

## Unterirdische Wässer des Magnesitkarstes in der ČSSR

Von S. KLIR (Praha)

Die slowakischen Magnesit-Lagerstätten sind an die Schichtenfolge der tektonischen Gemeriden-Einheit gebunden. Der Streifen der Karbongesteine, bezeichnet auch als produktives oder Magnesitkarbon, zieht sich von Lovinobana nach Osten. Nach tektonischer Unterbrechung setzt er wieder in der Umgebung von Ratkova an, und von hier zieht er

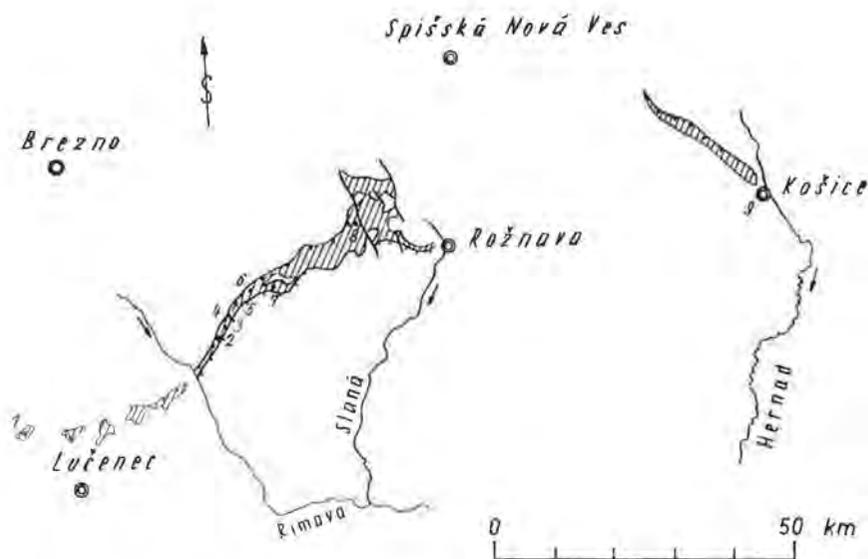


Abb. 1: Der Verlauf der Karbon-Gemeriden-Einheit (Slowakei, ČSSR) und die Bereiche des Magnesitkarstes.

1 Podrečany, 2 Burda, 3 Ploské, 4 Širk, 5 Lubeník, 6 Dúbrava, 7 Jedlovec, 8 Ochtinná, 9 Košice.

sich nach Sirk, Lubeník, Jelšava bis hinter Ochtinná. Nach tektonischer Unterbrechung im Norden der Gemeriden kommt die Einheit des Magnesitkarbons am Ostrand der Gemeriden im Gebiet zwischen Košická Bela und Košice (O. FUSÁN, 1956) wieder zum Vorschein (Abb. 1). Der Verlauf der Karbon-Gemeriden-Einheit ist charakterisiert durch eine geringe Entfernung vom tektonischen Kontakt der Gemeriden mit den Tatroveporiden (D. ANDRUSOV, 1958).

Die Magnesitlagerstätten in den Karbonschichten der Gemeriden sind gebunden an Karbonate, in denen es infolge Metasomatose von Kalksteinen zur Entstehung von Dolomit-, Magnesit- und seltener auch Ankeritlagen gekommen ist. Die so entstandenen Magnesitlagen haben gewöhnlich die Form von Linsen und pflegen durch allmähliche Übergänge und Lagen von Dolomiten verbunden zu sein. Die Nebengesteine der Magnesitlinsen bilden chloritisch-serizitische Schiefer, die stellenweise graphitisch sind. An tektonisch exponierten Stellen kam es zur Dynamometamorphose der Schiefer, die die Entstehung von Phylliten anregte. Die tektonische Exposition ist in der Nähe des Kontaktes der Gemeriden mit den Tatroveporiden besonders intensiv.

Bei der hydrogeologischen Untersuchung der slowakischen Magnesitlagerstätten widmete man der Entstehung des Magnesitkarstes eine besondere Aufmerksamkeit. Sämtliche Lagerstätten wurden mehrmals durchfahren, wobei die Karsterscheinungen auf ihre Abhängigkeit von der Reinheit des Magnesits oder Dolomits, in dem sie festgestellt wurden, untersucht wurden. Zahlreiche Analysen aus den Untersuchungsarbeiten und aus der Mehrzahl der vorgenommenen Bohrungen standen zur Verfügung. Das Ergebnis der Untersuchungen war die Feststellung, daß es in den von fast reinem Magnesit gebildeten Partien ebenso häufig zur Verkarstung kommt wie in jenen Partien, die von Dolomitmagnesit oder Dolomit gebildet werden. Somit kann man die Entstehung der verkarsteten Partien nicht in Abhängigkeit von der Reinheit der Karbongesteine bringen, wie es bei den durch Metasomatose nicht betroffenen Kalkstein-Schichtenfolgen der Fall ist.

