©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Karsterscheinungen in Konglomeraten im Gebiet Hochgrat-Lecknertal bei Hittisau (Bregenzerwald)

von Nadine Göppert, Nico Goldscheider und Herbert Scholz

VORARLBERGER NATURSCHAU
12
SEITE 9–29
Dornbirn 2003

Zu den Autoren

Nadine Göppert (Diplomgeologin), geboren 1977, hat an der Universität Karlsruhe Geologie studiert, im Rahmen ihrer Diplomarbeit die Karsterscheinungen im Gebiet Hochgrat-Lecknertal untersucht und im Frühjahr 2002 mit Auszeichnung abgeschlossen. Seit 2002 ist sie Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Angewandte Geologie und befasst sich im Rahmen ihrer Promotion mit der hydrogeologischen Bewertung karbonatischer Konglomerate in den Alpen, Pyrenäen und Dinariden.

Dr. Nico Goldscheider (Diplomgeologe), geboren 1969, hat an der Universität Karlsruhe Geologie studiert und 1997 mit Auszeichnung abgeschlossen. Anschließend hat er am Lehrstuhl für Angewandte Geologie über die Hydrogeologie und Verletzlichkeit alpiner Karstsysteme mit Auszeichnung promoviert. Er hat bereits in drei Vorarlberger Karstsystemen geforscht: Hochifen-Gottesacker, Winterstaude und Hochgrat-Lecknertal. Seit April 2002 arbeitet er als Oberassistent am Centre d'Hydrogéologie der Universität Neuchâtel (CHYN) in der Schweiz und beschäftigt sich mit der Hydrogeologie von Karstsystemen.

PD Dr. Herbert Scholz (Diplomgeologe), geboren 1949, hat sein Geologiestudium an der Ludwig-Maximilian-Universität und an der Technischen Universität München 1975 mit Auszeichnung abgeschlossen, promovierte 1979 und habilitierte 1984 am Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieurgeologie der TU München. Seit 1986 arbeitet er am gleichen Lehrstuhl als Privatdozent und akademischer Oberrat in Forschung und Lehre. Er ist auf die regionale Geologie des Allgäus und der Allgäuer Alpen spezialisiert, insbesondere auf das Quartär und die Stratigraphie und Tektonik der Molassezone. Zusammen mit Diplomanden und Doktoranden hat er seit 1990 die Subalpine Molasse mitsamt ihrer quartären Bedeckung im westlichen Allgäu völlig neu und sehr detailliert kartiert.

Abstract

Coarse-grained conglomerates, which often consist of carbonate components in a carbonate matrix, form important parts of the Folded Molasse zone (also referred to as Sub-Alpine Molasse) at the northern margin of the Alps. Although these rocks are predisposed to karstification due to their mineralogical composition, there are few recorded karst features in the literature. However, a large variety of karst landforms can be observed in the field on areas made of carbonate conglomerates.

Within the framework of this study, the relation between the geological structure and geomorphological karst landforms was mapped in great detail and analysed systematically in a test site at the Austro-German border. The predominant karst landforms are dolines, which are often funnel-shaped and drain via

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ponors and vertical shaft. Two closed depressions with a flat floor were observed. These small poljes drain via swallow holes. It was possible to demonstrate that most of these landforms predominantly formed by karstification, while erosion, mass movements and glacial processes are present but less relevant. Additional hydrogeological investigations proved the existence of an underground drainage network.

Many areas in the Folded Molasse zone of the Northern Alps show similar lithological characteristics, and karstification should thus be expected there as well. However, apart from some areas in Switzerland, karstification has to date gone unrecorded. As karst groundwater is particularly vulnerable to contamination, it requires special protection. The karstification of carbonate conglomerates should thus be considered for groundwater protection zoning.

Key words: carbonate conglomerates, karst, polje, karren, doline, geomorphology, hydrogeology, Folded Molasse, Sub-Alpine Molasse, Bregenzerwald, Alps

Zusammenfassung

Grobkörnige Konglomerate, die oft aus karbonatischen Komponenten in einer karbonatischen Matrix bestehen, bilden weite Bereiche der Faltenmolasse (auch Subalpine Molasse genannt) am Alpennordrand. Obwohl diese Gesteine aufgrund ihrer mineralogischen Zusammensetzung als verkarstungsfähig gelten können, sind in der Fachliteratur nur wenige Karsterscheinungen beschrieben. Tatsächlich kann in Gebieten aus karbonatischen Konglomeraten im Gelände jedoch eine große Vielfalt von Karstformen beobachtet werden.

Im Testgebiet „Hochgrat-Lecknertal“ bei Hittisau im Bregenzerwald wurden die Zusammenhänge zwischen den geologischen Strukturen und den Karstformen detailliert kartiert und systematisch analysiert. Die zahlreich vorhandenen Karren zeigen in gleichem Maße Korrosion der Komponenten und der Matrix und können daher eindeutig als Karstformen klassifiziert werden. Dolinen sind die dominierenden Karstformen des Gebietes. Sie sind oft trichterförmig und entwässern über einen Ponor oder vertikalen Schacht. Im Gebiet gibt es zwei oberirdisch abflusslose geschlossene Hohlformen, die als „Kleinpoljen“ bezeichnet wurden. Sie besitzen einen ebenen Boden und entwässern unterirdisch über Ponore. Eine dieser Poljen folgt der Depression einer Synklinale, die andere hat sich in einheitlich südfallenden Schichten aus einem Kar entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die meisten dieser Formen überwiegend durch chemische Lösung entwickelt haben, also durch Verkarstung. Mechanische Erosion, Massenbewegungen und glaziale Prozesse sind zwar ebenfalls nachweisbar, spielen aber für die Entstehung der beschriebenen Formen eine geringere Rolle.

Viele Gebiete in der nordalpinen Faltenmolasse weisen ähnliche lithologische Eigenschaften auf. Verkarstung ist daher auch dort zu erwarten, wurde aber – abgesehen von einigen Gebieten in der Schweiz – bisher kaum beschrieben. Da Karstgrundwasser besonders verletzlich gegenüber Schadstoffeinträgen ist, sollte die Verkarstung der karbonatischen Konglomerate weiter untersucht und bei der Abgrenzung von Grundwasserschutzzonen berücksichtigt werden.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

1. Einleitung

Bisher wurden ober- und unterirdische Karstphänomene nahezu ausschließlich aus Gebieten berichtet, die aus Kalkstein, Dolomit, oder Gips aufgebaut werden. Bekannte und bereits sehr früh erforschte Beispiele hierfür findet man in den Dinariden. Ursprünglich bezeichnet der slowenische Begriff „Karst“ eine Landschaft im Hinterland der Stadt Triest an der Adria. Die dort anstehenden Kalksteine weisen einen vielfältigen geomorphologischen Formenschatz auf: trichterförmige Dolinen, Karrenfelder, Schächte und Höhlensysteme. All diese Formen entstehen durch die Korrosion des Kalksteins durch im Wasser gelöste Kohlensäure und Huminsäuren. Da man ähnliche Formen auch in vielen anderen Kalkstein- und Dolomitgebieten findet, wird der Begriff „Karst“ allgemein für diesen Typ von Landschaften verwendet. Der Begriff „Karst“ beschreibt aber auch einen bestimmten Prozess: die Korrosion von Gesteinen durch im Wasser gelöste Säuren. Das Grundwasser fließt in Karstgebieten meist unterirdisch über weite Strecken und mit hohen Geschwindigkeiten durch ein System von Röhren, Spalten und Höhlen. In der Hydrogeologie bezeichnet „Karst“ also auch einen Typ von Grundwasserleiter.

