

# Zu den karsthydrographischen Problemen der kleinen Kalksteingebiete in Nordmähren und Schlesien

Mit 2 Abb. im Text und 1 Tafel

Von VLADIMÍR PANOŠ, Brünn

Schon einige Jahrzehnte dauert die Diskussion, die um die Klärung der Grundprinzipien der Karsthydrographie entbrannte, an. Der Streit reicht in die Entstehungszeit der zwei klassischen, gegensätzlichen Hypothesen A. GRUNDS [1903] und F. KATZERS [1908] zurück. Obwohl die Erforschung des unterirdischen Karstwassers mit der Entwicklung der angewandten Geologie, Hydrologie und Speläologie besonders in der Zeit nach dem letzten Kriege weit fortgeschritten ist, ist es ihr noch nicht gelungen, alle Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen befriedigend zu erklären. Die Diskussion über die Richtigkeit dieser oder jener Auslegung und Anwendung der Beobachtungstatsachen verschärft sich von neuem auch in den Grundfragen.

In den Jahren 1959—1960 haben wir mit intensiven chemischen Farbstoffen (Lösungen von Fluoreszeïn in Methanol, Uranin, Eosin u. a.) eine Reihe von kombinierten Experimenten in den kleinen Gebieten der verkarsteten Kalkgesteine des Devonstreifens von Jesenec-Mladeč (Jesenetz-Lautsch) auf dem Plateau des Drahaner Hügellandes, in den devonischen, teilweise metamorphen Kalken der Serie von Branná (Goldensteiner Schichten) im Reichensteiner Gebirge und in den Marmoren der sog. Serie von Rejvíz (Reihwiesen) am östlichen Rand des Hügellandes von Žulová (Friedeberg) durchgeführt, die an unsere älteren Färb- und Pumpversuche (1950—1953) in diesen Karstgebieten anknüpfen. Diese Forschungen haben wir durch eigene Beobachtungen und durch die Anwendung der Erkenntnisse der hydrogeologischen Forschung auf die Karsthydrographie im Gebiet der hydrothermal verkarsteten devonischen Kalke in der Berührungzone der Böhmisches Masse und der Westkarpaten in der Umgebung von Hranice na Moravě (Mährisch Weißkirchen) ergänzt. Im Raume des Devonstreifens von Jesenec-Mladeč wurden die Resultate der Färbung weitgehend durch die Anwendung von Phosphor- und Natrium-Radioisotopen bestätigt.

Über die Resultate dieser Forschungen haben wir einen ausführlichen Bericht [V. PANOŠ, 1959] ausgearbeitet und haben auch über dieselben referiert [V. PANOŠ, 1960]. In dem vorliegenden Beitrag können wir nur eine kurze Übersicht der Ergebnisse und der Hauptfolgerungen vorlegen. Sie werden möglicherweise zum Erkennen einiger gemeinsamer Gesetzmäßigkeiten der Karsthydrographie der kleinen Karstschollen und -schuppen, die in den nichtkalkigen Gesteinskomplexen der Untersuchungsgebiete eingefaltet wurden, verhelfen. Im voraus ist es notwendig zu betonen, daß alle untersuchten Gebiete im großen und ganzen ähnliche Voraussetzungen besitzen, die durch die gemeinsame geomorphologische Entwicklung des östlichen Teiles der Böhmisches Masse bestimmt werden. Auch die petrographischen, tektonischen und hydrologischen Verhältnisse sind ziemlich ähnlich. Bestimmte regionale Unterschiede existieren jedoch und sie dürfen

nicht unterschätzt werden. Alle Gebiete liegen nun im Bereich des gemäßigten mitteleuropäischen Klimas, aber man kann dieses nicht für die Zeit der Entstehung aller Karstformen voraussetzen. So finden wir in einigen Gebieten sehr ausgeprägte Spuren der Wirkung des mesozoischen und tertiären tropischen oder subtropischen Regenklimas, in anderen wieder die Spuren der Wirkung des quartären periglazialen Klimas oder des Klimas mit einer sehr geringen Humidität bis Aridität des oberen Pliozäns und mancher Übergangsperioden des Pleistozäns.

Der Devonstreifen des Drahaner Hügellandes besteht an der Oberfläche aus isolierten Vorkommen von Kalken sowie nichtlöslichen Gesteinen. Der Kontakt zu den umliegenden vordevonischen Phylliten, unterkarbonischen Grauwacken und Schiefen ist tektonisch. Mit der Geologie beschäftigen sich u. a. J. SVOBODA und F. PRANTL [1951, 1954], die der Meinung sind, daß die an der Oberfläche isolierten Vorkommen der Kalke in der Tiefe zusammenhängen. Wir widmeten uns der Karstforschung seit dem Jahr 1950. Im Jahr 1960 fingen wir mit einer ausführlichen geomorphologischen Kartierung an [V. PANOŠ, 1960].

Im Westen und Nordwesten erreicht unser Gebiet Höhen bis 550 m. Das Relief ist sehr bewegt, bedingt durch eine ältere, aber auch sehr junge Tektonik und durch die z. T. selektive Erosion der unteren Trěbůvka und deren rechte Zuflüsse. Der südliche, östliche und nordöstliche Teil des Gebietes ist orographisch viel weniger gegliedert; es ist durch stufenartig angeordnete Flächen, breite und mäßig gerundete Rücken und kleinere Mulden sowie durch Höhen von 300—400 m gekennzeichnet. Es gehört den Einzugsgebieten der Bäche Rachavka und Hrádečka, rechte Zuflüsse der Morava (March), an. Über die tief verwitterte, hauptsächlich aus Schiefen aufgebaute Umgebung ragen Kalkrücken und -gipfel mit steilen Abhängen scharf empor. Sie sind insgesamt stark verkarstet und manche von ihnen haben große Höhlensysteme in mehreren Niveaus. Die Spalten und flachen Korrosionsdepressionen der höchsten Teile der Kalkerhebungen sind durch tonig-kaolinische Verwitterungsschichten und Karstbrekzien mit Körnern von Gesteinen, die in der Umgebung nicht mehr vorkommen, ausgefüllt. Auf den niedriger gelegenen Karstflächen im Nordosten liegen in den Spalten, tiefen Schratten, geologischen Karstorgeln und zwischen den Turmformen auch untertortonische und wahrscheinlich pannonische Ablagerungen. Auf dem Relief in nicht löslichen Gesteinen und stellenweise auch auf den Kalken liegen Schotter unbekanntes Ursprungs und Alters, quartäre Terrassen und mächtiger jungpleistozäner Löß. Im Norden und Nordosten ist das Gebiet durch den nordwestlichen Ausläufer des Hornomoravský úval (Oberes Marchbecken) begrenzt, der hoch mit untertortonischen Tegeln, mit der pannonischen „bunten Serie“ (Schotter, Sande und Tone), mit quartären fluviatilen Schotteranden und mit Löß oder mit holozänen alluvialen Anschwemmungen der Morava erfüllt ist. Im Nordosten setzen die Kalke auch einen Teil des einem Randbruch folgenden Abhanges des Drahaner Hügellandes zusammen und wie wir bei der geomorphologischen Kartierung und bei den Färbeversuchen festgestellt haben, reichen sie auch unter dem Alluvium der Morava noch weit gegen Osten und Nordosten in das Obere Marchbecken hinein. Im ganzen ist das Drahaner Hügelland eine Rumpffläche, die in einige große, gegen SO geneigte Schollen zerbrochen ist und in die vor- und nachtortonische Täler tief eingeschnitten sind. Diese sind zumeist asymmetrisch und folgen den tektonischen Rändern der Schollen (NW—SO, NO—SW). Die Täler durchschneiden auch die

Kalkgesteine, wo sie gewöhnlich ein cañonartiges Gepräge besitzen. Die Gerinne verschwinden allerdings teilweise oder ganz in den Talgründen.

In dem nordöstlichen Teil des Devonstreifens von Jesenec-Mladeč, im Drahaner Hügelland, unternahmen wir Färbeversuche in den bedeckten Ponoren nahe der Verbindung der Rachavka und Hrádečka zwischen den Dörfern Měrotín (Mierotein) und Mladeč (Lautsch) (Abb. 1). Die Experimentierstelle liegt in 225 m Höhe. Es zeigt sich, daß das in den Ponoren verschwundene Wasser beider Bäche den Kalkrücken von Třesín (335 m) unterirdisch durchfließt. Ein Teil davon kommt in Karstquellen zum Vorschein, die am Fuße der nördlichen Begrenzung des Oberen Marchbeckens und im Alluvium des hier engen und flachen Marchtales auftreten. Sie befinden sich in einer durchschnittlichen Höhe von 241 m. Sie wurden bis jetzt als Quellen des Niederschlagswassers aufgefaßt, welches von der Oberfläche in die Klüfte des Kalkrückens von Třesín gelangt [F. VITASEK, 1935 u. a.]. Die Ergiebigkeit nur einer von diesen Quellen ist aber größer als die theoretisch berechnete Durchflußmenge der beiden Bäche zusammen. Außerdem stellten wir durch unsere Färbeversuche fest, daß ein Teil des verschwundenen Wassers dieser Bäche nicht nur unterirdisch zu den genannten Karstquellen, sondern auch in anderer Richtung, gegen Osten, abfließt. Es erscheint wieder in zwei kleinen Teichen im unteren Niveau der Lautscher Höhlen in 239 m Höhe und bewegt sich noch weiter gegen Osten in das Tal der Morava fast bis zur Stadt Litovel (Littau) in 230 m.