Zu gleicher Zeit studierte man die Abhängigkeit der Karstentwicklung von der Tektonik der einzelnen Magnesitlagerstätten. Bei der durchgeführten Analyse der tektonischen Exposition der einzelnen Lagerstätten zeigten sich die Magnesitlagen als relativ resistente Körper, die tektonisch am wenigsten betroffen wurden und den Druck- und Zugexpositionen mit kleinen Amplituden Widerstand leisteten. Allerdings sind die Magnesitlinsen von erheblichen Brüchen betroffen, die Lagerstättenteile gegeneinander verschoben, oft auf eine Entfernung von einigen Zehnern von Metern (Podrečany, Ploské, Sirk, Dúbrava u. a.). Fast bei allen slowakischen Magnesitlagerstätten zeigt der Verlauf der verkarsteten Partien eine unmittelbare Abhängigkeit vom Verlauf der die Lagerstätten störenden großen Brüche sowie vom Verlauf der begleitenden Spalten. Die Intensität der Verkarstung ist pro-

portional der Mächtigkeit der Störungen und der begleitenden Spalten und ist abhängig sowohl von deren Ausfüllung wie der Entfernung, in der es in relativ plastizierteren Nebengesteinen der Lagerstätten zum Ausklingen der Störungen kommt. Gesetzmäßig ist, daß immer Störungen mit mächtigen zerbrochenen Ausfüllungen stark verkarstet sind, ebenso wie die weit in die Nebengesteine reichenden Störungen, kommt es doch in beiden Fällen zum intensiven Umlauf der unterirdischen Kluftwässer. In den angeführten Fällen kommt es häufig zur Entwicklung von Kavernen, in denen Vorräte an unterirdischen Karstwässern reteniert werden. Sind die Ausfüllungen der Störungen geringmächtig oder ist der Umlauf der unterirdischen Kluftwässer begrenzt, dann ist die Verkarstung schwach, so daß von einem embryonalen Karst gesprochen werden kann.

Einen besonderen Fall des Magnesitkarstes stellen vertikale Karstkamine dar, die an Magnesitlagerstätten festgestellt wurden. Diese Karstkamine entstanden an den Kreuzungsstellen der tektonischen Spalten. Interessant ist, daß der Verlauf dieser tektonischen Zonen auf den Zusammenhang der Magnesitlinse keinen Einfluß ausübt, so daß die Kreuzungsstellen der Spalten eine schnelles Gefälle der unterirdischen Kluftwässer ermöglichen.

## Das Regime der unterirdischen Wässer

Bei der hydrogeologischen Untersuchung widmete man der Durchlässigkeit der eigentlichen Lagerstätte und dem Grubenwasserregime in der Lagerstätte, wie auch der Durchlässigkeit der Nebengesteine und dem Regime der echten unterirdischen Kluftwässer große Aufmerksamkeit. Auf Grund der gegenseitigen Beziehung des Umlaufes der unterirdischen Wässer in der Lagerstätte selbst zum Wasserumlauf in den Nebengesteinen wurden zwei Typen von Lagerstätten mit abweichenden Regimemerkmalen herausgeschält. Die Unterschiedlichkeit dieser Typen ist auch durch hydrochemische Untersuchungen bestätigt worden.

Beim ersten Typ (Typus I) zeigen der Umlauf der unterirdischen Wässer in der Magnesitlagerstätte und der Wasserumlauf in den Nebengesteinen, d. h. in den Hangend- und Liegend-Phylliten, jeweils selbständige Merkmale, so daß dieser Typ der Lagerstätten als ein solcher beider Regime unterirdischer Wässer bezeichnet werden kann. Grundsätzlich kann man sagen, daß für Untersuchungs- und auch Gewinnungsarbeiten der Wasserumlauf in der Lagerstätte, die stets mehr oder weniger verkarstet ist, bedeutsam ist. In den in der Lagerstätte aufgefahrenen Grubenbauen überwiegen stets zentralisierte Zuflüsse der Grubenwässer über die nicht zentralisierten. Alle Zuflüsse sind gebunden an den Verlauf der Bruchzonen und der sie begleitenden Spaltenzonen, an die Lagerstättenränder und verkarsteten Partien.

Mit Rücksicht darauf handelt es sich immer um Zuflüsse von größeren Ergiebigkeiten. Sofern es sich um stabilisierte Zuflüsse handelt, bewegt sich ihre Ergiebigkeit in der Reihe 10 bis 100 l/min, zum Überschreiten dieses Wertes kommt es in der Regel nur beim plötzlichen Anfahren der gespeicherten Wässer in den Karsthohlformen und nach ausgiebigen Regenfällen, langfristigen Perioden von Niederschlägen und nach Auftauen der Schneedecke. Die Reaktion nach atmosphärischen Niederschlägen tritt sehr schnell ein, gewöhnlich binnen einiger Stunden. Der Umlauf der echten unterirdischen Kluftwässer bei Lagerstätten dieses Typus pflegt nicht besonders groß zu sein, sofern es sich nicht um lange, auf größere Entfernungen reichende Vortriebe handelt. Die Zuflüsse aus den hangenden Nebengesteinen sind in der Regel häufiger als aus den Liegendgesteinen, und immer geht es um beide Zuflußarten, die zentralisierte und die nicht zentralisierte. Die Ergiebigkeit bewegt sich in beträchtlich großem Bereich von 1 bis 60 l/min, wobei der Wert von 60 l/min schon als reichlich hoch anzusehen ist. Solche Zuflüsse kommen aus den Nebengesteinen nur im Fall von Brüchen vor, die die Lagerstätte in Flügel dislozieren. Bei Wasserführung der Nebengesteine spielen die auf größere Entfernungen aufgefahrenen Vortriebe eine bedeutsame Rolle. Es sind Fälle bekannt, daß bei solchen Arbeiten stark wasserführende tektonische Brüche angefahren wurden (z. B. der erste Wasserdurchbruch auf der Lagerstätte in Podrečany) und es in einer stark durchlässigen Störungsausfüllung zu Beginn von Durchbrüchen gekommen ist, die von Einbrüchen eingeschwemmter Dislokationsfüllungen begleitet waren. Noch auf lange Zeit traten an solchen Stellen starke Zuflüsse von Grubenwässern auf. Diese Abhängigkeit wird erklärt durch die große Drainagewirkung der genannten Brüche. Die Zuflüsse aus den Phylliten reagieren auf die atmosphärischen Niederschläge je nach der örtlichen Durchlässigkeit in einer Zeit von drei bis sieben Tagen nach deren Beginn. Folglich kommt es bei dem untersuchten Lagerstättentypus mit zwei Wasserregimen zur doppelten Reaktion der Schüttung: die erste ist plötzlich, und die Zuflüsse kommen durch die verkarsteten Lagerstättenabschnitte herein, die zweite erfolgt nach drei bis sieben Tagen infolge kleinerer Durchlässigkeit der Nebengesteine. Die Zuflüsse der unterirdischen Kluftwässer aus den Nebengesteinen kennzeichnen sich vom hydrochemischen Standpunkt dadurch, daß im Kationenteil alkalische Erden über den Alkalien vertreten sind und im Anionenteil das Sulfation das Hydrokarbonation überwiegt. Hingegen enthalten die Zuflußwässer aus der Lagerstätte im Kationenteil überhaupt keine Alkalien (ausnahmsweise in ganz geringfügiger Menge), und im Anionenteil überwiegt ausschließlich das Hydrokarbonation das Sulfation. Demzufolge unterscheiden sich beide Umläufe der unterirdischen Wässer nicht nur durch Regimemerkmale, sondern auch hydrochemisch.

