

Grundlegendes zu Einbruchsstrukturen im Karst unter besonderer Berücksichtigung des Schmalkaldener Erdfalls vom 1.11.2010

von
STEPHAN MARKS

Zusammenfassung

Nach einem Abriss der verschiedenen Typen von Einbruchsstrukturen in Karstgebieten und deren Entstehungsmöglichkeiten und Diskussion angewandt-geologischer Probleme werden verschiedene tiefreichende Einbruchsstrukturen einschließlich einiger größerer, rezenter Einbruchseignisse vorgestellt und diskutiert.

Abstract

After an overlook of sinkhole terminology and genesis, the paper discusses practical geological problems of deep-reaching sink-hole structures in karst landscapes. Finally, some larger recent sinkhole events are described including the Schmalkalden sink-hole of November 1st, 2010, Thuringia.



Abb. 1: Deutliche Verkarstung des Kalksteins und Öffnung der Gesteinsklüfte entlang der Hauptkluftrichtungen im unterkretazischen Schrattenkalk auf dem Gottesackerplateau, Kleinwalsertal; Foto: Marks



Abb. 2: Karrenbildungen und Verkarstung des unterkretazischen Schrattenkalk-Kalksteines, Gottesackerplateau, Kleinwalsertal. – gut zu erkennen ist, dass durch Verkarstungsvorgänge nicht alle Gesteinsklüfte geöffnet wurden; Foto: Marks

Résumé

L'article propose une révision de la terminologie et de la genèse des effondrements d'origine profonde en zone karstique puis examine les problèmes géologiques posés et discute de quelques événements récents comme celui de Schmalkalden le 1er Novembre 2010 en Thuringe.

Einbruchsstrukturen

Einbruchsstrukturen wie Dolinen oder Erdfälle sind Teil des geomorphologischen Karstformenschatzes, also Karsterscheinungen. Sie sind das Ergebnis von Verkarstungsvorgängen, die durch Verwitterungs- und Erosionsvorgänge in verkarstungsfähigen Gesteinen auftreten. Namensgebend für den Begriff „Karst“ ist die Landschaft „Kras“ in Slowenien. Die römische Bezeichnung (census) und die slawische Bezeichnung (grast) gehen auf die prä-indo-europäische Wurzel „ka(r)n – ga(r)n“ zurück, die soviel wie „Stein“ bedeutet.

Etwa 30 Prozent der Landoberfläche der Erde sind Karstgebiete. Die meisten Karsterscheinungen zählen zu den exogenen Prozessen, da die formenden Kräfte von außen auf die Erdoberfläche einwirken. Hierbei ist die physikalische Verwitterung (mechanische Gesteinszerkleinerung) von der chemischen Verwitterung (Reaktion von Bodenwasser mit dem umgebenden Gestein, Sediment) zu unterscheiden. Zur chemischen Verwitterung zählt die Lösungsverwitterung, bei der beispielsweise die Auflösung von Kalkstein durch Kohlensäure als Korrosion bezeichnet wird. Kennzeichnend für den exogenen Karst ist eine unterirdische Entwässerung, die abflusslose, trockene oberirdische Hohlformen prägt und eine durch fehlende oberirdische Entwässerung geformte Landschaft.

Karsterscheinungen sind mit allen wasserlöslichen Gesteinen verbunden, und zwar in gemäßigtem Klima die Karbonatgesteine (Kalk, Dolomit), die Sulfatgesteine (Anhydrit, Gips) und die Salz-



Abb. 3: Die Verkarstung öffnet die Gesteinsklüfte und zerlegt das Gestein in kleinere Gesteinskörper im unterkretazischen Schrattenkalk auf dem Gottesackerplateau, Kleinwalsertal; Foto: Marks

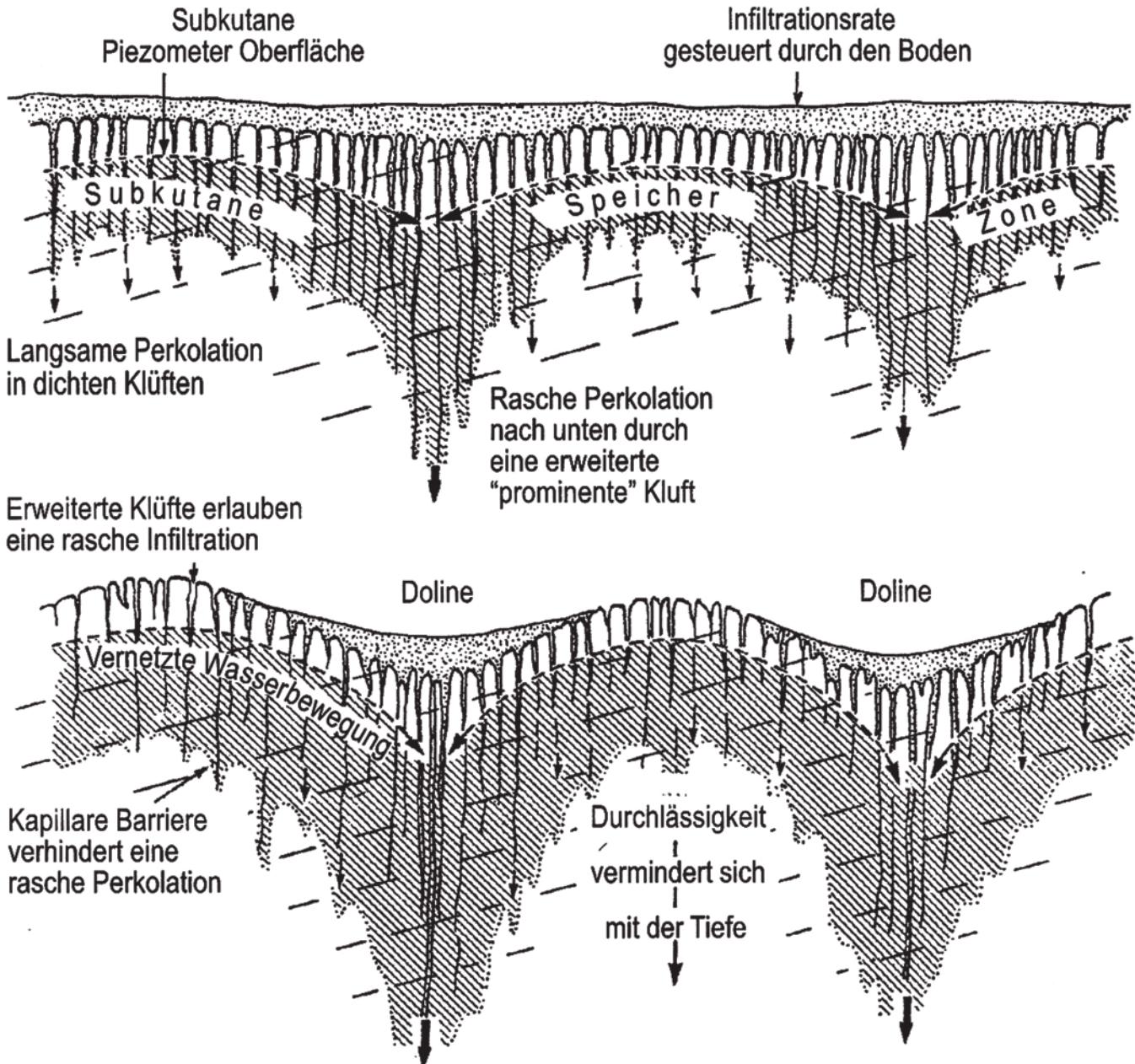


Abb. 4: Hydrologie des subkutanen Epikarstes; verändert nach WILLIAMS in PFEFFER (2010: 199)

gesteine (Steinsalz, Kalisalze). Man spricht entsprechend des Ausgangsgesteins von Karbonat-, Dolomit-, Sulfat- oder Gips- und Salinar- oder Salzkart. Kalk ist im Vergleich zu Salz nur schwer löslich. Kohlendioxidhaltiges Wasser erhöht die Lösungsfähigkeit für Kalkgestein. In tropischen oder subtropischen Klimata treten Karsterscheinungen auch bei Silikatgesteinen auf. Man spricht hier z.B. von Granitkarst (wenn Lösungerscheinungen beim Granitgestein bzw. dessen Mineralen auftreten) oder allgemein auch von Pseudokarst. Abhängig vom Klima wird in den Gemäßigten, den Mittelmeeren, den Tropischen und den Eis- oder Glazialkarst unterschieden.