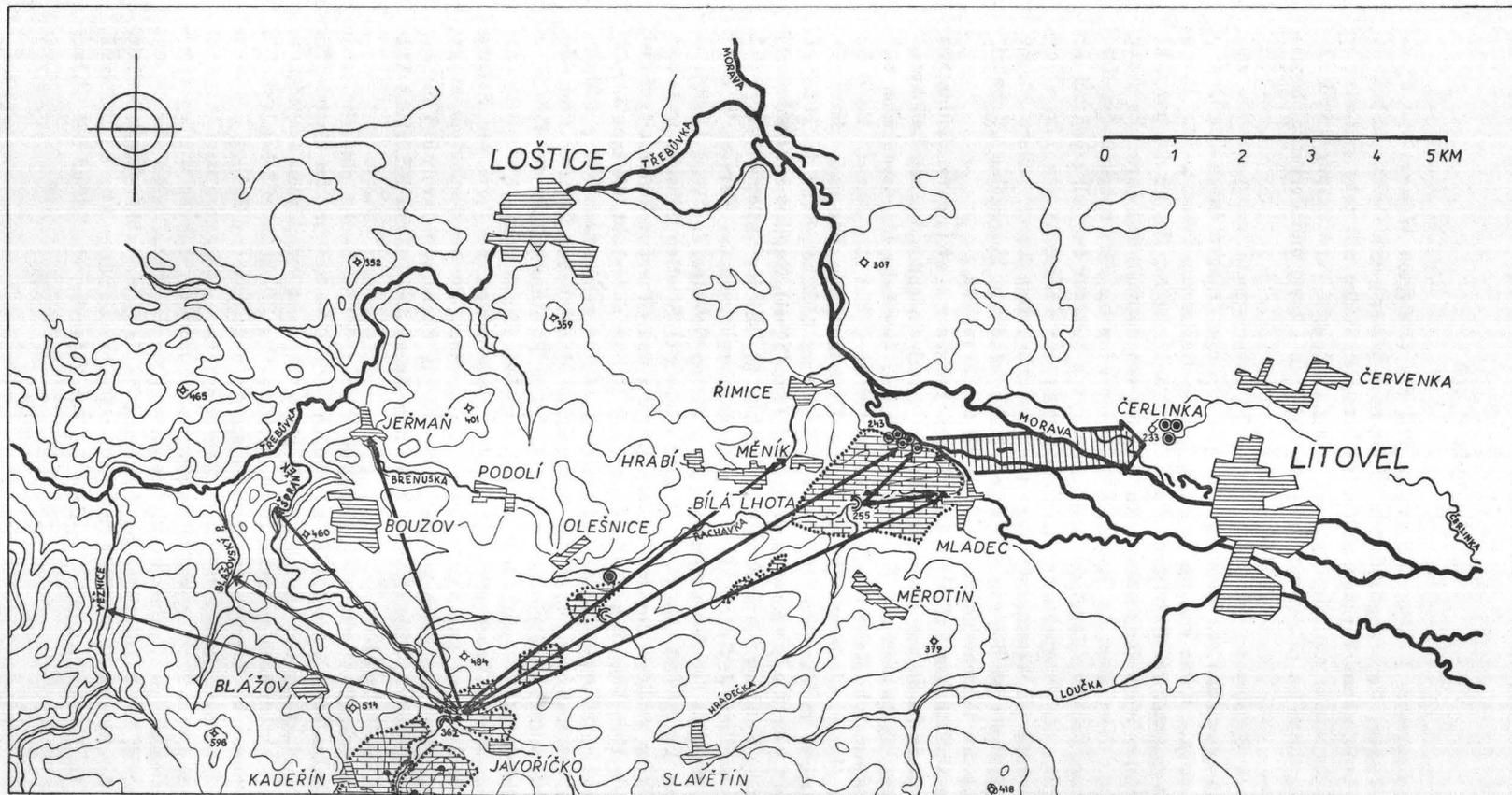
Die oben erwähnten, zunächst etwas undurchsichtigen, hydrogeologischen Verhältnisse wurden vollkommen geklärt durch die Färbeversuche im westlichen Teil des Gebietes, die in Karstschwinden der Verbindung der Bäche Špraněk und Javoříčka, rechte Zuflüsse der Třebůvka, durchgeführt wurden. Deren Wasser verschwindet am Boden eines tief eingeschnittenen Tales bei Javoříčko (352 m). Das Wiederauftauchen dieses Wassers war bis jetzt nicht bekannt und deshalb haben wir bei dem Experiment alle wichtigeren Quellen und Wasserläufe am nordöstlichen und nördlichen Rand des Drahaner Hügellandes und im Tal der Třebůvka kontrolliert. Das gefärbte Wasser erschien an manchen Stellen im Bett des Špraněkbaches, zwischen Javoříčko und Bouzov (Busau). Schwache Spuren der Detectionsstoffe zeigten sich im Bach von Blázov und in der Věžnice bei deren Mündung in die Třebůvka. Dabei handelte es sich wahrscheinlich um eine Migration des Karstwassers in die Spalten der umliegenden nichtkalkigen Gesteine. Ein anhaltendes Vorkommen von Farbstoffen stellten wir fest an der Mündung des Baches Břenuška in die Třebůvka im Dorfe Jeřmaň und im Fließchen Rachavka bei Pateřín. Eine sehr intensive Färbung trat im Bache Hrabůvka in Měník auf. Die stärkste Färbung aber war in den zwei mächtigsten Quellen am Fuße des Rückens von Třesín festzustellen. Schwache Spuren zeigten sich auch in den schon erwähnten Teichen

---

Abb. 1. Die unterirdischen Strömungsrichtungen des Karstwassers im nördlichen Teil des Drahaner Hügellandes und des Obermarchbeckens.

**Erläuterungen:**

- 1 — Die Kalksteine des Jesenetz-Lautscher Devonstreifens; 2 — Die unlöslichen Gesteine verschiedenen Alters; 3 — Die bedeutenderen oberflächlichen Wasserläufe; 4 — Die Karstwasserschwinden in den Tälern; 5 — Die bestätigten Karstquellen; 6 — Die starken unterirdischen Karstwasserströmungen; 7 — Die schwächeren unterirdischen Karstwasserströmungen; 8 — Die Richtung der unterirdischen, den oberflächlichen Marchlauf ungestört kreuzenden, gemeinsamen Karstwasserströmung im Obermarchbecken; 9 — Die Höhle; 10 — Die wichtigeren Höhenpunkte; 11 — Die größeren Siedlungen; 12 — Die 50 m Isohypsen der Landoberfläche.



A b b. 1. Erläuterungen siehe gegenüberliegende Seite.

in den Lautscher Höhlen. Der größte Teil des versiegten Wassers von Špraněk und Javoříčka bewegt sich von Třesín noch weiter gegen Osten und tritt in dem neuentdeckten Vorkommen der verkarsteten Kalke mit sehr gegliederter Oberfläche wieder auf, die unter der wenig mächtigen Verwitterungs- und Ablagerungsdecke im Gebiet von Čerlinka, zwischen Litovel und Červenka, begraben sind.

Nach Beendigung der beschriebenen Färbeversuche öffneten wir die verstopften Schwinden von Špraněk und Javoříčka und drangen durch dieselben in eine vertikale Höhle ein, die in einen großen Höhlendom mündet. Sein Boden liegt 48 m unter der Oberfläche des Alluviums. Es ist der Beginn der nunmehr horizontalen Wege des versiegenden Wassers von Špraněk und Javoříčka gegen Osten und Nordosten. Es ist auch der Beginn eines bis jetzt unbekanntes Höhlensystems zwischen Javoříčko und Lautsch, von dem nur ein Teil schon bei der Sprengung der Prospektionsstollen im Innern der Kalkmasse von Třesín entdeckt wurde [J. VODIČKA-O. PLEICHINGER, 1959]. Das ältere, höhere Niveau dieses Systems ist die von uns schon früher studierte Ponorhöhle „V habří“ oberhalb des Verschwindens von Špraněk und Javoříčka.

Im südöstlichen Teil des Reichensteiner Gebirges stellten wir eine weitere Reihe von Färbeversuchen in verschwindenden Bächen und unterirdischem Kastwasser an. Es handelt sich hier einerseits um devonische, teilweise metamorphe Kalke der Serie von Branná im Gebiet „Na Pomezí“ bei Dolní Lipová (Unter Lindenwiese) und in der Umgebung von Vápenná (Setzdorf), andererseits im Marmore der Serie von Rejvíz am östlichen Rand des Hügellandes von Žulová zwischen Písečná (Sandhübel), Supíkovice (Saubsdorf) und Velké Kunětice (Groß Kunzendorf) (Abb. 2). Mit der Geologie befaßte sich dort neuerdings J. SKÁCEL [1954], mit der Morphologie des Karstes V. KRÁL [1958] und mit der Geomorphologie des weiteren Gebietes V. PANOŠ [1960].

Das Karstgebiet „Na Pomezí“ wird durch vier Streifen teilweise metamorpher Kalke gebildet, die in Phyllite, Quarzite und Glimmerschiefer eingefaltet sind. Die Umgebung von Vápenná wird aus Kalken aufgebaut, die laut J. SKÁCEL [1954] eine Fortsetzung der Serie von Branná sind, welche nach NW geschleppt wurde. Die Kalke und auch die umliegenden nichtlöslichen Gesteine sind sehr stark von einem Spaltennetz durchsetzt, dessen Richtungen teils der Ramsauer Einschiebung (SW—NO), teils dem sudetischen Randbruche (NW—SO) entsprechen. Dieser Bruch schneidet die Gesteinsschichten der Serie von Branná zwischen Vápenná und Dolní Lipová und bedingt den morphologisch ausgeprägten Abfall des Reichensteiner Gebirges zur Ebene von Javorník-Vidnava; im südöstlichen Teil des Gebirges folgt dem Bruch das Tal des Fließchens Vidnavka (Weidenbach).

Der südöstl. Abschnitt des Reichensteiner Gebirges besitzt ein sehr reich gegliedertes Mittelgebirgsrelief mit Höhen von 800—1000 m. Im Sattel „Na Pomezí“ sinkt das Gebirge bis auf 575 m ab. Es weist verschieden ausgedehnte und verschieden hoch gelegene, meist streifenartige Einebnungsflächen auf. Die Verebnungen im Kammgebiet sind die nahezu unveränderten Relikte der alten Rumpfebene des Böhmisches Massivs. Über diese erheben sich noch kuppelförmige Gipfel und vom Frost geformte Felsburgen. Manche der Rücken wurden durch den periglazialen Zyklus in stufenartige Kryoplanationsflächen umgeformt [V. PANOŠ, 1960]. Die tiefer gelegenen und in die Gebirgsabhänge eingeschnittenen Verebnungen halten wir für Spülformen jungtertiären Alters [V. PANOŠ, 1961]. Im Nordosten greift das tiefe Tal der Vidnavka, ein Zufluß der Glatzer