Zu den Lagerstätten des Typus I, bei denen der Wasserumlauf in der Lagerstätte und auch der Wasserumlauf in den Nebengesteinen ein jeder seine eigenen selbständigen Regime- und hydrochemischen Merkmale aufweist, gehören auf Grund der durchgeführten Untersuchungen die Lagerstätten von Podrečany, Ploské und Lubeník. Höchstwahrscheinlich gehört hierzu auch die Lagerstätte in der Nähe von Košice, jedoch mit Rücksicht auf ihre Ausdehnung und die relativ niedrige Stufe des Untersuchungsstandes sowie des bergmännischen Aufschlusses kann man die Feststellung neuer, bisher unbekannter Gesetzmäßigkeiten in diesem relativ größten Lagerstättenareal nicht ganz ausschließen.

Beim Typus II zeigt der Umlauf der unterirdischen Wässer in der Magnesitlagerstätte keine selbständigen Merkmale gegenüber dem Umlauf in den Nebengesteinen, so daß wir diesen Typ als einen Einregimtyp der unterirdischen Wässer bezeichnen. Wie beim früher beschriebenen Typ I gilt auch hier die grundsätzliche Gesetzmäßigkeit, daß für die Untersuchungs- sowie Gewinnungsarbeiten der Wasserumlauf in der Lagerstätte der bedeutungsvollere ist, was wiederum durch die Verkarstung bedingt erscheint. Nach den bisherigen Kenntnissen ist aber die Verkarstung dieser Lagerstätten weniger intensiv, so daß ihre Bedeutung auch kleiner ist. In den bergmännischen Arbeiten überwiegen nicht konzentrierte die konzentrierten Zuflüsse, und die Abhängigkeit der Zuflüsse unterirdischer Wässer von dem Verlauf der Brüche, der Spaltenzonen, des Lagerstättenrandes und den verkarsteten Abschnitten ist deshalb weniger deutlich als beim Typ I. Was die Ergiebigkeit der stabilisierten Zuflüsse betrifft, muß beim Vergleich mit dem Typ I hervorgehoben werden, daß es sich bei den Ausflüssen aus der Lagerstätte in der Regel um niedrigere Ergiebigkeiten handelt, während die Ausflüsse aus den Nebengesteinen größer sind. Praktisch läßt sich dieser Unterschied nicht genau feststellen. Die Vergrößerung der Ergiebigkeit der Zuflüsse nach ausgiebigen oder langdauernden Regenfällen und dem Auftauen des Schnees tritt nach 24 bis 72 Stunden ein, d. h. später als bei den typischen Ausflüssen der Lagerstätten des Typus I, aber früher als bei den typischen Ausflüssen aus den Nebengesteinen des Typus I. Sowohl die Ergiebigkeiten wie die Retardation der Wasserzuflüsse bestätigen die Charakteristik des Einwasserregimes, weil es zum Verwischen der typischen Merkmale für den Wasserumlauf in der Lagerstätte und in den Nebengesteinen, so wie sie beim Typ I festgestellt worden sind, kommt.

Vom hydrochemischen Standpunkt unterscheiden sich die Zuflüsse unterirdischer Kluftwässer aus den Nebengesteinen von den Ausflüssen aus der Lagerstätte praktisch nicht. In allen untersuchten Fällen geht es um chemisch sehr verwandte Wässer; sie kennzeichnen sich im Kationenteil durch ein markantes Übergewicht der Ionen alkalischer Erden über die Alkalien, im Anionenteil ebenfalls durch ein großes

Übergewicht des Hydrokarbonations über das Sulfation. Damit ist der Alleinumlaufl der unterirdischen Wässer nicht nur hydrogeologisch sondern auch hydrochemisch bestätigt.

Zu den Lagerstätten des Typus II, auf denen nur ein einziger gemeinsamer Umlauf unterirdischer Wässer in der Lagerstätte und ebenfalls in den Nebengesteinen existiert, gehören auf Grund der durchgeführten Untersuchungen Burda, Jedlovec und Ochtinná. Es ist zu betonen, daß die Eingliederung der Lagerstätte von Ochtinná nicht ganz typisch ist, zumal diese Lagerstätte ein sehr unausgeprägtes Hangendes hat (nur an den Rändern). Im Einklang mit der geologischen Position dieser Lagerstätten muß ferner noch hervorgehoben werden, daß es sich in allen Fällen um tektonisch stark exponierte Lagerstätten handelt, was zweifellos das Gemeinschaftsregime in der Lagerstätte und auch in ihren Nebengesteinen sehr beeinflußt. Darüber hinaus sind sowohl auf der Burda-Lagerstätte wie auf der Jedlovec-Lagerstätte im hohen Hangenden der Lagerstätten die Lagen der Karbonatgesteine (insbesondere Kalksteine und stellenweise auch Dolomite) nicht nachgewiesen, obwohl deren Anwesenheit bestimmt zur Annäherung des Chemismus der echten unterirdischen Kluftwässer mit den in der eigentlichen Lagerstätte umlaufenden Wässern beiträgt.