Allgemein ist für das Auftreten von Verkarstungsstrukturen einerseits ein lösungsfähiges Gestein notwendig. Andererseits sind aber auch Lineamente im Gestein wesentlich für die Entstehung von Karsterscheinungen, wie z.B. Schichtungs- oder tektonische Strukturen (Klüfte, Kluftkreuze, Stylolithen oder gebirgstektonische Bewegungslinien im Gestein).

Ein verkarstungsfähiges Gestein, das wenig sedimentäre oder tektonische Strukturen aufweist, wird nur gering verkarsten. Gesteinsbereiche ohne Unstetigkeitsflächen zeigen keine wesent-

lichen Verkarstungserscheinungen. Eine weitere Verkarstungsvoraussetzung ist i.d.R. ein Gradient zum Vorfluter.

Man unterscheidet Holo- oder Ganzkarst und Mero- oder Halbkarst – abhängig davon, ob die Landschaft vollständig oder nur teilweise von Karstformen bedeckt ist. Es wird ein Bedeckter, Grüner Karst von einem Nackten, Unbedeckten Karst unterschieden, je nachdem, ob die verkarstungsfähigen Gesteine von einer Bodenschicht bedeckt sind oder nicht.

Epikarst beschreibt die subkutane Zone im Gestein, den Bereich mit Bodenbildung, Verwurzelung, der das infiltrierende Regenwasser zwischenspeichert und in die Tiefe abgibt.

Es wird in Oberirdischen Karst, der alle oberirdischen Karsterscheinungen umfasst, und in einen Unterirdischen Karst unterschieden. Letzterer beschreibt die Karsterscheinungen der erweiterten Klufträume, Kluftnetze (dreidimensionale Räume im Gestein, der Karstwasseraquifer) und der Hohlraumbildungen (Höhlen). Man spricht von einer vadose und einer phreatischen Zone im Karstgebirge: Der ständig von Wasser erfüllte Bereich, als phreatische Zone den Karstwasserspiegel darstellend mit oft langsam fließendem oder stagnierendem Wasser, unterscheidet

sich von der vadosen Zone, die nur zeitweise wasserführend ist mit oft turbulentem Fließen auf den Klüften.

BÖGLI (1978) gliedert die Phasen der Hohlräumentwicklung wie folgt: „Die schematische Gliederung der Entwicklungsphasen sollte zweckmäßig in eine speläogenetische und eine karsthdrografische aufgeteilt werden. Die speläogenetische für eine zweiphasige Höhle ergibt“

- a) *Vorphase: Das Gestein verharrt im gegebenen Zustande; seine Hohlräume sind wasserfüllt, und es verändert sich nichts.*
- b) *Initialphase: Der Vorfluter hat eine solche Lage erreicht, dass in den Fugen ein Druckgefälle entsteht. Das Wasser bewegt sich, womit die Erweiterung der Fugen einsetzt. Überwiegend Mischungskorrasion, phreatische Zone.*
- c) *Jugendphase: Das Wasser fließt schneller, zur Korrasion gesellt sich die Erosion. Die unterirdischen Räume entwickeln sich zur Raumgröße im Sinne der Höhlendefinition. Spannungsablösungen (Bergschlag) kommen vor, doch fehlen andere Inkasionserscheinungen.*
- d) *Reife: Die Querschnitte nehmen weiter zu bis zu den ersten Anzeichen der Inkasion mit vereinzelten Deckenbrüchen. Korrasion und Erosion in wechselnden Verhältnissen. Phreatisch und/oder vadös (Hochwasserzone, Zubringer evtl. inaktiv).*
- e) *Altersstadium: Inkasion, vor allem Deckenbrüche, tritt allgemein auf. Überdeckung und Zerstörung der Reifeformen. Klüfte treten physiognomisch in den Vordergrund (fiktive Kluftgänge). Gewöhnlich vadös und meist inaktiv, selten phreatisch.*
- f) *Greisenalter: Die Höhle zerfällt.*

Zur Hohlräumentwicklung geht die karsthdrografische parallel. Beide sind eng miteinander verbunden:

- a) *Vorphase: Alle Fugen und Spalten sind mit Wasser gefüllt. Kein Druckgefälle, also auch kein Fließen.*
- b) *Initialphase: Es stellt sich ein Druckgefälle ein, weil der Vorfluter tiefer gelegt worden war. Das Wasser bewegt sich vorerst unter den Bedingungen der hydrografischen Wegsamkeit mit zunehmender Fließgeschwindigkeit. Die Karstwasserfläche bildet sich. Tiefphreatisch.*
- c) *Verkarstungsphase: Mit dem Erreichen der karsthdrografischen Wirkksamkeit beginnt diese Phase. Die permanente Karstwasserfläche sinkt bis nahe ans Niveau des Vorfluters. Die karsthdrografische Wirkksamkeit dringt in die tief-phreatische Zone vor.*
- d) *Haltephase der Tieferlegung der Karstwasserfläche: Die unterirdische Verkarstung erreicht ihr Maximum, die karsthdrografische Entwicklung ihren Höhepunkt....*

Eine erneute Tieferlegung des Vorfluters führt zu einer Neubelebung der Vorgänge der Verkarstungsphase.“

TRIMMEL (1968, in BÖGLI 1978) beschreibt die Hohlräumbildung in vier Phasen wie folgt:

1. „Raumentstehung. Bei sekundären Höhlen geht eine Vorphase voran.“
2. *Raumentwicklung: Phase des Überganges der Raumerweiterung von „jungen Höhlen“ mit unausgeglichenen Höhlenprofilen zu „reifen Höhlen“ mit ausgeglichenen unter gleichzeitiger Zunahme der Raumfüllung bis zu deren Überwiegen.*
3. *Raumverfall: Phase der Umwandlung einer Höhle zur Höhlenruine.*
4. *Raumzerstörung: Zerstörung der Höhlenruine, bis nur noch Spuren im Gelände auf eine einstige Höhle hinweisen.“*

Die Entstehung unterirdischer Hohlräume ist auch an das Phänomen der Mischungskorrasion gebunden, indem die Korrasionsfähigkeit des Karstwassers durch die Mischung verschieden gesättigter Wässer erhöht wird.

Hohlräumbildungen durch aufsteigende Wässer werden als

hypogene Bildungen (Hypogener Karst) bezeichnet (KLIMCHOUK 2007). Auch Hydrothermalkarst, der an aufsteigende geothermal erwärmte Wässer gebunden ist, kann Einbruchsstrukturen bilden.