Bei Kartierarbeiten der TU München im westlichen Allgäu und im nördlichen Vorarlberg wurden in den letzten Jahren Hunderte von trichterförmigen Dolinen beobachtet (SCHOLZ & STROHMENGER 1999), obwohl diese Gebiete nicht aus Kalkstein oder Dolomit bestehen und daher bisher nicht als Karstlandschaften bekannt waren. Vielmehr bestehen diese Gebiete aus Konglomeraten, Sandsteinen und Mergeln, also aus den Ablagerungen ehemaliger Schwemmfächer am Alpennordrand.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (GÖPPERT 2002), die gemeinsam von der Uni Karlsruhe und der TU München betreut wurde, sollte daher die Verkarstung dieser Gebiete erstmals systematisch untersucht werden. Dazu wurde ein kleines Pilotgebiet ausgewählt: die westliche Hochgratkette und das Lecknertal bei Hittisau. In diesem Gebiet sollten zunächst alle oberirdisch erkennbaren Karsterscheinungen beschrieben und ihr Zusammenhang mit den geologischen Verhältnisse geklärt werden. Sodann sollte durch hydrogeologische Methoden, insbesondere Markierungsversuche, überprüft werden, ob den oberirdischen Karsterscheinungen auch ein voll entwickeltes unterirdisches Karstnetzwerk gegenübersteht. In diesem Artikel werden vor allem die Geologie und die Karstformen beschrieben. Die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen sind bei GÖPPERT et al. (2002) zusammengefasst.

2. Geographischer und geologischer Überblick

2.1 Lage, Topographie, Klima und Vegetation

Das Pilotgebiet liegt auf der Gemarkung der Gemeinden Hittisau in Vorarlberg und Aach im Allgäu *(s. Abb. 1*). Es umfasst das gesamte Lecknertal von der Wasserscheide im Osten bis zum Übertritt in den Vorfluter Bolgenach im Westen. Die nördlich begrenzende Hochgratkette und die südlich anschließende Kette des

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Siplingerkopfes gehören zu den WSW-ENE-orientierten Immenstädter Nagelfluhbergen, die eine Längserstreckung von bis zu 10 km erreichen und durchaus alpinen Charakter besitzen. Benannt sind die Gebirgsrücken nach den höchsten Erhebungen, dem Hochgrat mit 1834 m.ü.NN und dem Siplingerkopf mit 1746 m.ü.NN.

Die nächstgelegene Klimastation des Hydrographischen Dienstes Vorarlberg liegt in Hittisau. Die jährliche Niederschlagsverteilung weist ein Hauptmaximum im Sommer mit über 200 mm/Monat und ein Nebenmaximum im Winter mit über 150 mm/Monat auf. Die Durchschnittstemperaturen liegen bei 7,1°C. Im Januar treten mit -1.8°C die niedrigsten Temperaturen auf, der wärmste Monat ist der Juli mit 16,1°C.

Die Verteilung der Wald-, Moor- und Wiesenflächen spiegelt die Geologie besonders anschaulich wider. Bäume wachsen bevorzugt auf stabilen und nicht vernässten Konglomeratrippen. Die Waldgrenze liegt bei etwa 1600 m. ü. NN, die Baumgrenze wird nicht erreicht. Der Großteil des Baumbestands wird von Fichten gebildet.

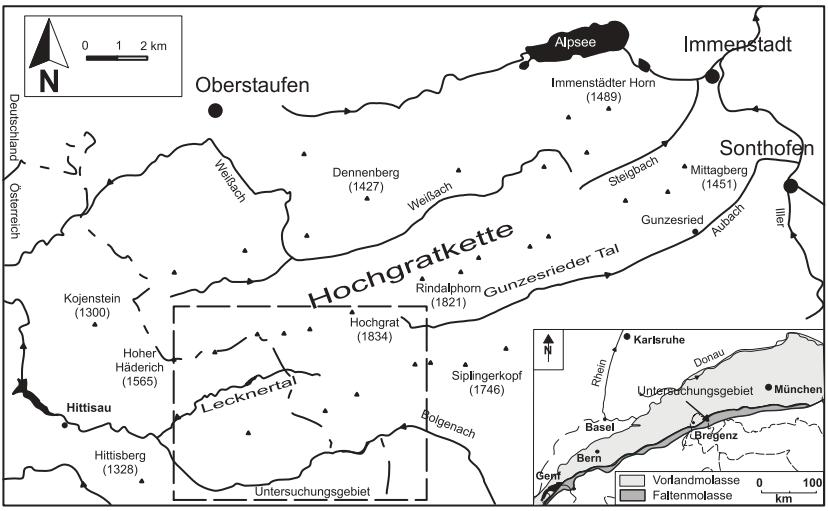

Abb. 1: Geographische Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets östlich von Hittisau in Vorarlberg (verändert nach GOLDSCHEIDER et al. 2002).

Die zwischengelagerten, wasserstauenden Gesteine oder Sedimente sind dagegen meist unbewaldet. Als Besonderheit sind über den geringmächtigen wasserstauenden Horizonten Moore ausgebildet.

2.2 Geologie

Das bearbeitete Gebiet liegt innerhalb des Molassebeckens, das zwischen Genfer See und Wiener Wald den Nordrand der Alpen säumt und in Schwaben nach Norden bis zur Donau reicht (LEMCKE 1988). Gebildet hat sich dieses Becken durch Absenkung der Lithosphäre vor dem herannahenden alpinen Deckenstapel, der infolge der alpinen Gebirgsbildung verdickt und deshalb gehoben wurde. Dieser Senkungsbereich ist zweimal von Meer überflutet worden und anschließend wieder ausgesüßt. In der Schichtenfolge lassen sich diese Transgressionen

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

mit anschließenden Regressionen im Fossilbestand erkennen, deshalb wird die Untere Meeres- und Süßwassermolasse von der Oberen Meeres- und Süßwassermolasse unterschieden.

Ab Oligozän und Miozän diente das Molassebecken als Ablagerungsraum für das Abtragungsmaterial des aufsteigenden Alpenkörpers, das von mehreren nordgerichteten Flüssen ins Vorland geschüttet und in großen Schuttfächern abgelagert wurde. Die Untere Süßwassermolasse (USM) im Allgäu und Vorarlberg wird durch drei große Schuttfächer repräsentiert: dem Pfänderfächer im Westen, dem Nesselburgfächer im Osten und dem etwa 1000 km² großen Hochgrat-Adelegg-Fächer im Zentrum. Die Schuttfächer sind nach der jeweils markantesten Erhebung bezeichnet.

Die nach Norden gerichtete Bewegung des alpinen Deckenstapels seit dem Obermiozän bewirkte in den südlichsten Bereichen der Molasse eine Heraushebung und Faltung der bereits abgelagerten Sedimente und damit ein Ende der Sedimentation. Diesen im Zuge der alpinen Gebirgsbildung deformierten Bereich bezeichnet man als Faltenmolasse oder Subalpine Molasse.

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb der Faltenmolasse im zentralen Teil des Hochgrat-Adelegg-Fächers. Dort sind Konglomerate ('Nagelfluh') die dominierenden Gesteine, untergeordnet treten auch Sandsteine und Mergel auf *(s. Abb. 2)* (SCHOLZ 2000). Die USM wird in der Faltenmolasse üblicherweise in Weißach-, Steigbach- und Kojenschichten gegliedert (MUHEIM 1934). Die Typlokalität der Weißach-Schichten ist die gleichnamige Schlucht bei Oberstaufen, die der Steigbachschichten der Steigbach bei Immenstadt und der Kojenschichten der vom Untersuchungsgebiet 8 km entfernte Kojenkamm.