Mit Rücksicht darauf, daß die Einteilung der Magnesitlagerstätten in Typen auch vom Standpunkt der Prognosen bei der Untersuchung und Gewinnung wichtig ist, wurde bei der weiteren Untersuchung der Typus II dieser Lagerstätten, dessen Merkmale weniger ausgeprägt sind, noch ausführlicher verfolgt, und es war notwendig, ihn noch durch die Feststellung der gemeinsamen Spiegelfläche der unterirdischen Wässer in der Lagerstätte und ebenso in den Nebengesteinen zu unterstützen. Die Untersuchung konzentrierte sich auf die Lagerstätten von Burda und Jedlovec, bei denen Messungen des Wasserspiegels der unterirdischen Wässer in den Bohrungen aus dem Hangenden in die eigentliche Lagerstätte durchgeführt wurden. Die dabei gewonnenen Hydroisohypsenkarten dokumentieren verläßlich die hydrogeologischen Verhältnisse. Sehr deutlich ist das Kluftwässerregime im Hangenden beider Lagerstätten zu erkennen, wobei der Spiegel der unterirdischen Kluftwässer fast konform das Terrainrelief verfolgt. Der Zusammenhang mit der Lagerstätte in horizontaler Ebene ist optisch nicht ausdrucksvoll, ist aber erkenntlich in bezug auf den vertikalen Zusammenhang des Hangenden mit der Lagerstätte in der Tiefe. Während es bei Lagerstätten mit unterschiedlicher Durchlässigkeit der Lagerstätte und der Nebengesteine (Typus I) nicht möglich ist, eine solche Hydroisohypsenkarte überhaupt zusammenzustellen, weil die Wasserspiegelflächen in den Nachbarbohrungen sehr erhebliche Unterschiede (bis zu Zehnern von Metern) aufweisen (u. zw. insbesondere auf Grund der größeren Durchlässigkeit der Lagerstättenlage), sind praktisch auf den Lager-

stätten von Burda und Jedlovec analoge Spiegelverhältnisse in einer großen Zahl von Bohrungen festgestellt worden.

## Das Grubenwasserregime

Die charakteristischen Merkmale des Grubenwasser-Regimes sind bei der Einteilung der Lagerstätten in zwei Typen ausführlicher beschrieben. Eines der Regimemerkmale sind hier auch die Ergiebigkeiten der Zuflüsse der Grubenwässer aus der Lagerstätte sowie den Nebengesteinen (unterschiedlich in beiden Fällen) sowie die Retardation der Auswirkung atmosphärischer Niederschläge, die für jeden einzelnen Typ ebenfalls bezeichnend ist.

Bei der Durchführung der Untersuchungen wurde ferner die mittlere gepumpte oder aus den Grubenarbeiten herausfließende Wassermenge verfolgt. Bei stabilisiertem Stand sind keine größeren Werte als 900 l/min festgestellt worden. Dieser Wert wurde bisher sogar bei der Lagerstätte in Podrečany nicht überschritten, wo sich der mittlere Zufluß um etwa 600 l/min bewegte, sich jedoch in längeren Jahresabschnitten in der Regel bis zur Grenze von 800 l/min vergrößerte. Etwas mehr als 900 l/min pumpte man aus dem Gesenke auf der Grube Burda, ebenfalls in längeren Jahresabschnitten, infolge des Schüttungsrückganges vor allem während der trockenen Herbstperiode des hydrologischen Jahres kam es jedoch zum Ausgleich auf den Mittelwert. Aller Voraussicht nach läßt sich eine vielfache Vergrößerung dieser Werte bei der Lagerstätte Košice erwarten.

Ausführlicher ist auch der Koeffizient ( $a$ ) der Wasserzuflußsteigerung im Frühling in der Grube studiert worden, dessen Kenntnis für die Projektierung von Pumpstationen unerlässlich ist. Aus der mittleren Additionskurve der täglich gepumpten Menge wurde er für die Lagerstätte Podrečany mit einem Wert von  $a = 1,22$  festgesetzt; aus dem minimalen und maximalen Ausflußwert aus dem Stollen Marta am Jedlovec ist  $a = 1,45$ . Diese beiden Werte wurden auf Grund der Beobachtung des hydrologischen Jahres bestimmt. Weitere Messungen sind auf anderen Lagerstätten (z. B. Burda, Lubenik, Ochtinná) vorgenommen worden, jedoch nur während eines kurzen Jahresabschnittes, so daß sie nicht als voll beweiskräftig gelten können. Interessant ist, daß die Limithöhen des genannten Wertes weder nach oben noch nach unten überschritten wurden, wobei sich die Angaben aus Lubenik denen aus Podrečany und die Angaben aus Burda und Ochtinná jenen aus Jedlovec näherten. Es ist möglich, daß auch der Koeffizient der Frühlingszuflußzunahme in Zukunft als ein weiteres Klassifikationszeichen zur Unterscheidung beider Typen slowakischer Magnesitlagerstätten benutzt werden könnte.