Die unterirdische Abführung der lösbarer karbonatischen Komponenten der Karbonatgesteine und das Zurücklassen der anderen Gesteinsbestandteile unter Beibehaltung der tektonischen und sedimentären Strukturen und des fossilen Inhaltes unter Belassung derselben Strukturen am Platz bezeichnet man als Phantomkarst (QUINIF 2010, MARKS 2012).

Nach BAECKER (1982) sollten Erdfälle als Sonder- und Endformen der Höhlenbildung angesehen werden. Erdfälle und Dolinen sind nach BAECKER Eintiefungen der Erdoberfläche, die durch den Einsturz von unterirdischen Hohlräumen entstanden sind. Erdfälle deuten somit immer auf vorhanden gewesene Hohlräume hin. BAECKER schreibt weiter, dass Subrosionssenken, Erdfälle, Dolinen und Karstlandschaften selbst Ausdruck der unterirdischen Erosion bzw. Subrosion sind.

Die Korrasion beginnt i.d.R. an der Oberfläche mit der Erweiterung von Schicht- oder Kluftfugen, den Karren, den Kleinformen der durch Lösung entstandenen Strukturen. Die bekanntesten sind Rinnen- oder Rillenkarren, Kluftkarren, Schichtfugenkarren, Napfkarren und Lochkarren und viele weitere Karrenformen. Ihre Formen gehen auf die Lösungsfähigkeit des Gesteines selbst zurück. Bereiche im Karst, die überwiegend durch das Auftreten von Karren geprägt sind, werden als Karrenfelder bezeichnet.

Weitere wichtige Karsterscheinungen stellen die schon erwähnten Dolinen dar, die auf die Löslichkeit des Gesteins mit unterirdischer Entwässerung zurückzuführen sind. Karstregionen, die durch das überwiegende Auftreten von Dolinen mit einzelnen Trockentälern (mit nur sporadisch fließenden Flüssen) geprägt sind, werden als Dolinenkarst bezeichnet.

Als Dolinen werden trichter-, schüssel- oder kesselförmige Hohlformen an der Erdoberfläche mit meist rundem oder ovalem Umriss bezeichnet. Der Begriff „Doline“ leitet sich vom slawischen Wort „dol“ ab und bedeutet „Tal“. KEMPE & ROSENDAHL (2000) beschreiben, wie sich aus der im 18. und beginnenden 19. Jahrhundert die bis dahin im deutschen Sprachraum übliche Bezeichnung „Erdfall“ und „Trichter“ in die heutige Bezeichnung „Doline“ wandelten: Zuerst wurde der Begriff „Doline“ von Adolf von Morlot 1848 in einer Arbeit zur Geologie Istriens verwendet, danach von Adolf Schmidt 1851 in einer Arbeit über die Adelsberger Grotte. Seitdem etablierte sich der Begriff Doline in der deutschen Literatur. HARTWIG (2000) diskutierte diese Darstellung kontrovers, worauf TRIMMEL (2001) klarstellend und erweiternd antwortete.

Dolinen sind wegen ihrer ingenieurgeologischen Fragestellungen als Baugrund (Tragfähigkeit des Untergrundes) sowie der Fragen zur Karstwasserbeeinflussung oder -nutzung von geoökologischer, paläoökologischer und ingenieurgeologischer Bedeutung. Je nach ihrer Form erhalten sie einen typisierenden Zusatz: Trichterdoline, Schüsseldoline, Kesseldoline, Schlotdoline, Schachtdoline oder Cenote. Weiter gibt es funktionale Zusätze wie Ponordoline (einfließender Vorfluter), Felsdoline, Schuttdoline oder Erdfall. Mehrere Dolinen nebeneinander mit unterschiedlichen Tiefen und unregelmäßigem Umriss werden als Uvala bezeichnet und ihr Entstehen mit dem Zusammenwachsen mehrerer Dolinenbildungen erklärt.

Dolinen treten in allen löslichen Gesteinen durch Lösungsvorgänge im Untergrund auf, wobei sich der Hohlräum bis zur Erdoberfläche durchgepaukt hat. Das Fehlen von Dolinen bedeutet

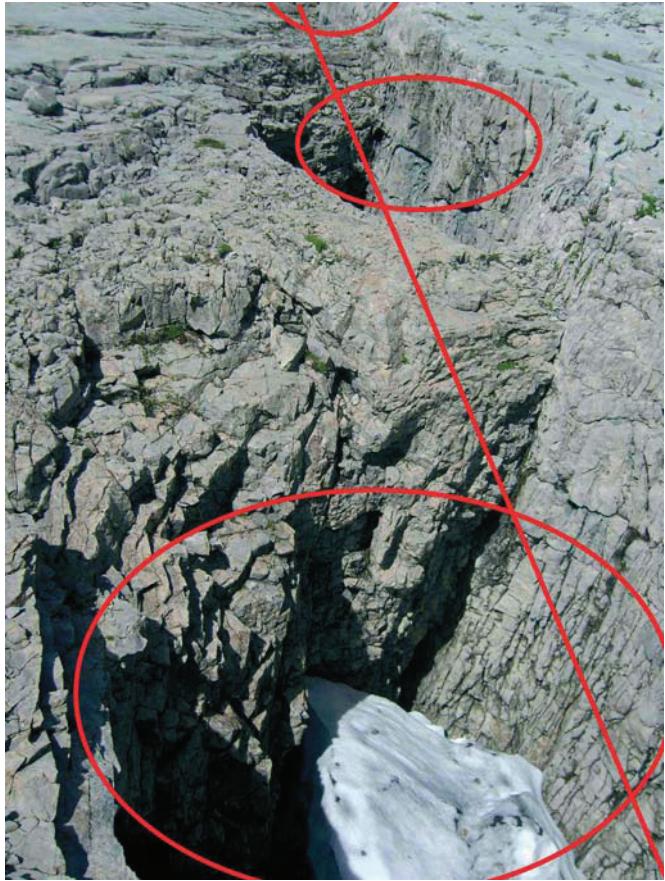


Abb. 5: Karstschäfte an einer Störungslinie aneinandergereiht im unterkretazischen Schrattenkalk auf dem Gottesackerplateau, Kleinwalsertal; Foto: Marks



Abb. 6: Tiefreichende Schachtbildung in den unterkretazischen Kalksteinen der Schrattenkalke des Gottesackerplateaus, Kleinwalsertal; Foto: Marks

aber nicht, dass keine Karststrukturen im Untergrund vorhanden sind. Fossile Dolinen treten seit dem Paläozoikum auf und belegen die Voraussetzung zur Bildung von Dolinen in wohl allen Erdzeitaltern. Dolinen können einen Durchmesser von wenigen Metern bis zu Kilometern haben, ihre Tiefe kann von wenigen Metern bis zu über 1.000 m erreichen. Weltweit sind sie überwiegend in humiden Klimagebieten verbreitet. Man unterscheidet zwischen Lösungsdolinen, Suffosionsdolinen, Erosionsdolinen und Einsturzdolinen, begrabenen Dolinen, Erdfällen (= Nachsackungsdolinen), Schwemmlanddolinen, Cenoten, Karstfenstern und Karstgulfs.

Dolinen treten in verkarsteten Gebieten nicht regelmäßig auf, oft sind Bereiche mit einer Häufung von Dolinen erkennbar. Ebenso sind Bereiche mit nur geringen Dolinenerscheinungen oder einer linearen Anordnung von Dolinenbildungen möglich. Dolinen treten häufig in Gipskarst- und Salzkarstgebieten auf, in Karbonatkarstgebieten sind sie seltener.

