestigkeit von — aus hydrochemischer Sicht möglichen — Hohlräumen stark vermindert.

Literatur:

- Pavuzza, R.*: Karsthydrogeologische Untersuchungen in den Kalkvoralpen S Waidhofen/Ybbs (Niederösterreich). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, 29 (im Druck) 1983.
- Pavuzza, R., und Traindl, H.*: Hydrogeologische Betrachtungen im Hochsalmgebiet (Grünau/Almtal, OÖ.). — Karst-Bull. 2, 2. Jg., H1, S. 1–4, Wien 1982.
- Thrailkill, J. T.*: Relative Solubilities of limestone and dolomite. — In: Karst Hydrogeology (ed.: Tolson, J. S., und Doyle, F. L.). — Mem. 12th Congr. of the IAH, S. 491 f., Huntsville (UAH-Press) 1977.
- Tollmann, A.*: Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. — Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Tl. 2, 580 S., 256 Abb., 3 Taf., Wien (Deuticke) 1976.
- Traindl, H.*: Hydrogeologie der Kalkvoralpen im Raum Waidhofen/Ybbs — Weyer (NÖ., OÖ.). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, 29 (im Druck) 1983.
- White, W. B.*: Role of solution kinetics in the development of karst aquifers. — In: Karst Hydrogeology (ed.: Tolson, J. S., und Doyle, F. L.). — Mem. 12th Congr. of the IAH, S. 503 f., Huntsville (UAH-Press) 1977.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [034](#)

Autor(en)/Author(s): Pavuza Rudolf, Traindl Helmut

Artikel/Article: [Über Dolomitkarst in Österreich 15-25](#)