Bei der hydrogeologischen Untersuchung ist die Frage der Infiltration der Niederschlagswässer insbesondere in die Karstformationen

gemeinsam mit dem Einsickern der Gewässer aus den oberflächlichen Wasserläufen sorgfältig verfolgt worden. Zur maximalen Infiltration kommt es bei Lagerstätten, die im Tiefbau aufgeschlossen werden, und zwar insbesondere durch Verbruchsspalten im Hangenden. Die Infiltration wird vornehmlich durch das Auftreten ausgedehnter Einsenkungen an der Oberfläche gefördert. In ihnen wird das Niederschlagswasser gesammelt, und es kommt praktisch zum Einsickern sämtlicher Wässer dieser Wasserbecken im Hangenden der Lagerstätte. Namentlich in der letzten Zeit vergrößerte sich diese Art des Wassereindringens in die Grube wesentlich, was einerseits auf die Einführung leistungsfähiger Abbauverfahren, andererseits auf den Übergang bei einer Reihe von Lagerstätten zum Abbau mit offener Kammer (z. B. Lubeník) zurückzuführen ist. Ein sehr interessanter Fall eines alten Einsickerns des Bachwassers in den Tagbau ist bei einer Lagerstätte festgestellt worden, wo sich der Tagbau der Achse des oberflächlichen Wasserflusses sehr genähert hat, wobei es jedoch nie zu dessen Unterfahrung gekommen ist. Wohl versuchte man in der Vergangenheit die sehr wertvollen Vorräte in diesem Abschnitt für den Abbau zu gewinnen, jedoch waren schon die Aufschlußarbeiten von Wasserdurchbrüchen in den Tagbau begleitet gewesen. Aus diesem Grunde hat man sich entschlossen, den genannten Lagerstättenabschnitt aufzugeben und gemeinsam mit dem Übergang auf den Tiefbau diesen Abschnitt mit Halde zu verschütten. In der letzten Zeit wurde durch weitere Untersuchungen eine bisher unbekannte Lagerstätte in der Nähe des abgebauten Magnesitkörpers festgestellt. Nach der mit Bohrarbeiten durchgeführten Untersuchung wurde projektiert, diese neue Lagerstätte im Niveau von etwa 300 m ü. M. mit Hilfe eines bergmännischen Aufschlusses zu fixieren. In dieser Untersuchungsphase führte man eine Analyse der früheren Durchbrüche in den Tagbau durch und legte einen Schutzpfeiler fest, insbesondere mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Führung neuer Grubenarbeiten in der Zukunft.

## Das Karstwasserregime

In der Magnesitlagerstätte ist der Umlauf der unterirdischen Gewässer durch die Verkarstung stark beeinflusst, weil in den Karsthöhlen und Kaminen bestimmte Mengen unterirdischer Wässer zurückgehalten werden, die sich beim Auffahren der bergmännischen Arbeiten oder Anbohren wie Karstwasserbehälter verhalten. Die zurückgehaltenen Wässer in den Karstkavernen sind mit den unterirdischen Kluftwässern in den Nebengesteinen der Lagerstätte stets in hydrologischem Zusammenhang. Die gegenseitige Beeinflussung vergrößert sich bei der Strömung der Karstwässer aus den Kavernen in die bergmännischen Baue proportional mit der Größe der Absenkung im Behälter der unterirdischen Wässer, die durch Drainagewirkung der bergmännischen

Arbeit entstanden ist. Die Karsthöhlen in der Lagerstätte sind gut durchlässig und ermöglichen den Umlauf unterirdischer Karstwässer. Sie haben sowohl streichend wie vertikal Drainagewirkung auf das Netz der kleinen wasserführenden Spalten in den Nebengesteinen, welche analog ist der Drainagewirkung großer und für den Umlauf unterirdischer Wässer gut aufgeschlossener Brüche. Diese Drainagewirkung vergrößert sich, wenn die Verkarstung an Brüchen entwickelt ist, die weit in die Nebengesteine reichen.

Sobald es zur Entleerung der Höhlen und Kamine des Magnesitkarstes kommt, ist für die unterirdischen Wässer das Regime unterirdischer Kluftwässer charakteristisch, soweit es nicht aus verschiedenen Gründen (Verbrüche, Aufgeben der Arbeiten, Schwellen von Ocker u. a.) zum Aufhören der Wasserzuflüsse in die Grube kommt und damit auch zur Neuauffüllung der Höhlen und Kamine im Karst durch die retenierten Wässer. Mit Rücksicht auf die Tiefe der Depression im entwässerten Lagerstättenteil darf man niemals außer acht lassen, daß das Karstwasserregime die Strömung zur Depressionsstelle stark beeinflußt. Kommt es im Verlauf der Auffahrung von Untersuchungsarbeiten oder beim Abbau der Lagerstätte zur Unterbrechung des Abflusses unterirdischer Wässer aus den Karsthöhlen, dann kommt es oft (gleichzeitig mit dem Schwellen der Ocker in deren Ausfüllung) zur Erneuerung des Karstwasserregimes. An solchen Stellen können bei späterem Auffahren durch plötzliche Durchbrüche Karstwässer in die Grube eindringen. Mit Rücksicht auf den heute bekannten Mittelwert der Wasserzuflüsse aus den Karsthöhlen betrachten wir alle jene Lagerstättenabschnitte als unvollkommen entwässert, bei denen die Ergiebigkeit der Zuflüsse unter 100 l/min sinkt.