Als weitere Oberflächenform in Karstgebieten sind die Karstwannen zu nennen – quadratkilometergroße, flache Senken ohne oberirdischen Abfluss mit einem ebenen Boden und Dolinenbildungen innerhalb dieser Senke.

Eine weitere Großform sind die Poljebildungen. Man versteht darunter geschlossene Becken innerhalb der Karstgebirge mit unterirdischer Entwässerung und verschiedenen den Boden bedeckenden Sedimenttypen und mit lokalen, oft temporären Fließgewässern und Seen. Auf Serbokroatisch bedeutet Polje „Feld“. Als weitere wesentliche Großform sind die Verebnungen zu nennen, die beispielsweise im Rheinischen Schiefergebirge in geologischer Zeit verbreitet waren, z.B. im Massenkalkgebiet des Hönnets.

Bei den Erdfallbildungen gibt es aber auch Sonderformen. Im Maastrichter Kreidekarst beispielsweise sind Orgelpfeifenbildungen durch absteigende Bewegungen des Wassers entstanden. Auf hochgelegenen Karstflächen können Wässer entlang von Störungsbahnen Vertikalhohlräume schaffen, weil das Versickerungsgebiet erheblich über dem Vorfluter liegt. Auf Spalten läuft das Wasser durch das Gestein nach unten und strudelt vertikale, schluchtförmige Höhlungen aus (BAECKER 1982).

Karbonatkarst ist ein sich langsam entwickelnder Karst, der geologisch lange Zeiten braucht, sich zu einer Vollformkarstlandschaft mit Höhlen, unterirdischen Wasserwegen, Dolinen usw. zu entwickeln. Dagegen können sich im Evaporitkarst Karsterscheinungen innerhalb von Tagen, Wochen oder Monaten dort entwickeln, wo im Untergrund Gips, Anhydrit (Sulfatgesteine) oder Salzlager vorhanden sind.

In Sulfatgesteinen kommt es beim Einsickern von Wasser zu einer Vergipsung des primär geklüfteten Anhydrites. Durch die dabei entstehenden Quellungsvorgänge werden vorhandene Klüfte einerseits geschlossen und dadurch der Anhydrit andererseits selbst zum Wasserstauer. Somit wird nur ein relativ oberflächennaher Bereich des Anhydritgesteins von der Wasserzirkulation erfasst, der sogenannte Gipsmantel. Verkarstungerscheinungen wie Höhlen sind auf diesen Bereich in Oberflächennähe beschränkt. Diese sind wegen der hohen Löslichkeitsraten relativ kurzlebig. In Mitteleuropa wird das Alter dieser Gipshöhlen durch die Warmzeiten bestimmt. Durch Frostsprengung an den Höhlendächern in den Kaltzeiten werden die Gipshöhlen zerstört. Aus dem Gipskarst des Harzes wird folgender Gipshöhlenzyklus abgeleitet: Entstehung der Höhle – Verbruchshöhle – Durchpausen des Einbruches bis an die Erdoberfläche (Erdfall) – Auflösung des Gipsschuttes mit Verfüllung des Erdfalles, verbunden möglicherweise mit der Bildung von vermoorten Gewässern (KEMPE 1996).

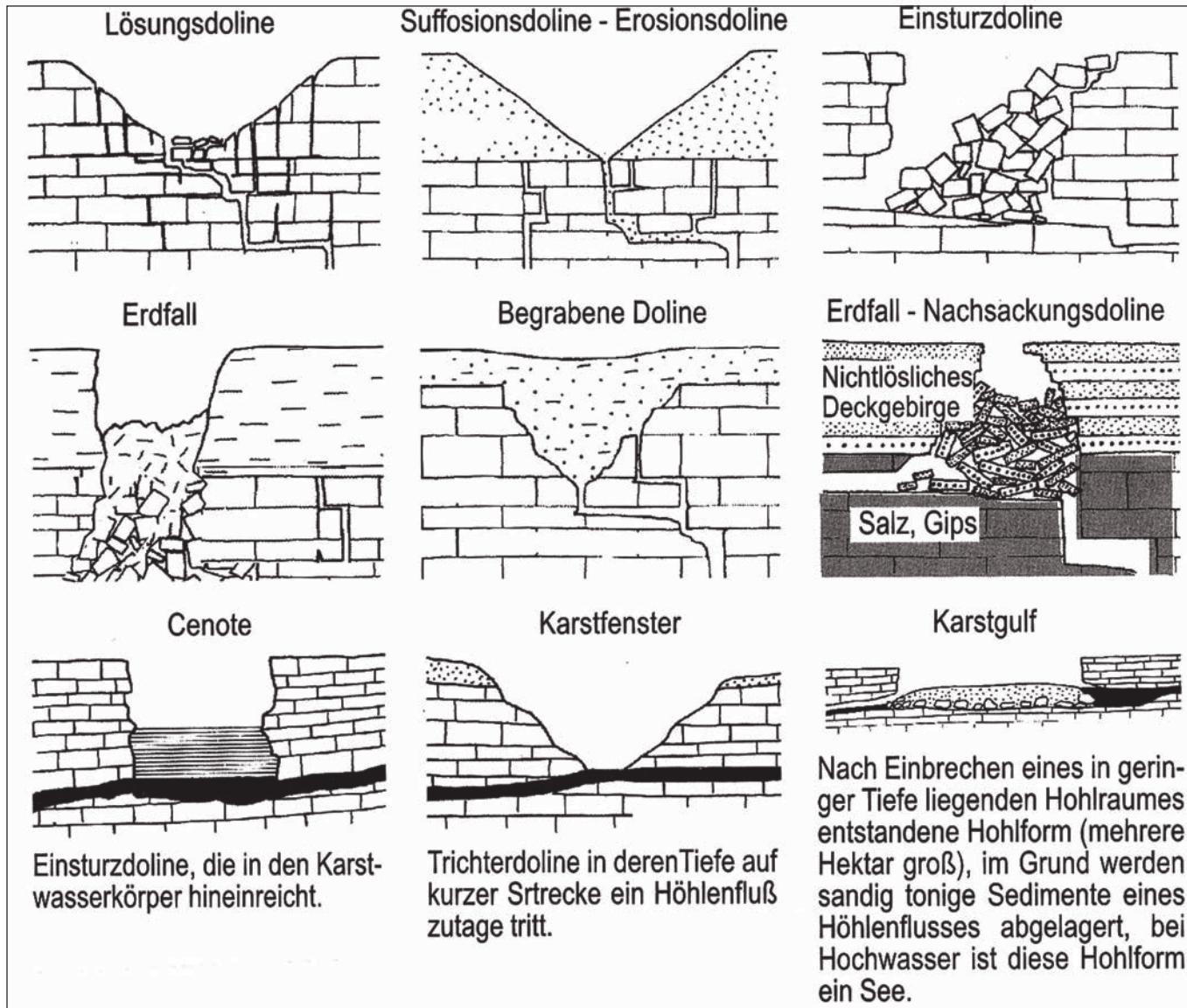


Abb. 7: Dolinentypen; verändert nach BÖGLI (1978) in PFEFFER (2010: 190)

Darüber hinaus sind aber auch Dolinen- oder Erdfallerscheinungen bei tiefer liegenden Sulfatgesteinen mit mächtiger Überlagerung von beispielsweise Sandsteinen möglich. Je tiefer der Lösungshohlraum liegt, desto steiler, schachtförmiger wird die Erdfallstruktur. Lösungshohlräume bilden sich i.d.R. an Klüften, Kluftkreuzen, Störungen oder anderen tektonischen Lineamenten, da diese besser wasserwegsam sind als das umgebende Gestein.