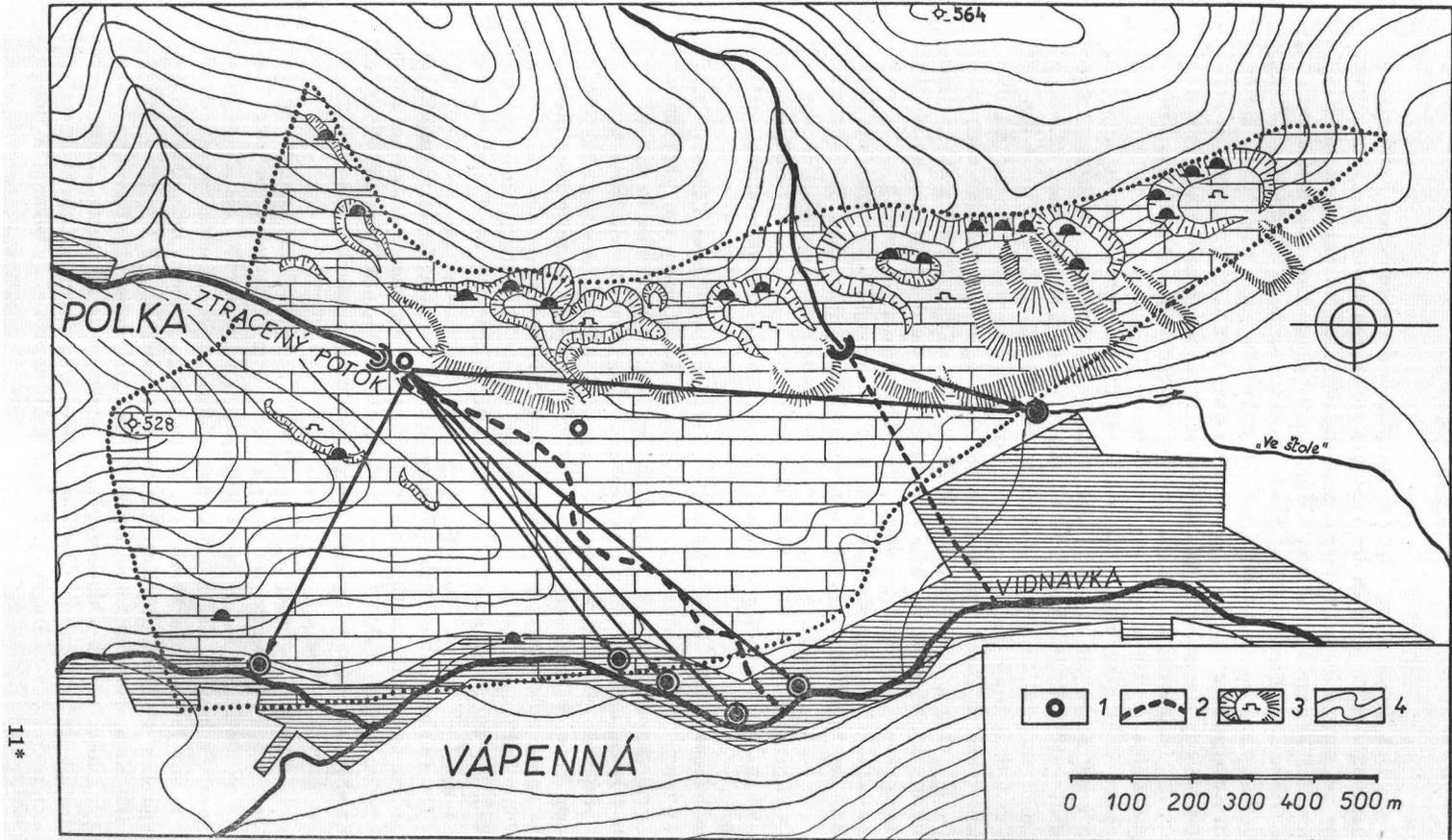


Abb. 2. Die unterirdischen Strömungsrichtungen des Karstwassers in der Umgebung von Vápenná im Reichensteiner Gebirge.

Erläuterungen:

- 1 — Die Suffusionsdolinen; 2 — Die zeitweise trockenen Täler; 3 — Die Kalksteinbrüche und Schutthalden; 4 — Die 10 m Isohypsen der Landoberfläche.  
 Übrige Zeichen siehe Abb. 1.

Neisse, ein. Das Vidnavkatal folgt der Hauptlinie des sudetischen Randbruches. Die Einebnungsflächen westlich der Vidnavka sind durch deren linke, konsequente Zuflüsse tief zerschnitten. Oft mächtige Hangschuttdecken sind stark von Kryoturbation, der Felsuntergrund von tiefgreifender Congelifraction betroffen.

Im Gebiet „Na Pomezí“ führten wir Färbeversuche im nördlichen Teil der touristisch eingerichteten Grotten, in der Schwinde eines namenlosen Baches auf dem Karstplateau vom Smrčník (586 m) aus; ferner in den bedeckten Ponoren eines anderen namenlosen Baches bei der Bahnstation „Na Pomezí“ und im Flußbett der Vidnavka, am Rande des Karstgebietes. Es zeigte sich, daß die Vidnavka selbst in der Umgebung der Grotten nicht versiegt. Das erforschte Karstwasser im Innern des Karstplateaus fließt von SO und O zu und tritt teils in einer bekannten starken Karstquelle (45—65 l/sec), die schon früher untersucht wurde [R. JIRKOVSKÝ, 1951], teils in einigen anderen noch unbekanntenen Quellen am Fuß des linken Talhanges der Vidnavka in der Höhe von 420 bis 425 m zutage. Die Ergiebigkeit dieser Quellen überschreitet vielfach die theoretisch berechneten Durchflußmengen der festgestellten verschwindenden Wasserläufe. Da entgegen bisherigen Annahmen [V. KRÁL, 1958] sich erwiesen hat, daß an der Zusammensetzung dieser Karstquellen die Vidnavka keinen Anteil hat, so handelt es sich bei diesen um Karstwasser, das durch Infiltration der Niederschläge von den Kalkplateaus und Einebnungsflächen sowie durch die Migration des Spaltenwassers aus den umliegenden unlöslichen Gesteinsschuppen in den Karst entstanden ist. Nach länger dauernden Regengüssen oder bei einem heftigen Tauen werden auch die zugänglich gemachten Grotten überschwemmt und es ist unmöglich, diese schädlichen Überschwemmungen zu verhindern.

Die Färbeversuche in den bedeckten Ponoren des Baches Ztracený potok (Polkenwasser) in der Umgebung von Polka, im Karstgebiet von Vápenná und in den umliegenden, immer neu entstehenden Suffosionsdolinen in der Niederterrasse zeigten, daß ein Teil des verschwindenden Wassers, wie schon V. KRÁL [1958] erwähnte, in vier Karstquellen bei 418—422 m, das sind 20—22 m unter dem Ponorengbiet, wieder erscheint, daß es aber außerdem noch in einer bis jetzt unbekanntenen starken Karstquelle am Südrand von Vápenná austritt. Der größte Teil kommt jedoch in der starken Quelle „Ve štole“ (50 l/sec.) zum Vorschein, die durch die Kalksteinbrüche in der Umgebung des Bahnhofes von Vápenná geöffnet wurde. Sie liegt bei 409 m. Hier entspringt aber auch das Wasser eines unbenannten Baches, der von Osten aus dem Gebiet nichtlöslicher Gesteine kommt und an der Grenze zum Kalk in undeutlichen Ponoren bei 438 m verschwindet. An den Abhängen des trockenen Teiles seines Tales unterhalb der Ponore sieht man mehrere Quellöffnungen, die nur bei starken Regengüssen in Tätigkeit gesetzt werden.

Das Karstgebiet zwischen Písečná, Supíkovice und Velké Kunětice in den Marmoren der Gesteinsserie von Rejvíz bildet eine niedrige eingeebnete Vorstufe des nordöstlichen Teiles des Reichensteiner Gebirges und des Hügellandes von Žulová. Es handelt sich um eine ausgedehnte fossile Karstebene, die durch Talungen und mittelgroße kegel- und turmförmige Formen mit allen Zeichen der tropischen Mogoten des Kegelkarstes gegliedert ist [T. CZUDEK-J. DEMEK, 1960]. Die Karstebene ist unter einer Moräne und unter glazifluvialen, wahrscheinlich saalezeitlichen Ablagerungen, die stellenweise zu harten Konglomeraten verfestigt sind, begraben. Über den Kalken und deren quartären Decke erheben sich noch isolierte Hügel (z. B. Špičák 516 m mit einer bekannten Höhle),

charakteristische Karstinselberge des tropischen oder subtropischen Karsttyps [V. PANOŠ, 1959]. Da sie über die glaziale Decke auch zur Zeit von deren Ablagerung emporragten, wurden sie stark durch das periglaziale Klima modelliert. Die begrabenen Mogoten dagegen erhielten sich in der ursprünglichen Form, auch mit den Relikten einer hellroten, tonig-kaolinischen Verwitterung. Wie wir schon früher erwähnt haben [V. PANOŠ, 1959], handelt es sich um einen fossilen Karst von nicht genau bestimmbarcm Alter, der jedoch wahrscheinlich im oberen Miozän und unteren Pliozän korrosiv gebildet wurde. Die Fläche der saalezeitlichen Sedimente, die das Karstrelief bedecken, ist von jungpleistozänen und postglazialen Tälern des Saubsdorfer Baches und dessen Zuflüsse durchfurcht. Im Süden ist das Gebiet durch den linken konkaven Hang des tiefen Tales der Bělá (Biela) begrenzt. Ein Teil dieses ehemals periglazialen Tales wurde bei Písečná durch eine Moräne verschüttet, die von der Bělá nicht wieder ausgeräumt wurde. Der Fluß fließt deshalb zwischen Písečná und Široký Brod (Breitenfurth) in einem engen, in kristallinen Schuppen [G. GÖTZINGER, 1932] eingetieften Tal.

Die Färbeversuche in diesem Gebiet machten wir teils im anscheinend stagnierenden Karstwasser, das das untere Niveau der Saubsdorfer Höhle im Hügel Špičák ausfüllt, teils im Wasser, das die Böden einiger Steinmetzgruben in der Umgebung von Supíkovice und Velké Kunětice überschwemmt. In der Höhle liegt die Oberfläche des Karstwassers in etwa 438 m. Schon im Jahre 1952 stellten wir durch Pumpen fest, daß dieses Wasser identisch ist mit jenem, das den Boden des alten Steinbruches bei der Schutzhütte „Na špičáku“ bedeckt. Es handelt sich im Gegensatz zur Ansicht von V. KRÁL [1958] um eine zusammenhängende Karstwassermasse, deren Oberfläche entweder das untere Höhlenniveau, oder den Boden des Steinbruches durchschneidet. Die Färbeversuche bewiesen, daß das Karstwasser aus dem Gebiet von Špičák ziemlich schnell nach Nordwesten in das Gebiet des Saubsdorfer Baches fließt. Eine weniger intensive Bewegung erfolgt auch gegen Südwesten zum Tal der Bělá. Das Karstwasser fließt ungefähr in der Tiefe von 30—40 m unter der Oberfläche, es erscheint auf dem Boden eines in Betrieb befindlichen Steinbruches mit ausgegrabenen Mogotformen und fließt wieder unterirdisch gegen Norden in das Gebiet von Velké Kunětice ab. Dort entdeckten wir noch einen höheren Horizont des Karstwassers, der von höher liegenden Steinbruchteichen und von den Schwinden einiger Bäche genährt wird, die von Westen oder Südosten aus undurchlässigen Gesteinen in das Gebiet von Supíkovice fließen. Die jungen ursprünglich durchaus in glazifluvialcm Material angelegten Täler sind dort, wo sie in die liegenden Kalke einschneiden, oft trocken. Der erwähnte höhere Horizont des unterirdischen Karstwassers zeigt sich in manchen Brunnen von Supíkovice, durchschnittlich in der Tiefe von 8—12 m unter der Oberfläche. Der Saubsdorfer Bach wird hauptsächlich durch dieses Wasser genährt.

Das Gebiet des hydrothermalen Karstes bei Hranice na Moravě (Mähr. Weißkirchen) wird aus devonischen Kalken und Kalkbrekzien aufgebaut, die in undurchlässige unterkarbonische Rundkiesel, Schiefer und Grauwacken übergehen. Sie sind stark gefaltet und zerbrochen. Mit der Geologie beschäftigten sich hier neuerlich J. SVOBODA-F. PRANTL-I. CHLUPÁČ-J. DVORÁK-V. ZUKALOVÁ [1955—1956] und A. MATĚJKA-Z. ROTH-F. CHMELÍK [1957] u. a. Mit der Gomorphologie beschäftigte sich hauptsächlich J. KUNSKÝ [1957]. Seit einigen Jahren studierten wir die speleologischen und karsthydrographischen Verhältnisse [V. PANOŠ, 1953, 1955]. Die Schlüsse über die Hydro-

graphie dieses Karstgebietes wurden nicht nur aus eigenen Beobachtungen gewonnen, sondern sie wurden durch die exakten Resultate der hydrogeologischen und balneologischen Forschungen von O. HYNIE [1951] und O. HYNIE-O. KODYM [1936] sowie durch die Resultate der baueologischen Prospektionen von V. ROUSEK-J. VRBA [1960] ermöglicht, obwohl die Interpretation der Beobachtungen durch die erwähnten Verfasser von unserer Erklärung sehr verschieden ist.