### **Die Entwicklung des Karstes, seine Morphologie und die Ausfüllung der Karsthohlräume**

Man hat bei der Durchführung der hydrogeologischen Untersuchungen im Terrain und bei ihrer Auswertung der Entstehung des Magnesitkarstes besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die in den Lagerstätten festgestellten Karsterscheinungen wurden einzeln in Abhängigkeit von der Reinheit des Magnesits oder Dolomits, bei denen es zur Verkarstung gekommen ist, untersucht. Zur Disposition stand eine ganze Reihe chemischer Analysen aus fast allen geologischen Untersuchungs- und Gewinnungsarbeiten sowie aus einer größeren Anzahl von Bohrungen. Das Ergebnis der Untersuchungen war die Feststellung, daß es in den aus reinem Magnesit gebildeten Partien ebenso häufig zur Verkarstung kommt wie in den aus Dolomitmagnesit oder Dolomit gebildeten. (Siehe Seite 6.)

Aus den vorher beschriebenen Untersuchungen ging klar hervor, daß der Umlauf unterirdischer Gewässer das Regime der unterirdischen

Wässer bei den einzelnen Lagerstätten stark beeinflusst. Auf Grund dessen wurden schließlich zwei hydrogeologische Typen von Magnesitlagerstätten abgegrenzt. Es ist hervorzuheben, daß beide Typen auf Grund aller hydrogeologischen Merkmale herausgeschält worden sind.

Bei weiteren Untersuchungen wurde die Abhängigkeit der Karstentwicklung von der tektonischen Exposition der einzelnen Lagerstätten studiert. In den meisten Fällen zeigt sich die Magnesitlage als ein relativ resistenterer Körper als Gesteine in ihrem Hangenden oder Liegenden. Ausdrucksvoll ist in der Regel der Umstand, daß die Magnesitlinsen von großen Brüchen betroffen wurden, die die Lagerstättenflügel, oft bis auf Entfernungen von einigen Zehnern von Metern, gegeneinander verschoben. Fast bei allen Lagerstätten zeigt die Karstentwicklung eine direkte Abhängigkeit vom Verlauf großer Brüche (siehe Seiten 6, 7). Falls die Ausfüllungen der Störungen (in diesem Falle häufiger bei den Spalten) geringmächtig sind oder, wenn der Umlauf unterirdischer Wässer durch deren ungenügende Reichweite begrenzt ist, dann ist die Verkarstung schwach. Im Einklang mit diesen Untersuchungen ziehe ich die Schlußfolgerung, daß die Karstentwicklung ohne Zweifel durch die Laugungstätigkeit infiltrierter Wässer mit geringer Menge atmosphärischen Kohlendioxydes verursacht worden ist. Auf Grund der bisherigen Untersuchungen nehme ich an, daß die Entwicklung des Magnesitkarstes in große Tiefen reicht; sicher ist, daß er jene Tiefen erreicht, die für den Bergbau in Frage kommen.

Die Hohlräume des Magnesitkarstes sind in der Regel häufig mit Ockern ausgefüllt, beim Ausbiß der Lagerstätte auch mit Ockererden. Die Entstehung der Ockerausfüllung muß zum geringen Teil dem aus dem Magnesit freigewordenen Eisen zugeschrieben werden, wo es in isomorpher Bindung anwesend ist, eventuell auch aus dem Ankerit, der ausnahmsweise schlierige Lagen in den Magnesiten bildet. Erwägt man im weiteren zur Bildung der Ockerausfüllung den ungünstigsten Fall, d. h. die Ankeritlage, so gelangt man bald aus der Beziehung des Karsthöhlevolumens zum Volumen der Ocker in dessen Ausfüllung zu dem Schluß, daß das Ockervolumen in den Kavernen in den meisten Fällen ganz offenbar die Menge des Eisens übersteigt, die chemisch aufgelöste Gesteine zu dessen Bildung abgeben können. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen wissen wir, daß bei der Entstehung des Magnesitkarstes der rege Umlauf unterirdischer Wässer eine bedeutende Rolle spielte. Somit ist auch die Voraussetzung dafür, daß die überwiegende Menge der Ockerausfüllungen der Karstkavernen durch Ausfällen aus den unterirdischen Wässern entstanden ist, gegeben. Aus den Untersuchungen von N. M. STRACHOV (in A. A. SAUKOV, 1954) ist bekannt, daß der Transport des Eisens durch unterirdische Wässer in Form von  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  erfolgt, dessen größerer Teil als Gel sedimentiert; bei gleichzeitiger Oxydierung kommt es zur weiteren Sedimentation in Form von Hydroxyd. Die Entstehung der Limonitocker durch Ausfällen aus



Abb. 2: Karstkamin (abgedeckt) im Magnesit-Tagbau.



*Abb. 3: Verschütten des Karstkamins mit Halde.*



Abb. 4: Nicht abgebaute Ockerpartien im Karstschlot des Magnesit-  
Tagbaues.



Abb. 5: Nicht abgebaute Ockerpartien im Karstschlot des Magnesit-Tagbaues.

den unterirdischen Wässern bestätigt auch die Tatsache (B. HEJTMAN, 1954), daß es zum Transport des Eisens in Lösungen auch über größere Entfernungen kommt, falls im Wasser ein größerer Gehalt an  $\text{CO}_2$  vorhanden ist. Nach der durchgeführten Untersuchung ist fast als sicher anzunehmen, daß die Ockerablagerungen in den Ausfüllungen der Karstkavernen durch Ausfällen aus den unterirdischen Wässern entstanden sind; man kann jedoch nicht ausschließen, daß an ihrem Ursprung in geringem Maß auch Eisen teilnimmt, welches bei der Auslaugung im Zug der Verkarstung der Karbonatgesteine freigeworden ist. Das Ausfällen des Eisens hängt mit der Abnahme des  $\text{CO}_2$  im Wasser beim Verkarstungsprozeß zusammen.