Ingenieurgeologische Probleme

Rezent können Dolinen oder Erdfälle weiterhin durch Lösungsvorgänge im Untergrund und das Einbrechen von Hohlräumen oder das Nachrutschen von überlagernden Sedimenten bei unterirdischer Abführung von gelöstem Material entstehen. Auch anthropogenes Abpumpen von Grund- oder Karstwasser oder der Bergbau können dazu führen, dass Hohlräume entweder ihre Tragfähigkeit verlieren und einstürzen oder überlagernde Schichten in diese Hohlräume verstürzen oder eingeschwemmt werden. Der Vorgang des Einsturzes kann schlagartig oder langsam geschehen, ebenso kann der Vorgang des Durchpausens bis an die Erdoberfläche plötzlich oder langsam vor sich gehen. Schlagartige Einbrüche können mit Mikroerdbeben verbunden sein. Diese Vorgänge stellen eine Gefahr für den Menschen und die

Infrastruktur dar und sind deshalb von wesentlichem Interesse für den Ingenieurgeologen. Aber auch ohne anthropogene Einflüsse besteht in Karstgebieten immer die Gefahr von Absenkungen, Einbrüchen und der plötzlichen Bildung von Karststrukturen an der Erdoberfläche.

Bei Baumaßnahmen kann der Untergrund in Bereichen mit bekannten Inhomogenitäten mit Gewichten oder Vibratoren verdichtet werden, ein Austausch von Bodenmaterial mittels Spülungen, Injektionen/Druckinjektionen zum Auffüllen, Versiegeln oder Verpressen von Hohlräumen im Karstgestein ist Stand der Technik. Bei Straßenbauten in gefährdeten Gebieten werden so genannte Geogitter und Geovliese unter der Asphalttragschicht eingebaut.

Ein weiteres Verfahren ist der Einbau eines linearen Tragelements aus Spannstahllitzen mit einem rautenförmigen Stahldrahtgeflecht als flächiges Tragelement. Diese Verfahren sollen ein plötzliches Durch- oder Einbrechen der Straße bei einem Erdfallereignis verhindern: die Straße hängt im Schadenfall wie eine Hängematte durch und ermöglicht so das Erkennen der Erdfallstruktur und die Sperrung der Straße ohne Schaden für die Straßenbenutzer. Zusätzlich können diese Einbauten sensorgestützt ausgeführt werden, um im Schadenfall bestimmte Stellen alarmieren zu können.

Typus	Karst-typ	Verkars-tungs-prozess	Unter-grund	Vorgang			Funktion
Einsturzdoline	nackter Karst	von der Tiefe zur Oberfläche	Karst-höhlen	Einsturz der Höhlendecke	Einbruch einmalig	Vertikal Bewegung durch Entzug der Basisfläche	Ponor-dolinen vereinzelt
Erdfall Nachsackungsdoline	über-deckter Karst		Laug-höhlen	Einbruch von Deckge-steinen	Einbruch mehrfach		
Nachsackungsdoline	unter-irdischer Karst		Höhlen, Laug-flächen		Vertiefung allmählich	Sackung	Ponor-dolinen häufig
Lösungsdoline	nackter Karst	von der Oberfläche zur Tiefe	Lösungs-ober-flächen	Lösung		chemische Lösung	
Cockpit	bedeckter Karst				Vertiefung allmählich		
Sufosionsdoline	über-bedeckter Karst		Karst-höhlen	Abschwem-mung der überdecken-den Locker-gesteinen-			Ponor-dolinen regel-mäßig
Erosionsdoline						Erosion	
Schwemmlanddoline							

Tab. 1: Dolinentypen und Möglichkeiten ihrer Genese; nach CRAMER (1941) in PFEFFER (2010: 196)

Erdfall von Schmalkalden vom 1. November 2010

In der Nacht zum 1. November 2010 brach in Schmalkalden ein großer Erdfall ein, – ein Ereignis, über das viele Medien ausführlich berichteten. Für diesen Einbruch muss eine Lösung von Salzgestein (eventuell mit der Beteiligung von Gipslösung) im tieferen Untergrund angenommen werden, verbunden mit einem Nachbrechen des Deckgebirges. Die Erläuterungen der Geologischen Karte zum Blatt Schmalkalden (KÖNIGLICH PREUSSISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT 1906) geben für den „Unteren Letten“ des Oberen Zechsteins Einlagerungen von Gips nur für das Nachbarblatt Botterode an. Dort sind Gips und rauhwackenartiger Dolomit in roten, blauen und dunkelgrauen, auch bunten, grau und rot gebänderten Tonen linsenförmig eingelagert, dem im Raum Schmalkalden der Buntsandstein aufliegt. „Sonst führt der Untere Letten nirgends im Gebiet des Blattes Schmalkalden am Ausgehenden Gips; dass derselbe aber ursprünglich in größerer Verbreitung vorhanden war, beweisen die im Zuge der jüngeren Zechsteinablagerungen und des Unteren Buntsandsteins zahlreich beobachteten Erdfälle. Weiter vom Ausgehenden entfernt und in größerer Tiefe, unter dem mächtig auflagernden Buntsandstein, mag der Gips noch in größerer Ausdehnung vorhanden sein. Dieses gilt wenigstens für diejenigen Gebiete des Buntsandsteinvorlandes, die näher an Salzungen und Kaiseroda liegen, wo bekanntlich Steinsalz und Kalisalze in bauwürdiger Beschaffenheit erbohrt worden sind. Auf Steinsalz in der Tiefe deuten auch

die Solquellen, welche 300 m westlich vom Bahnhof Reichersthor oberhalb der Stadt Schmalkalden, sowie am Badegarten unterhalb der Stadt zu Tage treten und, obwohl nur 1%ig, von 1457 bis 1837 zur Gewinnung von Kochsalz genutzt wurden.“

Zur Entstehung tiefreichender Einbrüche

PRINZ (1970, in PRINZ 1973) nimmt an, dass das Hochwandern der Hohlräume nach oben ins Deckgebirge durch ständiges Nachbrechen der Firsche und der in den Hohlraum hineinragenden Schichten entsteht. Entscheidend für das Hochwandern der Verbruchzone ist die Nachbrüchigkeit und die Klüftigkeit der Deckschichten. Diese bestimmen auch im Wesentlichen die Richtung und Neigung der hochbrechenden Schleife. Zu den theoretisch zufordernden Lösungshohlräumen am Fuß der Einbruchsschlote schreibt er: „Die Füllung eines Schlotes von 30 m Durchmesser hat auf 100 m Höhe ein Volumen von rd. 70.000 m³; die eines solchen Schlotes von 50 m Durchmesser fast 200.000 m³. Bei Annahme eines Auflockerungskoeffizienten von nur 0,2 setzt die Entstehung eines derartigen Schlotes ein Hohlräumvolumen von mindestens 85.000 m³ bzw. 240.000 m³ voraus. ... Ein vertikales Nachbruchmaß von 300 m erfordert theoretisch ein Hohlräumvolumen von 245.000 m³ bzw. 720.000 m³.“

Der Zeitfaktor für das Entstehen solcher Hohlräume im Salzgebirge ist außer Betracht zu lassen, da diese in geologisch kurzen Zeiten entstehen können (HERRMANN 1968, in: PRINZ 1973).

