

Der Karst
des oberen Pegnitzgebietes
und die
hydrographischen Voraussetzungen
für die Wassererschließung
bei Ranna

1. Teil

R. G. Spöcker

Nürnberg

I 90777

Inhalt des ersten Teils

	Seite
Vorwort	
Allgemeines	7
Uebersicht über das gesamte Einzugsgebiet der Pegnitz	19
Die Landschaft des oberen Pegnitzflußgebietes	29
Geologische Uebersicht	35
Petrographie und Stratigraphie	35
Tektonik	41
Dolinen	50
Höhlen	70

Tabellen und Tafeln

Tabelle I Brunnen bei Pola

- „ II Statistische Uebersicht über das gesamte Flußgebiet der Pegnitz
- „ III Quellen
- „ IV Dolinen rechts und links der Pegnitz
- „ V Ponore
- „ VI Höhlen

Tafel I Uebersichtskarte

- „ II Profile usw.
- „ III Schaulinien über die Klufftektonik
- „ IV Dolinen
- „ V Höhlen

Manuskript abgeschlossen Ende 1933.

Vorwort.

Die Anregung zu dieser Arbeit gab ursprünglich das rein ideelle Bestreben, die Kenntnis über einen Teil unserer Heimat zu erweitern. Die landschaftliche, geologische und hydrographische Eigenart der Fränkischen Alb, die eine unerschöpfliche Quelle fesselnden Stoffes für den Heimatforscher bietet, gibt ja immer erneuten Anreiz zum Schaffen und die Tatsache, daß dabei ein gelöstes Problem zwei ungelöste birgt, erhält den Tatendrang in Fluß. Vom Jahre 1930 ab wurden die Unternehmungen zum ersten Male auf wirtschaftliches Gebiet gelenkt. Damals trat die Aufgabe an mich heran, das Erweiterungsprojekt der Städtischen Wasserversorgung Nürnberg in Ranna durch meine seit Jahren in Gang befindlichen Untersuchungen zu unterstützen. Ein inniges und verständnisvolles Zusammenarbeiten mit den städtischen Stellen auf diesem gemeinsamen Interessengebiet förderte meine Forschungen in hohem Maße, wobei ich besonders Herrn Baurat KRAUSS für das vertrauende Entgegenkommen und Herrn Stadtrat RUEHM für die unermüdliche Hilfsbereitschaft zu größtem Danke verpflichtet bin.

Wenn nunmehr auch der letzte Zweck, die Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse erreicht wurde, so ist dies in erster Linie auf die rege Initiative des Herrn Oberbürgermeisters LIEBEL zurückzuführen und ich erfülle eine angenehme Pflicht, indem ich dem Oberhaupt der Stadt Nürnberg meinen wärmsten Dank zum Ausdruck bringe. Die Bereitstellung der Mittel für einen erheblichen Teil der Druckkosten von Seiten der Stadtverwaltung ermöglichte erst die Herausgabe der Abhandlung.

Nicht zuletzt schulde ich der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg Dank, die mit Opferbereitschaft die Herausgabe unter ihre Obhut nahm. Selbstverständlich ist, daß ich der wertvollen Mitarbeit meiner Freunde Dr. Fl. HELLER, P. JORDAN und M. GRUBERBAUER, sowie meines Vaters dankend gedenke, der bei der Lesung der Korrekturen behilflich war.

Nürnberg, im Februar 1935.

DER VERFASSER.

Allgemeines.

Ueber die hydrographischen Verhältnisse im Karst herrscht in der Wissenschaft noch immer keine übereinstimmende Meinung. Das Problem der Oberflächenhydrographie auf den Karstplateaus und jenes der Quellaustritte an den Karsträndern ist dabei weniger Gegenstand entgegengesetzter Ansichten als vielmehr die Frage über die *Verteilung und Bewegung* der Wassermassen zwischen den Versickerungsstellen der Niederschläge und den Quellaustritten.

Daß im Karst über der Erosionsbasis die Niederschläge in der unmittelbaren Umgebung ihres Auftreffens auf das Karstgestein von diesem verschluckt und unterirdisch weitergeleitet werden, ist bekannt. Ausnahmen in Form normaler, waagrecht angelegter Oberflächenentwässerung sind stets und allein auf einen örtlich undurchlässigen Untergrund zurückzuführen. Eine weitere, dem Karst eigene Erscheinung ist, daß die unterirdisch abgeleiteten Niederschläge in Gestalt starker, oft sogar außerordentlich ergiebiger Quellen an den Talrändern wieder zu Tage treten.

Wenn nun über die Wasserverhältnisse zwischen den Versick- und den Austrittsstellen, also im Innern der Karstgebirge noch kein völlig klares Bild vorliegt, so ist das nicht zuletzt auf den Mangel an Bodenschätzen im Kalkgebirge zurückzuführen, wodurch künstliche Aufschlüsse, die unter das Wasserniveau führen, fehlen. Gleiches ist von Tiefbohrungen zum Zwecke der Trinkwassererschließung zu sagen. Es reicht gewöhnlich schon die kräftige Schüttung einer Karstquelle aus, um den jeweiligen Bedarf zu decken, sodaß man gar nicht erst danach strebt, tieferes Wasser aufzuschließen; außerdem sind auch die Erfolge mit Tiefbohrungen nach Grundwasser im Karst bisher in keiner Weise zufriedenstellend gewesen. Man legt sich infolgedessen begriffliche Zurückhaltung auf, wo es sich darum handeln könnte, etwa durch eine kostspielige Tiefbohrung ein zweifelhaftes Experiment zu wagen. Gerade für die Versorgung der Gemeinden mit brauchbarem Wasser und vor allem für dessen Erschließung ist es jedoch von grundsätzlicher Bedeutung, zu wissen, in welcher Form sich das Karstwasser bewegt und wie es im Gebirge gespeichert wird. Aus der Erkenntnis dieser Fragen ergeben sich alle weiteren technischen Schlußfolgerungen und Handlungen.

Wohl gewährt der Karst durch die Höhlen einen Einblick in sein Inneres, wie kaum ein anderes Gebirge, und die Höhlenforschung hat wesentlich zur Aufhellung der Vorgänge in ihm beigetragen. Aber auch ihr sind Grenzen gesetzt, die sich eben dort befinden, wo gerade das Niveau der Dauer-Inundation beginnt, das in den meisten Fällen noch nicht einmal erreicht wird. Die Ergebnisse dieser Forschung lassen sich auf Grund einer in den letzten Jahrzehnten beträchtlich angewachsenen Literatur dahin zusammenfassen, daß sich das Wasser des Karstes in Kanälen und Kluftsystemen, die gegeneinander mehr oder weniger

separiert sind, bewegen müsse. Diese immerhin noch etwas theoretische Anschauung suchte man mittels Färbeversuchen an Flußschwinden zu stützen und es gelang dadurch in vielen Fällen der Nachweis, daß ein Uebergehen der Höhlenflüsse in Grundwasser und damit eine Auflösung des Gerinnecharakters nicht in Frage kommt. Bemerkenswert ist, daß alle bedeutenden Höhlenforscher, die sich mit Höhlenhydrologie praktisch befaßten, wie BOCK, MARTEL, PERCO, PUTICK und andere diese Meinung als das Ergebnis ihrer Untersuchungen vertreten.

So erfreulich die Aussicht für den Wassererschließer ist, im Karst große Sammelgerinne anzapfen und fassen zu können, so schwer sind andererseits die hygienischen Bedenken, die gegen die Verwertung dieses Wassers sprechen. Bei dem ungehemmten Durchfluß der abziehenden Niederschläge durch die Gesteinskanäle liegt es nahe, daß nur eine mangelhafte natürliche Reinigung stattfindet.

Es fehlt auch nicht an Verfechtern der Grundwassertheorie und in dieser Richtung wurden ebenfalls schon umfangreiche Untersuchungen, Messungen und Berechnungen angestellt. Die umfassendste Arbeit, die zugleich aber zu den heftigsten Widersprüchen herausgefordert hat, ist diejenige GRUND's, welche die Wasserspeicherung und -bewegung im Karst jener in anderen Gesteinsarten gleichstellt (GRUND 1903). Ob seine späteren Zugeständnisse (GRUND 1911 und 1912) an die Karstgerinnetheorie KATZER's (KATZER 1909) einer inneren Ueberzeugung entsprangen, oder den leider nicht immer sachlichen literarischen Befehdungen seitens der Forscher mit entgegengesetzter Meinung zuzuschreiben sind, mag dahingestellt bleiben.

Wenn man die vielen örtlich getrennten Untersuchungen und die hieraus hervorgegangenen unterschiedlichen Ergebnisse sichtet, so wird man gut tun, sich auf keine der Theorien grundsätzlich zu versteifen, da diese allzusehr von den lokalen Verhältnissen abhängig sind. So bringt auch LEHMANN in seiner letzten Arbeit über die Hydrographie des Karstes zum Ausdruck, daß das geschlossene Gerinne der eine Grenzfall und das „Grundwasser“ der andere Grenzfall beim Karstwasserabfluß sei.

Die von den Anhängern der Karstgerinnetheorie vertretene Meinung, daß es im Karstgebirge kein Grundwasser gibt, das der Beschaffenheit des Grundwassers beispielsweise in Kies- oder Sandböden und in den Gesteins-Poren entspricht, dürfte schon aus chemisch-physikalischen Ueberlegungen heraus nicht zu widerlegen sein, ganz abgesehen davon, daß die praktische Erfahrung diese Frage längst entschieden hat. Der Abfluß im Karst ist und bleibt an bestimmte Linien gebunden, die ihm durch die Gebirgsstruktur vorgeschrieben sind. Die Tiefe des Karstwasserkörpers wiederum ist abhängig von der Ausbildung dieser Klüftungsstruktur, bzw. von dem Stadium der Verkarstung. Es ist lediglich eine Frage der Zeit, der Gesteinsbeschaffenheit oder tektonischer Vorgänge (z. B. Schollensenkung), ob und wann sich das Geflecht des Karstwasserkörpers verdichtet und damit der Grundwasserform nähert. Dadurch, daß auf der Karstoberfläche die Versickerungsstellen ein Vielfaches der Austrittsstellen am Karstrand oder im Vorflutthal ausmachen, ist erwiesen, daß das wegsame Kluffnetz umso engmaschiger ist, je höher es liegt und je länger es der Verkarstung ausgesetzt war. Daraus ist weiter zu schließen, daß sich bei einer Unterbrechung der normalen Ver-

karstung, wie sie das Absinken des Karstgebirges unter die bisherige Vorflutbasis darstellt, das Karstwasser mehr der Grundwasserbeschaffenheit nähert („Influ“ BOCK's). Gerade solche Vorgänge können der unterirdischen Hydrographie eine besondere Eigenart geben. Ebenso ist es von Einfluß auf die Verteilung und den Ablauf des unterirdischen Wassers, ob letzterer auf unverkarstungsfähigen Schichten erfolgt (seichter Karst) oder auf noch nicht verkarsteten (tiefer Karst) und wie das Streichen und Fallen der undurchlässigen Schichten in Bezug auf den Vorfluter gerichtet ist.

Der geographische Zyklus im Karst wickelt sich keineswegs immer normal und ungestört ab. Lokale und regionale tektonische Veränderungen müssen eine Umgestaltung der Beziehungen zwischen Karstwasser-Verteilung bzw. -bewegung und den Vorflut-Oberflächengerinnen, die den Karstwasserspiegel vorschreiben, hervorrufen. In diesem Zusammenhang mangelt den Darlegungen über „Karstgrundwasser“, „Karstwasser“, „Kluftwasser“ usw. meist die vorausschickende Betrachtung über tektonische und paläogeographische Verhältnisse in dem untersuchten Gebiet. Es ist demnach eine unumgängliche Forderung, in erster Linie die Frage über die landschaftliche Vorgeschichte und die Krustenbewegungen samt ihren Folgen zu klären, wo es sich um die Lösung eines örtlichen Problems der Karsthydrologie handelt. Wie das Ergebnis dieser Untersuchungen aber auch ausfallen möge, bleibt doch eine Tatsache unveränderlich, nämlich die, daß die grundwasserähnliche Ausbildung des Karstwasserkörpers bei einem gewissen Zustand des Gebirges nicht die mindeste Ähnlichkeit mit Grundwasser im Kies, Sandstein und dergleichen hat. GRADMANN, als Anhänger der GRUND-schen Theorie vom Grundwasser im Karst, befonte dies bereits 1912, weshalb er die Bezeichnung „Karstwasser“ vorschlug (GRADMANN, S. 73). Es kann der Begriff Grundwasser demnach kein allgemeiner sein, sondern die Vorstellung hat sich an eine ganz bestimmte Form zu halten, die immer wieder auf das Kluft- und Röhrengeflecht als dem Ausgangspunkt jeden Karstwasservorkommens zurückgeht. Das Wasser folgt mehr hydraulischen als hydrologischen Gesetzen.

Vielfach sind die Meinungsverschiedenheiten in der Fachwelt gar nicht grundsätzlicher Natur, sondern liegen lediglich in der abweichenden begrifflichen Festlegung des Wortes „Grundwasser“

Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit GOTZINGER's über die Wasserversorgung des Marktes Weiz in Oesterreich. Sie ist zugleich eine von den wenigen Abhandlungen, die ein gutes Bild über die Erschließung einer Karstquelle zu Trinkwasserzwecken gibt. GOTZINGER spricht dort von Karstgrundwasser, das sich in dem „Kluft- und Röhrensystem des Kalkes“ bewegt und durch eine Phyllitschwelle in der sog. Baumühlquelle zum Austritt gezwungen wird. In der Nähe befindliche weitere Quellen zeigen keinen Zusammenhang mit dieser, ihre Temperaturen sind verschieden und ihr Verhalten bei Hochwasser weicht voneinander ab. Der Aufstau wird außer durch den Phyllit noch durch wasserdichten jungtertiären Letten bedingt, der als Talaufschüttung im Weizbachtale liegt. Temperaturmessungen, die vom März 1924 bis September 1925 an der Baumühlquelle durchgeführt wurden, zeigten 9.3 bis 9.9° C., also nur eine Schwankung von 0.6 Celsiusgraden. Man schließt aus diesem Befunde, daß der Abfluß einem größeren „Karstwasserbecken“ ent-

stammt und die Quelle dabei eine aufsteigende Tiefenquelle ist. Der Absenkung des Quellspiegels folgte eine Ergiebigkeitssteigerung um über 100 %, und zwar von 140 l/sek auf 300 l/sek. Leider fehlt die Angabe des Absenkungsbetrages, nur die Spiegelerhöhung durch die Quellerschließung ist vermerkt, sie beträgt ca. 40 bis 50 cm. Aus diesen Tatsachen geht hervor, daß es sich nicht um ein Hang- oder Ueberfallgerinne handelt, sondern um eine Tiefenquelle, deren Schüttung mindestens durch gewisse Reserven in einem verzweigteren Kluffsystem gesichert wird. Trotzdem wurde die Erschließung aber nicht durch Tiefbohrung, sondern durch unmittelbare Fassung ausgeführt, da erstere, „wenn schon nicht so unsicher, doch viel kostspieliger“ gewesen wäre, als die gewählte Flachbrunnenfassung (GÖTZINGER, S. 324). Im großen und ganzen zeigen übrigens die Verhältnisse bei der Quellsfassung in Weiz viel Ähnlichkeit mit jener von Ranna im oberen Pegnitzgebiet.