Als überwiegende Karsthohlformen bei den Magnesitlagerstätten sind die Karstkamine anzusehen. Abb. 2 zeigt einen Karstkamin, an dessen Wänden Auslaugungsspuren gut ersichtlich sind. Die tieferen Partien des unterirdischen Kamins sind mit Ockersedimenten gefüllt. Abb. 3 zeigt das Verschütten desselben Karstkamins mit Abraum. Sehr gut erkennbar ist die elliptische Form des Kamins in seinem oberen Teil. Auf den Abb. 4 und 5 sind Ockerausfüllungen der Kavernen gut zu erkennen, die beim Tagbau unabgebaut zurückgeblieben sind.

Ein besonderer Fall der Karstentwicklung ist auf einer der Magnesitlagerstätten festgestellt worden, die sich unter der Erosionsbasis einer breiteren Regionaleinheit befindet. Bei dieser Lagerstätte ist die Ausrichtung der Verkarstung auf die Basis jüngerer Miozänsedimente festgestellt worden. Sehr typisch für diesen Fall ist der streichende Verlauf der einzelnen Karstspalten.

Mit Rücksicht auf die geologische Position dieser Lagerstätte muß die Karstentstehung in das Jungtertiär gestellt werden, weil die ganze Lagerstätte mit Miozän-Sanden und Tonen mit Lignitzwischenschichten überdeckt ist. Die basale Klastik der Miozänsedimente wurde auch in den Kavernenausfüllungen festgestellt. Es besteht kein Zweifel, daß die Verkarstung der Lagerstätte auch durch das saure Milieu des Miozänsees unterstützt wurde, da es dort zur Sedimentation organischer Reste kam. Die beschriebene Verkarstung der Magnesitlagerstätte ist einstweilen die einzige, die man auf Grund der Entwicklung der Hangendsedimente zeitlich einordnen konnte. Folglich können wir dieses Beispiel als einen Miozän-Magnesit-Karst bezeichnen. In anderen Fällen sind wir genötigt, bei dem allgemeinen Terminus Magnesitkarst zu bleiben.

Auf Grund der im Kapitel über die Entstehung des Magnesitkarstes und über das Regime der Karstwässer angeführten Merkmale ist der Versuch gemacht worden, den Karst nach J. CVIJIĆ (in R. KETTNER, 1954) zu gliedern, jedoch kann man den Magnesitkarst nur mit Vorbehalten dem Übergangs-Karsttypus zuordnen.

## Die hydrogeologische Funktion der Karstausfüllung

Bei Durchführung der hydrogeologischen Untersuchungen wurden aus den Kavernenausfüllungen bei den einzelnen Lagerstätten Proben entnommen und dabei ihre Kornzusammensetzung ermittelt. Nach der Körnung bildet die Ockerausfüllung des Karstes zwei Gruppen. In die erste Gruppe gehören Proben aus der Lagerstätte Dúbrava (Muster 003), Jedlovec (Muster 004) und Burda (Muster 002), in denen die feine Fraktion die gröbere überwiegt. In die zweite Gruppe gehören Proben aus den Lagerstätten Lubeník (Muster 001) und Podrečany (Muster 006) mit größerem Anteil der gröberen Fraktion. Die Einordnung nach der Körnung zeigt, daß die Ausfüllungen der Karsthöhlen hinsichtlich Körnung in die erste Gruppe gehören, während die Ausfüllungen der verkarsteten Störungen der zweiten Gruppe angehören. Diese Feststellung stimmt mit dem Umstand überein, daß in den verkarsteten Ausfüllungen der Störungen stets scharfkantige Gesteinsbruchstücke anwesend sind, die den höheren Anteil der gröberen Fraktion verursachen.

Im Naturzustand sind die verockerten Partien verhältnismäßig kompakt und wenig erweicht. Kleine Zuflüsse von Grubenwässern fließen aus den erodierten Rillen im Ocker, große Zuflüsse der Grubenwässer und namentlich die in der Tiefe unter Druck angefahrenen Zuflüsse der Grubenwässer verschwemmen jedoch den Ocker. Beim Verschwemmen fließt der Ocker gemeinsam mit den angefahrenen Grubenwässern in die bergmännischen Abbaue. Nach Abnahme des Zuflusses des angefahrenen Wassers kommt es dann wieder zur natürlichen Verdichtung des verschwemmten Ockers, und die Zuflüsse der Grubenwässer fließen von neuem aus den erodierten Rillen im Ocker. Beim bergbaulichen Anfahren der Ocker besteht eine dauernde Gefahr der Ockerverschwemmung durch Wasser unter hydrostatischem Druck und des Ausschwemmens der flüssigen Ocker in die Abbaue. Die Gefahr der Durchbrüche der verschwemmten Ocker mit Wasser unter hydrostatischem Druck wird durch den Karstcharakter der unterirdischen Wässer in den Höhlen und Kavernen vergrößert.

Beim Verschwemmen des Ockers der Ausfüllung der Karsthöhlen infolge großen Wasserzuflusses in die Grube unter Druck tritt durch dieses Verschwemmen eine Änderung der Körnungsstruktur des Ockers ein. Die feine Fraktion wird mit Wasser ausgeschwemmt und abtransportiert, die grobe Fraktion bleibt an der Stelle und wird beim Verschwemmen nicht übertragen. Bei Zuflußabnahme kommt es zur natürlichen Verdichtung des verschwemmten Ockers, der jedoch nunmehr eine andere Körnungsstruktur aufweist. Er unterscheidet sich durch einen vergrößerten Gehalt der Mittelfraktion und durch einen verminderten Gehalt der feinen und groben Fraktion zum Unterschied von dem nicht verschwemmten Ocker. Die Unterschiede sind gut erkenntlich aus den Körnungskurven des nicht verschwemmten Ockers (Podrečany,

Haupthangendkaverne, Muster 006) sowie des verschwemmten Ockers (Podrečany Bau S 1, Schachtsohle, Muster 3).