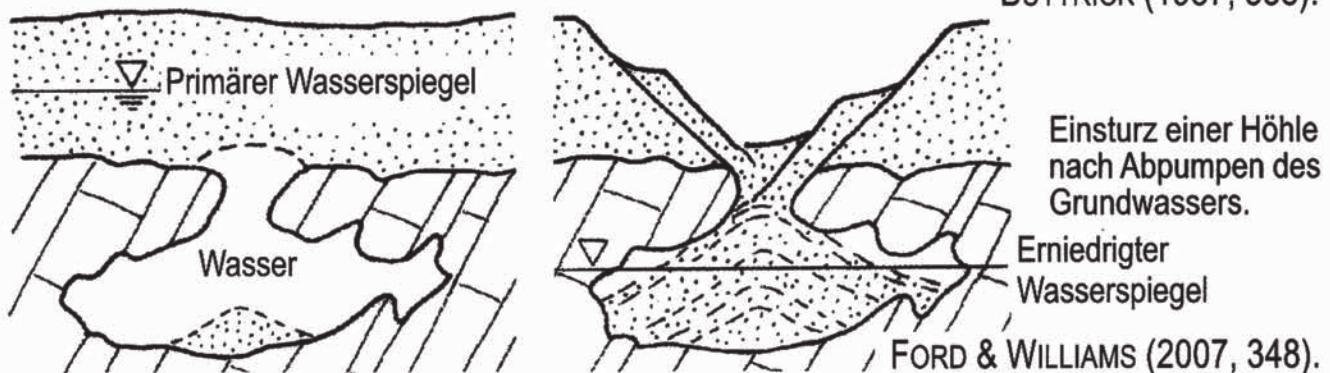
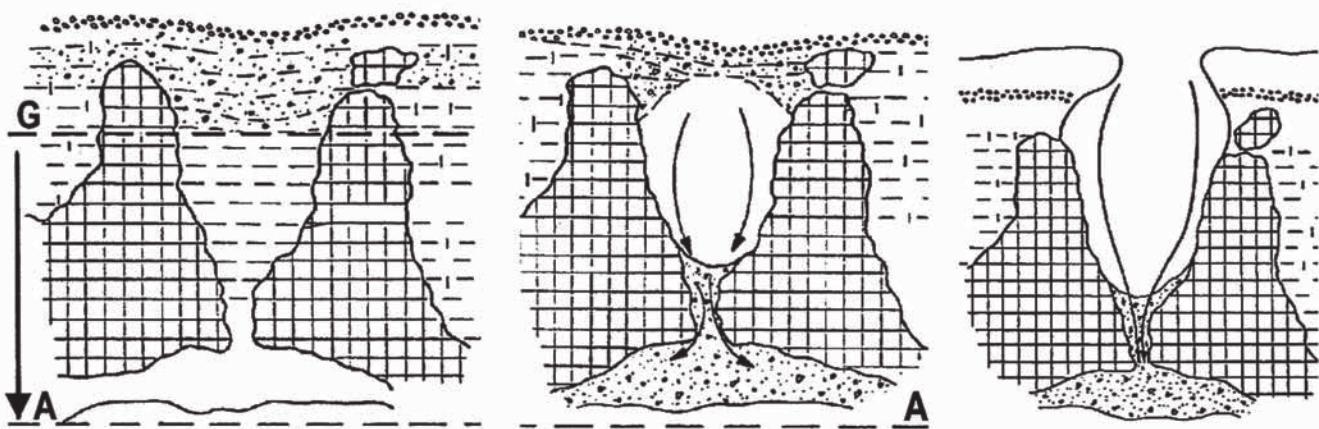
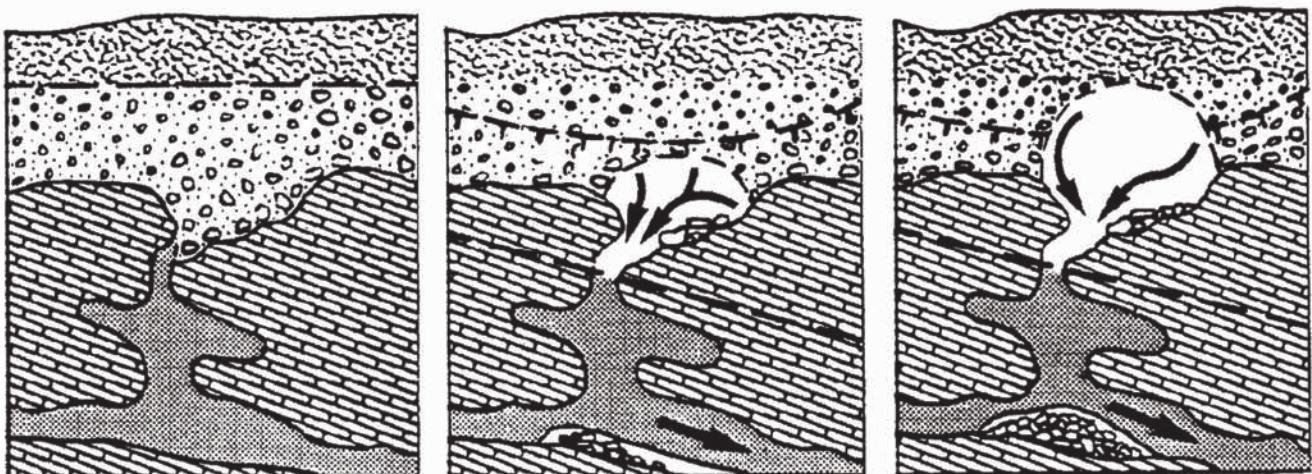
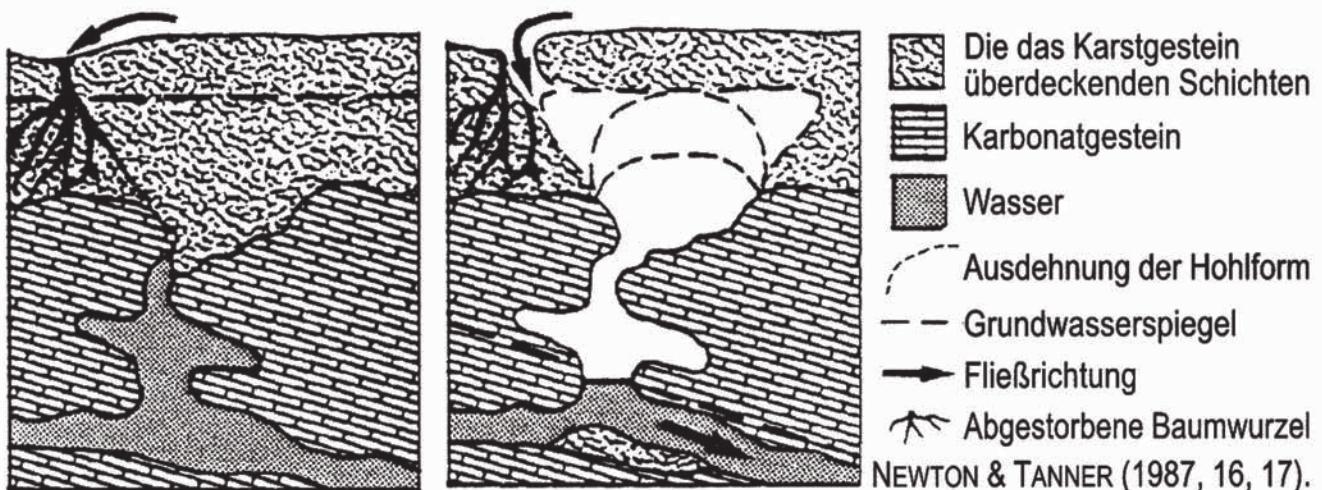


Abb. 8: Auswirkungen des Abpumpens von Grundwasser auf den unterirdischen Karst; aus PFEFFER (2010: 203)
56