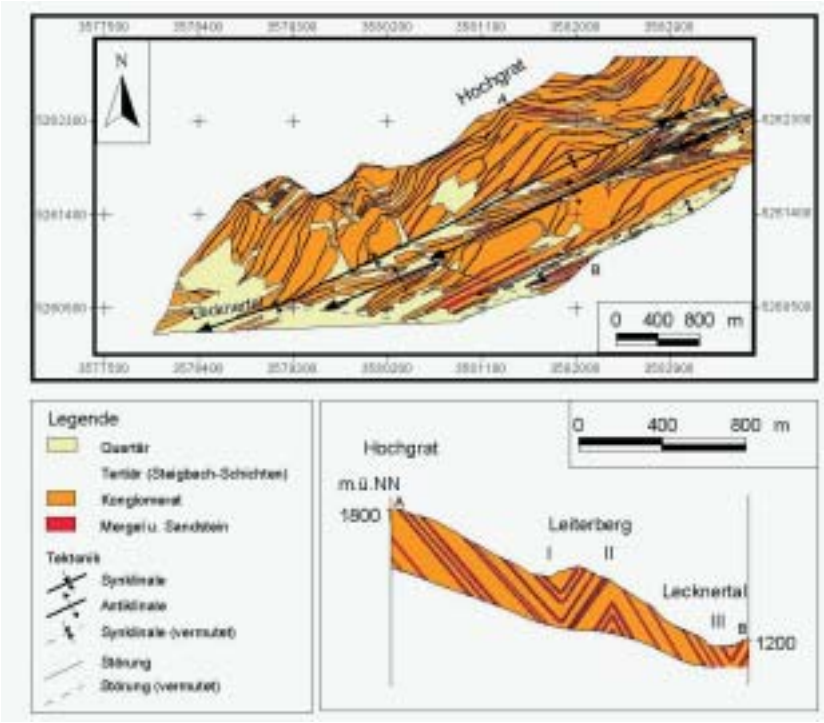

Abb. 2: Geologische Karte eines Teilgebiets mit Profil vom Hochgrat zum Lecknertal

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Der Großteil des Gebietes wird von den etwa 700 m mächtigen Steigbachschichten aufgebaut (VOLLMAYR 1958). Sie bestehen zu 90 % aus Konglomeraten, untergeordnet treten Mergel und Sandsteine auf. Die extrem groben Konglomeratkomponenten (Gerölle) erreichen Durchmesser von mehr als 0,5 m und sind durchschnittlich etwa kindskopfgroß. Im korngestützten Gesteinsverband sind die einzelnen Gerölle meist ohne erkennbare Schichtung angeordnet und durch Drucklösung fest untereinander verbunden. Dadurch bilden sich an den Geröllen charakteristische Lösungsdellen, aufgrund derer sie auch Narbengerölle genannt werden. Manche Konglomeratbänke können Mächtigkeiten über 60 m erreichen *(s. Abb. 2)*. Besonders auffällig sind sie am Nordhang der Hochgratkette, wo sie wandbildend sind. Einzelne Konglomeratbänke können im Streichen über mehrere Kilometer verfolgt werden, schwanken dabei aber in ihrer Mächtigkeit oder keilen lateral aus. Sowohl das Bindemittel als auch die Komponenten der Konglomerate besitzen einen hohen Karbonatanteil (etwa 75 %) (SCHÜTZ 1991). Eine wesentliche Voraussetzung für Verkarstungsvorgänge ist somit erfüllt.

Die äußerst geringmächtigen, ockerfarbenen oder bläulichen Mergel sind von geringer Festigkeit und stark verwitterungs- und erosionsanfällig. Das Langentobel und verschiedene kleinere Abflussrinnen haben sich bevorzugt in den Mergeln eingetieft und verlaufen über weite Strecken schichtparallel.

Die Faltenmolasse wird aus weitgespannten Faltenzügen aufgebaut, die sowohl durch bedeutende Überschiebungen, als auch durch Querstörungen voneinander getrennt sind. Im Westallgäu können auf diese Weise mindestens sechs sogenannte Mulden oder Schuppen unterschieden werden.

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb der südlichsten tektonischen Einheit der Faltenmolasse, der Steinebergmulde. Diese nimmt gegenüber den sonstigen Muldenzügen durch Spezialfaltung eine Sonderstellung ein (VOLLMAYR 1958). Sie besteht aus zwei Synklinalen (Faltenmulden), der Obergelchenwang- (I in *Abb. 2, s. Abb. 3*) und der Scheidwang-Synklinale (III in *Abb. 2*), und der dazwischenliegenden Leiterberg-Antiklinale (II in *Abb. 2*) (Faltensattel). Die Faltenachsen kulminieren im Bereich des Scheidwang-Sattels und tauchen von dort nach beiden Seiten ab. Das Abtauchen nach ENE lässt sich besonders schön auf dem Weg von der Ober- zur Untergelchenwang-Alp beobachten. Dort sind mehrere Konglomeratbänke und dazwischenliegende Mergelschichten übereinander gestapelt und angeschnitten (*s. Abb. 3)*. Die einzelnen Konglomeratschichten der Synklinale sind hangauswärts zusätzlich nach unten gebogen und spiegeln die Verformbarkeit der starr erscheinenden Konglomerate wider. Dabei ist eine Zunahme der mechanischen Belastung nach unten hin durch Zunahme des Überlagerungsdrucks und Massendefizit im Scharnierbereich einer Synklinalen deutlich in der wachsenden Zerrüttung sichtbar. Während sich die oberste Bank noch ohne erkennbares Zerbrechen durchbiegt, weist die nächsttiefere Bank bereits eine geringe sinistrale Relativbewegung zwischen den beiden Schenkeln auf. Der Zerrüttungsgrad steigt nach unten sukzessive und erreicht bei der untersten Konglomeratbank, deren Schenkel im Knickpunkt von jüngeren Schichten bedeckt sind, einen Wert von etwa 40 m sinistralem Versatz.

Eiszeitliche Moränen, Schotterterrassen und Seetone, sowie nacheiszeitliche Ablagerungen wie Hangschutt und Auensedimente sind meist nur wenige Meter mächtig.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Durch den kleinräumigen Wechsel von standfesten, aber geklüfteten Konglomeraten mit erosionsanfälligen Mergeln, sowie durch die steil einfallenden Schichten, die steile Topographie und die hohen Niederschläge, wird das Auftreten von Massenbewegungen begünstigt. Südlich des Hohen Häderichs liegt eine bedeutende Bergsturzmasse, die in sich in historischer Zeit gelöst hat und mehrere Alpen unter sich begraben hat. Nördlich der Hinteren Schneidenbach-Alp beim Leckner See lösen sich immer wieder kleinere Felsstürze, die früher offensichtlich auch den Talraum erreicht haben.

3. Oberirdische Karstformen

3.1 Allgemeines zur Verkarstung

Voraussetzung für die Ausbildung der Karsterscheinung im Kalkstein ist die Kohlensäure-Verwitterung, die durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht beschrieben wird.

Durch im Wasser gelöstes Kohlendioxid bildet sich Kohlensäure (H_2CO_3), die mit Karbonat lösliches bzw. in Wasser dissoziierbares Hydrogenkarbonat bildet. Das Kohlendioxid stammt aus der Atmosphäre, der Bodenatmung oder postvulkanischer Entgasung. Beschleunigt wird die Verkarstung daher durch die Zunahme des CO_2-Partialdrucks. Dieser wiederum steigt bei sinkender Temperatur und zunehmendem Gesamtdruck. In einem Gebirge wie den Alpen ist die Verkarstung deshalb durch geringe Temperaturen, Schnee, hohe Niederschläge und Bodenbedeckung verstärkt wirksam. Organischen Säuren aus Moorgebieten und humusreichen Böden wirken zusätzlich kalklösend.

Dieser Lösungsmechanismus ist auch in der Tiefe wirksam. Durch die hydraulische Verbindung von Karströhren und Höhlen sind die unterirdischen Fließwege meist so gut ausgebildet, dass die oberirdische Entwässerung weitgehend in die Tiefe verlegt wird und ein oberirdisches Gewässernetz fast vollständig fehlen kann. Bei der Überdeckung mit nicht verkarstungsfähigen Deckschichten kann sich ein voll entwickelter Karstgrundwasserleiter ausbilden, ohne dass an der Oberfläche Karstformen zu erkennen sind. Umgekehrt ist kein Gebiet bekannt, wo oberirdische Karstformen ohne typisches unterirdisches Karstwassersystem auftreten. Deshalb werden Karstformen in der Regel als Hinweis für die Existenz eines tieferliegenden Entwässerungsnetzes gewertet.