Beim Verdichten des verschwemmten Ockers bei Abnahme des Wasserzuflusses kommt es gleichzeitig zum Aufquellen des Ockers, das zweifellos durch Quellen der Tonminerale in der Ockerfüllung verursacht wird. Am meisten blähend sind Ocker, die in der Krönungskurve gewichtsmäßig mehr als 10% der Fraktion unter 0,005 aufweisen, und diese Ocker sind in der Ausfüllung der Karsthöhlen und der verkarsteten Störungen in der Mehrzahl vertreten.

Das Quellen der Ocker ist sehr gefährlich, namentlich beim Aufschließen der verkarsteten Partien, weil es durch das Quellen oft zum Aufhören der Zuflüsse des Wassers in die Grube kommt. Dieses Wasser sammelt sich oberhalb der Ockerlage wiederum an, und beim Anfahren durch eine andere bergmännische Arbeit (meist jedoch schon beim Anbohren durch eine andere Bohrung vom Ort aus) dringen aus früher entwässerten Partien neue ausgiebige Wasserzuflüsse, begleitet von Durchbrüchen flüssigen Ockers, unter Druck in die Grube ein.

Beim Aufschließen des Karstes mit Ockerausfüllung gilt somit der Grundsatz, daß kein Lagerstättenabschnitt als schon entwässert angesehen werden kann, solange von diesem keine Zuflüsse von Grubenwasser bestehen. Dem Quellen der Ocker ist beim Auffahren der Vorrichtungsarbeiten für den Abbau der Lagerstätte ebenfalls größte Aufmerksamkeit zu widmen.

### Zusammenfassung

Bei den Magnesitlagerstätten im Karbon der slowakischen Gemeiriden zeigt die Karstentwicklung eine direkte Abhängigkeit von dem Verlauf großer, die Lagerstätte störenden Brüche, sowie vom Verlauf der begleitenden Spalten. Die Intensität der Verkarstung ist proportional der Mächtigkeit der Störungen und der begleitenden Spalten und ist von deren Ausfüllung abhängig. Bezüglich des Regimes der unterirdischen Wässer konnten zwei Typen aufgezeigt werden.

Die Verkarstung unterstützen insbesondere stark gebrochene Ausfüllungen. Die Entwicklung des Karstes war bedingt durch die Laugungstätigkeit infiltrierter Wässer, wobei die Wässer in ihrem Umlauf an die Spalten der tektonischen Zonen mit relativ größerer Durchlässigkeit gebunden waren. Die freien Räume des Magnesitkarstes sind in der Regel mit Ockern ausgefüllt. Auf Grund der durchgeführten Untersuchung muß als bestimmt angenommen werden, daß die Ocker in den Ausfüllungen der Karsthöhlen durch Ausfällen aus den unterirdischen Wässern entstanden sind, auch wenn sich an ihrem Ursprung in kleineren Anteilen auch das beim Auslaugen im Verkarstungsprozeß der Karbonatgesteine freigewordene Eisen beteiligt. Die Ocker in den Karsthöhlen verschwemmen sich, wenn aus Stellen ihrer Auffahrung ausgiebige Zuflüsse von Grubenwässern herausfließen. Beim Ver-

schwemmen fließt der Ocker gemeinsam mit Zuflüssen der freigewordenen Wasser in die Abbaue. Nimmt der Wasserzufluß, mit dem der Ocker in die Grubenarbeiten eingeschwemmt wird, ab, dann kommt es zum Verdichten des Ockers. Die Ockerverdichtung ist vom Quellen der Ocker begleitet, das gefährlich ist beim Aufschließen jener Lagerstättenabschnitte, in denen sich oberhalb der aufgequellten Ockerlage in den Karsthöhlen von neuem unterirdische Wasser ansammeln konnten.

## Literature

- ANDRUSOV, D.: Geológia československých Karpát I. NSAVU, Bratislava 1958.  
CVJIĆ, J. in R. KETTNER: Vseobecná geologie III. NCSAV, Praha 1954.  
FUSÁN, O.: Paleozoikum Gemerid, Kompletný Sjazdový sprievodca X. Siazdu CSMG na Slovensku, Praha 1956.  
HEJTMAN, B.: Petrografie. SPN, Praha 1954.  
STRACHOV, N. M. in A. A. SAUKOV: Geochemia. Ces. preklad J. Kokty, NCSAV, Praha 1954.

## Summary

The karstification of the magnesite deposits in the carboniferous strata of the slovacian Gemerides is in direct relationship with the direction of large faults.

The intensity of the karstification is proportional to the intensity of the faults and depends on their filling up.

Two types of circulation of underground water can be shown. Especially strongly disrupted fillings-up support the karstification.

The leaching of the infiltrated waters governs the development of the karst, the circulation of those waters is dependent on the greater permeability of the fissures in the tectonic zones. The fissures and caves of the magnesite karst are normally filled with ochres. On account of examinations carried out one must assume that the ochres inside the karst caves developed through precipitation of the underground water as well as from small proportions of the iron which is released through the leaching of the carbonate rocks in their process of karstification.

Liberal flow of underground water causes the outflow of ochre from the karst caves, which runs together with the released water into the mine shafts. Reduction of the waterflow causes a consolidation of the ochre. This consolidation is accompanied by the swelling of the ochre, which endangers work in those parts of the deposit in which the swelling may have caused a fresh accumulation of underground water in the karst caves.

Anschrift des Verfassers:

RNDr. Stanislav KLIR

Ke Klimentce 37, Praha-Košiče, ČSSR