Anders verhält es sich mit der Wassererschließung von Pola im Kreidekarst an der Südspitze Istriens. Die aufschlußreiche Arbeit von WAAGEN 1919 läßt erkennen, daß hier mit erheblichen Schwierigkeiten nach einer brauchbaren Trinkwasserquelle gesucht wurde und daß dem endlichen Erfolg mancher vergeblicher Erschließungsversuch voranging. So wurde eine Reihe von Vorschlägen in dem Gutachten STACHE's, das sich allerdings noch nicht auf moderne karsthydrographische Erfahrungen stützen konnte, durchgeführt (STACHE 1889). Die Herstellung des empfohlenen Stollenvortriebes nach dem Mte. Grande im Quellenniveau der Küste verlief ergebnislos; ebenso brachte der vorgenommene Bau einer 400 m langen Sperrmauer längs der Küste für die Stauung und Separierung einer Quellschleife gegen das Meer (STACHE, S. 164) nach den Berichten WAAGEN's keinen Erfolg. Interessant ist es, zu erfahren, daß trotz skeptischer Einstellung STACHE's gegenüber Tiefbohrungen (STACHE, S. 87) auf seine Anregung hin im dortigen Küstenkarst ein Bohrloch bis 297 m, also etwa 250 m unter den Meeresspiegel, abgeteuft wurde, ohne Wasser zu gewinnen. WAAGEN vertritt — obwohl er in seiner Arbeit durchweg von Grundwasser spricht — die Meinung, daß zwischen dem Kluffnetz des Gebirges „feste Kalkklöße oft großen Umfanges liegen können, welche sich dann bei einer Bohrung aufs Geratewohl als völlig wasserlos erweisen“, womit er sich der KATZER'schen Auffassung über die Karsthydrographie nähert. In der Feststellung, daß Bach- oder Flußwasser „in manchen Fällen seinen unterirdischen Verlauf in einem unterirdischen Höhlengerinne fortsetzt, das mitunter erst am Meeresboden mündet“, liegt ein weiteres Zugeständnis an die Karstgerinnelehre (WAAGEN 1919, S. 434), ja sie bewegt sich damit bereits in der Richtung der BOCK'schen Modifikation von der Karsthydraulik (BOCK 1913). In einer früheren Abhandlung (WAAGEN 1911) nimmt er auch eine bewußt gegensätzliche Stellung zur GRUND'schen Grundwassertheorie ein und umreißt seine Auffassung über den Begriff Grundwasser im Karst wie sie oben bereits angedeutet wurde. Diese empirische Auffassung stützt sich auf die Wassererschließungsarbeiten um Pola. Auf Tabelle I stellte ich der Uebersicht wegen die verstreuten Daten der Veröffentlichung WAAGEN's von 1919 zusammen. In ihr treten zunächst die verhältnismäßig hohen Temperaturen mit beträchtlichen jahreszeitlichen Unterschieden hervor. Ebenso fallen die Spiegelschwankungen der Brunnen Foiban, Scattari und Val Dragon I auf, wie überhaupt die Spiegelhöhen in den einzelnen Bohrlöchern stark von-

cinander abweichen, selbst wenn man berücksichtigt, daß das „Grundwassergefälle“ steil nach Westen (küstenwärts) gerichtet ist. Die Daten lassen erkennen, mit welcher sprunghaften Zuständen man bei hydrographischen Problemen im Karst zu rechnen hat und diese Erscheinung veranlaßte WAAGEN zu der Bemerkung, „daß im Karst die Grundwasserstände auf verhältnismäßig geringe Entfernung recht erheblich voneinander abweichen können“ (WAAGEN 1911, S. 263). Es wurden selbst schon Schwankungen des Wasserspiegels bis zu 100 m wahrgenommen, die von den Niederschlägen abhängig sind. Daß es sich dabei nicht mehr um das Anschwellen örtlichen oder regionalen Grundwassers schlechthin handeln kann, ist einleuchtend. Bezeichnend ist auch, daß die Wassererschließer nach vorangegangenen Fehlschlägen die ursprüngliche Annahme fallen ließen, im Karst könne man überall durch Bohrung Wasser erschöpfen, da es allerorts in der Tiefe als zusammenhängendes Grundwasser vorhanden sein müsse. Später hielt man sich vielmehr an Oberflächenerscheinungen und setzte die Bohrungen an Dolinen, Schächten usw., also dort an, wo Spalten und Klüfte erwartet werden konnten. Auch hier drängen sich hygienische Bedenken hinsichtlich der Verwertbarkeit von Karstkluftwasser in der vorhandenen Keimzahl auf, die mit 300 bis 500 im cm^3 als hoch zu bezeichnen ist. Zwölf Brunnen in der Tab. I, deren Tiefen und Schüttungen bekannt sind, haben insgesamt 422 lfd. Meter Bohrtiefe und spenden dabei im Mittel die verhältnismäßig geringe Menge von 140 l/sek. Der Wirtschaftlichkeitsgrad wird noch dadurch gedrückt, daß das Wasser mittels Zubringer- und Druckpumpen aus jedem einzelnen Bohrloch gewonnen werden muß.

Eine der größten und zugleich eigenartigsten Wasserversorgungsanlagen in Karstgebieten ist die in Triest. Eigenartig ist sie vor allem deshalb, weil ein Fluß, der im Karstkalk verschwindet und in diesem den Gerinnecharakter beibehält, an einer seiner Austrittsstellen am Meer gefaßt wird. Der Timavofluß (Reka) verschwindet, kurz nachdem er die Grenze des undurchlässigen Eozänflysches überschritten hat, bei St. Kanzian im Kreidekalk und erscheint in einer Entfernung von etwa 40 km Luftlinie an der Adriaküste wieder in Form eines unterirdischen Gerinnesdeltas. Durch Farbe- und sonstige Versuche konnte sein Verlauf in einigen Naturschächten verfolgt und kontrolliert werden und schließlich wurde sein Austritt an der Küste bei Duino im Golf von Panzano als Pseudoquelle festgestellt. Ebenso gelang der Nachweis eines Zusammenhangs der Aurisinaquellen und der Quellen bei Cedassamare mit dem Timavo-Gerinnesystem.

Der an sich klassische Boden des Karstes und die jahrzehntelangen hydrographischen Forschungen haben gerade dort sehr beachtenswertes Material zur Beurteilung der Karstwasserfrage geliefert. Eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse aus dem Küstenkarst Italiens brachte TIMEUS 1928 in der Alpi Giulie. Der Arbeit ist zu entnehmen, daß die Geschwindigkeit der Karstgerinne zwischen dem Minimum von 59.05 und dem Maximum von 549 m p. Stde. schwankend gefunden wurde. Die meisten Geschwindigkeiten halten sich zwischen 80 und 180 m p. Stde. Die beobachteten Gefälle des Karstwassers sind mit 0.24 bis 104.9 ‰ angegeben. Man muß aber bei diesen beiden Werten berücksichtigen, daß es sich um völlig herausfallende Extreme handelt, während das Durchschnittsgefälle aus 20 Beobachtungen 7 ‰ ergab. Bei dem oben genannten Geschwindigkeits-

minimum wurde eine abseits der Hauptentwässerungsstrecke gelegene Beobachtungsstelle erfaßt (Guardiella). Das bei St. Canzian mit Lithium verseßte Wasser brauchte zu seinem Erscheinen in Guardiella 10 Tage 14 Stunden.

In der Trebicgrotte, die der Timavofluß passiert, beträgt die Durchflußmenge bei normaler Wasserführung 130 000 bis 207 000 m³ in 24 Stunden (TIMEUS S. 24), doch wurde auch schon ein Minimum von 31 250 m³ beobachtet.

Ganz allgemein tritt also hier als besonderes Merkmal der im Erosions- bzw. Vorflutniveau verlaufenden Karstgerinne die bedeutende Schwankung in der Wasserführung hervor.

Die eigentliche Wasserfassung für Triest liegt bei Aurisina (das frühere Nabresina), wo 9 untereinander zusammenhängende Karstquellen, nämlich die Aurisinaquellen, an der Küste aufgestaut wurden, um ihnen einen genügenden Ueberdruck gegenüber dem Meere zu geben, in das sie vor der Fassung submarin einmündeten.

Eine umfassende Darstellung des gesamten geologischen und hydrographischen Fragenbereiches im Quellfassungsgebiet von Aurisina brachte BOEGAN 1906. Dem besten Kenner der dortigen Verhältnisse und derzeitigen Direktor der Triester Wasserversorgung, Herrn Cav. E. BOEGAN verdanke ich eine Reihe von Daten, die er mir auf Ansuchen mitteilte.

Die Schüttung der Aurisinaquellen beträgt in niederschlagsarmen Zeiten 18 000 m³ in 24 Stunden (208 l/sek), sie schwillt bei niederschlagsreichen Zeiten aber auf 200 000 m³ (2300 l/sek) an. Die Ergiebigkeitsmehrerung beträgt also rd. 1000 %. Der eigentliche Timavoausfluß, die Pseudoquellen, spenden 2 300 000 m³ bis 10 000 000 m³ in 24 Stunden (26 600 bis 115 700 l/sek), was eine Ergiebigkeitsmehrerung um 435 % bedeutet. Die Temperaturen der Aurisinaquellen bewegen sich nur zwischen 13 und 14 ° C. und entsprechen den Temperaturen des Timavoausflusses bei Duino. Angesichts der hohen Ergiebigkeitsschwankungen der Quellen ist ihr geringer jahreszeitlicher Temperaturunterschied eine beachtliche Erscheinung (BOEGAN S. 118). Verhältnismäßig hoch ist auch hier, wie in Pola, die Keimzahl der Quellen, die 300 im cm³ beträgt; sie wird jedoch durch amerikanische Jewellfilter vor dem Verbrauch des Wassers auf 30 bis 50 herabgemindert.

Unter den deutschen Großstädten steht neben Nürnberg auch Stuttgart vor der Frage, seinen ständig zunehmenden Wasserbedarf aus dem Karst, und zwar aus der Schwäbischen Alb zu ergänzen. Die Stadt geht nur sehr zögernd an eine Wasserentnahme aus dem Karst heran, da die geologischen Voraussetzungen für eine einwandfreie natürliche Filtrierung des Wassers dort nicht so günstig sind, wie beispielsweise in der Frankenalb, im Einzugsgebiet der oberen Pegnitzquellen, die einen Teil des Nürnberger Wasserbedarfes decken. Untersuchungsergebnisse aus den Stuttgarter Wasserprojekten im Schwäbischen Jura sind bis jetzt leider noch nicht veröffentlicht, sodaß sie für die vorliegende Arbeit nicht verwertet werden können. Aus dem schwäbischen Karstgebiet liegen u. a. über den Blautopf, der Quelle für die Wasserversorgung von Blaubeuren, Untersuchungen vor, deren Ergebnisse in der Arbeit von SIHLER (1929) niedergelegt wurden. Einige Zahlen aus dieser Veröffentlichung mögen in diesem Zusammenhang interessieren. Das Was-

ser des Blautopfes hat eine gleichbleibende Temperatur von 9.4° C. (S. 232) trotz außerordentlicher Schwankung in der Ergiebigkeit, die sich zwischen 350 l/sek bei Niedrigstwasser, 2000 l/sek mittlerer Schüttung und 25 000 l/sek bei Höchstwasser bewegt (S. 234). Es handelt sich also um einen Ergiebigkeitsunterschied von rd. 7000 %. Die beständig gleichbleibende Temperatur bei oft sprunghaften Ergiebigkeitsmehrungen (vgl. Kurvenbilder zitierter Arbeit S. 234) bestätigen die Annahme SIFLER's besser als alles andere, daß das Blautopfwasser aus einem fernen Hintergelände kommt. Das Gefälle der Karstwasserfläche wird mit 7‰ (S. 237) und die Geschwindigkeiten des Karstwassers mit 0.02 bis 0.19 m/sek (72 bis 684 m pro Stunde) je nach Wasserführung und Entfernung der Beobachtungsstelle vom Blautopf angegeben. GRADMANN gibt das Gefälle der „Quellfläche“ in der Schwäbischen Alb mit durchschnittlich 6.25‰ , im Höchstfalle 9.1‰ an (GRADMANN S. 83).

Für die Stadt Nürnberg wurde erstmalig im Jahre 1912 eine Wasserversorgungsanlage aus dem Karst in Betrieb genommen; die Erschließung erfolgte einfach durch Freilegung der Quellaustritte eines Quellweihers bei Ranna an der Pegnitz. Das Wasser gelangt aus einer Sicker Galerie in den Hauptsammelschacht, von wo aus es durch eine 45.04 km lange Leitung nach Nürnberg fließt.

Die bei dem Bau dieser Fassung gewonnenen geologischen und hydrographischen Erfahrungen werden im zweiten Teil dieser Arbeit mit verwertet.

In kleineren Gemeinden wurde schon vielfach die Wasserversorgung aus einem Karstgebirge durchgeführt, doch unterblieben dabei begreiflicherweise kostspielige Untersuchungen und langjährige Beobachtungen, sodaß nur dürrtiges Material zur Verarbeitung vorliegt.

Diesbezügliche Versuche wurden u. a. bei Freyburg an der Unstrut durchgeführt, wo auf der Muschelkalkhochfläche 140 m über dem Saale-Vorflutspiegel nach Angaben eines Rutengängers zwei Bohrungen angesetzt wurden, die man auf 18, bzw. 93 m niederbrachte, ohne dabei Wasser anzufahren (GÄBERT 1928). Für die Beurteilung der Karstwasserfrage ist dieses Ergebnis aber belanglos, da die Bohrungen 30 bis 40 m über dem zu erwartenden Karstwasserspiegel bereits eingestellt wurden. Von Erfolg war hingegen eine auf geologische Befunde gegründete Bohrung im unweit davon gelegenen Hasselbachtale. Sie durchteufte im Muschelkalk die Oolithbank α und den unteren Wellenkalk und wurde bei 31.82 m Gesamttiefe erfolgreich beendet. Der Brunnenkranz liegt in 143.40 m NN, das Wasserniveau stellte man bei Normalwasser in 116.40 m NN, bei Hochwasser im Frühjahr in 118.50 m NN fest; es zeigte sich also eine jahreszeitliche Schwankung von 2 m. Der bei einem Wasserstande von 116.40 m NN durchgeführte Pumpversuch ergab nach einer Spiegelsenkung von 1.40 m, bei welcher der Beharrungszustand erreicht wurde, 1.4 l/sek Schüttung. Die Bohrung ist nicht nach Geländemerkmale (Klüfte oder dergl.) angesetzt. Hervorzuheben ist, daß das Wasserniveau 17 m tiefer als der 400 m entfernte Hasselbach liegt, der sein Bett durch Lößlehm gegen das Karstgestein abgedichtet hat und bei Obermöllern schließlich sein Wasser restlos in das unterlagernde Karstgestein verliert. Das Liegende des verkarsteten Muschelkalkes sind die Myophorienmergel, deren schräge Lagerung z. T. auch das Karstwasser aufstaut. In Anbetracht dessen, daß der Muschelkalk

eine zwar feine, dabei aber doch sehr engmaschige Klüftigkeit besitzt, ist die Wassergewinnung von 1,4 l/sek immerhin als spärlich zu bezeichnen.

Mit Zahlenwerten dient auch die karsthydrologische Arbeit von PICK und FORSTER, welche Untersuchungsergebnisse aus dem ehemaligen Inner- und Unterkrain mitteilt. Die positiv verlaufenen Färbversuche an Karstgerinnen ergeben bei 18 untersuchten Objekten ein Gefälle von 3 bis 27 ‰ und Durchflußgeschwindigkeiten von 0.009 bis 0.3 m/sek (32.4 bis 1080 m/Stde.). Dabei entsprechen die höchsten Wassergeschwindigkeiten nicht den stärksten Gefällen, doch liegt das vor allem schon daran, daß die Gefällsberechnung aus der Luftlinienentfernung zwischen der Beschickungsstelle mit Farbstoff und dem Wiedererscheinen des Gerinnes ermittelt wurde. Es ist sonach ein geradliniger Verlauf des Wassers angenommen und die Zahlen sagen daher nichts absolutes aus. Bei den drei Spitzenwerten 1080, 792 und 618 m/Stde. glauben die Verfasser „ein ziemlich ausgebildetes, geschlossenes unterirdisches Gerinne“ annehmen zu können, während in den übrigen Fällen „mehr eine Bewegung in Klüften und Haarrissen“ stattfinden soll (PICK und FORSTER, S. 29). Das Durchschnittsgefälle aus den acht Beobachtungen beträgt 14 ‰. Eine besonders interessante Feststellung ist bei diesen Untersuchungen dadurch gelungen, daß aus zwei gefärbten Wasseradern, deren Austrittsstellen umgekehrt lagen als die Beschickungsstellen, auf eine Ueberkreuzung geschlossen werden konnte, ohne daß sich eine Vermischung des Wassers beider Gerinne zeigte. Es muß also wenigstens die höhere Ader, welche die tiefere überschneidet, in einem geschlossenen Kanal fließen.

Nicht immer führen solche Färbungs-, Drift- usw. Versuche zu dem Ergebnis, das man sich vorher in der Theorie zurechtgelegt hatte, selbst wenn die Schlüsse noch so folgerichtig erscheinen mochten. So hat die mit großer Sorgfalt am Lurbach in Steiermark durchgeführte sog. „Kombinierte Chlorierung“ (KYRLE 1928) gezeigt, daß der auf dem Tannebenplateau in die „Semriacher Lurgrotte“ (630 m NN) einströmende Bach einen anderen Verlauf nimmt, als die 4000 m lange Höhle, die bei Peggau als „Schmelzgrotte“ (400 m NN) austritt. Die Höhle ist zwar als zusammenhängende Anlage von der Semriacher Schwinde bis zur Peggauer Pseudo-Karstquelle touristisch erforscht (BOCK 1928), trotzdem besteht jedoch, entgegen der ursprünglichen Annahme einer Verbindung, zwischen Schwinde und Quelle mindestens bei Niederwasser kein hydrographischer Zusammenhang in Gestalt eines Höhlengerinnes. Der Nachweis wurde durch Chlorierung einwandfrei erbracht (KYRLE S. 90).