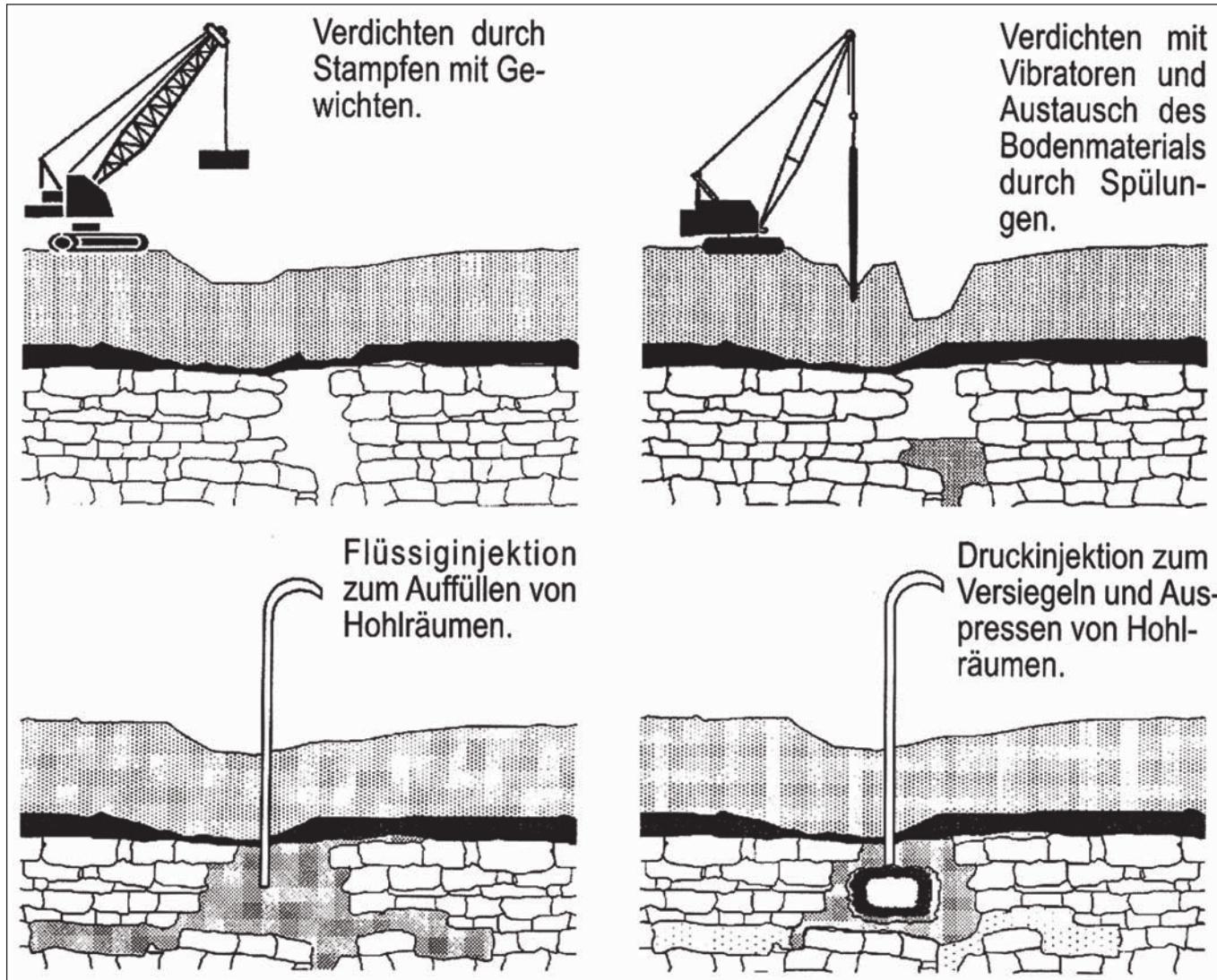


Abb. 9: Baugrundvorbereitung in Karstgebieten; nach HENRY in PFEFFER (2010: 207)

PRINZ (1973) nimmt an, dass reine Laugung im Salinarkarst ein Abfließen der Lösungssole im Liegenden des Salzgebirges voraussetzt. Dies sei schwer vorstellbar. Der Lösungsvorgang würde sich im tiefsten Teil des Hohlraumes durch Anreicherung der schweren, gesättigten Sole totlaufen.

HERRMANN (1972) beschreibt die Entstehung von Erdfällen sehr tiefen Ursprungs am Beispiel der „Wolkenbrüche“ bei Trendelburg und der „Meere“ bei Bad Pyrmont wie folgt. Die Entwicklung beginnt mit der Auslaugung eines Hohlraumes im Salz. Nachdem das Deckgebirge des Salzes soweit unterhöhlt worden ist, das es nicht mehr freitragend bestehen kann, beginnt der Abbruch der Decke. Dieser greift schichtweise weiter aufwärts, die Trümmer erhöhen den Boden, und so drückt der stets mit Lauge gefüllte Hohlraum nach oben. Der so entstehende, schutt-erfüllte Schacht nimmt einen kreisförmigen Querschnitt und damit die Form eines sehr schlanken, mit einem Gewölbe abgeschlossenen Kegelstumpfes an. Bei Annäherung des Hohlraumes an die Erdoberfläche wird schließlich eine Grenze erreicht – unter Umständen erst nach deren flacher Einsenkung – und ein nahezu zylindrischer Gesteinskörper bricht schlagartig aus, fällt in den Hohlraum und füllt diesen im Zerfallen teilweise aus. An der Erdoberfläche entsteht ein offener, teilweise wasser-erfüllter Schacht mit schwach überhängenden Wänden. Diese schrägen sich durch Abbruch ab, und der dabei anfallende Schutt füllt den Einbruchsschacht weiter auf.

Für den „Nassen Wolkenbruch“ bei Trendelburg postuliert HERRMANN (1972) einen Primärhohlraum von 850.000 - 900.000 m³ in einer Tiefe von 900 - 1.000 m. Zur Entstehung dieses Primärhohlräums schreibt Herrmann: „Wenn wasser-führende Klüfte den Buntsandstein an seiner Basis durchsetzen, so würde das Wasser das Salz an seiner Oberfläche auf breiter Fläche ablauen und damit einen Salzspiegel, aber nicht einen örtlich in die Tiefe greifenden Hohlraum herstellen. Die Hohlräumauslaugung kann also nicht an der Oberfläche des Salzlagers begonnen haben.“ HERRMANN folgert daraus, dass „die Auslaugung das Salz in örtlicher Beschränkt-heit an seiner Unterseite angegriffen hat.“ Nach HERRMANN (1968) kann das Wasser „nur auf Spalten aus tieferem Untergrund aufge-stiegen sein. Die Energie, die den Aufstieg unterhielt und die entstehen-de Salzlösung zutage brachte, war in einem Kohlesäuregehalt des Was-sers gegeben.“ Nach HERRMANN unterstützen CO₂-führende Solquellen in der näheren Umgebung die Ansicht, dass „die Entstehung der Trendelburger Erdfälle Säuerlingswässern zuzuschrei-ben ist, die im Salz Hohlräume auslaugten und die dabei entstandenen Salzlösungen zutage brachten.“ Die Erdfälle liegen entsprechend dort, „wo die Aufstiegswege der Säuerlingswässer von unten her an das Salz herantraten.“ Über die Bahnen selbst ist nach HERRMANN keine weitere Aussage möglich: „Eine Abhängigkeit der Lage der „Wolkenbrüche“ von der Klüftung im Buntsandstein oder von Lagerungs-störungen der Schichten ist nicht erkennbar.“ PRINZ (1973) zeigt, dass große Einsturzschlote in Gesteinen