Das Relief dieses Karstgebietes hat eine besonders abwechslungsreiche und komplizierte Entwicklung durchgemacht, die durch seine Lage in der unmittelbaren Berührungszone der Böhmisches Masse mit den Westkarpaten bestimmt ist. Dies bezeugen z. B. oligozäne Mergel, Schiefer oder grobkörnige Sandsteine, die im mittleren Tertiär mit dem karpatischen Flysch verfalzt wurden. Die Überschiebung der karpatischen Faltingsdecken auf die Gesteine der Böhmisches Masse verursachte zahlreiche Störungen sowie die Wiederbelebung der variszischen Querbrüche, zu denen später thermominerale Wässer auftraten. Auf mesozoischen und den paläogenen Schichten liegen noch unter-tortonische kalkige Sandsteine, Mergel, klumpenartige Kalksteingerölle und bunte Brandungsschotter. Schon früher referierten wir, daß die tertiären Ablagerungen das vortortonische, durch die exogenen und auch endogenen Kräfte schon gegliederte Karstrelief überdecken. Seine Formen wurden später exhumiert und von neuem durch fluviatile Schotter, Löß, Hanglehm und Schutt bedeckt. Der Cañon des Flusses Bečva wird durch quartäre Sande und Schotter (meistens aus Flyschgesteinen) stellenweise bis zu einer Mächtigkeit von über 20 m ausgefüllt. Im Untergrund liegen noch hellrote Lehme, die für Terra rossa gehalten werden. Die Kalke treten im Oberflächenrelief nicht sehr hervor.

Auch in diesem Karstgebiet werden in großen Steinbrüchen typische, gut erhaltene Formen des tropischen Kegelkarstes und begrabener Talungen enthüllt. Die riesigen Karstorgeln und die wenigen, aber ziemlich großen Dolinen sind durch rote, lehmig-kaolinische Ablagerungen ausgefüllt. Sehr merkwürdige Erscheinungen sind komplizierte Höhlensysteme mit umgelagerten miozänen Sedimenten und den Produkten der hydrothermalen Sedimentation. Es gibt hier auch eine 112 m tiefe, 35 m hoch mit Wasser erfüllte Kluft, in welcher Exhalationen warmer Kohlensäure feststellbar sind. Auch andere Erscheinungen, wie Korrosionsrinnen und Höhlungen an den Wänden offener Spalten, hydrothermal zersetzte Zonen an Kalken wie auch an Schiefen in roter oder gelber Lehmmasse, bezeugen den Eingriff hydrothermalen Prozesse.

Die Resultate der bau- und hydrogeologischen Bohrungen im Karstgebiet von Hranice, wie sie schon in einem anderen Zusammenhang und für andere Zwecke von O. HYNIE [1951] und besonders von V. ROUSEK-J. VRBA [1960] angeführt wurden, sind, abgesehen von den unmittelbaren Beobachtungstatsachen, ungewöhnlich wertvoll für Schlußfolgerungen über die Gesetze der Hydrographie des Karstwassers im hydrothermalen Karst überhaupt. Im Karst von Hranice na Moravě wurde festgestellt, daß Höhlungen den Kalk bis zu Tiefen über 100 m durchdringen. Manche sind bis zu 15 m hoch, frei, mit Wasser überschwemmt oder mit Schotter gefüllt und zwar auch sehr tief unter dem Flußbett. Sie werden durch ein System von karsthydrographisch erweiterten Klüften, in welchen die kalten karst- und thermomineralen Gewässer zirkulieren, verbunden. Durch das Studium des Wassers am Boden der Spalten, im System der Kavernen und Höhlen, auch im Flußbett der Bečva, sowie durch die Messungen beim Pumpen bei den Bohrungen wurde der vollkommene Zusammenhang der

Karsthöhlen und der hydraulische Zusammenhang der Oberfläche des Karstwassers erwiesen. Die Proben der hydrogeologischen Bohrungen stellten sogar die Strömungsrichtungen des Karstwassers fest. Die Intensität der thermomineralen Sprudel im Bett der Bečva ist vom Wasserstand des Flusses und des Grundwassers in den Flußablagerungen beeinflusst. Das thermominerale Wasser bildet sich noch in den Kalken. Die Stellen seines Auftretens liegen an den Schnittpunkten der Brüche und Störungen (NW—SO, NNO—SSW). Das Sprudelgebiet ist aber so dicht zerklüftet und die Durchlässigkeit der Kalke sowie auch der unlöslichen Gesteine ist so hoch, daß das Wasser eigentlich wie ein zusammenhängender Körper die Gesteinsmasse durchsetzt. Meistens ist es eine Verbindung von vadosem und thermomineralem Wasser. Es gibt aber auch Zonen mit reinem, d. h. nicht hydrothermale Karstwasser. V. ROUSEK—J. VRBA [1960], wie auch die älteren Forscher halten den hydrothermalen Prozeß, der von unten nach oben vorrückt, für den einzigen Faktor der Verkarstung der Kalkmasse von Hranice. J. KUNSKÝ [1957] dagegen ist überzeugt, daß noch vor der untertortonischen Transgression der normale, d. h. nicht hydrothermale Karstprozeß begonnen hat, der auch nach der Meeresregression fortschritt. Durch eigene Forschungen haben wir im Karstgebiet von Hranice festgestellt, daß die Höhlen bestimmt nicht hydrothermalen Ursprungs sind. Die „Eruptionen“ des heißen Sauerwassers und die Exhalationen von Kohlensäure, die sich noch jetzt in einigen sackartigen Höhlen sammelt, haben laut J. KUNSKÝ [1957] nach dem Sarmat, laut J. JAHN [1924] in der postvulkanischen Periode des jüngeren Pleistozäns begonnen. Wie wir noch weiter ausführen werden, ist es möglich, die Genesis der Höhlensysteme in diesem hydrothermalen Karst noch auf andere Art zu erklären.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen der Beziehungen und der Gesetzmäßigkeiten der Karsthydrographie der kleinen nordmährischen und schlesischen Karstgebiete verglichen wir mit den Verhältnissen der Hydrographie des Karstwassers mancher großer Karstgebiete, die wir während unserer eigenen Forschungen (Mährischer und Slowakischer Karst, der hydrothermale Karst des Budaer Gebirges in der Umgebung von Budapest) oder in den veröffentlichten Arbeiten anderer Autoren kennengelernt haben. Es ist interessant, daß die Verhältnisse der Karsthydrographie in den von uns erforschten kleinen Gebieten am östlichen Rand der alten zerbrochenen Peneplain der Böhmisches Masse in mancher Hinsicht jenen Verhältnissen der großen, hoch gehobenen Gebiete des Hochgebirgskarstes in den österreichischen Alpen sehr ähnlich sind, wie sie etwa von J. ZÖTL [1957, 1958] beschrieben wurden. Alle von uns untersuchten Karstgebiete in Nordmähren und Schlesien entwickelten sich im großen und ganzen unter den gleichen geomorphologischen und klimatischen Bedingungen, die sich sicher außerordentlich von jenen des alpinen Karstes unterschieden. In Nordmähren und Schlesien liegen die kleinen Karstgebiete überall in ziemlich mächtigen Kalkkomplexen; derjenige von Hranice ist sogar mehr als 1000 m mächtig — und sein Liegendes ist nicht bekannt. Auf Grund der übereinstimmenden Basis ist es möglich für die Hydrographie der genannten, von unlöslichen Gesteinen umgebenen Karstgebiete folgende Hauptschlüsse zu deduzieren:

1. Das Karstwasser dieser Gebiete wird ernährt hauptsächlich von allochthonen Wasserläufen, deren Täler die Karstgesteine queren. Die von der Oberfläche in den Karst direkt eindringenden Niederschläge liefern nur den kleineren Teil des Karstwassers. An diesem hat wieder das Kluftwasser aus der aus unlöslichen Gesteinen aufgebauten Umgebung den Hauptanteil sowie das

Grundwasser, welches durch die Verwitterungsdecke des nichtkalkigen Reliefs in den Karst fließt. Dadurch vergrößert sich das Ernährungsgebiet des Karstwassers bedeutend und erhöht sich die Durchflußmenge der Karstquellen. Andererseits ist es notwendig, bei der Aufblähung der Karstwassermasse mit einem Rückwandern in die Klüfte der unlöslichen Gesteine zu rechnen.

2. Die Durchlässigkeit der Karst- und unlöslichen Gesteine ist in allen beschriebenen Gebieten unter dem Einfluß der intensiven Tektonik und dem dadurch bedingten Reichtum an Klüften bedeutend. Nicht alle Kalkmassen müssen jedoch bis an die Basis, dem undurchlässigen Untergrund gleich klüftreich bzw. durchlässig sein. Einige Kalkschollen werden durch das Karstwasser bis in unbekannte Tiefen erfüllt, bei anderen nimmt die Durchlässigkeit sehr wahrscheinlich von der Oberfläche in die Tiefe und auch vom Rand in das Zentrum des Massivs ab. Auf dieselbe Weise nimmt auch ihre Verkarstung ab. Die Durchlässigkeit des Kluftnetzes der eigentlichen Karsträger hängt nicht nur von deren Tektonik ab, sondern von der ganzen geomorphologischen Entwicklung der weiteren Umgebung und kann sich deshalb in Zeit und Raum sehr ändern. Die Vernachlässigung dieser Tatsache ist unserer Meinung nach eine der Ursachen, die zur Entstehung von unversöhnlichen Ansichten über die Fragen der Karsthydrographie führten.

3. Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Oberfläche des Grundwassers in nichtkalkigen Gesteinen im großen und ganzen den Formen des Reliefs folgt. Die Oberfläche des Karstwassers ist hingegen fast horizontal bzw. hat nur ein geringes Gefälle. Trotzdem ist es notwendig mit bestimmten Abweichungen zu rechnen. Ein großer Teil unserer Färbeversuche und Beobachtungen bewies eine ziemlich kleine Filtrationsfähigkeit der untersuchten Karstgesteine. Es ergab sich eine Polyfurkation des Karstwassers von den Schwinden bzw. Ponoren zu mehreren Karstquellen. Es handelt sich um fächerartige, ziemlich verwickelte Bewegungen des Karstwassers, die von einem Scheitelpunkt ausgehen, der an der Stelle liegt, wo das oberflächliche Wasser in das Innere des Karstes eindringt. Diese Bewegung vollzieht sich in mehreren Adern, von denen die äußeren stumpfe Winkel einschließen. In der Karstwassermasse existiert also ein zentrifugal-radiales Gefälle der Oberfläche, was auch durch die Experimente von J. ZÖTL [1958, 1959] erwiesen wurde. Daraus ergibt sich, daß alle Klüfte in den Karstgesteinen, wenn sie einmal gebildet sind, verschieden schnell durch die Wirkung des Karstprozesses vollkommen zusammenhängend werden. Das Wasser, das sie erfüllt, bildet einen unregelmäßigen, hydraulisch verbundenen Körper.

4. Durch das System von Klüften, Spalten, Kanälen und aus diesen entstandenen Höhlen bewegt sich das Wasser in einer bestimmten Zone zum Rande des betreffenden Karstgesteines. Die „Entwässerung“ konzentriert sich sehr schnell in bestimmten Linien, deren Richtungen durch die geologisch-tektonische und morphologische Situation des Gebietes bestimmt sind. So entstehen die Höhlenflüsse. Die allgemeine Zirkulation des Karstwassers vollzieht sich jedoch nicht nur mittels der Höhlenflüsse, die sonst isoliert und ganz selbständig würden, sondern auch mittels des zusammenhängenden, hydraulisch verbundenen Karstwasserkörpers.