Während die hier gesammelten Beobachtungen und Erfahrungen über die Hydraulik des Karstes auf Bohrungen, Färbungen und Messungen an Schwund- und Austrittsstellen beruhen, wurden neuerdings Versuche angestellt, die Wasserverhältnisse im Karstkörper durch geoelektrische Messungsmethoden zu klären (LOHNBERG und STERN). Das diesbezügliche Verfahren geht davon aus, den scheinbaren spezifischen Widerstand des Stromes, der den Karstuntergrund durchläuft, in Ω/cm^3 in verschiedenen Tiefenstufen zu messen. Da die Reaktion auf wasserfreies, kapillar wassererfülltes und gerinneförmig angesammeltes Wasser jeweils verschieden ist, lassen sich daraus bestimmte Schlüsse auf die Art des vorhandenen Wassers ziehen. Die Untersuchungen von LOHNBERG und STERN, die zunächst im Zirknitzer Polje durchgeführt

wurden, ergaben für die Sedimente im Seeboden eine mäßige, grundwasserförmige Durchfeuchtung, für den Karstuntergrund aber Wasseransammlungen als gerinnartige Stränge.

— — — — —

Zusammenfassend kann auf Grund der hydrographischen und hydrologischen Untersuchungsbefunde folgendes gesagt werden:

- I. Die Abflußvorgänge im Karst knüpfen sich durchaus nicht an einheitliche Voraussetzungen. Selbst wenn man absieht von etwa vorhandenen geologisch-petrographischen oder mineralogischen Verschiedenheiten des Karstgesteins, wie sie sich aus geschichtetem Kalk, Dolomit und dergleichen ergeben, so bleiben doch noch andere Einwirkungen, welche die Art des Abflusses im Karst bestimmen. Sie ergeben sich aus dem Alter der Verkarstung, aus der Vorgeschichte der Landschaft und aus den örtlichen Krustenbewegungen, von denen sie betroffen wurde. Diese Faktoren sind in erster Linie dafür maßgebend, ob der Abfluß der Niederschläge in Form von geschlossenen Gerinnen stattfindet, oder ob er sich mit zunehmender Verkarstung in ausgedehnteren Kluftsystemen vollzieht. Sie sind auch ausschlaggebend dafür, ob die Wassermassen sich im tiefen Karst nur auf einer vom Erosionsniveau diktierten Ebene bewegen, oder ob sie unter diese bis auf einen wasserundurchlässigen Horizont hinabreichen, wie das bei einem ehemals seichten, später gesenkten Karst der Fall ist. Im gesenkten Verkarstungsgebiet mit vorgelagerten geologischen Staubarren werden sich grundwasserähnliche Ansammlungen bilden und der Austritt des Wassers kann dabei in Form von Tiefenquellen erfolgen. Der Inangriffnahme planmäßiger Karstwasserschließung hätte also wohl vor allem die Lösung diesbezüglicher geographischer und geologischer Fragen voranzugehen.
- II. Das vorliegende Beobachtungsmaterial läßt ferner erkennen, daß die Abflußgeschwindigkeiten im Innern der Karstgebirge ganz bedeutenden Schwankungen unterworfen sind und jenen an der Oberfläche nicht verkarsteter Gebiete, also in der Erosionslandschaft, nahekommen können. Die Niederschläge fließen in den Klüften des Gesteins in ziemlich geschlossenen Massen ab, sodaß sich ihnen nicht der Reibungswiderstand entgegenseßt, wie es z. B. im Kies, Sandstein und dergleichen der Fall ist. Die Konzentrierung der Abflußvorgänge auf verhältnismäßig kurze Zeitspannen und räumlich zusammengefaßte Abflußwege kann daher stärkere Spiegelschwankungen und höhere Quellschüttungsschwankungen im Gefolge haben, als man sie aus dem Grundwasser des Kieses und Sandsteins gewohnt ist. Die Abflußgeschwindigkeiten werden natürlich weitgehend von den unter I. aufgeführten Zuständen des Karstes abhängen. So wird in dieser Hinsicht das Verhalten des Karstwassers umsomehr dem des normalen Grundwassers gleichen, je weiter die Verkarstung fortgeschritten ist, je höher die Aufnahmekapazität der Gesteinsklüftung, d. h. je engmaschiger das Geflecht der Klüfte geworden ist. Es nähern sich dann die von den Niederschlägen abhängigen jahreszeitlichen Abflußextreme und die Quellschüttungskurven werden ausgeglichener. Da sich die Abfluß-

geschwindigkeit aus $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ errechnet, ist auch die Mächtigkeit des Karstes über der Vorflutbasis für sie ausschlaggebend. Ueberdeckungen des Karstkörpers mit Sanden, Sandsteinen usw. können verzögernd und ausgleichend auf den Abfluß wirken.

Das letzte Stadium im Ablauf der Verkarstung wäre dann nach LEHMANN wieder ein zunehmendes Uebergehen des Abflusses zu Gerinnen. Das Gebirge ist in diesem greisenhaften Zustand bereits von derart großlumigen Hohlräumen durchlöchert, daß die grundwasserähnliche Beschaffenheit des Reifealters in der Verkarstung verloren geht. Voraussetzung dafür ist natürlich die ungestörte Abwicklung einer zyklisch aufgefaßten Verkarstungsfolge.

Für wasserwirtschaftliche Probleme ist es daher schließlich von Bedeutung, die Abhängigkeit des Abflusses, bzw. seiner Geschwindigkeit von den Niederschlägen zu ermitteln. Eine in niederschlagsreichen Zeiten ergiebig schüttende Karstquelle kann während der Trockenperioden auf ein bedeutungsloses Minimum zurückgehen oder ein zu normalen Niederschlagszeiten erhobter Karstwasserspiegel kann in Trockenzeiten beträchtlich fallen.

Ebenso kann hier ein Karstgebiet grundwasserähnliches Verhalten im Abflußbild aufweisen, während dort vergeblich nach einer derartigen Beschaffenheit des Karstwassers gesucht wird. Die Hydrographie des Karstes steckt voll sprunghafter Ueberraschungen.

Schrifttum.

- BOCK, H. Der Karst und seine Gewässer. Mitteilungen für Höhlenkunde. H. 3. Graz 1913.
- — Das Lurloch in Steiermark. Mitt. über Höhlen- und Karstforschung. Berlin 1928.
- BOEGAN, E. Le sorgenti d'Aurisina etc. Trieste 1906.
- GAEBERT, C. Die Wasserversorgung einer Gemeinde auf der sterilen Muschelkalkhochfläche bei Freyburg a. d. Unstrut. Technisches Gemeindeblatt, Nr. 17. Berlin 1928.
- GOETZINGER, G. Hydrologische Beobachtungen im Weizer Karst. Wasserversorgung des Marktes Weiz. Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt. 75, 3/4. Wien 1925.
- GRADMANN, R. Beschreibung des Oberamts Münsingen. Zweite Bearbeitung. Stuttgart 1912.
- GRUND, A. Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. PENCKS geographische Abh. 7, 3. Leipzig 1903.
- — Zur Frage des Grundwassers im Karste. Mitt. d. geogr. Gesellsch. Wien. 53. Wien 1910.
- — Nochmals zur Morphologie und Hydrographie des Karstes. Petermanns Mitteilungen. Gotha 1912.
- KATZER, Fr. Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel. 8. Sarajewo 1909.
- KYRLE, G. Kombinierte Chlorierung von Höhlengewässern. Speläologische Monographien. 12. Wien 1928.
- LEHMANN, O. Die Hydrographie des Karstes. Enzyklopädie der Erdkunde. Leipzig und Wien 1932.
- MARTEL, E. A. Les Abimes. Paris 1894.
- — Nouveau traité des eaux souterraines. Paris 1921.
- PERKO, G. A. Im Karst ist kein Grundwasser. Laibacher Zeitung Nr. 176. Laibach 1908.
- PICK, K. und A. E. FORSTER. Hydrographische Forschungen in Inner- und Unterkrain. Mitt. d. geogr. Gesellsch. Wien. Wien 1922.
- PUTICK, W. Die unterirdischen Flußläufe von Innerkrain. Das Flußgebiet der Laibach. Forschungen zur Kenntnis der hydrographischen Verhältnisse des Karstes etc. Mitt. d. geogr. Gesellsch. Wien, 30. Wien 1887.
- — Zur Erforschung der hydrographischen Verhältnisse des Innerkrainer Karstes. Centralbl. f. d. ges. Forstwesen. 3. Wien 1887.
- — Die Ursachen der Ueberschwemmungen in den Kesseltälern von Innerkrain. Wochenschr. d. Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereins. Wien 1888.
- STACHE, G. Uebersicht der geol. Verhältnisse der Küstenländer von Oesterreich-Ungarn. Jahrb. d. Geol. Reichsanst. Wien, 39. Wien 1889.
- SIHLER, H. Blautopf und Karsthydrographie. Jahreshefte des Vereins für Vaterländische Naturkunde in Württemberg. Stuttgart 1929.
- LOEHNBERG, A. und W. STERN. Ein neuer Weg der karsthydrologischen Forschung durch Anwendung geoelektrischer Methoden. Zeitschr. f. Geophysik, 6/7. Braunschweig 1932.
- TIMEUS, G. Nei misteri del mondo sotterraneo. Risultati delle ricerche idrologiche sul Timavo. Alpi Giulie, 1. Trieste 1928.
- WAAGEN, L. Die Wasserversorgung von Pola. Wochenschrift für den öff. Bau-dienst, 37. Wien 1919.
- — Karsthydrographische Mitteilungen aus Unterkrain. Verh. d. geol. Reichsanstalt Wien, 4. Wien 1914.

Übersicht über das gesamte Einzugsgebiet der Pegnitz.

(Hiezu Tabelle II.)

Um die hydrographischen Verhältnisse im Karst des oberen Pegnitzgebietes untersuchen zu können, wurde der Gesamteinzugsbereich des Pegnitzflusses von der Quelle bis zum Lederersteg in Nürnberg, an dem sich der letzte Pegel vor der Mündung befindet, in 36 Abschnitte zerlegt. Jeder dieser Abschnitte ist ein orographisches Teileinzugsgebiet der Pegnitz. Einen größeren Ueberblick und bessere Vergleichsmöglichkeiten gewinnt man mit der Zusammenfassung der kleinen Einzugsbereiche zu größeren Einheiten, für die die Pegelstellen Fischstein, Günthersthal, Hohenstadt, Lauf und Nürnberg - Lederersteg gewählt wurden. Auf diese Weise ist es möglich, Schlußfolgerungen aus einem bestimmten Einzugsgebiet abzuleiten, indem man es auf ein anderes oder einige andere bezieht. Zur Vereinfachung werden die kleinen Einheiten mit den Ziffern 1 bis 36 und die großen mit den Buchstaben A bis E bezeichnet, sodaß

- A das Einzugsgebiet von der Quelle bis Pegel Fischstein,
- B das Einzugsgebiet vom Pegel Fischstein bis Pegel Günthersthal,
- C das Einzugsgebiet vom Pegel Günthersthal bis Pegel Hohenstadt,
- D das Einzugsgebiet vom Pegel Hohenstadt bis Pegel Lauf und
- E das Einzugsgebiet vom Pegel Lauf bis Pegel Lederersteg ist.

Das zahlenmäßige Material ist, soweit es bis jetzt aus dem gesamten Flußgebiet erhoben werden konnte, in der Tabelle II dargestellt. Für die Spalten „Pegnitzlauf“, „Seitengerinne“, „Flußgefälle“ und „Teileinzugsgebiet“ wurden die Unterlagen von SPECHT benutzt, den Niederschlagsberechnungen liegt die Arbeit von HAEUSER zu Grunde und den Abflußberechnungen die Beobachtungen der Landesstelle für Gewässerkunde in München. Die Schreibweise der Ortsnamen sowie die „Karstbesiedlung“ ist dem Ortsnamenverzeichnis für den Freistaat Bayern (Statistisches Landesamt 1928) entnommen. Alle übrigen Berechnungen stützen sich z. T. auf die Unterlagen der städtischen Wasserversorgung von Nürnberg, z. T. auf eigene Erhebungen. Als Kartenmaterial diente die „Hydrographische Uebersichtskarte“ aus der Arbeit von SPECHT, die einschlägigen Blätter der geognostischen Karte von GUMBEL, ferner die topographischen Atlasblätter von Bayern 1 : 50 000, Gewässer- und Wald-Sonderkarte (Umdruckausgabe) 1 : 100 000 des Topographischen Büros München und Forstkarten 1 : 10 000 mit Höhenschichten. Für die karstgeographischen und -geologischen Belange fanden östlich der Pegnitz meine eigenen Kartierungen und der Topographische Höhlenatlas von Franken Verwendung.

— — — — —

Das Gewässernetz des Pegnitzflußsystems bewegt sich auf verschiedenem geologischem Untergrund. Wenn man zunächst nur eine Gliederung nach Karst und Nichtkarst vornimmt, so ist zu sagen, daß sich der oberste Oberlauf, der eigentlich den Namen Fichtenohe führt, mit seinen Seitengerinnen, sowie der ganze Unterlauf im Nichtkarst bewegt,

während der untere Teil des Oberlaufes und der Mittellauf im Karst liegen (Tafel I). Der Pegnitzfluß selbst — einschließlich der Fichtenöhe — betrifft bei der Stadt Pegnitz den tiefen Karst und verläßt ihn wieder bei Artelshofen. Das letzte Seitengerinne aus dem Karst kommt der Pegnitz jedoch viel weiter unten im Schnaitzbach zu, sodaß eigentlich erst das Teileinzugsgebiet E völlig frei ist von den Einwirkungen, die der Karst auf den Abfluß ausübt.

Das Nichtkarstgebiet des Oberlaufes, aus dem Fichtenöhe und Weihergraben kommen, besteht aus schwarzem und braunem Jura. In den gleichen geologischen Schichten bewegt sich der Oberlauf des Flembaches und des Speckbaches. Das untere Pegnitzflußgebiet liegt zum kleineren Teil im schwarzen und braunen Jura, zum größeren im Keuper, der gegen Nürnberg mit mächtigen Diluvialsanden überschüttet ist. Im Einzugsgebiet des Mittellaufes tritt vorwiegend der verkarstete Weißjura auf, den Kreide- und Tertiärschichten in großen Flächen, aber stark wechselnder Mächtigkeit, diskordant überdecken. Der oberturone Kreidesandstein, als Veldensteiner Sandstein bekannt, nimmt davon nach HESS (S. 194) eine Fläche von 95.5 km² ein.

Wie sehr der Abfluß vom geologischen Gebietszustand abhängt, zeigt am deutlichsten das Gerinneneß. Die geringe Flußdichte des Karstes gegenüber dem Nichtkarst ist der Tafel I bildmäßig und der Tabelle II zahlenmäßig zu entnehmen. Danach hat der Einzugsbereich B, der zu 100 % aus Karst besteht, die niedrigste Flußdichte mit 226 m/km², während im Gebiet E die Flußdichte auf 1419 m/km² ansteigt, weil es frei von Karstgestein ist. Die kleinste Flußdichte liegt im Einzugsgebiet 14 mit 42 m/km², die größte bei 25 mit 2481 m/km².

Aehnlich verhält es sich mit den Quellaustritten, die allerdings nur bis zum Pegel Hohenstadt festgestellt sind. Es ist aber schon aus den drei Einzugsgebieten A bis C zu ersehen, wie die Quelldichte im Karst nachläßt. Die Impressamergel und der Ornatenton in den Abschnitten A und C spenden zwar zahlreiche Schicht-, manchmal vielleicht auch Ueberfall-Quellen im Sinne REUTER's (S. 32), sodaß die Quelldichte dort steigt; die einzelnen Quellen besitzen jedoch weitaus nicht die hohe Ergiebigkeit, wie die Karstquellen im Weißjura. Das Zurückgehen der Quelldichte im Abschnitt B ist umso bemerkenswerter, als der Abflußkoeffizient dort eine beträchtliche Höhe erreicht. Der Wasseraustritt erfolgt fast restlos in unmittelbarer Nähe der Pegnitz, teilweise auch in ihr selbst, wogegen er sich im Nichtkarst vorwiegend auf das Hintergelände des Einzugsgebietes, bzw. auf den Karstrand beschränkt. Wenn im seichten Karst ebenfalls eine reichere Gliederung der Wasserstränge und damit eine höhere Quelldichte erscheint, so ist die Ursache dafür die starke Klüftigkeit der Werkkalkschichten im unteren Weißjura. Sie werden von dem undurchlässigen Ornatenton, gegebenenfalls von Impressamergeln unterlagert, auf denen der Abfluß erfolgt. Die untere Abflußbasis bestimmt also der Ornatenton, eventuell sein Schichtfallen, die Gliederung des Wasserkörpers aber der darüberliegende Werkkalk, beziehungsweise seine Klüftungsart. Man kann daraus den Schluß ableiten, daß die Form des Abflusses im Karst u. a. auch an die Gesteinsstruktur gebunden ist.