3.2 Karstformen

3.2.1 Karren

Unter Karren versteht man durch Korrosion entstandene Lösungsrinnen im Gestein, die durch flächenhafte Benetzung und Abfluss von Schmelz- oder Niederschlagswasser entstehen (WILHELMY 1992). Sie liegen im Zentimeter- bis Meterbereich und gehören deshalb zu den Kleinformen des Karstes. Beeinflusst wird die Karrenbildung vor allem durch das Substrat, das Wasserangebot und die

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 3: Blick von der Untergelchenwang-Alp nach Südwesten in die Obergelchen-wang-Synklinale. In Blickrichtung ist das gelängte Kleinpolje in der Depression der Synklinalachse erkennbar.

Abb. 4: Gleichmäßige Lösung von Matrix und Geröllen. Im Zentrum des Bildes ist ein Kalkgeröll mit einem Durchmesser von 15 cm sichtbar, welches von feineren Kannelierungen durchzogen ist.

Abflussgeschwindigkeit- bzw. richtung. Um den Formenreichtum einer Landschaft zu beschreiben, werden Karren auf vielfältige Weise klassifiziert. Dazu eignen sich neben genetischen Unterschieden die verschiedene Ausbildung der Hohlformen oder der Restformen, sowie die Lage oder der Wirkungsraum.

©Inatura Dornbirn, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 5: Karrengrat mit deutlicher Lösung der Kalkgerölle und der Matrix. Herauspräpariert sind die wenigen, rotgefärbten Radiolarite (z.B. links der Bildmitte), die nicht verkarsten.

In den Konglomeraten der Faltenmolasse sind Bindemittel und Komponenten der Konglomerate gleichermaßen gelöst. Karren bilden sich deshalb über die Geröllgrenzen hinweg *(s. Abb. 4 u. 5)*, feinere Kannelierungen auf einzelnen größeren Karbonatgeröllen *(s. Abb. 4)*.

Rinnenkarren bilden sich auf stärker geneigten Felsflächen, verlaufen annährend parallel und folgen dem Fallen einer Schichtfläche und damit der Fließrichtung der Niederschläge. Durch einfließendes Wasser sind sie randlich gerundet *(s. Abb. 5 u. 6)*. Ihre Entstehung wird durch Moose *(s. Abb. 6)* oder das Wurzelwerk der Bäume begünstigt, die sich die Blöcke als bevorzugten Standplatz ausgesucht haben. Das Wurzelwerk beschleunigt die Verkarstung zum einen durch die Abgabe von CO_2 an die Umgebung, zum anderen durch die Abflusskonzentration entlang ihrer Wurzeln. Außerdem wachsen Wurzeln in kleinste Öffnungen hinein und öffnen diese damit verstärkt der Verkarstung. Spitzkarren sind den Rinnenkarren ähnlich, im Gegensatz dazu laufen allerdings die Grate zwischen den einzelnen Rinnen spitz zu. Beide Karrenformen bilden sich sowohl auf den Schichtflächen der Konglomeratbänke, als auch auf Konglomeratblöcken in Moränen und Bergstürzen.

©Naturw. Doblhof; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 6: Rinnenkarren bei der Hohenfluh-Alp. In den Hohlformen siedeln sich bevorzugt Moose an und verstärken damit die Korrosion.

Abb. 7: Kluftkarren bei der Untergelchenwang-Alp am Nordhang des Leiterbergs.

Kluftkarren zeichnen das Kluftnetz nach *(s. Abb. 7)*, beim Aufteinandertreffen zweier Klüfte bildet sich an ihrer Schnittstelle ein Kluftkreuz. Besonders auffällig sind Kluftkarren an den mehr als 100 m hohen Konglomeratschichtflächen auf dem Südhang der Hochgratkette und des Leiterbergs *(s. Abb. 7)*.

Im Vergleich zu bekannten klassischen Karstgebieten aus reinem Kalkstein, wie z.B. im Schrattenkalk des Gottesackers wenige Kilometer südlich des

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Gebiets, sind die Karren auf den Konglomeraten der Nagelfluh nicht so zahlreich und formschön ausgebildet. Dies ist durch die unregelmäßig geformten und meist großen Komponenten zu erklären, die feine Kannelierungen verhindern. Außerdem gibt es geringe Anteile an nicht verkarstungsfähigen Komponenten, die nicht gelöst und daher herauspräpariert werden.

3.2.2 Dolinen, Naturschächte und Höhlen

3.2.2.1 Allgemeines

Dolinen sind trichter-, kessel- oder schlotförmige Hohlformen mit unterirdischem Abfluss und Durchmessern von einigen Metern bis 10er Metern, in Einzelfällen auch bis über einen Kilometer (z.B. im dinarischen Karst). Dolinen entstehen durch das Zusammenwirken von unter- und oberirdischen Lösungsvorgängen bzw. durch den Einsturz von Hohlräumen. Niederschlags- oder Schmelzwasser gelangt in wasserdurchlässigen Zonen, wie Klüften oder Verwerfungen, in die Tiefe und erweitert diese korrosiv. Oft entstehen Dolinen im Grenzbereich von Gesteinen unterschiedlicher Wasserwegsamkeit. Dolinen, welche an ihrem Grund über ein Schluckloch (Syn.: Ponor) für Oberflächengewässer verfügen, werden Ponordolinen genannt.

Dolinen stehen fast immer im Zusammenhang mit verkarstetem Untergrund und gelten deshalb als „diagnostische Karstform“ (FORD & WILLIAMS 1989).

Aufgrund ihrer Form werden Dolinen in Trichterdolinen, Wannen- , Schüssel- oder Muldendolinen, Karstschlote und -schächte oder Karstwannen gegliedert. Eine weitere Gliederungsmöglichkeit bietet die Entstehung der Dolinen:

- Lösungsdolinen entstehen durch das Zusammenspiel unter- und oberirdischer Korrosion und besitzen generell Trichterform, bei Füllung mit Sediment Schüsselform.
- Sackungsdolinen bilden sich durch Nachsacken des unverkarsteten Hangenden über verkarstetem Liegenden.
- Einsturzdolinen sind meist steilwandig und am Grund mit Felssturzblöcken bedeckt. Sie entstehen durch den Einsturz unterirdischer Hohlräume.
- Schwemmlanddolinen bilden sich in Lockersedimenten über verkarstetem Untergrund durch rein mechanisches Ausspülen der Deckschichten.

Dabei gibt es zahlreiche Übergänge zwischen den einzelnen Dolinentypen, sie können sich auch zeitlich und genetisch abwechseln. So kann sich z.B. aus einer Trichterdoline durch Nachsacken eine Einsturzdoline bilden. Durch die Klassifikation soll lediglich der Vielfalt Rechnung getragen werden.

Höhlen sind unterirdische, zur Erforschung (durch Höhlenforscher) ausreichend große Hohlräume. Höhlen sind zwar typisch für Karstgebiete, aber nicht immer vorhanden. Es gibt bestens entwickelte Karstlandschaften, die nicht mit einem Reichtum an Höhlen einhergehen, z.B. das Winterstaude-Massiv bei Bezau, wenig Kilometer südöstlich des Untersuchungsgebiets (GOLDSCHEIDER et al. 2002b).

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

3.2.2.2 Form und Verteilungsmuster der Dolinen im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet zeichnet sich durch eine besondere Vielfalt und großen Formenreichtum an Dolinen aus. In alpwirtschaftlich genutzten Bereichen werden Dolinen oft zugeschüttet, um Tiere vor dem Hineinfallen zu schützen oder die Flächen besser nutzen zu können. Gerne werden auch Misthäufen als Füllmaterial verwendet, selbstverständlich ohne zu ahnen, wie schnell dadurch das Grundwasser und damit auch Quellen beeinträchtigt werden können.