5. Die Bewegung des Karstwassers zielt zu den Tälern der oberflächlichen Wasserläufe, zu den tektonischen oder erosiven Depressionen des oberflächlichen Reliefs, soweit deren Boden das Karstwasserniveau überschneidet. Die schwächeren Höhlenflüsse fließen aber auch zu den mächtigeren unterirdischen

Karstwasserströmen ab. Entweder bewegt sich die ganze Karstwassermasse oder nur eine bestimmte obere Zone. Die Mächtigkeit dieser sich bewegenden Zone ist durch die Lage und Wirksamkeit des Erosionsniveaus des betreffenden Karstgebietes gegeben. Unter dem Begriff „Erosionsniveau“ verstehen wir nicht nur einen geometrischen Punkt, Linie oder Fläche, sondern eine Zone von bestimmten Dimensionen, in welcher das Karstwasser an der tiefsten Stelle das Karstgebiet verlassen kann. Als Erosionsniveau des gesamten aus löslichen und unlöslichen Gesteinen aufgebauten Gebietes können auch diejenigen Stellen dienen, wo die tektonisch prädisponierten Abflußwege der tiefen Spaltenzirkulation in den Kalken in der nichtkalkigen Umgebung enden. Mit der Existenz von solchen Abflußwegen des Karstwassers, den sog. Urhohlräumen [O. LEHMANN, 1932], muß man in den tektonisch stark bearbeiteten nordmährischen und schlesischen Karstgebieten rechnen.

6. Die Bewegung des Karstwassers verwirklicht sich am besten in der vom Erosionsniveau abhängenden Zone bestimmter Mächtigkeit an der Oberfläche des Wasserkörpers. In dieser Zone existieren ausgezeichnete Bedingungen für die Abführung der gelösten Stoffe in gesättigtem Wasser; dadurch sind auch ideale Möglichkeiten für die Höhlenbildung gegeben. Diese ist jedoch auch nicht ganz in der Zone der Sifonzirkulation [D. V. RYŽIKOV, 1954] auszuschließen. Jedenfalls ist es aber sicher, daß im Bereich stagnierender Gewässer sich Höhlen nur sehr schwach bilden können. Typisch horizontal verlaufende Höhlenräume bilden sich nur in der Zone der sich bewegenden unterirdischen Karstgewässer, die vom Erosionsniveau abhängig sind. Die Richtung von deren Bewegung ist freilich tektonisch vorgegeben, was in den kleinen Karstgebieten Mährens und Schlesiens besonders klar zu sehen ist. Die verschwundenen oberflächlichen Wasserläufe setzen sich im Untergrund meistens in ausdrucksvoll entwickelten Höhlenflüssen fort, die aber auch noch vom Körper des allgemeinen Karstwassers ernährt werden.

Wenn wir über die stagnierenden und sich bewegenden Zonen des Karstwassers sprechen, müssen wir unsere Ansichten über diese Unterscheidung näher erklären. Am nordöstlichen Rand des Devonstreifens von Jesenec-Mladeč (Jesenetz-Lautsch) liegen die Höhlen unter dem derzeitigen Niveau des Karstwassers und unter dem Alluvium der March. Dasselbe wurde im Karstgebiet von Hranice bestätigt. Diese Höhlen können sich nach dem oben Gesagten nicht unter der heutigen Karstwasseroberfläche entwickelt haben, sondern sind reinundierte Räume eines älteren Höhlensystems, die in Abhängigkeit von einem früheren Erosionsniveau geformt wurden. Ein solches Erosionsniveau stellte der Felsuntergrund des March- resp. Bečvatales dar, welche Täler jetzt bis zu einer bestimmten Höhe von wasserdichten neogenen (oder auch paläogenen) Ablagerungen erfüllt sind. Das Karstwasser kann aus den angrenzenden Kalkgebieten nicht abfließen und seine Oberfläche steigt. Nur seine obere Zone bewegt sich in Abhängigkeit vom neuen Erosionsniveau, das durch die Oberfläche der undurchlässigen und unlöslichen Füllungen gebildet wird. Im Karstgebiet von Hranice können wir sogar die fossile Karstentwässerung rekonstruieren, deren Erosionsniveau von dem jetzigen sehr verschieden war. Ähnlich kann man auch die Existenz zweier Horizonte des Karstwassers im Marmorgebiet von Supikovice erklären. Dort kam es zum Verstopfen der fossilen Abflußsysteme, die in Depressionen gerichtet waren, entweder durch wenig durchlässige Ablagerungen, die vor dem Rand des kontinentalen Eises entstanden sind, oder durch vollkommen undurchlässige fossile kaolinische Verwitterungs-

schichten. Der obere Horizont des Karstwassers existiert aber nur in einem begrenzten Raum und er verbindet sich ziemlich bald mit dem ganzen Zirkulationssystem des Gebietes.

In diesem Zusammenhang ist es möglich, auf die Existenz von Karstquellen unter dem Meeres- oder unter einem Seespiegel hinzuweisen. Die Abflußwege bildeten sich ursprünglich abhängig von einem älteren tieferen Erosionsniveau. Nach Hebung des Meeresspiegels oder Steigen eines Seespiegels übernahm die Funktion des Erosionsniveaus die neue Gleichgewichtszone des hydrostatischen Druckes des Meeres- oder Seewassers und der zufließenden Karstwassermasse. Es handelt sich also um einen speziellen Fall „der Fossilisation“ des ursprünglichen Erosionsniveaus. Bei der Erklärung solcher Probleme kann man unserer Meinung nach den Einfluß des Erosionsniveaus auf die Entwässerung und Entwicklung eines Karstgebietes nicht ablehnen; man muß dann auch eine Klüftung der Kalkmassive bis zu unbekannter Tiefe voraussetzen, wie dies z. B. von J. ROGLIČ [1960] vertreten wird.

7. In den untersuchten Gebieten sind fluviatile Erosion und Verkarstung gleichzeitig wirksam. Dies ist schon aus dem Verlauf der Täler oberflächlicher Wasserläufe aus unlöslichen in lösliche Gesteine zu erschließen. In den Bereichen der Kalke sind die Täler allerdings eng und steilhangig, was jedoch dem petrographischen Charakter der Kalkgesteine entspricht. Wir finden in diesen Tälern auch die „zyklischen Formen“, d. h. die zeitlich differenzierten Tätigkeitspuren der vertikalen, lateralen und rückschreitenden Erosion. Anzeichen mechanischer Erosion kann man auch in den Höhlen feststellen, die die unmittelbare Fortsetzung oberflächlicher Täler darstellen. Mechanische Erosions- und chemische Lösungsvorgänge sind also zwei gleichzeitig verlaufende morphogenetische Prozesse, wenigstens in kleinen Karstgebieten. Allerdings halten sie sich in ihren Wirkungen nicht immer das Gleichgewicht. Aus der Existenz von Karstquellen über den Talböden oberflächlicher Gerinne oder, umgekehrt, aus der Existenz von Höhlensystemen unter Talsohlen folgt, daß das Verhältnis zwischen chemischen und mechanischen Prozessen in den einzelnen Karstgebieten verschieden ist. Die Ursachen dafür kann man im Wechsel der geologischen (tektonischen), geomorphologischen, oder auch der klimatischen Voraussetzungen suchen. Auch im Karst ist oder war fluviatile Erosion wirksam, wenn auch nur während bestimmter Klimaperioden. Jedenfalls kann dieser Faktor als formbildender Vorgang auch für den Karst nicht ausgeschlossen werden, wie dies gelegentlich von manchen Klimageomorphologen geschieht [z. B. J. ROGLIČ, 1956, 1960].

8. Aus unseren Erkenntnissen folgt, daß es im Prinzip möglich ist, die Höhlenniveaus mit den Erosionsniveaus der oberflächlichen Wasserläufe sowie auch mit den Formen der geomorphologischen Zyklen zu parallelisieren. In Wirklichkeit ist aber eine solche Parallelisierung sehr schwierig. Gerade in kleinen Karstgebieten, inmitten unlöslicher Gesteinskomplexe, ist es notwendig, mit oberen und unteren Erosionsniveaus zu rechnen, die die gleichzeitige Entwicklung von Oberflächen- und Höhlenniveaus oft in beachtungswert verschiedenen relativen Höhen verursachen. So ist z. B. die Oberfläche des jetzigen Alluviums des Tales Špraněk bei Javoříčko ein syngenetisches Niveau mit dem neu entdeckten Höhlensystem von Javoříčko-Mladeč, obwohl sie voneinander vertikal 50 m entfernt sind. Der Fall wird noch dadurch kompliziert, daß die Entwicklung des Tales von Špraněk an jene des Tales der Třebůvka gebunden ist, während das Erosionsniveau des Höhlensystems der Boden des Marchtales bei

Třesín darstellt. Doch handelt es sich um gleichzeitig wirkende und sich zusammen entwickelnde Niveaus. Wenn wir bedenken, daß ähnliche Verhältnisse auch in der geologischen Vergangenheit bestanden haben können, muß man an die Parallelisierung von Höhlenniveaus mit Terrassen mit einer gewissen Reserve herantreten. Gerade in den untersuchten Karstgebieten am östlichen Rand der Böhmisches Masse besteht außerdem die Möglichkeit, daß das jetzt wirkende Erosionsniveau eigentlich ein durch Hebungen neuerlich in Funktion gesetztes fossiles Erosionsniveau ist und weiter, daß die Höhlensysteme zur Zeit ihrer Bildung zu einem ganz anderen Entwässerungssystem als zu dem jetzigen gehörten. Um richtige Resultate zu erzielen, ist eine sorgfältige Erforschung der Niveaus notwendig sowie eine vollkommene Klärung des Anfanges und des Endes eines Höhlensystems. Weiter muß man eine allseitige Klassifikation des Höhlenniveaus überhaupt und eine richtige Analyse der geomorphologischen Entwicklung des weiteren Gebietes durchführen. Die Deutung der Höhlenablagerungen kann manchmal zu falschen Schlüssen führen, da dort, wo große Unterschiede zwischen der oberen und unteren Erosionsbasis bestehen, es oft zu vorübergehender Reaktivierung der Höhle kommt, wobei die ältere Höhlenfüllung ganz beseitigt werden kann. Dazu kommt noch die Möglichkeit der Redeponierung der Höhlensedimente oder die Ablagerung von verschwemmten Teilen einer oberflächlichen Verwitterungsdecke, die in die Depressionen und Kamine des Karstreliefs versenkt ist usw. Man muß bedenken, daß auch zwischen den Karstgerinnen, die zu verschiedenen Erosionsniveaus streben, ein beständiger Kampf um die Wasserscheide besteht, wobei sich ja die geographischen und hydrologischen Wasserscheiden nicht decken. Dies bezeugen zahlreiche unterirdische Anzapfungen, die gerade in den untersuchten kleinen Karstgebieten festgestellt werden konnten. Im Falle des tiefen Karstes sind die Verhältnisse immer sehr kompliziert. Obwohl wir die Entwicklung der von uns erforschten Höhlen in der Hauptsache während der Periode Oberpliozän-Pleistozän annehmen, können wir sie allgemein noch nicht mit den oberpliozän-pleistozänen Terrassen der Wasserläufe parallelisieren.