Verteilt man den mittleren Jahresabfluß der einzelnen Einzugsgebiete auf die jeweilige Zahl der in ihnen liegenden Quellaustritte, dann ergibt sich für jede Quelle

im Gebiet A ein mittlerer jährlicher Abfluß von 9 l/sek,
 im Gebiet B ein mittlerer jährlicher Abfluß von 73 l/sek und
 im Gebiet C ein mittlerer jährlicher Abfluß von 12 l/sek.

Diese rechnerische Darstellung verbürgt allerdings wenig Genauigkeit und gibt nur einen Rohüberschlag. Es wurden daher die Quellaustritte in Tabelle III einzeln behandelt und in 6 Schüttungsgruppen mit steigender Ergiebigkeit ausgeschieden. Auf diese Weise konnte den natürlichen Verhältnissen nähergekommen werden. Im Auszug ergibt sich für das Pegnitzflußgebiet von der Fichtenohe-Quelle bis zum Hohenstadter Pegel nach der Zusammenstellung folgendes Bild:

		Quellen.						
		gesamt	unter 1 l/sek	1-5 l/sek	5-10 l/sek	10-50 l/sek	50-100 l/sek	über 100 l/sek
Nichtkarst								
Anzahl:	68	10	47	9	2	0	0	
Prozent:		14.7	69.1	13.2	2.9			
seichter Karst								
Anzahl:	114	28	79	7	0	0	0	
Prozent:		24.5	69.2	6.1				
tiefer Karst								
Anzahl:	93	19	42	9	18	4	1	
Prozent:		20.4	45.1	9.6	19.3	4.3	1.07	
Karstbedeckung								
Anzahl:	16	16						
Prozent:		100						

Auch diese Zusammenstellung zeigt die Verminderung der kleineren Quellaustritte bzw. eine Zunahme der stärkeren Karstquellen im tiefen Karst.

Zur Zeit der Aufnahme der Quellen wurden an der Pegnitz folgende Abflußmengen beobachtet: Ranna 1.45 m³/sek, Neuhaus 2.19 m³/sek. Die Werte liegen etwa 20 % unter dem langjährigen Jahresmittel, das für Ranna mit 1.89 und für Neuhaus mit 2.74 m³/sek festgestellt ist. Es darf daher angenommen werden, daß auch die Quellen im allgemeinen unter ihrer mittleren Ergiebigkeit liegen, soweit sie für diese Aufstellung beobachtet wurden.

Die Erhebungen bestätigen also nach zwei Richtungen hin den Grundgedanken, daß der unterirdisch abfließende Niederschlag in den verkarsteten mittleren und oberen Weißjuraschichten des Günthersthaler Einzugsgebietes zu ergiebigeren Quelladern zusammengefaßt ist, als im Nichtkarst und im seichten Karst.

Die in den folgenden Spalten der Tabelle II verzeichneten Niederschlagswerte sind aus dem Atlas von HAEUSER, „Die Niederschlagsverhältnisse in Bayern“ usw. gewonnen und gehen aus der fünf- und zwanzigjährigen Beobachtungsperiode von 1901–1925 hervor. Unter Benützung der dortigen Angaben wurden in eine 100 000 teilige Kartenunterlage mit eingetragenen Einzugsgebieten die Isohyeten von 50 zu 50 mm konstruiert, wobei die Tafel I des HAEUSER'schen Werkes die Arbeit wesentlich erleichterte. Die Flächengrößen wurden nun aus der

gezeichneten Karte herausplanimetriert und so angeordnet, wie sie der beigegebenen Tabelle II zu entnehmen sind.

In Niederschlagspenden ausgedrückt ergeben die erhaltenen Werte folgendes Bild:

Fischstein:	23.97 l/sek/km ²
Günthersthal	24.33
Hohenstadt:	26.53
Lauf:	23.57
Lederersteg:	21.82

Am niederschlagsreichsten ist demnach das Einzugsgebiet zwischen Günthersthal und Hohenstadt, am niederschlagsärmsten jenes von Lauf bis Nürnberg-Lederersteg.

In der Tabelle II folgt nun die Spalte mit den Ziffern des Abflusses, die aus den Unterlagen der Landesstelle für Gewässerkunde in Bayern gewonnen und in dem Gutachten HEISER's rechnerisch vielseitig ausgewertet wurden. Sie stützen sich auf einen Beobachtungszeitraum von 15 Jahren, und zwar von 1914–1928, in dem an 7 Pegnißpegeln registriert wurde. Wenn sich damit die Beobachtungszeiträume von Niederschlag und Abfluß nicht decken, so ist das zwar durchaus nicht wünschenswert, doch liegt in der immerhin noch genügend langen Beobachtungsreihe des Abflusses eine ausreichende Gewähr dafür, daß auch eine umfangreichere Unterlagensammlung keine wesentlichen Veränderungen bringen wird. Zweckmäßig erscheint es aber trotzdem, den hieraus errechneten Abflußkoeffizienten so zu formulieren, daß eindeutig zu erkennen ist, es handelt sich um das Verhältnis eines 15jährigen Abflußmittels zu einem 25jährigen Niederschlagsmittel in einem und demselben Gebiet. Daher dürfte die Bezeichnung „relativer Abflußkoeffizient“ angebracht sein.

Dieser relative Abflußkoeffizient ist ein Faktor, dem ein besonderes Augenmerk in der vorliegenden Arbeit über das obere Pegnißgebiet gewidmet werden soll. Schon auf den ersten Blick ist zu erkennen, daß die Abflußverhältnisse in den verschiedenen Einzugsgebieten A bis E stark voneinander abweichen. Wenn in den kleinen Einheiten der Einzugsgebiete Unterschiede auftreten, so ist das bei dieser Art der Untersuchungen nicht weiter verwunderlich. Da aber auch die großen Einheiten in ihren Werten wesentlich auseinandergehen, ist Veranlassung gegeben, die Ursachen weiter zu verfolgen. Hier fällt vor allem das Gebiet B völlig aus dem Rahmen heraus, denn ein Abflußkoeffizient von 143 % bedeutet, daß mehr Wasser zum Abfluß kommt, als überhaupt Niederschlag in dem Teileinzugsgebiet anfällt. Dagegen erscheint der Abflußkoeffizient des Einzugsgebietes A auffallend niedrig, wie sich auch für Gebiet C ein verhältnismäßig niedriger Wert errechnet. Weniger starke Abweichung voneinander zeigen die Gebiete D und E. Für diese unterschiedlichen relativen Abflußkoeffizienten können nur zwei Ursachen in Frage kommen: 1. eine höhere Verdunstung in den Gebieten mit niedrigerem Abflußkoeffizienten gegenüber denen mit höheren oder 2. ein anderer Grenzenverlauf der Einzugsgebiete, als er sich aus den morphologischen Oberflächenwasserscheiden ergibt. Die erste Annahme würde vor allem in unterschiedlichen Vegetationsverhältnissen, teilweise auch in der geologischen Beschaffenheit der Einzugsgebiete ihre Be-

gründung finden, die zweite ausschließlich in dem geologischen Gebietszustand.

Was die Vegetation betrifft, so besteht sie aus Wald, dessen Prozentsatz die Spalte über die Gesamtbewaldung in der Tabelle II ausweist und im übrigen hauptsächlich aus Acker- und Wiesenland. Vegetationslose Fels- oder Oedflächen nehmen nur etwa 1 % ein.

Nach SCHUBERT (S. 150) überwiegt die Verdunstung in bewaldeten Landstrichen gegenüber der im freien Gelände und nach den bekanntgegebenen Untersuchungen (S. 145) betrug der 15jährige Durchschnitt des Niederschlages unter Waldbäumen ca. 75 % desjenigen im Freien. Es ist also eine geringere Grundwasserspeisung bzw. eine Abflußverminderung in bewaldeten Gebieten anzunehmen. Bei dieser Betrachtung wollen wir den Unterschied zwischen Laub- und Nadelholz, zwischen jungwüchsigen und alten Waldbeständen außer Acht lassen. Wenn nun die abweichenden relativen Abflußkoeffizienten vorwiegend auf die Bewaldungsverhältnisse zurückgeführt werden sollen, so muß sich diese Abhängigkeit auch ziffernmäßig in einer Gegenüberstellung der Bewaldungsdichte mit dem Abflußkoeffizienten des bezüglichen Niederschlagsgebietes äußern. Zur Vergleichung diene folgende Uebersicht:

Einzugsgebiet	Wald %	Verhältniszahl	relat. Abflußkoeffizient %	Verhältniszahl
Günthersthal	63	1	143	1
Lederersteg	59	0.93	46.2	0.32
Fischstein	49	0.77	28.8	0.20
Hohenstadt	48	0.76	31.4	0.22
Lauf	41	0.65	39.2	0.27

Aus Zweckmäßigkeitsgründen, die später zu erörtern sind, wird man auch noch das Gebiet A und B zusammengefaßt den anderen Einzugsbereichen gegenüberzustellen haben, wobei sich folgende Zahlen ergeben:

Einzugsgebiet	Wald %	Verhältniszahl	relat. Abflußkoeffizient %	Verhältniszahl
Lederersteg	59	1	46.2	0.73
Günthersthal	53	0.89	62.8	1
Fischstein				
Hohenstadt				
Lauf	41	0.69	39.2	0.62

Das Gebiet mit stärkster Bewaldung bzw. höchstem Abflußkoeffizienten ist jeweils gleich 1 gesetzt. Wie die Zusammenstellung zeigt, besteht kein Anlaß anzunehmen, daß die Vegetationsverhältnisse des Untersuchungsgebietes einen ausschlaggebenden Einfluß auf den relativen Abflußkoeffizienten ausüben. In der ersten Darstellung kommt sogar zum Ausdruck, daß das Gebiet mit dem höchsten Abflußkoeffizienten zugleich das am dichtesten bewaldete ist. Keinesfalls ist aus dem Zahlenmaterial beider Darstellungen eine gesetzmäßige Abhängigkeit der unterschiedlichen Abflußkoeffizienten von der Bewaldung ersichtlich. Schließlich weichen die Bewaldungsquoten in den einzelnen Einzugsgebieten auch zu wenig voneinander ab, als daß man eine so erhebliche Beeinträchtigung der Abflußverhältnisse erwarten könnte, wie sie vorliegt.

Ueber die Bewaldung ist noch zu sagen, daß die Werte reichlich hoch erscheinen mögen, besonders dann, wenn man sie mit den neuesten Erhebungen von GÜCKENBERGER vergleicht, der für die Frankenalb 39 % und für das fränkische Hügelland gar nur 29 % Wald der Gesamtfläche angibt (S. 25). Das Pegnitzgebiet ist aber ausnahmsweise dicht bewaldet, denn es schließt den umfangreichen Veldensteiner, Sackdillinger und Rinnenbrunner Forst ein und im Unterlauf den Reichswald, sodaß tatsächlich das Kulturland stark eingeschränkt wird. Die Wälder bestehen etwa zu 85 % aus Nadelhölzern und im übrigen aus Laubhölzern, unter denen die Buche vorherrscht. Dieses Verhältnis verteilt sich annähernd gleichmäßig auf alle Teileinzugsgebiete.

Nach diesen Feststellungen über den etwaigen Einfluß des Waldes auf die Verschiedenheit der relativen Abflußkoeffizienten bleibt also nur die geologische Beschaffenheit der Einzugsgebiete zu untersuchen. Die beigegegebene Uebersichtskarte (Tafel I) zeigt, inwieweit sich das Pegnitzflußgebiet im Nichtkarst und im Karst bewegt. Danach könnte man aus dem mangelnden Abflußnetz an der Karstoberfläche eine Verdunstungsminderung und damit verbundene Erhöhung des Abflußkoeffizienten annehmen. Das mag in gewissem Umfange zutreffen, sicher aber nicht in dem Ausmaße, wie es nötig wäre, um den außerordentlich hohen Abflußkoeffizienten des Pegnitzgebietes bis zum Günthersthaler Pegel erklären zu können. Es müßte sonst die gleiche Erscheinung beim Hohenstadter Pegel auftreten und dies umsomehr, als der Anteil an bedecktem Karst im Einzugsgebiet C wesentlich geringer ist, als in A + B und es in C nicht einmal zur Bildung von Weihern oder Ponorbachläufen kommt, von denen in den oberen Gebieten insgesamt 127 festgestellt wurden. Trotzdem ist der relative Abflußkoeffizient im Einzugsgebiet C der zweitniedrigste unter allen. Ueberhaupt ist der weithin bedeckte Karst des Einzugsbereiches bis zum Pegel Günthersthal an der Oberfläche in seiner Wirkung auf die Verdunstung nicht anders zu werten, als ein unverkarstetes Gebiet. Die durch fehlende Bachläufe ausfallende geringe Verdunstungsmenge wird dafür sicher nicht zum kleinsten Teil in den zahlreichen Höhlen und Klüften verdunstet. Das kann man an kalten Wintertagen beobachten, wenn fortwährend Nebelschwaden aus engen Schachthöhlen aufsteigen und auch die seit Jahren in den dortigen Höhlen durchgeführten Psychrometermessungen zeigen durchschnittlich einen relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft von 90 bis 100 %.

Der Abfluß bzw. die Abflußrichtung im Karst ist nicht von der Oberflächenmorphologie abhängig, sondern kann unterirdisch ganz andere Wege gehen als es die Geländeabdachung erwarten läßt. Darauf machte u. a. auch GRADMANN aufmerksam (1912, S. 74) und SIHLER schreibt gelegentlich einer Arbeit über den Blautopf, „sicher ist, daß an dieser Stelle die europäische Wasserscheide weiter nach Norden verschoben werden muß“, als sie nach der Oberflächenmorphologie anzunehmen wäre (SIHLER 1927, S. 299). In dieser Tatsache ist nun ein Hinweis für die weiteren Ermittlungen gegeben.

Die Grenze, mit der das Gesamteinzugsgebiet der Pegnitz an benachbarte Flußgebiete anstößt, verläuft auf folgende Erstreckung im Karst bzw. Nichtkarst:

Gebiet	nach Westen bzw. Süden		nach Osten bzw. Norden		zusammen	
	Karst	Nichtkarst	Karst	Nichtkarst	Karst	Nichtkarst
	km	km	km	km	km	km
A	28	6	3	38	31	34
B	0	0	10	0	10	0
C	4	0	7	0	11	0
D	15	7	40	8	55	15
E	0	26	0	40	0	66
zusammen:	47	99	60	86	107	115

Nahezu die Hälfte der oberflächigen Wasserscheide verläuft demnach im Karst.

Die einzelnen Teileinzugsgebiete A bis C befinden sich mit ihren gegenseitigen Abgrenzungen innerhalb des Pegnißbereiches ausschließlich im Karst. Der ziffernmäßige Betrag an Karst und Nichtkarst, aus dem sich die Einzugsgebiete überhaupt zusammensetzen, ist aus den entsprechenden Spalten der Tabelle II zu entnehmen.

Da, wie gesagt, die orographischen Wasserscheiden im Karst keine absolute Gewähr für die tatsächliche unterirdische Abflußrichtung des Niederschlages bieten, der in dem betreffenden Gebietsteil anfällt, so besteht im oberen Pegnißtal hinsichtlich der Abgrenzung auf weite Erstreckung Unsicherheit. Daraus folgt, daß die den Niederschlagsberechnungen zugrunde gelegten Flächen und die weiterhin sich wieder hieraus ergebenden Abflußkoeffizienten gleichfalls zumindest als unsicher bezeichnet werden müssen. In einem späteren Abschnitt soll unter Beachtung der geologisch-tektonischen Verhältnisse in dem Gebiet geprüft werden, inwieweit sich auch andere Möglichkeiten des Karstwasserabflusses ergeben, als sie für die Berechnungen des relativen Abflußkoeffizienten vorausgesetzt wurden.

Eine besondere Rolle bei dem Abfluß der Niederschläge fällt im Karstgebiet der Karstbedeckung zu, die das Gebirgsfundament verhüllt und so gegebenenfalls die Abflußgeschwindigkeit hemmt oder fördert. Das erstere tritt dann ein, wenn normale Niederschläge in den kapillaren Hohlräumen der sandigen oder lehmigen Albüberdeckung Aufnahme finden, das letztere, wenn der Ueberschuß an aufnahmefähigem Niederschlag bei exzessivem Regen oder gefrorenem Boden als Oberflächenwasser gesammelt und durch Wasserschlinger unterirdisch abgeleitet wird. So wird z. B. der normale Niederschlag im Gebiet des Veldensteiner Forstes stets mit seiner mächtigen Sand- und Sandsteinüberdeckung länger aufgehalten sein, bis er an der Quelle erscheint, als im südlich anschließenden Gebirge der zerklüfteten unbedeckten Karstkalke und -Dolomite. Dagegen vereinigt sich der Hochwasser erzeugende Niederschlag auf derselben Kreide- und Tertiärbedeckung zu Sammelgerinnen vor allem, wenn sie schon mit Wasser gesättigt ist, um in Form von Ponorbachläufen unmittelbar in die Karstkanäle überzugehen. Dies soll nur eine generelle Betrachtung über die Abflußgeschwindigkeit sein, im Einzelfalle ist sie noch von anderen Faktoren, wie Gefälle, Weg, Drosselung der Kanäle usw. abhängig. Auf einschlägigen Karten sind die größeren dieser zeitweilig fließenden Oberflächengerinne verzeichnet, doch gibt es noch eine Menge kleinerer Bachläufe, deren Eintrag dort fehlt. Zu den auf der Uebersichtskarte als Ponore eingetragenen punktförmigen Entwässe-

rungsstellen der Karstlandschaft gehören in sehr vielen Fällen mehr oder minder große Wildwässergräben.