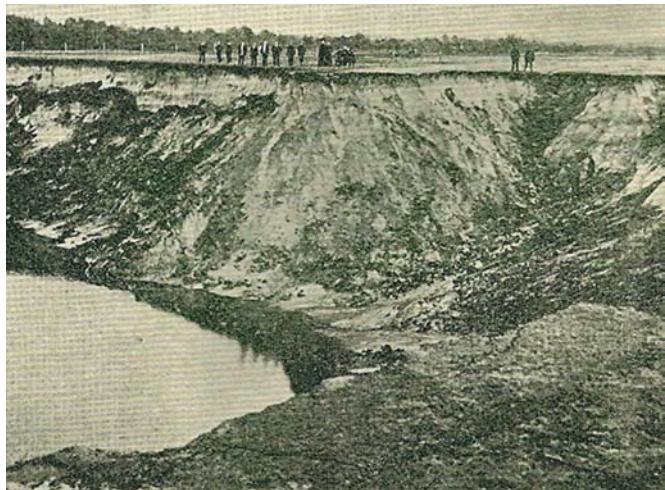


Abb.10: Erdfall vom 14. April 1913 im Heiligen Feld; Foto: Thiermann in DÖLLING & STRITZKE (2002)

mit Sulfatfazies liegen. Steinsalzeinschaltungen haben nur den Anstoß zur tiefen Sulfatkorrosion geliefert. Zunächst wird das Steinsalz gelöst, was die Wasserwegsamkeit bewirkt und die hydrodynamischen und chemischen Bedingungen für die Sulfatkorrosion schafft. Bei Anwesenheit von Chloriden erhöht sich die Löslichkeit des Gipses auf das Dreifache. Beim Zusammentreffen unterschiedlich sulfatgesättigter Lösungen mit verschiedenen Steinsalzgehalten tritt zusätzlich Mischungskorrosion auf (nach REUTER & KOCKERT 1971, in: PRINZ 1973).

Auch PRINZ (1973) schließt eine Hohlräumbildung (nach HERRMANN 1968, in PRINZ 1973) von unten durch aufsteigende, juvenile Wässer nicht aus, wie sie von HERRMANN für Erdfälle im Raum Bad Pyrmont angenommen werden. Tiefe Einbruchsschlote sind nach PRINZ (1973) nicht auf Salinarkarst, sondern auf Sulfatkarst zurückzuführen.

Weil Karsterscheinungen auch hypogen entstehen können, siehe KLIMCHOUK (2007), der die Hohlräumbildung durch aszendente, thermale Wässer beschreibt, kann für die Bildung tieferer oder tiefer Erdfallerscheinungen mit Einbruchsschlottbildung auch eine hypogene Bildung nicht ausgeschlossen werden, wie sie von HERRMANN (1972) schon postuliert wurde. Es muss auch diskutiert werden, ob anthropogene Eingriffe die Salzsubrosion örtlich neu bewirken oder beschleunigen können. Nach BAECKER (1982) sollten sich auch Salzabbau oder die Aussolung auf die Oberflächenconfiguration auswirken: „Nach BENTZ/MARTINI wurden z.B. im Bereich eines süddeutschen Solfeldes, das ausgebeutet wird, an der Erdoberfläche Bodensenkungen von 15 - 20 m festgestellt.“ Weitere Beispiele für vergleichbare Formen sind bekannt.

Dolinen und Erdfälle in Nordrhein-Westfalen

Kleinere Erdfälle mit einem Durchmesser im Meterbereich oder darüber hinaus treten häufiger als von der Öffentlichkeit wahrgenommen auf. Im Iserlohner Gebiet, auf der Deilinghofener Hochfläche sind in den letzten Jahren öfters kleinere Dolinen und Erdfälle aufgetreten: kleinräumliche, eng begrenzte Strukturen auf Äckern, Fluren, oft unbemerkt von der Öffentlichkeit. Auf einem Grundstück im Massenkalkbereich im Stadtgebiet von Iserlohn ist vor einigen Jahren an einem Haus ein geologisch alter Erdfall erneut eingebrochen. Die Speläogruppe Letmathe hat diesen Erdfall, eine durch anthropogene Ursachen reaktivierte Dolinenstruktur, auf- und ausgegraben und darunter eine Höhle in einem bisher nicht bekannten Höhlenniveau im



Abb. 11. Die Erdfallquelle im Kurpark von Bad Seebruch, Vlotho, am 16. Juni 1970 um 10.00 Uhr, 18 Stunden nach ihrem Einbruch Foto: Borowka, Löhne, in DEUTLOFF, HAGELSKAMP & MICHEL (1974)

Iserlohner Gebiet entdeckt. Eventuell ist diese Höhlenbildung bzw. der darüber liegende Versturzbereich als ein Höhlenruinenstadium über den bisher bekannten Höhlenetagen des Grüner Tales anzusprechen.

Die größten Erdfälle in Nordrhein-Westfalen waren im letzten Jahrhundert ein Erdfall im Heiligen Meer, Hopsten, und der Erdfall von Vlotho. Im Bereich des Erdfallgebietes Heiliges Feld, das zum Heiligen Meer gehört, war am 14. April 1913 ein neuer Erdfall von 300 m Durchmesser und 10 - 15 m Tiefe eingebrochen (DÖLLING & STRITZKE 2002). Das andere große Einsturzergebnis des letzten Jahrhunderts in Nordrhein-Westfalen ereignete sich am 15. Juni 1970 in Bad Seebruch bei Vlotho. Im sogenannten Moortrichter, einem Erdfall mit 50 m Durchmesser, der vor etwa 8.000 Jahren entstand und in dem sich eine Torflagerstätte entwickelt hatte, brach ein 80 m Durchmesser messender Erdfall ein, der eine maximale Tiefe von 25 m erreichte: ein Brunnenhäuschen (Schwefelbrunnen des Kurbetriebes) versank hierbei in diesem Erdfall. Bereits nach 24 Stunden war der Einbruchstrichter vor dem Kurhaus mit mineralisiertem Grundwasser gefüllt und begann überzulaufen: eine stark schüttende Erdfallquelle war entstanden. Die Schüttung betrug 24 Stunden nach dem Erdfalleinbruch schon über 400 m³/h mineralisiertes Grundwasser: ein Calcium-Sulfat-Mineralwasser (DEUTLOFF et al. 1974).

Erdfall- und Dolinenkataster

Deutschlandweit gibt es zahlreiche private Dolinenkataster, in denen auf Länderebene die bekannten Dolinen und Erdfälle registriert und untersucht werden. In Thüringen existiert ein vorbildliches staatliches Subrosionskataster, das alle thüringischen Erdfallereignisse aufzeichnet (www.tlug-jena.de). Vom Geologischen Dienst des Landes NRW gibt es eine Internetseite, die über mögliche geogene oder anthropogene Gefahren des Untergrundes informiert (www.gdu.nrw.de). Die Erläuterungen zu den Geologischen Karten in Nordrhein-Westfalen, die Karstgebiete beinhalten, enthalten oft auch Erdfallverzeichnisse.

Literatur

- BAECKER, P. (1982): Über die Entstehung tiefreichender Erdfälle und Höhlensysteme. – Abh. Karst- u. Höhlenkunde A 19: 1-82
- BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. – 292 S., Springer, Berlin



Mitteilungen

des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V. München



ISSN 0505-2211
H 20075

Nr. 2/2013

Jahrgang 59
2. Quartal