Der Durchmesser liegt zwischen 1 m und 20 m, die Tiefe erreicht maximal 10 m. Besonders häufig sind die Dolinen kreisrund oder ellipsenförmig, wobei sie im Querschnitt Trichter- oder Wannenform einnehmen. Sie treten in allen Höhenlagen auf und besitzen am Grund oft Ponore oder Naturschächte. Außerdem sind sie immer an die verkarstungsfähigen tertiären Konglomerate gebunden, die selbst unter der geringmächtigen quartären Bedeckung als Rippe noch erkennbar und im Streichen oft aufgeschlossen sind.

Reine Lösungsdolinen entstehen ausschließlich in den Konglomeratbänken. Meist weisen sie deutliche Lösungsspuren sowohl an der Matrix als auch an den Komponenten auf, manchmal lässt sich das Schluckloch als Karströhre mehrere Meter in die Tiefe oder vollständig durch die anstehende Konglomeratrippe hindurch verfolgen. Einsturzdolinen entstehen in einer Konglomeratbank über einem kollabierten Hohlraum. Auf ihrem Grund liegen Konglomeratblöcke. Diesen Dolinentyp trifft man in den Dolinenreihen nördlich der Lache-Alp an. Schwemmlanddolinen entstehen in den meist geringmächtigen, unverfestigten quartären Ablagerungen oder verwitterten Mergeln. Im Untersuchungsgebiet sind sie durch den Mangel an diesen Ablagerungen dementsprechend selten. In der Ebene aus quartären Stillwassersedimenten westlich der Scheidwang-Alp liegen zwei, von der nächsten Konglomeratrippe wenige Meter entfernten Schwemmlanddolinen. Zumindest eine der beiden besitzt offensichtlich Verbindung zum Karstgrundwasserleiter. In den eiszeitlichen Ablagerungen bei dem Wanderweg zur Unteren Samansberg-Alp liegt ebenfalls eine Schwemmlanddoline (*s. Abb. 8*), die zwei Zuflüsse vom angrenzenden Moorgebiet erhält, die in einem Ponor in die Tiefe abgeleitet werden.

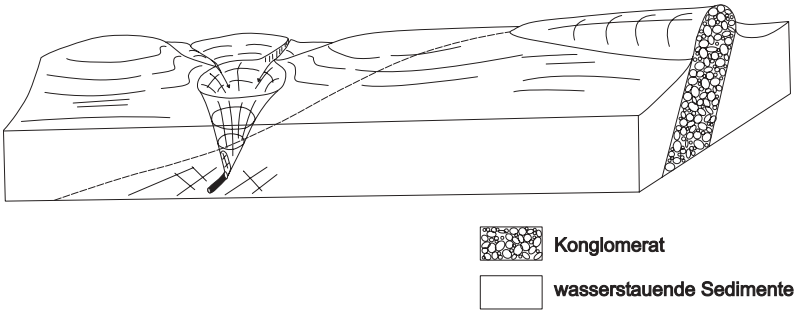

Abb. 8: Schwemmlanddoline in einem Wall aus quartären Ablagerungen. Die Drainage erfolgt in die darunterliegende Konglomeratrippe, die im rechten Bildteil aufgeschlossen ist.

Die Verteilung der Dolinen wird durch den kleinräumigen lithologischen Wechsel von verkarstungsfähigen Konglomeraten und nicht löslichen, wasserstauenden Mergeln oder eiszeitlichen Ablagerungen geprägt (*s. Abb. 9*).

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Dolinenreihen bilden sich ausschließlich im Streichen der einzelnen Konglomeratrippen. Innerhalb einer Dolinenreihe wird eine bestimmt Größe der einzelnen Dolinen meist nicht überschritten, der Durchmesser bleibt meist unter 15 m und die Tiefe beträgt weniger als 10 m. Dies liegt vermutlich am recht jungen Alter der Verkarstung und der ausgeprägten lateralen Erstreckung des verkarsteten Gesteins, das bei mehreren parallel zueinander angeordneten Dolinenreihen große Einzugsgebiete für einzelne Dolinen kaum zulässt.

Abb. 9: Doline an der Grenze zwischen Mergeln und Konglomeraten. In die Konglomeratrippe hat sich durch Korrosion eine Höhle mit einer Tiefe von wenigen Metern gebildet, die in Talrichtung in einen Ponor übergeht.

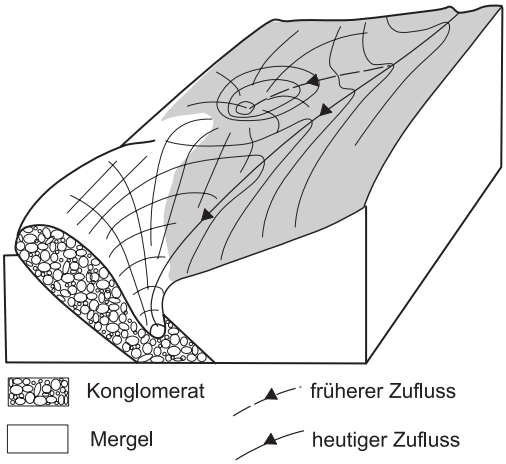

Abb. 10: Schematisches Blockbild zur Vergrößerung des Einzugsgebiets einer Doline (im Vordergrund) durch bessere Anbindung an den Untergrund.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bei besonders guter Anbindung an den verkarsteten Untergrund können einzelne Dolinen über ein Schluckloch verstärkt Wasser in die Tiefe abführen und dadurch ihr Einzugsgebiet durch Erosion auf das der benachbarten Dolinen ausweiten (*s. Abb. 10*). Die Größe einzelner Dolinen nimmt dadurch stetig zu. Besonders gut lässt sich dies bei der Lache-Alp beobachten, wo vereinzelte Dolinen Zuflüsse benachbarter Dolinen angezapft haben.

Da die tertiären Schichten stärker als der Hang geneigt sind, bildet sich auf dem Südhang der Nagelfluhkette in den südfallenden Schichten ein recht kleinräumiges Schichttreppenrelief (*s. Abb. 11*). Durch abfließendes Niederschlagswasser werden insbesondere die zwischengelagerten Mergelschichten erodiert. Dadurch bildet sich in der Mergelschicht zwischen zwei Konglomeratschichten eine Geländedepression. Da die Schichtköpfe der Konglomeratbänke nicht horizontal verlaufen, sondern entsprechend der Geländeform gekrümmt sind, bilden sich Ponordolinen bevorzugt an der tiefsten Stelle einer Mergelrinne. Sie entwässern bei hohem Gefälle der Rinne in die hangende und bei niedrigem in die liegende Konglomeratbank.

Höhlen wurden im Untersuchungsgebiet keine entdeckt. Wohl können sich aber höhlenförmig erweiterte Ponore, Quellnischen oder Dolinen bilden. Naturschächte treten nur bei wenigen Dolinen und ausschließlich im Konglomerat auf. Der Schacht einer Ponordoline bei der Hohenfluh-Alp besitzt einen Durchmesser von 30 cm und konnte mit einem Senkgewicht bis auf eine Tiefe von 14 m verfolgt werden. Zwischen Hochgrat und Rindalphorn liegt in anstehendem Konglomerat unweit des Wanderwegs ein eingezäunter, etwa 5 m tiefer, linsenförmiger Naturschacht. Der Schacht hat sich offensichtlich entlang einer NE-SW-orientierten Kluft geöffnet und besitzt auf der talwärtigen Seite einen Ponor.