Die Tabelle II zeigt, daß sich die stärkste Karstbedeckung im Oberlauf befindet, während sie gegen den Unterlauf allmählich und gleichmäßig zurückweicht. Dieser außerordentlich verbreiteten Karstbedeckung kommt in Bezug auf den Abfluß nicht nur eine quantitative Bedeutung zu, sondern vor allem auch eine qualitative. Sie ist die eigentliche Ursache für die besondere Güte und Verwendbarkeit des Wassers zur Wasserversorgung einer Großstadt (Festschrift 1912, S. 239/240). Es ist für eine Stadtverwaltung in hohem Maße beruhigend, wenn sie sich vor Ueberraschungen in der Trinkwasserversorgung sicher fühlen kann, und für Nürnberg sind dazu alle Voraussetzungen gegeben. Die Karstbedeckung als umfangreicher natürlicher Filter gewährt einen ausreichenden und sicheren Schutz gegen Verunreinigungen des Wassers, die sonst im Karste eine gefürchtete Erscheinung sind.

Neben diesen günstigen naturgegebenen Verhältnissen sind es allerdings auch die Karstbesiedelung und Karstbewaldung, die den Zustand des Wassers mitbestimmen. Der Karstwald des oberen Pegnitzgebietes schließt einen dichten Schutzgürtel rings um die Quelfassungen und hält daher die Landwirtschaft fern, die mit ihren Arbeitsvorgängen eine gewisse Gefahr für die Wasserbeschaffenheit bedeutet. Die im Hintergelände der Einzugsgebiete unserer Rannaer Karstquellen betriebene Bodenbewirtschaftung mit den dort befindlichen Siedelungen liegt so weit von den Entnahmestellen des Wassers entfernt, daß mit geringen Ausnahmen, die später noch behandelt werden, keine Bedenken über seine Qualität aufkommen können.

Bei der Karstbesiedelung fällt auf, daß sie in den Einzugsgebieten B, C und D sehr gleichmäßig ist, während Gebiet A eine verhältnismäßig hohe Ziffer aufweist. Das liegt an den gleichen bodenwirtschaftlichen Voraussetzungen in den Gebieten B bis D, in denen ausschließlich Landwirtschaft betrieben wird, während der Bergbau Auerbachs und das Hüttenwerk in Pegnitz mit seiner Industrie im Gebiet A eine Steigerung der Bevölkerungsdichte bedingen. Diese Steigerung konzentriert sich jedoch nur auf die beiden Städte Auerbach und Pegnitz, deren Lage den Karstquellen und ihrer Qualität aus geologischen Gründen nicht gefährlich werden kann.

Der nahezu in der ganzen Pegnitzalb betriebene Bergbau auf Farberde in vielen einzelnen Gruben kann als Industrie in diesem Sinne kaum angesehen werden; er ernährt seinen Mann nicht und muß daher auch meist nur neben der Landwirtschaft einhergehen, oft leider sehr zu ihrem Nachteil. Die steuerliche Belastung der Bauern und vielfach auch ein seit der Inflation eingetretener höherer Lebensstandard haben sie immer mehr dazu gedrängt, sich dem Bargeld einbringenden Farberde-Abbau zuzuwenden, wodurch oft eine Vernachlässigung der eigentlichen Landwirtschaft zu beobachten war. Eine Steigerung der Karstbesiedelung wird dieser Erwerbszweig jedoch nicht nach sich ziehen können, sodaß auch keine Beeinträchtigung der Karstwasserqualität daraus zu befürchten ist. Man wird aber in den Einzugsgebieten der gefaßten Quellen diesen bergbaulichen Anlagen selbst aus Gründen des Quellschutzes stets wachsam gegenüberstehen müssen.

— — — — —

Hinsichtlich des hydrographischen, geographischen und geologischen Teiles der statistischen Uebersicht ist festzustellen, daß die Verhältnisse im Rahmen des gesamten Pegnitzflußgebietes keine einheitlichen sind. In jeder Beziehung hebt sich vor allen Dingen der obere Flußbereich ab, für dessen besonderes Verhalten in erster Linie der verkarstete Untergrund verantwortlich zu machen ist, während sonstige Einflüsse als bedeutungslos außer Acht gelassen werden können.

Schrifttum.

- GRADMANN, R. Beschreibung des Oberamts Münsingen. Herausgegeben vom k. statistischen Landesamt. 2. Bearbeitung. Stuttgart 1912.
- GUCKENBERGER, E. Die Verbreitung des Waldes in Süddeutschland nach natürlichen Landschaften. Heimatkundliche Arbeiten aus dem geographischen Institut der Universität Erlangen, 6, Erlangen 1932.
- HAEUSER, J. Die Niederschlagsverhältnisse in Bayern und in den angrenzenden Staaten. Veröffentlichungen der Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde. München 1930.
- HEISER, H. Gutachten zur Wasserversorgung der Stadt Nürnberg. Ranna II. Ausbau 1931. Wasserversorgung Nürnberg. (Manuskript.)
- HESS, H. Niederschlag, Abfluß, Verdunstung und Abtrag im Pegnitzgebiet. Abhandlungen der Naturhist. Gesellsch. Nürnberg, 22, 4. Nürnberg 1927.
- REUTER, L. Die geologischen Grundlagen zur Wasserversorgung im Bayerischen Jura-Gebiet. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1920. SA, München 1921.
- SCHUBERT, J. Niederschlag, Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit, Schneedecke in Waldbeständen und im Freien. Meteorol. Zeitschrift, 34, 4/5, Braunschweig 1917.
- SIHLER, H. Zum Wasserhaushalt des Blaulopfes. Blätter des Schwäbischen Albvereins. 1927.
- SPECHT, A. Das Pegnitzgebiet in Bezug auf seinen Wasserhaushalt. Abh. d. Bayer. Hydrotechn. Büros München. München 1912.
- Die Wasserversorgung der Stadt Nürnberg von der reichsstädtischen Zeit bis zur Gegenwart. Festschrift zur Eröffnung der Wasserleitung von Ranna. Herausgegeben vom Stadtmagistrat Nürnberg. Nürnberg 1912.
- Beilage A des Forstgesetzentwurfes für Steiermark vom Jahre 1889. „Der Einfluß des Waldes in Bezug auf Klima, Boden und Wasserabfuhr.“ Zeitschrift des Steiermärkischen Forstvereins, 2. Graz 1889.
-

Die Landschaft des oberen Pegnitzflußgebietes.

Die Landformen der nördlichen Frankenalb weichen auffallend voneinander ab. Das bedingt der wechselnde geologische Bau des Gebirges. Breite, ungegliederte Höhen, welche die Bezeichnung Hochfläche beanspruchen können, bilden sich dort, wo das Baumaterial aus geschichteten Malmkalken besteht, wie auf der „Langen Meile“ OSO von Bamberg oder in der Umgebung des Zipser Berges, ö. von Pegnitz. Je mehr aber die Schwammkalke und die ruppigen, dolomitisierten oberen Malmschichten hervortreten, umso stärker wird die vertikale Gliederung, und die von GRADMANN empfohlene Prägung „Hochlandschaft“ ist dafür sehr treffend gewählt. Die Landschaft verflacht jedoch dort wieder, wo das Kreidemeer seine mächtigen Sand- und Ton-Ablagerungen hinterließ und diese noch nicht abgetragen bzw. ausgeräumt sind. Die Einebnung kann so weit gehen, daß der Karstcharakter verwischt wird, da das Jurarelief fast völlig von Kreide und Tertiär überdeckt ist. Nur im Gerinneneß der Oberfläche und in den Wasserschwinden sind die Merkmale einer verborgenen Verkarstung zu finden.

Eine solche Landschaft wird vom oberen Pegnitzlauf durchzogen. Wenn in ihr dennoch an einzelnen Stellen der Kalk- und Dolomittfels aus den Tonen, Sanden und Sandsteinen herausragt, so werden die daraus entstehenden Gegensätze doch wieder durch ausgedehnte Wälder gemildert. Veldensteiner, Sackdillinger und Hannesreuther Forst nehmen große Flächen des Gebietes ein und es erscheint daher dieser Teil der Alb als eine sanfte Berglandschaft mit breiten Höhenrücken ohne jede Schroffheit in der Gliederung.

Morphologisch genommen ist das Gebiet als eine Einheit aufzufassen, deren Grenze ungefähr folgendermaßen verläuft: im SW von Betzenstein über Plech, Neuhaus nach Krotensee; von hier biegt sie nach NO ab über Hohe Tanne in die Gegend von Nißlbuch, um im Norden über Auerbach, Michelfeld, Horlach nach Bronn zu ziehen und dann nach NW mit der Linie Bronn—Bezenstein abzuschließen. Schon die Geländedarstellung der Blätter Pegnitz Ost und West (Nr. 29) des Topographischen Atlas von Bayern hebt das umrissene Gebiet sichtbar hervor. Der Grenzverlauf ist allerdings nicht absolut starr linear zu nehmen, vielmehr verzahnt sich die verebnete bzw. aufgeschüttete Landschaft an verschiedenen Stellen mit dem entblößten Karst, wie in der Südostecke von Krotensee gegen Rinnenbrunn und in der Nordostecke in Richtung Bernreuth (s. Tafel II, Fig. 6). Ebenso treten auch innerhalb der Kreidelandschaft vereinzelt nackte Karstberge mit steilen Hängen und Felsgruppen als Inseln aus der Sand- und Sandsteinbedeckung hervor. Am stärksten ist die Verflachung westlich und südwestlich von Auerbach und im Veldensteiner Forst, auf der rechten Pegnitzalseite. Stellenweise führt sie so weit, daß lokale Versumpfung oder Weiherbildung auftritt, wie bei Auerbach, Ranna und an anderen Orten. Sie hängt mit örtlicher Tiefenlage des Geländes (bei Ranna) oder mit mächtiger Karstbedeckung (Auerbach) zusammen.

Trotzdem der kreidebedeckte Karst gegen den größtenteils entblößten Karst im Süden und Westen nicht durchaus unvermittelt abstößt, sind doch augenfällige Unterschiede zwischen den beiden Landschaftstypen vorhanden. Neben den oben geschilderten Hauptmerkmalen der geringen Gliederung im bedeckten Karst sind es vor allem seine breiten, im Querschnitt wannenförmigen Trockentäler, die sich richtungsbeständig mit west-östlicher Tendenz und in gleichmäßigem Gefälle zur Pegnitz hinabziehend von den Tälern des südlich anschließenden Gebietes unterscheiden. Von einem eigentlichen geschlossenen Talverlauf kann man im entblößten Karst meist überhaupt nicht sprechen; es ist ein ganzes Neß trockener Talungen, deren Tiefenlinien in vielfachen Windungen durch die zerrissene Kuppenlandschaft den Flußtälern zuzustreben (vgl. CRAMER 1928). In diese münden sie bisweilen als „Hängetäler“, da und dort schluchtenförmig vertieft, mit steilem Gefälle ein. Am besten ausgeprägt finden sich solche Hängetäler nordöstlich von Krotensee, in denen zudem ein Abbrechen in zwei Stufen gegen den Pegnitzgrund wahrzunehmen ist.

Während sich die Kreidebedeckung im oberen Pegnitzgebiet auch auf den Berghöhen erhalten hat und dort vor allem im Veldensteiner Sandstein eine große Verbreitung besitzt, beschränken sich die Abtragungsrückstände aus der einstigen Bedeckung im Süden vorwiegend auf die Talfurchen, wo sie wiederholt umgelagert und von den Höhen herabgeschwemmt wurden. Wie die Trockentalformen im Süden anders sind, als im Norden, so durchfließt auch die Pegnitz ein anders gestaltetes Tal, sobald sie den bedeckten Karst verläßt. Im Norden ist es eine breite, reife Talaue, durch die der Pegnitzfluß in vielen kleinen Schlingen und Windungen dahinzieht. Der Durchschnitt des Flußgefälles von der Flembachmündung bis Rothenbruck beträgt rd. 1 ‰ und die Flußsohle besteht vorwiegend aus Sand. Von Neuhaus abwärts werden die Talquerschnitte V-förmig, das Gefälle verstärkt sich an manchen Stellen auf nahezu 3 ‰ und der Flußverlauf wird gestreckter. Das Flußbett enthält meist gröberes Gesteinsmaterial (SPECHT S. 15). Die stärkste Einschnürung der Pegnitz befindet sich bei Günthersthal, wo auch die Talsohle von Aufschüttung frei ist und die Pegnitz sich in den gewachsenen Felsen eingräbt (Tafel II, Fig. 4). Man gewinnt dort den Eindruck, als befände man sich in einem steilwandigen Kañon. Das Flußgefälle beträgt hier 2,5 ‰. Oberhalb Fischstein ist ebenfalls eine beträchtliche Talenge vorhanden, die jedoch nicht so sehr in Erscheinung tritt, weil die Taloberkante nur etwa 20 m über der Sohle liegt (Tafel II, Fig. 5). Die Gestalt der Talquerschnitte von Fischstein und Günthersthal rückt dann erst ins richtige Licht, wenn man sie mit der breiten und flachen Form des Pegnitztales in dem Schnitt „Bärenschaft—Mannsberg“ vergleicht, der durch die Fig. 2 auf Tafel II dargestellt ist.

Zwischen der Landschaft nördlich und jener südlich von Neuhaus sind aber auch weniger augenfällige Unterschiede vorhanden. So treten die Talbodenrelikte der Urpegnitz im Oberlauf durchschnittlich 50 m über der heutigen Pegnitz auf, während sie im Mittellauf bis 100 m über ihr liegen. Die Ober- und Unter-Terrasse läßt ebenfalls eine, wenn auch geringe Störung in ihrem Verlaufe erkennen, und zwar im gleichen Sinne, wie der Urtalboden mit seinen Schottern (LÖWENGART, KRUMBECK, STAHL). Die Zahl der Höhlen überwiegt im südlichen, entblößten Karst

um das doppelte gegenüber dem nördlichen, bedeckten, wogegen dort um das zehnfache mehr Dolinen und Wasserschlünger anzutreffen sind.