9. In der Literatur wurde bisher nur geringe Aufmerksamkeit den allgemeinen Fragen der Hydrographie der unterirdischen Gewässer im thermalen Karst gewidmet. Aus den Beobachtungen und Resultaten der hydrogeologischen Erforschung des Karstgebietes von Hranice ergeben sich folgende Haupt-schlüsse:

Bisher wurde allgemein angenommen, daß sich im thermalen Karst die Karsterscheinungen in umgekehrter Weise als im normalen (d. i. nicht hydrothermalen) Karstzyklus entwickeln und dies nur durch die Tätigkeit der auftretenden warmen Sauerwässer und durch die Exhalation der Juvenilgase. Man nahm an, daß der Karstprozeß in einem ganzen Kalkmassiv bis in die Tiefe, in welcher sich das thermominerale Wasser bildet, oder bis an den undurchlässigen und unlöslichen Untergrund des Karstes weiterschreitet (z. B. V. ROUSEK-J. VRBA, 1960].

Ein durch einen hydrothermalen Prozeß ergriffenes Kalkmassiv ist vor allem ein Komplex von löslichen und klüftigen Gesteinen und deshalb müssen in ihm notwendigerweise zwar ein wenig veränderte, aber in den Hauptumrissern ähnliche Verhältnisse der Karsthydrographie bestehen, wie sie schon früher beschrieben wurden. Vor allem existiert eine Masse kalten Karstwassers mit einer Zone sinkender vertikaler und einer Zone horizontaler Zirkulation, abhängig

von der Erosionsbasis des Gebietes. Außer durch die Ergebnisse, die bei den hydrogeologischen Bohrungen und durch Beobachtungen des hydraulischen Spiegels des Karstwassers erzielt wurden, wird das Bestehen der Karstwassermasse auch durch den fast horizontalen Lauf einiger Höhlensysteme erwiesen.

Neben der geschilderten Karstwassermasse gibt es im thermalen Karst noch das thermominerale Wasser mit einer sehr ausgeprägten Zone der vertikalen Auftriebszirkulation. Zwischen beiden Wasserkörpern bestehen komplizierte und bisher wenig bekannte Beziehungen. Aus den hydrogeologischen Forschungen geht hervor, daß der Körper des kalten Karstwassers mit einem bestimmten hydrostatischen Druck auf die mit typisch turbulenter Bewegung auftretende thermominerale Wassermasse wirkt. Bei der Berührung mit dem „hängenden“ kalten Karstwasser wird die Bewegung des thermomineralen Wassers nicht sofort unterbrochen, so daß thermales Wasser durch das kalte Karstwasser dringt und dieses erwärmt und mineralisiert. Dadurch verändern sich dessen physikalische und chemische Eigenschaften. Andererseits sinkt das kalte Karstwasser, das hauptsächlich durch das Wasser der oberflächlichen Gerinne (Bečva) genährt wird, als vadoses Wasser in die Tiefe, deren Ausmaß durch verschiedene Faktoren bestimmt wird. V. ROUSEK-J. VRBA [1960] behaupten, daß einer von diesen Faktoren der Überdruck der aufsteigenden juvenilen Gasmischungen sein kann, welche das vadoso Wasser erwärmen und dessen aufsteigende Bewegung verursachen.

Gewiß können im hydrothermalen Karst isolierte oder untereinander verbundene Kavernen in verschiedener Tiefe in der Zone der vertikalen Aufwärtsbewegung des thermomineralen Wassers, die der Zone der Siphonzirkulation des kalten Karstwassers gleicht, entstehen. Die horizontalen Höhlen entwickeln sich aber nur in der Zone der horizontalen Zirkulation im Niveau der oberen Zone des kalten Karstwassers oder der Mischung der beiden Wassertypen abhängig von der Erosionsbasis und zwar ohne Rücksicht auf die Zusammensetzung dieser Mischung. Bisher erklärte man die Entwicklung ausgeprägter Höhlenniveaus im hydrothermalen Karst entweder durch die Wirkung des thermomineralen Wassers allein, ohne Beziehungen zu einer Erosionsbasis, oder dadurch, daß solche Höhlen durch die Wirkung der kalten Höhlenwasserläufe noch vor dem Eintritt des hydrothermalen Prozesses, der die Höhlen dann mehr oder weniger umformte, entstanden sind [J. KUNSKÝ, 1957].

Im Falle des Karstgebietes von Hranice ist die Deutung von J. KUNSKÝ richtig. Man kann aber nicht die Anwesenheit des echten (kalten) Karstwassers auch im hydrothermalen Karst leugnen, das sich sammelt und in sonderbarer Weise über der thermomineralen Wassermasse, sei diese juvenil oder vados, zirkuliert. Es ist deshalb möglich, die Bildung horizontaler Höhlensysteme im hydrothermalen Karst durch die gleichzeitige Wirkung der beiden Wassertypen in der Mischzone zu erklären. Die Mischung erfolgt in der Zone der horizontalen Zirkulation und unter ihr. Zuzufolge des Kohlensäuregehaltes und der höheren Temperatur besitzt das Mischwasser eine größere Lösungsfähigkeit und verbreitert bzw. modelliert seine unterirdischen Wege bestimmt sehr intensiv, aber doch in Abhängigkeit von einem Erosionsniveau. Bei intensiverem Aufsteigen thermomineraler Wässer können diese in der Mischzone vorübergehend überwiegen und auch in jene Teile des Karstmassivs eingreifen, die über der Zone der horizontalen Zirkulation liegen, wobei dort längs Dislokations- oder Schichtfugen die meistens vertikal verlaufenden Höhlen rein hydrothermalen Ursprungs entstehen können. Es handelt sich dabei aber um relativ kurze Perioden, die in

die langen Zeiträume des ständig wirkenden kalten und thermomineralen Karstwassers in der Zone der horizontalen Zirkulation eingeschaltet sind. Mit einem Absinken des Erosionsniveaus sinkt auch die obere Grenze, bis zu welcher thermominerales Wasser auftritt und wirkt, ab. Die obere Grenze der hydrothermalen Prozesse wird im großen und ganzen durch die Lage des Erosionsniveaus des betreffenden Karstgebietes bestimmt, nach der sich ja die obere Zone des gesamten Karstwasserkörpers richtet. Dieser wird zwar im thermalen Karst teilweise durch spezifische hydrologische und hydrodynamische Gesetze beherrscht, im großen und ganzen gelten für ihn jedoch die gleichen Regeln, wie für den nicht hydrothermalen Karst. Im Karstgebiet von Hranice sind die Verhältnisse dadurch vereinfacht, daß das thermominerale Wasser in die schon gebildeten unterirdischen Karstwassersysteme des älteren, nicht hydrothermalen Karstzyklus (oder mehrerer Zyklen) eingedrungen ist.

10. Die Erforschung der Hydrographie des Karstwassers in den nordmährischen und schlesischen Karstgebieten brachte auch praktische Resultate. Sie bezeugte den Zusammenhang der Ponore mit Quellen, die nicht einmal für Karstquellen gehalten wurden. Sie zeigte auch, daß die Benutzung der Karstquellen für Entnahme von Trinkwasser problematisch und ohne genaueres Studium unmöglich ist. Schnelle und konzentrierte Durchläufe der Detectionsfarbstoffe zeigten eine sehr niedrige Filtrierfähigkeit der verkarsteten Kalkgesteine. Dazu tritt noch die Schwierigkeit der Begrenzung der Einzugsgebiete des Karstwassers zwecks deren Assanierung und Schutz in dicht besiedelten Gebieten.

Ein wichtiges Resultat der Färbeversuche ist die Entdeckung der bisher unbekanntem zusammenhängenden Kalkschichten unter unlöslichen unterkarbonischen Gesteinen im nördlichen Teil des Drahaner Hügellandes. Es handelt sich um verkarstete, chemisch reine, also gut lösliche und deshalb auch industriell wertvolle Kalke, die unter dem Unterkarbon und jungpleistozänen Löß zwischen Mladeč und Bouzov und unter einer dünnen Decke von quartären und unterpliozänen Schotteranden (6—15 m) auch im Marchbecken zwischen Mladeč, Litovel und Červenka liegen. Es bestätigte sich die Richtigkeit der Meinung, daß der mittlere und nördliche Teil des Devonstreifens, zwischen Jesenec und Mladeč, ein geologisches Fenster in unterkarbonischen Gesteinen darstellt. Unsere Feststellung zeugt außerdem indirekt für eine ununterbrochene devonunterkarbone Sedimentation. Durch unsere karsthydrographischen Untersuchungen stellten wir ein bisher unbekanntes, ausgedehntes Gebiet eines tief liegenden bedeckten Karstes fest und trugen auf diese Weise zur Klärung der Entwicklung eines weiteren Teiles der devonischen Protogeosynklinale am östlichen Rand der Böhmischen Masse bei. Analog zu den Verhältnissen in Nizký Jeseník (Gesenke) und besonders auf Grund der Entdeckung der devonischen syngenetischen Eisenerzlager bei Králová und Benkov im Marchbecken [J. SKÁCEL, 1959] ist es möglich, deren Vorkommen auch im Gebiet des Devonstreifens von Jesenec-Mladeč im nördlichen Teil des Drahaner Hügellandes begründet vorzusetzen, wo sie sehr nahe der Erdoberfläche liegen können.

Aus den Beziehungen und den Gesetzmäßigkeiten der Hydrographie der kleinen Karstgebiete in Nordmähren und Schlesien, ergänzt durch Resultate der geomorphologischen Erforschung, folgt auch der Schluß, daß es möglich ist, im Karst von einem Zyklus zu sprechen und daß in den Formen des untersuchten Reliefs die einzelnen Stadien dieser zyklischen Entwicklung erkennbar sind. Wir denken dabei aber nicht an einen universal wirkenden Zyklus nach der Vor-

stellung von W. M. DAVIS, A. GRUND, J. CVIJIĆ u. a. In den studierten Gebieten finden wir Verebnungsflächen, die man allgemein als Teile von alten Penepains auffassen kann. Wir müssen deshalb voraussetzen, daß diese Gebiete mindestens einen vollkommenen geomorphologischen Zyklus in klassischem Sinne durchgemacht haben. Wir finden dort aber auch verschiedene jüngere Formen, die typisch klimabedingt sind. Wo sie nicht durch eine Decke unlöslicher Gesteine geschützt waren, wurden sie nach einer Klimaänderung umgeformt oder ganz verwischt. Wir sehen also klar, daß es sich um eine Folge von Teilzyklen handelt, bestimmt und bedingt durch die klimatischen Bedingungen im Mesozoikum, Tertiär und Quartär. Während dieser klimabedingten Zyklen kommt es zur Ausbildung der Karstformen eines bestimmten Charakters. Daraus folgt weiter, daß die bisher geläufige Typisierung des Karstes nach J. CVIJIĆ das Gepräge der einzelnen Karstgebiete nicht ganz klar umfaßt.

Wir glauben, daß wir mit Recht schließen können, daß die Art der Verkarstung, d. h. die Art der Wirkung des Karstzyklus als eines partiellen humiden geomorphologischen Zyklus, außer durch gewisse morphogenetische Faktoren, hauptsächlich durch die klimatischen Bedingungen bestimmt und modifiziert wird. Den Verlauf, das Fortschreiten oder Aufhören des Prozesses der Verkarstung, muß man aber unter allen Umständen mit dem Einfluß des Erosionsniveaus auf die Bewegung und die Prozesse in der oberen Zone des Karstwasserkörpers verbinden, wo Erosion und Verkarstung nebeneinander mit schwankender Intensität wirken.