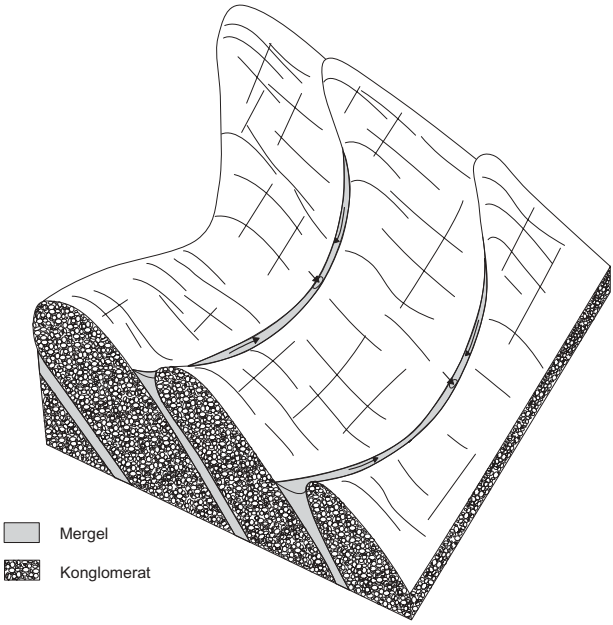

Abb. 11: Skizze zum Schichttreppenrelief am Südhang der Hochgratkette mit Lage der Ponordolinen im tiefsten Punkt der Mergelrinne.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

3.2.2.3 Detailkartierungen

Um die Lage, Anzahl, Ausbildung Verteilung und Entstehung der Dolinen herauszuarbeiten, wurden zwei Detailkartierungen durchgeführt. Dabei wurden mit einem Laser-Distanz-Messgerät Fixpunkte eingemessen, die Dolinen nach Durchmesser, Tiefe, Form und Untergrund eingeteilt und auf einer Karte im Maßstab 1 : 2000 dargestellt.

Bei der Detailkartierung im oberen Lecknertal konnten bei der Lache-Alp auf einer Fläche von 40 ha insgesamt 102 Dolinen verzeichnet werden (*s. Abb. 12*). Darunter befinden sich zahlreiche Ponordolinen. Besonders gut sichtbar ist hier die Orientierung der Dolinenreihen entlang der Konglomeratrippen. In dem Gebiet liegt ein Moorsee, der bei Hochwasser in eine Ponordoline entwässert, die bei steigendem Wasserstand im Grundwasserleiter als Quelle fungiert. Diese Ponordoline ist demnach eine Estavelle.

Bei einer zweiten Detailkartierung auf dem Leiterberg konnten auf einer Fläche von 20 ha 32 Dolinen gezählt werden.

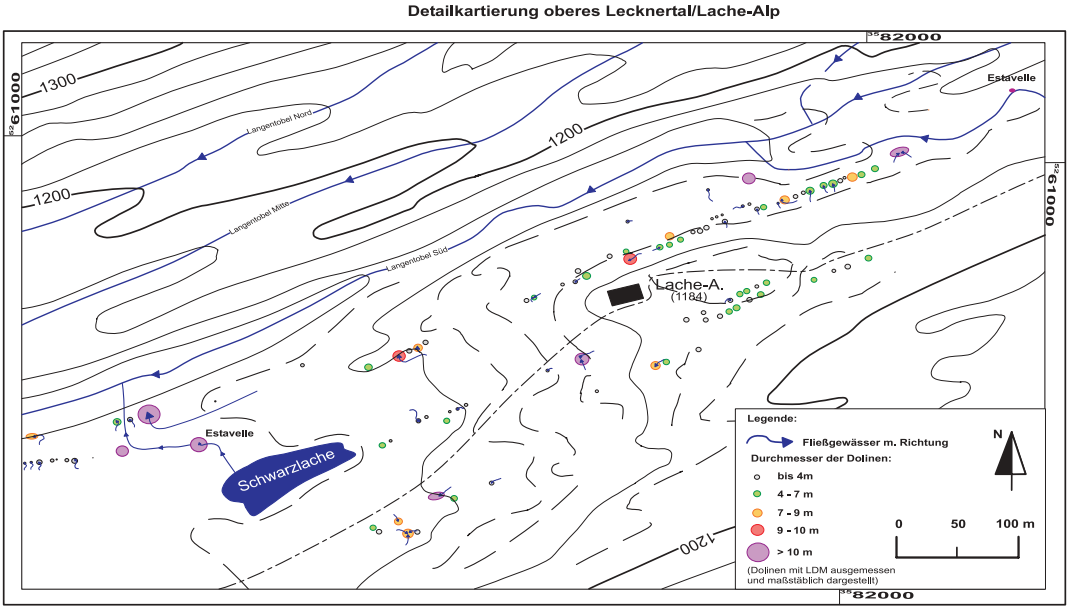

Abb. 12: Detailkartierung bei der Lache-Alp.

3.2.3 Kleinpoljen

3.2.3.1 Überblick

Unter Poljen versteht man große (oft Hunderte km²), geschlossene Hohlformen mit unterirdischer Entwässerung (FORD & WILLIAMS 1989). Der meist undurchlässige, ebene Talboden wird oft von steilen Wänden begrenzt. In Poljen fließende Gewässer versinken in Schlucklöchern, die meist am verkarsteten Poljenrand

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

liegen. Nach besonders ergiebigen Niederschlägen kann oft nicht die gesamte Wassermenge in die Tiefe abgeführt werden, wodurch temporäre Poljenseen entstehen. Klassifiziert werden sie aufgrund der geologisch-tektonischen Lage, den hydrologischen Verhältnissen oder morphologischen Kriterien. Da bei der Entstehung der Poljen die Bedeutung von Vorformen als Primäranlage entscheidend ist (MILANOVI 1981), wird hier auf eine Klassifizierung noch obigen Kriterien verzichtet und ausschließlich die Entstehung an präexistierenden Formen berücksichtigt.

Da im Untersuchungsgebiet ausschließlich Poljen mit wenigen Hektar Fläche auftreten, werden diese „Kleinpoljen" genannt. Da die Dolinen zwar von gleicher Form sind, aber deutlich geringeren Durchmesser und geringere Tiefe aufweisen und nur in eine Konglomeratbank entwässern, ist die Einteilung der Hohlformen in Dolinen und Kleinpoljen berechtigt.

Für die Entstehung der Kleinpoljen sind sowohl tektonische Strukturen, als auch glaziale Formen maßgeblich *(s. Abb. 13*).

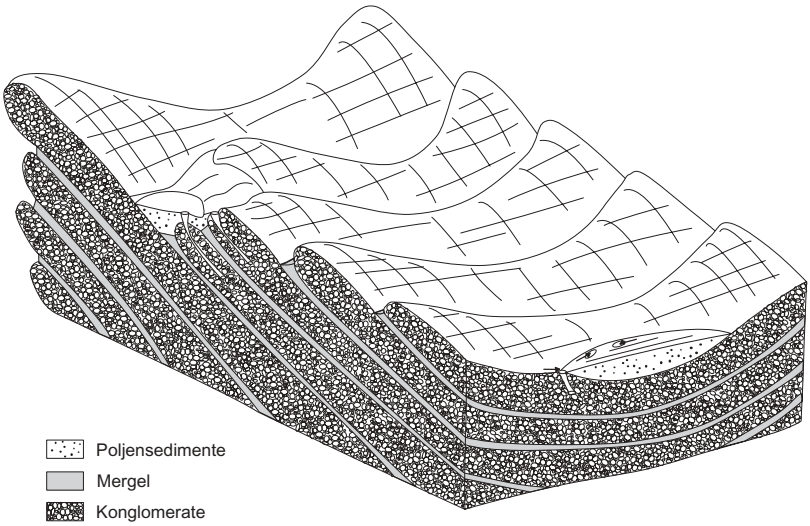

Abb. 13: Schematisches Blockbild zur Lage der Kleinpoljen in einem Kar (im Bild links oben) und in einer Synklinaldepression (im Bild rechts unten).