Wo die kreidebedeckte Landschaft eine lebhaftere Gliederung aufweist, wie östlich Krotensee oder in der Umgebung von Sackdilling, da scheint es, als habe sich das Grundgebirge erst vor relativ kurzer Zeit aus der Ueberdeckung herausgelöst und das nur innerhalb begrenzter Schollenbruchstücke. Die Karstenblözung ist dort offensichtlich noch nicht so weit fortgeschritten wie im Süden und man kann gewissermaßen von einem Uebergangszustand vom bedeckten zum entblözten Karst sprechen. Am sogenannten Sackdillinger Windloch, südlich von Auerbach, gelang der Nachweis, daß das dortige Gebiet frühestens noch im Oberpliozän von positiven tektonischen Bewegungen betroffen wurde, wodurch eine Abtragung der Ueberdeckung und eine Ausräumung der Täler erfolgen konnte (SPOCKER 1933). Vielfach ist zu beobachten, daß steile Felswände, Gesteinsschutt und Blockhalden unter den Sedimenten begraben liegen, sodaß eine weitgehende Auflösung und Zertrümmerung des überschütteten Jurakörpers vermutet werden kann. Die bisherigen Ergebnisse der Bohrungen und bergbaulichen Erschließungsanlagen vor allem auf Farberde geben Berechtigung zu dieser Annahme. Aus der Ueberdeckung ragen zuweilen Umlaufberge und hufeisenförmig angeordnete Felsgruppen heraus, die auf eine bewegte Plastik des alten Jurareliefs auch im großen schließen lassen. CRAMER hat schon darauf hingewiesen, daß eine fossile Karstlandschaft aus der Kreideüberdeckung herausgeschält wird, wobei ein erosiver Aufschluß der fossilen Karsthohlformen erfolge. Der Vorgang des Aufschließens ist dabei nicht so zu verstehen, als handle es sich nur um eine Ausräumung und Befreiung der Hohlform von der Karstbedeckung, sondern er besteht zugleich in einer Durchbrechung der vorher allseitig geschlossenen Karsttrichter oder -wannen. Die kesselartigen, nach einer Seite offenen Landschaftselemente sind wohl in diesem Sinne als ehemalige Dolinen zu deuten. An den noch unvollkommen entblözten Gebietsteilen der Alb ist zu beobachten, daß außer besonders tief gelegenen, manchmal poljenartigen Bildungen an verschiedenen Stellen die Hohlformen bereits aufgeschlossen unter der Ueberdeckung liegen. Die erosive Abänderung der alten Karstlandschaft dürfte daher in gewissem Umfange und bis zu einer gewissen Tiefe schon vor ihrer letzten Eindeckung und nicht erst gelegentlich der jüngsten Heraushebung stattgefunden haben. Geschlossene Karsttrichter, die mit ursprünglich gelagerter Kreide erfüllt sind, konnten in den Baugruben bei den Erweiterungsarbeiten für die Nürnberger Wasserversorgung in Ranna u n t e r dem Pegelnspiegel, also unter dem gegenwärtigen Erosionsniveau festgestellt werden. Nach dem ganzen Untersuchungsbefund müssen sie seit der turonen Transgression unter der Abtragungsebene liegen, wodurch sie sich einer erosiven Zerstörung entziehen konnten. Soweit sich in der heute trockenen Alb die Züge einer einstigen Flußlandschaft vorfinden, sind sie nicht allenthalben von einer älteren, erosiven Abänderung des überschütteten Karstreliefs abhängig. Die heutige Oberflächenplastik der Alb ist als p o s t h u m e s Ergebnis aufzufassen, und zwar zunächst als das nach-turone A u s r ä u m u n g s e r g e b n i s relativ lockerer Kreidemassen, dem eine wiederholte Umlagerung des kretazischen Schuttmantels vor allem während des Tertiärs und Diluviums folgte. Leider sind die Vorgänge des Tertiärs in unserem Gebiet bis jetzt zu wenig erforscht, als

daß man sichere Angaben über die Wirkung und das Ausmaß von Abtragung und Aufschüttung während dieser Zeit machen könnte. Solche Untersuchungen werden überhaupt dadurch erschwert, daß zeitlich verschiedene Vorgänge recht regellos zueinander stehen und nicht überall gleiche Folgen hinterließen. Dazu hat die allezeit lebendige unterirdische Verkarstung ihr übriges getan, um beträchtliche Oberflächenveränderungen und Verlagerungen hervorzurufen. Denn, wenn die großen Umrissse dieses fossilen Karstreliefs auch schon vor seinem Versinken im Turon festgelegt waren, so schließt das doch nicht aus, daß das „unterirdische Karstphänomen“ PENCK's, die „subkutane Verkarstung“ GRADMANN's nach der kreidezeitlichen Eindeckung wirksam war und heute noch ist und an der Landschaftsgestaltung teilnimmt. Die trichterförmigen Nachsackungen in der Aufschüttung, als „Schwemmlanddolinien“ CVIJC's oder auch „Bodensenkungsdolinien“ KATZER's (S. 236) bekannt, ferner die Zerrüttungserscheinungen in der Kreide, die schon KOHLER (S. 38) in diesem Zusammenhang deutete, müssen als sichtbarer Ausdruck der „Kryptoverkarstung“ betrachtet werden. Als Gegenwartszeuge für den Lösungs- und damit Verkarstungs-Impuls unter der Kreidedecke ist schließlich noch der hohe Gehalt an Kalk- und Magnesium-Karbonat in den Rannaer und Fischsteiner, wie überhaupt in allen Quellen des Weißjura zu nennen.

Eine neuere Nachlaßarbeit von LEHNER gelangt zu dem Schluß, daß die Ockervorkommen (Oberturon) „infolge der gewaltigen Auslaugungs- und Verkarstungsvorgänge in der Kalk- und Dolomitlandschaft“ nicht mehr ursprünglich gelagert sind, unter der Einschränkung, daß an verlagerten Kreideschollen mit „ungewöhnlicher Ausdehnung“ auch tektonische Einflüsse teilhatten (LEHNER-DEHM S. 213/214).

Es wird also allgemein der unterirdischen Verkarstung ein weites Feld eingeräumt. Man darf sie allerdings in ihrer Wirkung auch nicht überschätzen, besonders wo sie sich auf die Lagerung der Kreide allein stützt. Diese kann primär schon unruhig sein, wie auch Verschwemmungen großen Umfanges nach dem Rückzug des Turonmeeres reichlich für Zerstörung der ursprünglichen Sedimentationsfolge sorgten.

Dem unterirdischen Lösungsprozeß verdankt unsere Landschaft besonders ihre Plastik im kleinen. Dabei ist naheliegend, daß sich die junge Verkarstung zum Teil an alte Linien hält, die vorwiegend tektonischer Natur sind.

So ist das typische an der nördlichen Frankenalb die Verquickung einer, wenn auch gegenwärtig erstarrten Erosionslandschaft mit einer Karstlandschaft, wobei die Betonung des Erosions- oder des Verkarstungsvorganges mit geologischen Zeitabschnitten wechselte. Die Ursachen dafür können sowohl tektonischer, als auch klimatischer Natur gewesen sein, immer wird sich aber die Erosion vorwiegend an die Tiefenlinien halten und ihre Tätigkeit vor allem in den weicheren Kreide- und Tertiärschichten entfalten, wogegen die Verkarstung ihren Wirkungsbereich im jurassischen Gebirgsfundament findet. Wo die Erosionskraft jedoch in den *rezenten* Entwässerungsadern der Alb noch lebendig ist, da hat sie sich zum Teil erheblich tiefer in das Gebirge hineingearbeitet, als die Trockentäler der Hochlandschaft liegen, und jene erweisen sich auf Grund der Durchbrüche (Günthersthal, Hirschbach, Lehenhammer) als epigenetisch.

Bezüglich der Karstbedeckung ist nochmals auf die Ziffern in der Tabelle II zurückzukommen, aus denen eine fortschreitende Entblößung des Karstes flußabwärts ersichtlich ist. Man muß diese Erscheinung in regionalem Rahmen wohl einem Vorgang zuschreiben, der der rückschreitenden Erosion wesensähnlich ist. Die Abnahme der Karstbedeckung nach Süden haftet ihr nicht als primäre Eigenheit an, sondern die relativ stärkere Heraushebung des Gebirges über das Erosionsniveau begünstigt und fördert eben die Abtragung und Ausräumung des lockeren kreidezeitlichen und tertiären Schuttmantels. Sie ist also das Ergebnis gesteigerter Reliefenergie.

Betrachtet man nun das Gebiet zwischen Michelfeld und Neuhaus nur nach morphologischen Gesichtspunkten, ohne Rücksichtnahme auf den geologischen Bau, so erscheint es als eine alte Landschaft, die bereits stark nivelliert ist. Während sich der Pegnitzlauf zwischen 400 m ü. NN bei Michelfeld und 382 m bei Neuhaus hält, bewegen sich die Erhebungen des Gebirges durchwegs zwischen 450 und 500 m, wobei sich die meisten Werte bei 450 m befinden. Die größeren Höhen, die an die 500 - Meter - Grenze heranreichen, liegen am Süd- und Nordrand des Kreidegebietes. Die höchste Erhebung mit 509 m ist östlich von Plech. Genetisch handelt es sich um einen Teil der Alb, der bis auf den heutigen Tag mit einer mächtigen kreidezeitlichen, teilweise vielleicht auch jüngeren Aufschüttung und dadurch hervorgerufenen Einebnung unter der Erosionsbasis liegt. Daher wird eine Ausräumung und Entblößung der Karstbedeckung verhindert.

Dieses abgesunkene Gebiet, dessen Mittelpunkt sich etwa bei Ranna befindet, wird von einer Landschaft mit r e l a t i v jüngeren Formen umsäumt. Sie ist das aus der Ueberdeckung herauspräparierte einstige Karstrelief, das, wie erwähnt, infolge späterer erosiver Beeinträchtigung nur in Resten vorliegt und dessen letzte Freilegung durch Geländehhebung erfolgen konnte. Die Gipfflur hält sich dort durchschnittlich um 100 m höher als im Kreidegebiet, sie liegt zwischen 550 und 600 m ü. NN. Im Zuge Zant-Ossinger steigt das Gebirge sogar noch beträchtlicher an und erreicht im Ossinger mit 653 m die größte Höhe in diesem Arbeitsgebiet.

Das Bild der Landschaft enthält also schon ganz bestimmte Grundzüge, deren unterschiedliche Gestaltung in den unterschiedlichen Abflußverhältnissen ihren Widerhall findet.

Schrifttum.

- CRAMER, H. Untersuchungen über die morphologische Entwicklung des fränkischen Karstgebirges. Abhandl. d. Naturhist. Gesellsch. Nürnberg, 22, 7. Nürnberg 1928.
- CVIJIC, J. Das Karstphänomen. PENCK'S geogr. Abh. 5, 3. Wien 1893.
- GRADMANN, R. Süddeutschland. 2. Stuttgart 1931.
- KATZER, Fr. Bemerkungen zum Karstphänomen. Monatsber. d. Deutschen geol. Gesellsch. Berlin. 6. Berlin 1905.
- KOHLER, E. Die Amberger Erzlagerstätten. Geogn. Jahresh. 15, 1902. München 1903.
- KRUMBECK, L. Zur Kenntnis der alten Schotter des nordbayerischen Deckgebirges. Geol. pal. Abh. N.F. 15. Erlangen 1927.
- LEHNER, L. Der Neukirchener Ocker. Studien über die fränk. albüberdeckende Kreide. Herausgegeben v. R. DEHM. Centralbl. f. Min. Abt. B. 4. Stuttgart 1933.
- LOEWENGART, St. Beiträge zur Tektonik, Morphologie und Talgeschichte des oberen Pegnitzgebietes unter Berücksichtigung des benachbarten Rednitz-Regnitztales. Diss. Tübingen 1924.
- PENCK, A. Das unterirdische Karstphänomen. Recueil de Travaux, offert à Msr. Jovan CVIJIC. Belgrad 1924.
- SPECHT, A. Das Pegnitzgebiet in Bezug auf seinen Wasserhaushalt. Abh. d. Bayer. Hydrotechn. Büros München. München 1912.
- SPOECKER, R. G. Die jungpliozänen Ablagerungen in der Sackdillinger Höhle und ihre Beziehungen zur Landschaft. Ein fossiler Wasserschlinger. Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 70, Abt. B. Stuttgart 1933.
- STAHL, W. Geologische Untersuchungen zwischen unterer Pegnitz und Schwarzach (Mittelfranken). Sitzungsber. d. Physikal.-medizinischen Sozietät zu Erlangen. 61. Erlangen 1930.
-

Geologische Uebersicht.

Petrographie und Stratigraphie.

Wie schon dargelegt, kann der Großteil der Juraablagerungen in unserem Arbeitsgebiet nicht untersucht werden, da sie unter einer mächtigen Kreidebedeckung, die etwa 80 % der Gesamtfläche ausmacht, verborgen liegen. Die petrographischen Beobachtungen sind auf die wenigen Felsgruppen und Bergkuppen beschränkt, die aus der Aufschüttung herausragen.

Im Norden tritt bei Weidelwang die mitunter von unbedeutenden grauen Mergelbänken (Malm γ) durchsetzte, unvollkommen dolomitisierte Schwammfazies oberer Malmschichten hervor. Sie ist schon von weitem an der typischen „Uebergußschichtung“ zu erkennen. Solche Profile sind durch die neue Straße Pegniß–Weidelwang aufgeschlossen worden.

Der Malm - δ - Horizont ist ferner gegen Steinamwasser im Flembachtal und schließlich zwischen Michelfeld Ort und Michelfeld Bahnhof in Steinbrüchen und in den Höhlen Nr. 107 und 108 aufgeschlossen. Südlich und westlich davon steht ausschließlich Dolomit an, dessen stratigraphische Zugehörigkeit nach dem heutigen Stand der Untersuchungsmethoden noch nicht ermittelt werden kann. Das Gestein ist nur als Frankendolomit schlechthin zu bezeichnen (DORN 1926). Im Hinblick darauf, daß am Westrand des kreidebedeckten Gebietes bei Bronn und Weiden-sees die obersten Malmschichten, die zum Unterliithon gehörenden Krebscherenkalke vorhanden sind, von denen Scherbenhalden bis zum Waldhaus Hufeisen reichen, dürfte es sich aber auch östlich davon um obere Juraschichten handeln. Zu dieser Annahme berechtigen besonders die im Abschnitt III dargelegten morphologischen Verhältnisse, die ein Gebiet vermuten lassen, das durch sein Einsinken unter die Erosionsbasis seit dem Overturon der Abtragung entging. Es ist somit möglich, daß im Veldensteiner Sandsteinbereich der Weißjura mit seiner gesamten bisher bekannt gewordenen Mächtigkeit von etwa 150 m unter der Kreidedecke vorhanden ist.

Weitere petrographische Untersuchungen sind im Süden möglich, wo kurz vor Krottensee im „Ohrental“ an der Waldstraße Ranna-Sackdilling in einem Steinbruch schwach dolomitisierte δ -Schichten des Malm erschlossen sind und im Geisloch (Nr. 28) die Pseudomutabilis-Zone in der Ammonitenfazies vertreten ist, die sich dort durch einen besonderen Fossilreichtum auszeichnet (SPOCKER 1932). Beide Aufschlüsse lassen einen unmittelbaren Schichtwechsel zwischen gebanktem Kalk und plumphem Dolomit einwandfrei erkennen. Es dürfte an diesen Stellen der Uebergang von Malm δ zu Malm ϵ vorliegen und die Dolomitisierungsgrenze gleichzeitig, aber zufällig mit einer Schichtgrenze zusammenfallen. Wenn westlich der δ -Aufschlüsse schon nach einigen hundert Metern in tieferen Lagen wieder der Dolomit ansteht, so wäre bei der Eigenart des Dolomites diese Tatsache allein noch nicht ausreichend, um auf tektonische Störungen schließen zu können. Ein deutlich in der

Landschaft zum Ausdruck kommender morphologischer Wechsel mit der Einmündung der früher erwähnten Hängetäler von Osten her rechtfertigt es jedoch, hier den Durchgang der Krottenseer Störung anzunehmen, die unter anderen Autoren auch von Seemann vermutet wird (SEEMANN, S. 129).

Die nächsten stratigraphisch verwertbaren Aufschlüsse von geringem Umfange treten erst wieder zwischen Engenthal und Neuensorg auf, wo die linke Talflanke aus δ -Kalken besteht, die in einem kleinen Steinbruch aufgeschlossen wurden.

Nach Osten stehen am Nord- und Westfuße des Kellerberges Schwammkalke in einem Steinbruch an. Das Ausstreichen dieses Horizontes beschränkt sich aber lediglich auf den Ossinger-Gebirgszug und ist im nördlichen Bereich über der Linie Neuhaus—Königstein nicht mehr festzustellen. Hinzuweisen ist noch darauf, daß südlich des Ossingers im Tal von Eschenfelden der Dogger in 460 m Höhe zum Ausstrich kommt.

Größere Verbreitung gewinnt der Schwammkalk gegen Pruihausen-Kürmreuth, wo der morphologische Albrand gegen die verebnete Landschaft des Vilsgebietes abstößt und stellenweise eine Abtragung des Jura bis zum unteren Malm erfolgt ist. Der Weißjura liegt hier zwar wieder unter mächtiger Bedeckung begraben, doch hat die Vils mit ihren Seitengerinnen bei Haag, Altneuhaus, Reisach usw. bereits den Dogger freigelegt, sodaß eine bedeutende Mächtigkeit verkarsteter Schichten östlich der Linie Kürmreuth—Zeltenreuth nicht mehr angenommen werden kann. Das dichte Gewässerneß der Oberfläche zeigt an sich schon den Gegensatz zur westlich davon gelegenen Karstlandschaft.

An der Nordost-Grenze des Untersuchungsbereiches, die etwa von Zeltenreuth über Auerbach nach Steinamwasser verläuft und von der Sulzbach—Auerbach—Pegnißer Störung vorgeschrieben wird, sind die Bestimmungsmöglichkeiten der Schichtzugehörigkeit des anstehenden Jura gleich mangelhaft, wie im zentralen Teil. SEEMANN, der das Auerbacher Gebiet bearbeitete und sich auf reiches Beobachtungsmaterial aus Grubenaufschlüssen stützen konnte, war infolge dieses Mangels ebenfalls zu einer Zurückhaltung bezüglich des südwestlich anschließenden Gebirges gezwungen. Man hat sich auf die Feststellung zu beschränken, daß das Grundgebirge südwestlich der Auerbacher Verwerfung in Gestalt von Frankendolomit aus der Kreide herausragt. Der flache Höhenrücken östlich „Hohe Tanne“, als „Kreuzstein“ bezeichnet (Kote 493.4), besteht möglicherweise in seinen tieferen Teilen aus mittleren Malmschichten. Diese Vermutung ist aber lediglich auf morphologische Befunde gegründet.