Die Erforschung der kleinen Karstgebiete in den östlichen Randzonen der Böhmisches Masse bestätigte diese Ansicht mit einer ganzen Reihe von wertvollen Belegen. Sie sollten noch aus anderen Karstgebieten gesammelt werden.

#### Summary and Conclusions

In the eastern part of the Bohemian massive there are numerous isolated localities where limestone occurs folded into indissoluble strata of various kind and age. In northern Moravia and in the Czechoslovakian part of Silesia they represent small areas of karst as for instance the Devonian zone of Jesenec-Mladeč in the Dražanská vrchovina (Highland of Dražany), the so called series of Branná and Rejvíz in the Mountains of Hrubý Jeseník, in Rychlebské hory (Mountains of Rychleby) and in the eastern part of Žulovská pahorkatina (Highland of Žulová), or in the surroundings of the town Hranice na Moravě in the Devonian limestones influenced by the late thermomineral process which being geologically even a constituent part of the Bohemian massive ins included morphologically into the Carpathian system.

At covered swallow holes, at sinks where small rivers and brooks disappear, as well as at the springs of those areas the author made numerous colouring experiments and investigations by applying intensively colouring chemical substances and radioisotopes. On the one hand he established conditions as to subsurface karst water draining quite unknown up to this time, on the other hand he proved relations between the investigated swallow holes and springs so far not revealed up to now. The results of this investigation lead him to some conclusions concerning the hydrographic regularity of subsurface karst water in small areas of limestones surrounded by indissoluble rocks.

The karst water in the investigated areas mostly comes from the immersive allogenuous streams and from water issuing from fissures that migrates into the karst from the indissoluble environment. Atmospheric water coming down upon the surface of limestones represents only the smaller part of karst water. Although the investigated areas are tectonically shattered their permeability due to fissures is changing very often. All the massives of limestone evidently are permeable but not down to the impermeable bottom which however is deep enough everywhere. The intensity of permeability mostly decreases from top to bottom and from the periphery towards the center of the karst massives. The process of karstification proceeds in the same way. The fissures are perfectly continuous and the subsurface karst water fills them in the form of an irregular but hydraulically connected body. In its upper zone the cave streams arise the movement of which is dependent on the base level. In the body of the subsurface karst water of the investigated limestones a radial excentric movement was discovered in some of the arteries the course of which is determined by geologic, tectonic and morphologic conditions. The outside arteries form obtuse angles. The level of caves has developed in dependence on the base level. At present the inundated caves mostly belong to the earlier base level put out of action by the impermeable later fill of the tectonic-erosional depressions of the eastern periphery of the Bohemian massive. Many base levels of the uplifted karst massive are competing with each other to determine the watershed. Therefore there are many cases of subsurface shifting of divides of water courses. In the inundated depressions the zone of hydrostatic balance between the inflowing subsurface karst water and the water filling up the depressions takes over the function of the earlier base level having been put out of action. The processes of erosion and dissolution take place at the same time but do not always work with the same intensity. The simultaneous existence of these factors in the karst is determined not only by periglacial or cold (mild) humid climate but it can be proved even in pre-Tortonian depressions and valleys. Theoretically the correlation of the cave levels with that of terraces is possible but practically it is very difficult.

The body of cold subsurface karst water exists even in the hydrothermal karst. Thermomineral water penetrates into it from below and therefore cold karst water exerts a certain hydrostatic pressure on it. In fact the thermomineral caves are formed by turbulent drift of thermomineral water from the zone of its origin up to the level where it mixes up with the cold karst water but in this zone a generally horizontal movement of both kinds of subsurface water begins. Roughly horizontal caves develop even in the hydrothermal karst areas in dependence on the base level. The thermomineral process penetrates above this level only when the intensity of the eruption of hot water reaches its climax.

The limestones of the Devonian zone of Jesenec-Mladeč in the northern part of Drahanská vrchovina are associated with each other at the bottom and they reach far to the north-east into Hornomoravský úval (Upper Moravian Basin). Below the Carboniferous indissoluble beds they represent a large face of covered karst not known up to now with a continuous body of subsurface karst water. Its draining is partly predisposed by conspicuous tectonic lines („Urhohlräume“ by O. LEHMANN). There are enormous reserves of industrially very valuable limestones. According to similar conditions in the Highland of Nizký Jeseník as well as in the investigated area of Drahanská vrchovina the

occurrence of Devonian syngenetic iron deposits of the Lahn-Dill type may be expected with good reasons.

Within all the areas discussed above the existence of the existence of the fossil Mesozoic or Palaeogene karst with characteristic tropical features, mogots, is proved when the cover has been denudated somewhere, has been transformed by Pleistocene periglacial conditions. Then there may be proved traces of several partial karst cycles having been modified by various climatic conditions but influenced by other morphogenetic factors as well. In any case the process of karstification depends on the base level and its influence upon the movement and on processes taking place in the upper zone of the karst water body by the joining action of erosion and dissolution upon the landforms but not ever with the same effects.

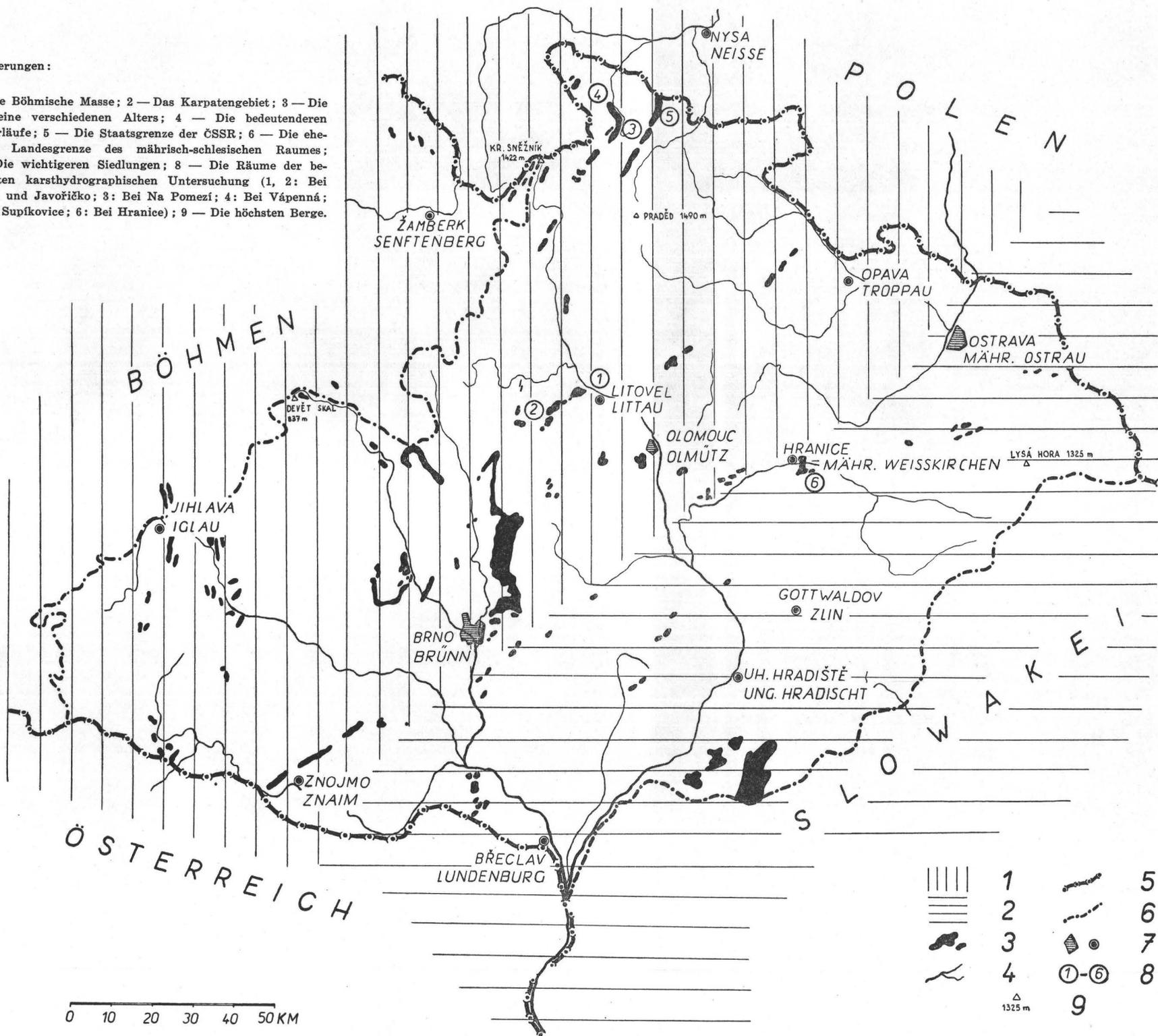
To confirm these conclusions the autor's investigation on the geomorphology and hydrography of karst water of small limestone areas in northern Moravia and Silesia furnished a number of proves.