3.2.3.2 Kleinpolje in einem Kar

Bei der Hohenfluh-Alp befindet sich eine kreisrunde morphologische Senke, die talwärts in einer geschlossenen Konglomeratrippe einen etwa 1,5 m breiten und tiefen Spalt aufweist *(s. Abb. 13)*. Die Hänge der Senke sind aus der südfallenden Wechselfolge von Konglomeraten und Mergeln aufgebaut. Der ebene, runde Talboden besitzt einen Durchmesser etwa 100 m. Obwohl keine eiszeitlichen Ablagerungen nachgewiesen werden konnten, spricht die Form, die Hochlage und die abgerundeten Konglomeratrippen außerhalb der Senke für eine glaziale Entstehung als Kar. Die talwärts gelegene Konglomeratrippe ist somit der Rest eines Karriegels. Auffällig ist dabei, dass innerhalb des Kars auf der talwärtigen Seite ein wenige Meter breites Talniveau liegt, das in einer Stufe zum eigentli-

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

chen Talboden abfällt und sich zu den Seiten etliche Meter verfolgen lässt. Die direkt angrenzende Konglomeratrippe ist schlitzförmig mehrere Meter erweitert und weist einen talwärts zeigenden Karstschlot auf, der vermutlich in einem früheren Entwicklungsstadium als Ponor diente. Er wurde zunehmend mit Unrat verfüllt. Auf dem eigentlichen Talboden liegen an einer Konglomeratrippe drei Schlucklöcher, die künstlich plombiert wurden, so dass sich darüber etwas Wasser fürs Vieh sammeln kann.

Vom Lecknertal aus kann man sowohl die Hohenfluh-Alp als auch die Kleinpolje nur über einen Trampelpfad erreichen. Vom Wanderweg auf der Nagelfluhkette kann man zumindest das Kleinpolje von oben recht gut erkennen.

3.2.3.3 Kleinpolje in einer Synklinaldepression

Die ellipsenförmige Senke bei der Untergelchenwang-Alp (*s. Abb. 3 u. 13*) ist mit ihrer Längsachse im Streichen der Molassestrukturen angeordnet. Die talwärts begrenzende Konglomeratrippe ist durchgehend aufgeschlossen. Oberirdischer Abfluss aus dieser Senke findet nur zeitweise nach stärkeren Niederschlägen statt. Wasser aus den Quellen in den Wänden der Senke oder aus einem Bach, der den Bereich zwischen Hochgrat und Rindalphornwestflanke entwässert, versinkt in der talwärts gelegenen Konglomeratrippe.

Innerhalb der Senke liegen drei Ponordolinen. Eine der Ponordolinen an der südlich gelegenen Konglomeratrippe hat diese bereits vollständig durchbrochen. Wenn man den Wanderweg von der Scheidwang-Alp zum Hochgrat über Obergelchenwang-Alp wählt, biegt man kurz vor Erreichen der Untergelchenwang-Alp nach Westen ab und quert das Kleinpolje. Die durchbrochene Ponordoline liegt dort direkt rechts des Wegs.

Entstanden ist das Kleinpolje in der Achsendepression der Obergelchenwang-Synklinale. Die Entstehung ist somit weitgehend tektonisch kontrolliert und erklärt auch die längliche Form.

4. Schlussfolgerungen

4.1 Bedeutung als Karstgebiet

Durch die hier vorgestellten geomorphologischen Untersuchungen und die ergänzend durchgeführten hydrogeologischen Arbeiten (GÖPPERT 2002) konnte gezeigt werden, dass die karbonatreichen Konglomerate im Untersuchungsgebiet sowohl den oberirdischen Formenschatz, als auch die hydrogeologischen Eigenschaften eines Karstgebietes zeigen. Da viele Gebiete in der Molassezone ebenfalls aus karbonatreichen Konglomeraten und Sandsteinen aufgebaut sind, insbesondere innerhalb der verschiedenen großen tertiären Schuttfächer am Alpennordrand, ist dort ebenfalls mit Karsterscheinungen zu rechnen. Tatsächlich wurden in einzelnen Gebieten in der Schweiz solche Phänomene beschrieben (BALDERER 1989, POCHON & ZWAHLEN 2002). Eine umfassende Untersuchung und Neubewertung der Molassezone als Karstlandschaft steht jedoch noch aus.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

4.2 Konsequenzen für den Grundwasserschutz

Da Grundwasser aus Karstgebieten zu den wichtigsten Trinkwasserressourcen der Menschheit gehört und gleichzeitig besonders verletzlich gegenüber Schadstoffeinträgen ist, benötigt es einen besonderen Schutz (GOLDSCHEIDER 2002). Aufgrund der speziellen Eigenschaften von Karstgebieten sind Schutzkonzepte, wie sie in anderen Grundwasserleitern Verwendung finden, in Karstgebieten nicht oder nur eingeschränkt anwendbar. Dies gilt auch für Gebiete, die aus verkarsteten Konglomeraten aufgebaut werden.

In Porengrundwasserleitern aus Sand und Kies strömt das Grundwasser langsam (wenige Meter pro Tag) und gleichmäßig zum Brunnen oder zur Quelle. Bei der Untergrundpassage durch enge Poren können die meisten Schadstoffe ganz oder teilweise mechanisch gefiltert, durch Sorption zurückgehalten oder chemisch-mikrobiell abgebaut werden. Daher sind die Schutzzonen für Porengrundwasserleiter meist konzentrisch um eine Trinkwassergewinnungsanlage angeordnet.

In Karstgrundwasserleitern – auch in verkarsteten Konglomeraten – können Schadstoffe über Dolinen oder Bachschwinden rasch in den Untergrund eindringen und sich dort über große Distanzen in hoher Geschwindigkeit ausbreiten. Im Pilotgebiet wurden durch Markierungsversuche Fließdistanzen von bis zu 7,7 km und Fließgeschwindigkeiten bis zu 286 m/h gemessen (GÖPPERT 2002). Die Richtung des unterirdischen Abstroms hängt dabei in hohem Maße von den geologischen Strukturen ab. Bei der Passage durch weit geöffnete Spalten, Röhren und Höhlen können Schadstoffe nicht oder nur eingschränkt zurückgehalten werden. Daher ist in Karstgebieten eine Ausscheidung von konzentrischen Schutzzonen nicht sinnvoll. Um einen Kompromiss zwischen Landnutzung und Trinkwasserschutz zu finden, müssen vielmehr diejenigen Bereiche am strengsten geschützt werden, in denen Schadstoffe ungehindert in den Untergrund eindringen können, also Dolinen, Bachschwinden und deren Einzugsgebiete (GOLDSCHEIDER et al. 2002a). So ergibt sich eine mosaikartige Anordnung der Trinkwasserschutzzonen.

4.3 Zusammenhang zwischen Verkarstung und Massenbewegungen

Aufgrund von Geländebeobachtungen ist eine gegenseitige Beeinflussung von Karsterscheinungen und Massenbewegungen anzunehmen. Einerseits führen Massenbewegungen zur Öffnung von Klüften und Spalten, die sich hydraulisch wie ein Karstnetzwerk verhalten können bzw. die unterirdische Verkarstung beschleunigen können. Andererseits fördert die Verkarstung die Entstehung von Massenbewegungen: Während die geneigten Mergellagen als Gleithorizonte wirken, kann sich in den Spalten und Klüften der Konglomerate ein bedeutender Wasserdruck aufbauen, der auslösendes Moment einer Rutschung oder eines Bergsturzes sein kann. Tatsächlich gibt es im Bereich der Faltenmolasse große Massenbewegungen, auch am Ost- und Westende der Hochgratkette.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

4.4 Vergleich mit „klassischen“ Karstgebieten

Da Karstgebiete außerordentlich vielfältig sind, ist jede Verallgemeinerung problematisch (TRIMMEL 1998). Dennoch soll hier versucht werden, das untersuchte Konglomerat-Karstgebiet in der Faltenmolasse mit einem typischen bzw. klassischen Kalkstein-Karstgebiet zu vergleichen (z.B. Gottesacker, Dachstein, Dinariden).

Während die Verkarstung in klassischen Kalksteingebieten ausschließlich auf chemische Lösung zurückzuführen ist, kann im untersuchten Konglomeratgebiet ein Zusammenspiel von mechanischer Erosion, Kluftöffnung durch Massenbewegungen und chemischer Lösung beobachtet werden. In Gesteinsbereichen, die durch Frostsprengung aufgelockert wurden, beispielsweise in Kammlagen, überwiegt die mechanische Erosion. In steilen Bereichen mit ungünstigen Lagerungsverhältnissen sind tiefgreifende Massenbewegungen anzutreffen, beispielsweise am Ost- und Westrand der Hochgratkette. In mechanisch stabilen und nicht zerrütteten Bereichen, beispielsweise im oberen Lecknertal, dominiert dagegen die echte Verkarstung durch chemische Lösung (Korrosion).