Die dargelegten Verhältnisse lassen erkennen, daß in dem Arbeitsbereich mit dem Weißjura selbst an der Oberfläche keine großen Probleme zu lösen sind. Am Nord-, Süd- und Ostrand des angenommenen Senkungsgebietes reicht der tiefste Aufschluß lediglich bis zum Malm δ und diese Schichten lassen sich zudem nur auf eine recht bescheidene Ausdehnung verfolgen. Die Höhenlage der erwähnten Aufschlüsse und diejenige des nächsten obertägigen Gerinnes ist aus folgender Zusammenstellung ersichtlich:

Weidelwang	450 m	Pegniß-Fluß	410 m
Steinamwasser	450 m	Flembach	430 m

Ohrental	400 m	Pegnitz-Fluß	385 m
Geisloch	448 m		385 m
Engenthal	385 m	„ „	378 m
Kellerberg	500 m	Mühlbach	490 m
Kürmreuth	450 m	Schmalnohe-Bach	430 m

Bei dieser Aufnahme wurde darnach getrachtet, so weit wie möglich die oberste Grenze des Malm-Delta zu bestimmen. Nimmt man nun die maximale Mächtigkeit der Malmschichten von β bis δ mit rd. 95 m an (DORN, Abriß, VI, S. 104), so ist für das zu untersuchende Karstgebiet rein geologisch die Möglichkeit einer tiefgründigen Verkarstung geboten. Eine Beeinträchtigung des Karstwasserabflusses durch Ornatenon oder Impressamergel erscheint lediglich an einer Stelle gegeben, und zwar in der Gegend des Geislochs, wo die Krottensee Störung eine beträchtliche Sprunghöhe erreichen dürfte. Diese Störung ist, wie bereits erwähnt, wohl identisch mit der Ueberschiebung, die von SEEMANN an der Straße Krottensee – Hohe Tanne in Bohrungen beobachtet wurde (SEEMANN S. 129). Leider fehlen dort die Höhenangaben, sodaß der erbohrte untere Malm und Dogger nicht zu den gegenwärtigen Beobachtungen in Beziehung gebracht werden kann. Es ist aber mindestens im zentralen, also im kreidebedeckten Teil des Gebietes, eine außerordentlich mächtige Entwicklung des Weißjura zu erwarten, da er dort vor der Abtragung besonders geschützt war. Für eine nennenswerte Ausbildung oberer grauer Mergel, wie überhaupt für deren Vorkommen konnten keine Anhaltspunkte gefunden werden.

Diese Erhebungen können durch die Ergebnisse von Tiefbohrungen, die zum Zwecke der Wasserversorgung Nürnbergs niedergebracht wurden, wenigstens in der Umgebung von Ranna wie folgt ergänzt werden:

	Bohrloch Nr.	Höhe NN	Teufe NN	Pegnitzfl. NN	Gesamtiefe m
rechts der Pegnitz	2	387.55	374.50	386	13.05
	4	387.70	363.20	386	24.50
	15	409.00	343.40	386	65.60
	22	429.70	376.90	386	52.80
links der Pegnitz	2	392.07	304.00	389	88.07
	8	390.00	351.65	390	38.35

Die Einschaltung dieser kleinen Auswahl aus den Bohrbeobachtungen erscheint in vorstehendem Zusammenhang zweckmäßig. Da sämtliche Bohrlöcher weder Mergelkalke noch Werkkalk oder gar Ornatenon erreichen, können hinsichtlich der Beschaffenheit des jurassischen Untergrundes die ausgesprochenen Vermutungen als befähigt gelten. Dies umso mehr, wenn man die Höhenlage des Dogger an den nachstehenden Orten zum Vergleich heranzieht:

Trubachtal bei Hammerbühl	370 m
Gräfenberg	450 m
Hüttenbach	480 m
Artelshofen	360 m
Eschenfelden .	460 m
Schlicht	400 m
Haag	420 m

Die durch REUTER gegebene schematische Darstellung (S. 29, Fig. 12) eines geologischen Querschnittes durch den nördlichen Teil des

Frankenjura wird daher den tatsächlichen Verhältnissen in großen Zügen entsprechen, wenn auch im einzelnen die Untergrundverhältnisse eine reichere tektonische Gliederung aufweisen werden.

Das Ergebnis der morphologischen Untersuchungen deckt sich mit dem der geologischen darin vollkommen, daß im oberen Pegnitzgebiet ein abgesunkener Teil des Frankenjura als verkarstungsfähiges Gebirge in der Tiefe ruht (vergl. Tafel II, Fig. 6 a und 6 b). Bringt man das Bohrloch 2 links der Pegnitz (Teufe 304 m) in Beziehung zur niedrigsten randlichen Höhenlage des Dogger bei Artelshofen (360 m), so ergibt sich ein Mindestsenkungsbetrag von 60 m und bezieht man es auf Eschenfelden (460 m), so wächst dieser Betrag sogar auf 160 m an. Es ist also anzunehmen, daß hydrologisch ein wannenförmiges Gebilde vorliegt, dessen Bordhöhe generell zunächst einmal vom Dogger bzw. seiner obersten Stufe, dem Ornatenton bestimmt wird. Dabei wäre die tiefste sichtbare Stelle der Doggerumsäumung an dieser Wanne als Ueberlaufschwelle bei Artelshofen anzunehmen, wenn nicht noch die Möglichkeit bestehen würde, daß unverkarstetes Gestein, das sich wie undurchlässiges verhält, die Ablaufhöhe vorschreibt. Wenn also der Weißjura noch nicht überall bis zum Ornatenton bzw. Impressamergel hinab verkarstet ist, so wird der Ueberlauf eben über dem Ornatenton, und zwar an der unteren Verkarstungsgrenze erfolgen.

Daß der Karstwasserabfluß innerhalb des oberen Pegnitzgebietes durch die Untergrundverhältnisse noch weiter differenziert wird, ist aus dem morphologischen Bild der Landschaft als wahrscheinlich und aus dem ziffernmäßigen Abflußbild als sicher anzunehmen. Ausschlaggebenden Einfluß werden auf den Karstwasserkörper vor allem die tektonischen Störungen, daneben aber auch die Sande, Tone und Lehme ausüben, die dem Jurarelieuf auf- und eingelagert sind. Die Tatsache der flächenhaften Verbreitung jüngerer Sedimente über dem Jura ist dabei weniger von Bedeutung, als ihre räumliche Mächtigkeit und die Tiefe, mit der sie unter das Grundwasserniveau hinabreichen. Tiefbohrungen, denen sich Pumpversuche anschlossen, haben nämlich ergeben, daß diese in Mulden und Täler eingelagerten Sedimente zwar Wasser enthalten können, jedoch nur in Form von Haftwasser, das lediglich Ausdruck der piezometrischen Höhe ist und keine technische Ausbeutung gestattet. Eine Bewegung dieses Wassers ist also praktisch nicht vorhanden, was durch die negativ verlaufenen Pumpversuche erwiesen wurde. Der Abfluß der Niederschläge beschränkt sich auf den Weißjura, also auf den verkarsteten Gebirgsuntergrund. Dort wird er umso mehr zusammengedrängt, je umfangreicher die undurchlässigen nachjurassischen Ablagerungen unter dem Karstwasserniveau sind.

Als älteste nachjurassische Ablagerung ist im NO des Untersuchungsgebietes die vorzenomane „Amberger Erzformation“ zu nennen, die in ihrer besonders mächtigen Entwicklung bei Auerbach bergwerkmäßig abgebaut wird. Gleichfalls vorzenoman sind braune Verwitterungslehme, die dem Malm auflagern, aber wie die Erzformation keine durchgehende Verbreitung besitzen. Die nächste nachweisbare Stufe der Kreide ist das spärlich aufgeschlossene Mitteljuron, das in den „Beckensteiner Kalken“ im Westen des Gebietes vorliegt. SEEMANN vermutet das Mitteljuron auch in einer Bohrung bei der „Hohen Tanne“, südlich von Auerbach (SEEMANN S. 110); als nachgewiesen kann es dort jedoch nicht gelten.

Die größte flächenhafte und zugleich auch tiefenmäßige Verbreitung hat das Oberturon, vertreten durch Farberden, Tone, Sande und Sandsteine, die als „Veldensteiner Sandstein“ bekannt sind. Tonige Ausbildung zeigt es vorwiegend in den tieferen Horizonten (Cardien-Tone), während sich der Sandstein auf die höheren Lagen beschränkt und dies nicht nur stratigraphisch, sondern auch topographisch. In schichtmäßigem Verband mit größerer Verbreitung ist der Veldensteiner Sandstein m. W. in den Bohrungen des Untersuchungsgebietes nirgends festgestellt worden, weshalb ihm unter dem Grundwasserspiegel für die Wasserspeicherung auch keine Rolle zugeschrieben werden kann. In diesem Zusammenhang sind auch die unter dem Namen „Kalmünzer“ bekannten, weit verbreiteten Kantenblöcke zu erwähnen, deren zeitliche Stellung zwar noch nicht restlos geklärt ist, bei denen man heute aber mit Recht immer mehr dazu neigt, sie als kreidezeitlich anzusprechen. Mit dem Oberturon sind die fränkisch-oberpfälzischen Kreideablagerungen in dem Untersuchungsgebiet erschöpft.

Wenn schon die stratigraphische Gliederung der Kreide im Gelände oft erhebliche Schwierigkeiten bereitet, so gilt dies noch mehr von dem nachfolgenden Tertiär. Seit dem Rückgang des Turonmeeres war der dortige Teil der Alb bis zur geologischen Gegenwart ununterbrochen Festland. Die Vorgänge während des Tertiärs bestanden vorwiegend in fluviatiler Umlagerung der Kreide an der Oberfläche und neuerlicher Verkarstung des Jurauntergrundes mit subterranean Verlagerung seiner Ueberdeckung. Als Tertiär sieht man vor allem die lehmige und sandige „Albüberdeckung“ an. Ebenso werden Urtalschotter und Deckenschotter, die in Restvorkommen auf der Alb lagern, als tertiär angesprochen. Zu einer absolut eindeutigen Altersstellung innerhalb des Tertiärs scheint man sich aber auch bei diesen Schottern noch nicht entschließen zu können. KRUMBECK hält sie für frühholozän bis eozän. Die Beobachtung des jüngsten Tertiärs im Windloch bei Sackdilling wurde bereits erwähnt. Es handelt sich dabei um Oberpliozän, das aus lebhaft gebänderten Sanden und Tonen besteht. Aehnliche Ablagerungen aus bunten und geflammten Tonen, Sanden und Streustücken aus Veldensteiner Sandstein bestehend, finden sich oft in Mulden und Taschen des Malm eingelagert. Der Mangel an Fossileinschlüssen erschwert aber bis jetzt noch eine Altersbestimmung. Man kann wohl überhaupt sagen, daß die Tertiärschichten des Untersuchungsgebietes vorwiegend aus verschwemmter und wiederholt umgelagerter Kreide bestehen, die sich in ihrer Beschaffenheit meist von ursprünglich gelagerter Kreide kaum unterscheiden läßt. Weitere Aufschüttungsmassen rühren selbstverständlich auch aus den Verwitterungsrückständen des Malm her.

Das Diluvium ist an der Oberfläche in Gestalt von Schotterterrassen vertreten, die im oberen Pegnitzgebiet von LÖWENGART bearbeitet wurden. Anderweitig hat es sich noch in den Höhlen der Alb erhalten, doch ist das Höhlen-Diluvium im allgemeinen nicht von großer Tragweite für die Beurteilung von Schollenbewegungen und Vorgängen in der Landschaft. Weit verbreitet sind außerdem diluviale und aluviale Lehme in den Niederungen. Ihre Mächtigkeit ist jedoch unbedeutend, wie die Aufschlüsse gelegentlich der Bauarbeiten in Ranna zeigen.

Das materielle Erbe der nachjurassischen Epoche ist in unserem Gebiet zwar quantitativ recht bedeutend, qualitativ ist es aber nicht so

entwickelt, um nach ihm den Ablauf der Vorgänge lückenlos in Zeitabschnitte bis zur Gegenwart gliedern zu können.

Die beschriebenen nachjurassischen Ablagerungen breiten sich in ihrer Gesamtheit über dem Jurakörper aus. Ihr flächenmäßiger Inhalt und ihre Verteilung ist allgemein bekannt, ihre Mächtigkeit dagegen ist nur teilweise in Bohrungen und Farberdeschächten ermittelt worden. So wurde schon vor längerer Zeit bei Weidelwang ein Bohrloch auf 80 m Tiefe (etwa 70 m unter den Pegnikspiegel) niedergebracht, ohne daß der Jura erreicht worden wäre. Südlich Hohe Tanne wurde gleichfalls der Fels bei einer Bohrung in 100 m Tiefe noch nicht erreicht (SEEMANⁿ S. 105 und 128). Bei den letzten Bohrungen um Fischstein zum Zwecke der Wassererschließung wurde zwischen Oberbrand und Fischstein in Höhe 395.25 m (Pegnik 390 m) ein Bohrloch angelegt, das sich bei einer Endtiefe von 40 m immer noch in der Aufschüttung befand. Bei Auerbach dürfte die Mächtigkeit der Bedeckung sogar 200 m betragen. Außerhalb des Arbeitsgebietes wurden ähnliche Beobachtungen gemacht. Ein Farbschacht des Grubenbesitzers HEINDEL in Rupprechtstein ging mit zusätzlicher Bohrung im Grund bei Gerhardsberg (445 m) 60 m tief hinab, ohne den gewachsenen Fels anzutreffen. Auf diese Anlage wird gelegentlich der hydrographischen Darlegungen im zweiten Teil der Arbeit noch einmal zurückzukommen sein. Im Altmühljura wurde ein Bohrloch zur Wasserbeschaffung der Güter Hürth und Rußenhof am Rande des Hungerbachtals einige Meter über der Talsohle auf 60 m abgeteuft, mit dem gleichen negativen Ergebnis, wie bei den anderen Bohrungen, die in der Karstbedeckung angelegt wurden.

Aus der oft wahrzunehmenden geringen Entfernung des anstehenden Jura von solchen Bohrungen in der Aufschüttung ist zu schließen, daß das gewachsene Gebirge dort sehr jäh und unvermittelt unter die Ueberdeckung hinabtaucht, wobei es keinesfalls die mäßigen Böschungswinkel beibehalten kann, die sich im Gelände zeigen. Man hat sich das so vorzustellen, daß die Hohlformen des fossilen Karstreliefs sehr steilwandig sind und in dieser Gestalt von den jüngeren Sedimenten eingedeckt wurden. Was nach erfolgter Eindeckung an Gebirgsfundament herausragte, konnte allmählich bis zur jeweiligen Aufschüttungshöhe bzw. Abtragungsbasis abgeflacht werden, wie Fig. 8 auf Tafel II schematisch zeigt; die im Untergrund geschützt liegenden Hohlformen haben dagegen ihre ursprünglichen Steilhänge beibehalten. Wo das Gebirge erst in jüngerer Zeit über das Abtragungsniveau herausgehoben wurde und seine Entblößung erfolgte, ist der Uebergang von den steileren Berghängen zu den abgeflachten Berascheiteln unverkennbar (Tafel II, Fig. 7). Ueber diese Geensätze täuscht auch eine inzwischen durch Verwitterung eingetretene Milderung und Abrundung der Formen nicht hinweg. Daß in diesem Uebergangshorizont von den Steilhängen zur Verflachung das Höhlenphänomen besonders reichlich auftritt und sich Nischenreihen mit Verwitterungsleisten finden, sei hier nur nebenbei erwähnt. Die Art und Weise, in der die nachjurassischen Ablagerungen dem Jurafels aufliegen, bzw. die Form, zu der sie durch die Untergrundplastik gezwungen werden, findet auch in dem früher gestreiften Verhältnis der Karstbedeckung zum nackten Karst ihren Ausdruck. Die Gebiete mit geringer Karstbedeckung sind zugleich jene mit lebhafter landschaftlicher Gliederung und sowohl morphologisch wie stratigraphisch als gehoben zu erkennen. An ihnen kann die Abtragung in gesteigertem

Maße wirksam werden, wobei es sich nicht um eine Abtragung schlechthin handelt, sondern mehr um eine Ausräumung der weicheren Karstbedeckung. Die Verdrängung derselben ist morphologisch in dem Sinne aufzufassen, als sich ihre Abnahme proportional zur Zunahme des herausgeschälten fossilen Karstreliefs verhält. Die fortschreitende Ausräumung reduziert also nicht nur die Mächtigkeit der Karstbedeckung, sondern auch ihre flächenmäßige Ausdehnung, wie Fig. 9 auf Tafel II zeigt.