### S c h r i f t t u m

- CORBEL, J.: Les karsts du nord-ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison. Inst. d. étud. rhodaniennes de Lyon, Lyon 1957.
- Érosion en terrain calcaire. Vitesse d'érosion et morphologie. Ann. de Géographie, LXVIII, 1959.
- CVJIC, J.: Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Rev. d. Trav. de l'Inst. de Géogr. Alp., Grenoble 1918.
- CZUDEK, T.-DEMEK, J.: Formy fosilního krasování v podloží glaciálních usazenin u obce Supíkovice ve Slezsku (Die Formen der fossilen Verkarstung unter den glazialen Ablagerungen bei der Gemeinde Supíkovice in Schlesien). Přírodovědný časopis slezský, XXI, Opava 1960.
- DAVIS, W. M.: Origin of limestone caverns. Bull. of Geol. Soc. of America, 41, New York 1930.
- DVOŘÁK, J.-SLEZÁK, L.: Jeskyně v oblasti hranického devonu (Höhlen im Gebiet des Devons von Hranice). Čs. Kras, VI, Brno 1953.
- GARDNER, J. H.: Origin and Development of limestone caverns. Bull. of Geol. Soc. of America, 46, New York 1935.
- GEZE, B.: Caractères des circulations karstiques d'après les récentes colorations à la fluorescéine effectuées en France. C. R. Sommaire d. Séances de la Soc. géol. de France, Paris 1957.
- GORBUNOVA, K. A.: Karstovo-erozionnyye doliny usvinskogo rajona Kizelovskogo kamennougolnogo bassejna (Karst-erosive Täler des Gebietes von Usva im Steinkohlenbecken von Kizelovsk). Uč. zap. Molotovsk. gos. universiteta im. A. M. Gorkogo, IX, 1, Perm 1955.
- GRUND, A.: Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. Geogr. Abh. hsg. v. A. PENCK, VII, 3, Wien 1903.
- Der geographische Zyklus im Karst. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1914.
- HYNIE, O.: Hydrogeologický posudek o ochrání zřídla kyselky v Teplicích nad Bečvou před účinky těžby vápence pro projektovanou cementárnu v Hranicích (Hydrogeologische Rezension über den Schutz der Sauerwassersprudel in Teplice nad Bečvou vor der Wirkung der Kalksteinförderung für die neu projektierte Zementfabrik in Hranice). Geofond, Praha 1948.
- Hydrogeologický posudek o možnostech zachycení kyselky v Teplicích lázních na Moravě mino nynější zřídelní oblast v případě jejich zatopení přehradou na Bečve Hydrogeologické Rezension über die Möglichkeiten des Auffangens des Sauerwassers in Bad Teplice na Moravě außerhalb des jetzigen Sprudelgebietes im Falle dessen Überschwemmung durch die Talsperre des Flusses Bečva). Geofond, Praha 1951.
- KODYM, O.: Zřídla kyselky v lázních Teplice nad Bečvou a rekonstrukce jejich jírnání v roce 1932—1934 (Sauerwassersprudel in Bad Teplice nad Bečvou und die Rekonstruktion deren Schöpfung in den Jahren 1932—1934). Sborník Stát. ústavu geologického, Praha 1936.
- JAHN, J. J.: Předběžná zpráva o geologických poměrech létévých pramenů v lázních Teplicích u Hranic na Moravě (Vorläufige Nachricht über die geologischen Verhältnisse der Heilquellen im Badeort Teplice bei Hranice in Mähren). Geofond, Praha 1924.
- JIRKOVSKÝ, R.: Zpráva o chemickém výzkumu a měření radioaktivity horských pramenů oblasti Lázní Jeseníku (Nachricht über die chemische Erforschung und Messung der Radioaktivität der Bergquellen im Gebiet Bad Jeseník). Přírodovědecký sborník Ostravského kraje, XII, Opava 1951.
- KATZER, F.: Zur Karsthydrographie. Pet. Geogr. Mitt., 54, Gotha 1908.
- KLIMASZEWSKI, M.: Nowe poglądy na rozwój rzeźby krasowej (Neue Ansichten über die Entwicklung des Karstes). Przegląd geograficzny, XXX, 3, Warszawa 1958.
- KODYM, O.: O genezi hranického krasu (Über die Genesis des Karstes bei Hranice). Čas pro mineralogii a geologii, 5, Praha 1960.
- KRÁL, V.: Kras a jeskyně východních Sudet (Karst und Höhlen der Ostsudeten). Acta Univers. Carolinae, Geologica 2, Praha 1958.
- Krasové území u Vápenné v Rychlebských horách (Karstgebiet bei Setzdorf im Reichensteiner Gebirge). In: Rychlebské hory, Slezský ústav ČSAV, 30, Ostrava 1959.
- KREJČÍ, J.: K otázce existence krasového cyklu (Zur Frage der Existenz des Karstzyklus). Sborník Čs. spol. zeměpisné, 65, Praha 1960.
- KUKLA, J.-LOŽEK, V.: K problematice výzkumu jeskynních výplní (Zum Problem der Höhlenfüllungen). Čs. Kras, XI, Praha 1958.

Erläuterungen:

1 — Die Böhmisches Masse; 2 — Das Karpatengebiet; 3 — Die Kalksteine verschiedenen Alters; 4 — Die bedeutenderen Wasserläufe; 5 — Die Staatsgrenze der ČSSR; 6 — Die ehemalige Landesgrenze des mährisch-schlesischen Raumes; 7 — Die wichtigeren Siedlungen; 8 — Die Räume der behandelten karsthydrographischen Untersuchung (1, 2: Bei Mladeč und Javoříčko; 3: Bei Na Pomezí; 4: Bei Vápenná; 5: Bei Supíkovice; 6: Bei Hranice); 9 — Die höchsten Berge.



Übersichtskarte der mährisch-schlesischen Kalksteingebiete.

- KUNSKÝ, J.: Kras a jeskyně (Karst und Höhlen). Praha 1950.
- Thermomineral Karst and Caves of Zbrašov, Northern Moravia. Sborník Čs. spol. zeměpisné, 62, Praha 1957.
- LEHMANN, H.: Einfluß des Klimas auf die morphologische Entwicklung des Karstes. Rep. of the Comm. on Karst Phenomena, XVIII-th Int. Geogr. Congr., Rio de Janeiro 1956.
- LEHMANN, O.: Die Hydrographie des Karstes. Leipzig-Wien 1932.
- LOUIS, H.: Das Problem der Karst-Niveaus. Rep. of the Comm. on Karst Phenomena, XVIII-th Int. Geogr. Congr., Rio de Janeiro 1956.
- MATEJKA, A.-ROTH, Z.-CHMELÍK, F.: Zpráva o geologických výzkumech a mapování v údolí Bečvy mezi Val. Mezifítím a Černoštinem (Bericht über die geologischen Erforschungen und Kartierungen im Tal der Bečva zwischen Val. Mezifítí und Černoštin). Geofond, Praha 1957.
- MICHOVSKÁ, J.: Typisace československého krasu (Typisation des tschechoslowakischen Karstes). Čs. Kras, X, Praha 1957.
- PANOS, V.: Hranický kras a rezervace Hůrka (Karst von Hranice und dem Naturschutzgebiet Hůrka), Praha 1953.
- Jeskyně Severomoravského krasu (Höhlen des nordmährischen Karstes). Praha 1955.
- Neznámé krasové jevy u Hranic (Unbekannte Karsterscheinungen bei Hranice). Sborník Čs. spol. zeměpisné, 60, Praha 1955.
- Ponorný Kovářovský potok (Verschwindender Bach von Kovářov). Čs. Kras, VIII—IX, Praha 1956.
- Zpráva o první etapě koloračních experimentů a o jejich výsledcích na ponorných tocích vápencových oblastí severní části Drahanské vrchoviny a jihozápadní části Rychlebských hor (Bericht über die erste Etappe der Färbversuche und deren Resultate in den verschwindenden Wasserläufen der Kalksteingebiete des nordöstlichen Teiles des Hügellandes von Drahaný und des südöstlichen Teiles des Reichensteiner Gebirges). Archiv des Kabinetts f. Geomorphologie der ČSAV, Brno 1959.
- Geomorphologie krasové oblasti Na Pomezí v Rychlebských horách (Geomorphologie des Karstgebietes Na Pomezí im Reichensteiner Gebirge). Sborník Vlastivěd. ústavu, Olomouc 1960.
- Překledná zpráva o výsledcích krasového výzkumu (Übersichtsbericht über die Resultate der Karstforschung). Informationsbericht des KG ČSAV zur VIII. Tagung der tschechoslow. Geographen in Opava, Brno 1959.
- Teplicový kras Budínského pohoří, jeho problémy a zvláštní tvary (Thermomineraler Karst des Budaer Gebirges, seine Probleme und besondere Formen). Práce brněnské základny ČSAV, XXXIII, 7, Brno 1961.
- Periglaciální destruktivní formy reliéfu Rychlebských hor (Periglaziale Abtragungsformen im Reichensteiner Gebirge). Přírodovědný časopis slezský, XXII, 1, Opava 1961.
- Zpráva o podrobném geomorfologickém mapování severní části Drahanské vrchoviny (Bericht über die ausführliche geomorphologische Kartierung des nördlichen Teiles des Hügellandes von Drahaný). Archiv des KG ČSAV, Brno 1960.
- PÁVAL-VAJNA, F.: A „karsztvíz“ és a „karsztvíztérképek“ (Karstwasser und Karstwasserarten). Hidrol. Közöny, 33, Budapest 1950.
- PELÍSEK, J.: Hlinité sedimenty v jeskyních severomoravského krasu (Tonablagerungen in den Höhlen des nordmährischen Karstes). Časopis Vlastenec. musej. spolku, Olomouc 1946.
- K charakteristice sedimentů mladečských jeskyní (Über die Charakteristik der Ablagerungen der Lautscher Höhlen). Čs. Kras, V, Brno 1952.
- K charakteristice pleistocenních sedimentů v Javoříčských jeskyních (Über die Charakteristik der pleistozänen Ablagerungen in Höhlen von Javoříčko). Zprávy Krajského vlastivěd. střediska, No. 86, Olomouc 1960.
- ROGLIČ, J.: Karstprozeß und fluviale Erosion. Rep. of the Comm. on Karst Phenomena, XVIII-th Int. Geogr. Congr., Rio de Janeiro 1956.
- Das Verhältnis der Flußerosion zum Karstprozeß. Zeitschr. f. Geomorphologie, IV, 2, Göttingen 1960.
- ROUSEK, V.-VRBA, J.: Inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry širého okolí lázni Teplice nad Bečvou (Baugeologische und hydrogeologische Verhältnisse der weiteren Umgebung des Badeortes Teplice nad Bečvou). Věstník ÚÚG, XXXV, 4, Praha 1960.
- RYŽÍKOV, D. V.: Příroda karsta i osnovnye zakonitosti ego razvítija (na primerech Urala) (Gepräge des Karstes und Grundprinzipien seiner Entwicklung auf Grund von Beispielen aus dem Ural). Trudy gornogeol. inst., Moskva 1954.
- SAWICKI, L. R.: Zur Frage des geographischen Zyklus im Karst. Mitt. Geogr. Ges. Wien, 52, Wien 1909.
- SKÁCEL, J.: Zpráva o geologickém mapování v jihovýchodní části Rychlebských hor (Bericht über die geologische Kartierung des südöstlichen Teiles des Reichensteiner Gebirges). Sborník SLUKO, A—II, Olomouc 1954.
- Železnorudná ložiska Jeseníků (Eisenerzlagerstätten im Altvatergebirge und Gesenke). Geologický průzkum, I, 11, Praha 1959.
- SVOBODA, J.-PRANTL, F.: Stratigrafickotektonický výzkum devonských bradel na Drahanské vsočině (Stratigraphisch-tektonische Erforschung der devonischen Klippen im Hügelland von Drahaný). Zprávy o geol. výzk. v roce 1953, ÚÚG, Praha 1954.
- Příspěvek ke stratigrafii devonských bradel na Drahanské vsočině (Beitrag zur Stratigraphie der devonischen Klippen im Hügelland von Drahaný). Věstník ÚÚG, XXVI, Praha 1951.
- CHLUPÁČ, I.-DVORÁK, J.-ZUKALOVÁ, V.: Závěrečná zpráva o základním geologickém výzkumu hranického devonu (Schlußbericht über die geologische Erforschung des Devons von Hranice). Geofond, Praha 1955—56.
- SWINERTON, A. C.: Changes of baselevel indicated by caves in Kentucky and Bermuda. Bull. of Geol. Soc. of America, 40, New York 1929.
- TERZAGHI, K.: Landforms and subsurface drainage in the Gačka Region in Yugoslavia. Zeitschr. f. Geomorphologie, 1—2, Göttingen 1958.
- VITÁSEK, F.: Mladečský kras (Lautscher Karst). Sborník Čs. spol. zeměpisné, XII, Praha 1935.
- VODIČKA, J.-PLEICHINGER, O.: Průzkum Mladečského krasu (Erforschung des Lautscher Karstes). Zprávy Kraj. vlastivěd. střediska v Olomouci, 79, Olomouc 1959.
- ZÖTL, J.: Neue Ergebnisse der Karsthydrologie. Erdkunde, IX, 2, Bonn 1957.
- Beitrag zu den Problemen der Karsthydrographie mit besonderer Berücksichtigung der Frage des Erosionsniveaus. Mitt. Geogr. Ges. Wien, 100, 1/2, Wien 1958.