Klassische Karstgebiete entwässern oft auf weiten Flächen ausschließlich unterirdisch. Die Karstgebiete der Faltenmolasse zeigen jedoch ein kleinräumiges Nebeneinander von oberirdischer Entwässerung in Bereichen die aus Mergeln oder gering durchlässigem Quartär aufgebaut werden, und unterirdischer Entwässerung in Konglomeratbereichen. Über Quellen, Schwinden und Estavellen stehen die ober- und unterirdische Entwässerung in vielfältigem Zusammenhang. Die unterirdischen Fließgeschwindigkeiten, die bei einem Markierungsversuch im Untersuchungsgebiet gemessen wurden (GÖPPERT 2002), sind ähnlich hoch, wie diejenigen in vielen klassischen Karstgebieten.

Als weiterer Unterschied fällt auf, dass die Karstformen im untersuchten Konglomeratgebiet wesentlich kleiner sind, als in vielen klassischen Karstgebieten, was auf den kleinräumigen Wechsel von Konglomerat- und Mergelbänken zurückzuführen ist: Die Dolinen sind meist nur einige Meter groß, während sie in klassischen Karstgebieten Durchmesser bis zu einem Kilometer zeigen können. Die Fläche der Poljen beträgt nur etwa einen Hektar, anstatt Hunderte oder gar Tausende von Quadratkilometern. Die Höhlen und Karstschächte sind ebenfalls nur sehr klein. Auch die Quellen und Estavellen sind zwar wesentlich zahlreicher, aber auch deutlich kleiner als in klassischen Karstgebieten.

5. Dank

Bei der Gemeinde Hittisau bedanken wir uns für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts. Besonderer Dank gilt Herrn Bürgermeister Konrad Schwarz und Wassermeister Paul Bechter, die durch ihre freundliche Mithilfe die Geländearbeit wesentlich erleichtert haben.

Der Güterweggemeinschaft Lecknertal, dem Forstamt Immenstadt und dem Forstamt Sonthofen sind wir für die Fahrerlaubnis auf verschiedenen Privat- und Forstwegen sehr dankbar.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Dem Bayerischen Landesvermessungsamt und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung (Abt. VIIa) danken wir für verschiedene Orthophotos und eine geologische Projektkarte. Dem Landeswasserbauamt Bregenz danken wir für die Daten der Klimastation Hittisau.

Dank auch den vielen aufgeschlossenen Alpbesitzern, welche die Geländearbeit mit großer Neugier verfolgten und ausgesprochen hilfsbereit ihre eigenen unverzichtbaren Kenntnisse über ihre Umgebung einbrachten. Dazu gehören vor allem die Familien Bechter (Lache-Alp) und Berkmann (Hintere Schneidenbach-Alp).

6. Literatur

BALDERER, W. (1989): Hydrochemie der Quellen der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Aubaches (Schweiz). – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 40: 49-74, Graz.

FORD, D.C., & WILLIAMS, P.W. (1989): Karst geomorphology and hydrology.– 601 S., London (Chapman & Hall).

GOLDSCHEIDER, N. (2002): Hydrogeology and vulnerability of karst systems – examples from the Northern Alps and Swabian Alb.- Dissertation Universität Karlsruhe, Fakultät für Bio- und Geowissenschaften, 236 S., http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/2002/bio-geo/3/3.pdf

GOLDSCHEIDER, N., GÖPPERT, N., POCHON, A. & SCHOLZ, H. (2002a): Karst development in conglomerates of the northern Alps and consequences for groundwater protection.– 2nd Nerja Cave Geological Symposium and 2002 meeting of IGCP Project „World Correlation on Karst Ecosystems", Nerja, 15. – 17. Sept. 2002, 8 S. (in Druck).

GOLDSCHEIDER, N., NEUKUM, C. & WERZ, H. (2002b): Hydrogeologie und Trinkwasserschutz im alpinen Karstsystem der Winterstaude (Marktgemeinde Bezau, Bregenzerwald, Vorarlberg, Österreich).- Vorarlberger Naturschau, 11, 9 – 58, Dornbirn.

GÖPPERT, N. (2002): Karsterscheinungen und Hydrogeologie karbonatischer Konglomerate der Subalpinen Molasse im Gebiet Hochgrat/Lecknertal (Bayern/Vorarlberg). – unveröffentlichte Diplomarbeit am Lehrst. f. angewandte Geologie der Univ. Karlsruhe: 96 S., 3 Kt., Karlsruhe.

GÖPPERT, N., GOLDSCHEIDER, N. & SCHOLZ, H. (2002): Karsterscheinungen und Hydrogeologie karbonatischer Konglomerate der Faltenmolasse im Gebiet Hochgrat und Lecknertal (Bayern/Vorarlberg). – Beitr. z. Hydr., Graz. (in Druck)

LEMCKE, K. (1988): Geologie von Bayern, 1, Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. – 175 S., Stuttgart (Schweizerbart).

MILANOVI, P.T. (1981): Karst hydrology. – 434 S., Littleton (Water Resources Publications).

MUHEIM, P.F. (1934): Die subalpine Molassezone im östlichen Vorarlberg. – Eclogae geol Helv., 27: 181-297, Basel (Emil Birkhäuser & Cie).

POCHON, A. & ZWAHLEN, F. (2001): Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. – Guide pratique, Office fédéral de l'environment, des forêts et du paysage (OFEFP): 76 S., Bern.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

SCHOLZ, H. (2000): Die tertiären Grobschüttungen am Südrande des Molassebeckens im Allgäu (Südwestbayern) – eine Synopsis.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 218 (1/2), 61 – 84, Stuttgart.
SCHOLZ, H., & STROHMENGER, M. (1999): Dolinenartige Sackungsstrukturen in den Molassebergen des südwestbayerischen Alpenvorlandes.- Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F. 81, 275 – 283, 3 Abb., Stuttgart (Schweizerbart).
SCHÜTZ, J. (1991): Mineralspektren von Molasse und Flysch im Gunzesrieder Achtal. – Materialien z. Geographie. – 18: 109 S., Mannheim (Geographisches Inst. d. Univ. Mannheim).
TRIMMEL, H. (Gesamtredaktion) (1998): Die Karstlandschaften der österreichischen Alpen und der Schutz ihres Lebensraumes und ihrer natürlichen Ressourcen. – Fachausschuß Karst von CIPRA-Österreich: 119 S., Wien.
VOLLMAYR, T. (1958), mit Beitr. von Brunnacker, K., & Zöbelein, H.K.: Erläuterungen zu Blatt 8426 Oberstaufen. – Geol. Karte Bayern 1 : 25 000: 55 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
WILHELMY, H. (1992): Geomorphologie in Stichworten – III Exogene Morphodynamik: 176 S., Berlin, Stuttgart (Hirt).

Anschrift der Autoren
Nadine Göppert
Lehrstuhl für Angewandte Geologie (AGK)
Universität Karlsruhe
Kaiserstr. 12
D-76128 Karlsruhe
nadine.goeppert@agk.uka.de

Dr. Nico Goldscheider
Centre d'Hydrogéologie (CHYN)
Université de Neuchâtel
Rue Emile-Argand 11, CH-2007 Neuchâtel
nico.goldscheider@unine.ch

PD Dr. Herbert Scholz
Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieurgeologie
Technische Universität München
Arcisstr. 21
D-82090 München
herbert.scholz@geo.tum.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Vorarlberger Naturschau - Forschen und Entdecken

Jahr/Year: 2003

Band/Volume: 12

Autor(en)/Author(s): Goldscheider Nico, Göppert Nadine, Scholz Herbert

Artikel/Article: Karsterscheinungen in Konglomeraten im Gebiet Hochgrat - Lecknertal bei Hittisau (Bregenzerwald). 9-29