Aus naheliegenden Gründen wäre es nun für den Bergbau und gegebenenfalls für die Zwecke der Wassererschließung wünschenswert, auf die jeweilige Mächtigkeit der Aufschüttung schon aus Oberflächenbefunden schließen zu können. Man kann ganz allgemein zwar sagen, daß die mächtigste Bedeckung in den Talfurchen und Niederungen der Alb liegt, zuverlässige Anhaltspunkte schematischer Art gibt es für solche Feststellungen aber nicht. Genaue Erhebungen im Gelände, die sich nicht allein auf geologische, sondern mehr noch auf paläogeographische Erscheinungen im großen Landschaftsrahmen erstrecken müssen, sind für den Einzelfall unerlässlich. Die Erfahrung hat gelehrt, daß das Grundgebirge in Talfurchen nur einige Meter unter der Aufschüttung liegen kann, wo bei der Breite und Ebenheit des Tales eine mächtige Bedeckung zu vermuten wäre und daß sich umgekehrt auf Bergrücken tiefe und breite Gesteinsschluchten mit Ueberdeckung angefüllt finden, die dort nicht vorausgesehen werden können.

Tektonik.

Hinsichtlich der Tektonik im Vorland der Alb ist bemerkenswert, daß die Bearbeiter dieser Gebiete eine lebhaftete Kleintektonik feststellen konnten (SPERBER, STAHL), während man geneigt ist, eine solche für die Alb selbst abzulehnen. Das ist wohl mehr eine subjektive Einstellung, da die stratigraphische Arbeitsbasis für den Tektoniker naturgemäß im Albvorland sehr viel günstiger ist, als im geologisch einförmigen Albgebiet. Je geringer die Mächtigkeit verschiedener geologischer Schichtglieder ist, umso geringer können natürlich die tektonischen Störungen sein, um ihre Feststellung zu ermöglichen. Diese Voraussetzung ist im Albvorland gegeben, während der mächtig entwickelte Malm kleine Schollendifferenzen nicht mehr erkennen läßt. Dazu kommt noch, daß solche durch die rasch zum Ausgleich neigende Karstbedeckung in ihrer morphologischen Wirkung verwischt werden können. Wenn man sich daher in dem vorliegenden Arbeitsgebiet darauf beschränken wollte, Störungen nur insoweit anzunehmen, als sie geologisch-stratigraphisch nachweisbar sind, so würden die Feststellungen bald erschöpft sein. Deshalb halte ich es für erforderlich, alles was zur Wiedergabe der tektonischen Verhältnisse geeignet sein kann, mit einzubeziehen, und ich werde versuchen, dabei auch die Karsterscheinungen zu Hilfe zu nehmen.

Für den Karstwasserabfluß sind nicht nur Verwerfungen, Schleppungen, Flexuren, Schichtfallen usw. von Bedeutung, sondern der gesamte Formenbereich des unendlich feinen und verzweigten tektonischen Bildes. Das Wasser reagiert mit der größten gesetzmäßigen Empfindlichkeit auf die geringste Veränderung seiner gewohnten Bahnen und damit auch auf jeden tektonischen Vorgang, gleichgültig zu welcher Zeit er stattgefunden haben mochte oder noch stattfindet. Wenn diese Erkennt-

nis in der Physiogeographie allgemein zur Lösung bestimmter Landschaftsprobleme dient, so werden sich kaum irgendwelche Bedenken für ihre Anwendung auf die Verteilung und Bewegung des Karstwassers vorbringen lassen.

Soweit tektonische Linien geologisch und morphologisch zum Ausdruck kommen, stehen sie ganz allgemein im Zeichen des großen herzynischen Streichens, das mit kleinen erzgebirgischen Querstörungen verbunden ist. Die Abgrenzung des Karstgebietes im NO durch den unverkarstungsfähigen Dogger zeichnet die Vilseck-Auerbach-Pegnitzer Verwerfung vor. Sie äußert sich u. a. besonders augenfällig im Gerinneneß der Oberfläche. Die allgemeine Entwässerungsrichtung des oberen Pegnitzgebietes wird durch diese Störung zwar nicht beeinträchtigt, sie ist aber die bestimmende Linie für die mögliche Ausdehnung des Karstwasserbereiches nach NO. Ueber diese Linie hinaus kann ein unterirdischer Abfluß nicht erfolgen, da der Dogger mit seinen unverkarstungsfähigen Gesteinen bereits über das Grundwasserniveau gehoben ist. Bezüglich der Einzelheiten an dieser Störung sei auf die Untersuchungen von HERMANN und SEEMANN verwiesen. Das gleiche ist von der Edelsfelder Querstörung zu sagen, die den Hahnbacher Sattel im NW abschließt und damit die Doggerumrandung des Karstwassergebietes nach Osten bzw. SO fortsetzt. Soweit noch Karstgestein nordöstlich und südöstlich dieser Verwerfung vorhanden ist, besteht es aus unzusammenhängenden Resten der Malmdecke, die bereits durch Abtragung und Zertalung inselhaft abgesondert wurden. Die der Vilseck-Pegnitzer Störung parallel gehende Amberg-Sulzbach-Betzensteiner Verwerfung kann von SO her bis Eschenfelden ebenfalls ohne weiteres als Karstwassergrenze unseres Untersuchungsbereiches angesehen werden, wenn auch nicht in der Form, wie bei der ersteren oder bei der Edelsfelder Querstörung. Bei Eschenfelden befindet sich der Dogger in 460 m Höhe, während im N und NO der Dolomit tiefer liegt, und zwar im Gaissacher Talgrund in 450 m, bei Sackdilling in 450 m und bei Hanesreuth in 420 m. Es bildet daher der Dogger bzw. der über ihm liegende Wasserträger die unterirdische, nach N gerichtete Abflußbasis für das Karstwasser (vgl. Tafel II, Fig. 6c). Man kann nach den stratigraphischen Befunden bei der Annahme eines SO-NW gerichteten Gewölbes (SEEMANN, DORN) den Gewölbescheitel nicht, wie das getan wird, in der Mitte der beiden Verwerfungen verlaufen lassen, da sich ja dort im Gegenteil der Weißjura tiefer befindet als im SW der Braunjura. Es dürfte sich demnach, wenn überhaupt eine Aufwölbung vorliegt, wie beim Hahnbacher Sattel (SPERBER S. 100), um ein asymmetrisches Gewölbe handeln, dessen Scheitellinie ganz an den SW-Rand gerückt ist. Ob es sich bei dem Schollenstück zwischen der Sulzbach-Neuhauser und der Amberg-Auerbacher Störung überhaupt um eine Aufwölbung handelt, erscheint mir übrigens durchaus noch nicht erwiesen. Geeignete Tiefenaufschlüsse fehlen dort vollkommen.

Die Fortsetzung der Amberg-Neuhauser Störung von Eschenfelden aus nach NW wird allgemein angenommen, wenn ihr ein stratigraphischer Nachweis an Hand der Juraablagerungen auch nicht zu Grunde gelegt werden kann. Man wird aber das Abstoßen der Veldensteiner Kreide im SW zwischen Neuhaus und Betzenstein und die SW anschließende stark gegliederte Landschaft als ausreichende Begründung für die Annahme einer nachturonen Störung betrachten dürfen. Die

früher erwähnten Schotter KRUMBECK's und die „Oberterrasse“ LOWENGART's, die südlich Neuhaus wesentlich gehoben sind, können als weitere Beweismittel für tektonische Bewegungen, und zwar jüngeren Alters gelten. Der genauere morphologisch sichtbare Verlauf der Störung geht von Neuhaus über Höfen, Ottenhof in Richtung Hüll. Sie ist für den Karstwasserabfluß nördlich der Linie Eschenfelden—Neuhaus—Beßenstein von besonderer Bedeutung, sodaß ich nichts unversucht ließ, Anzeichen für ihre Beschaffenheit im einzelnen aufzudecken. Ungeachtet dieser Bemühungen blieb das Ergebnis negativ. Lediglich die Feststellung einer Dolinenreihe mit dem genannten Verlauf gelang, im übrigen scheiterte aber jede geologische Untersuchungsmethode an der Gleichförmigkeit des Dolomites. Die waagrecht liegenden Schichten des Malm- δ -Aufschlusses bei Engenthal sind für diese Zwecke nicht geeignet, da ihnen, auf den Dolomit bezogen, keine stratigraphische Eigenschaft zukommt. Das Einfallen des geschichteten Dolomites vor der Bahnunterführung oberhalb Neuensorg mit 10° nach N ist ein allzudürftiges Einzelergebnis, auf das sich keine weiteren Schlüsse bauen lassen. Das gleiche gilt von den unbedeutenden Lagerungsstörungen innerhalb des Neuensorger Dolomitbruches. Trotzdem also kein geologisch-stratigraphischer Nachweis für die Neuhauser Störung zu erbringen ist, kann man nicht annehmen, daß das nordöstliche Orogen zu dem südwestlichen unvermittelt in einer Bruchlinie abgesunken ist, sondern es ist wahrscheinlicher, daß das südwestliche von Neuhaus an, tektonisch gesprochen, allmählich nach SW ansteigt. Ob es sich dabei, wie LOWENGART (S. 11) glaubt, um kleinere Staffelbrüche handelt oder um eine Aufwölbung oder ähnliches, vielleicht auch um beides zusammen, mag dahingestellt bleiben. Diese Auffassung stützt u. a. die zunehmende Verengerung des Pegnitztales und seine gleichzeitig abnehmende Aufschüttung von Rothenbruck bis Günthersthal. Morphologisch handelt es sich um eine Verjüngung des Pegnitztales flußabwärts gegen Günthersthal, deren Ursache unmöglich allein mit etwa vorhandenen Härteunterschieden des Gebirges erklärt werden kann. LOWENGGART's Feststellung (S. 89), daß bei Neuhaus eine Aufschotterung des Tales erfolge, deckt sich mit meiner Beobachtung an der Distlergrotte (SPOCKER 1929), nach der bei Neuhaus eine jungzeitliche Gebietssenkung stattfindet. Diese beschränkt sich jedoch nicht nur auf den Nordost-Flügel der Neuhauser Störung, sondern greift auch nach SW über, wo sie sich in der Aufschüttung des Pegnitztales äußert, die erst gegen Velden—Günthersthal allmählich abnimmt bzw. völlig aufhört. Die Senkung von Neuhaus abwärts und die damit verbundene Talaufschüttung ist das allerjüngste tektonische Ergebnis und muß der vorausgegangenen Hebung und Zertalung unmittelbar gefolgt sein. Man kann aber ebensogut an eine junge Hebung der örtlichen Erosionsbasis bei Günthersthal denken, was umso näher liegt, als die Pegnitz und ihr Tal dort jugendliche Merkmale aufweisen.

In dem Schollenstück SW der Linie Eschenfelden—Neuhaus—Beßenstein liegt also ein gegen SW ansteigendes tektonisches Gebilde vor, dessen obere Kulmination etwa bei Günthersthal das Pegnitztal queren dürfte. Als Stütze für diese Behauptung seien nochmals folgende Feststellungen zusammengefaßt: 1. die von Neuhaus nach S ansteigenden Schotter und Terrassen, 2. die zunehmende Verengerung des Pegnitztales mit abnehmender Talaufschüttung nach S. und 3. der Gefällsknick mit

Schotterführung der Pegnitz bei Günthersthal. Die stratigraphische Ergänzung zu dieser Darstellung könnte lediglich durch Tiefbohrungen erbracht werden.

Hydrologisch ergibt sich daraus bei Günthersthal eine Schwelle, an deren Ueberwindung gegenwärtig der Fluß arbeitet und deren Vorhandensein auch im Abflußbild der Pegnitz zum Ausdruck kommt.

Gegen NO, SO und SW ist es gelungen eine Gebietsbegrenzung für den Karstwasserabfluß nach geologisch-tektonischen Gesichtspunkten zu finden, während dies im NW nicht möglich ist. Man könnte zwar geneigt sein, den Abschluß des Veldensteiner Sandsteins auf der Linie Beßenstein—Bronn—Neudorf als tektonisch bedingt anzusehen und auch die morphologischen Unterschiede zwischen der Landschaft im SO und jener im NW legen eine solche Vermutung nahe, doch steht hier noch ein endgültiger Nachweis aus. Bemerkenswert ist immerhin, daß der mittelturone Beßensteiner Kreidekalk höher liegt (ca. 480 m) als unmittelbar anschließend im Osten der oberturone Veldensteiner Sandstein (durchschnittlich 400 bis 450 m).

Innerhalb des vorgezeichneten Rahmens sind noch eine Anzahl mehr oder weniger gut ausgeprägter tektonischer Linien zu beobachten. Unter ihnen ist die wichtigste die Krottenseer Störung, die von Krottensee (östlich Neuhaus) über die „Hohe Tanne“ bogenförmig gegen Auerbach bzw. Bernreuth zieht. Sie scheidet den oben durch die natürliche tektonische Linienführung umrissenen Karst in zwei Teile, einen südöstlichen und einen nordwestlichen mit den früher erwähnten landschaftlichen Unterschieden. Gleichzeitig bildet sie die Grenze zwischen dem SEEMANNschen Sattel (?) im SO und der tektonischen Mulde im NW innerhalb der „Zentralscholle“ REUTER's. Ihre Sprunghöhe ist, wie bei allen Verwerfungen innerhalb des Karstgesteins, nicht sicher zu ermitteln, sie dürfte jedoch mit 40 m nicht zu hoch gegriffen sein. Gleichfalls in Bogenform zweigt von der Sulzbach—Neuhausener Verwerfung eine Störung bei Eschenfelden nach N ab, die dann nach NO streicht und in dem Tal Königstein—Kürmreuth verschwindet. Diese in großen Zügen wohl erkennbaren tektonischen Linien sind im einzelnen sicher weit differenzierter, doch leidet ihre genaue Bearbeitung nicht nur unter den naturgegebenen geologischen und Geländebeziehungen, sondern vor allem auch unter dem empfindlichen Mangel an geeigneten Höhenschichtenkarten.

Die beschriebenen tektonischen Einheiten östlich von Krottensee fallen nach O ein, und zwar so, daß sie nicht genau in der Längsachse NW-SO, sondern mehr diagonal geneigt sind. Es erscheint immer die Westecke (Krottensee, Eschenfelden) stärker gehoben, als die Ostecke. Dies kommt auch morphologisch deutlich zum Ausdruck, wie der von Osten nach Westen gezogene Schnitt auf Tafel II, Fig. 1 zeigt. Dieses Profil läßt zunächst das relativ starke Ansteigen des Gebirges vom Krottenseer Grund aus erkennen, das sich bis zum „Herrnschlag“ bei Sackdilling hinzieht. Von hier ab taucht das eigentliche Jurarelief wieder allmählich unter die mächtige Ueberdeckung hinab. Während der Teil vom Krottenseer Grund bis über den Herrnschlag hinaus infolge der Freilegung des Karstuntergrundes eine reiche Gliederung besitzt, schließen sich von da ab flache, ungliederte Bergzüge an, die nach Osten gegen das Vilsgebiet immer mehr an Höhe verlieren. Oestlich

vom „Vogelherd“ ist mit dem Schnitt ein wasserloses Hängetal erfaßt, dessen Grund noch sekundär eingetieft ist. STAHL konnte in seinem weiter südlich, vorwiegend im Lias und Dogger des Albvorlandes gelegenen Untersuchungsbereich dieselbe Erscheinung nachweisen, er schreibt: „Die höchste Lage besitzen die Schichten im Südwesten, die tiefste im Nordosten des Arbeitsgebietes“ (S. 178). Das gleiche Einfallen gegen Osten darf für das westlich gelegene Veldensteiner Orogen angenommen werden. Die Verebnung nimmt in ihm gegen Osten zu und es tritt dann bei Ranna die bekannte Versumpfung und Weiherbildung ein. Dies kommt ebenfalls in dem WNW - OSO verlaufenden Profil auf Tafel II, Fig. 2 recht gut zum Ausdruck, wie auch die Profilfiguren 6 a und 6 b die Tiefenlage des Geländes im Veldensteiner Forst erkennen lassen. Der Fig. 2 ist ferner das abermalige Ansteigen des Gebirges von der Krottenseer Störung ab zu entnehmen, die zwischen „Schlawackenberg“ und „Birkenschlag“ hindurchzieht.

Aus dem Einfallen der tektonischen Einheiten erklärt sich auch der eigenartige, dreimal regelmäßig abwinkelnde Verlauf der Pegnitz vom Seeweier bis Hammerschrott. Der Fluß gleitet in den kesselartig umrandeten Niederungen immer wieder gegen Osten ab, bis er von dem widerstandsfähigen, jurassischen Gebirgsuntergrund, der aus der weichen Aufschüttung heraustritt, nördlich Fischstein, bei Rauhenstein und beim Lehnershof jeweils wieder zu einer westlichen Richtungsänderung gezwungen wird (vgl. Tafel II). Auch hier ergeben sich Schlüsse auf junge Krustenbewegungen aus einem geologischen Profil durch das Pegnitztal, das gelegentlich der Rohrlegung für den zweiten Ranna-Ausbau der Nürnberger Wasserleitung gewonnen wurde. In diesem Aufschluß zeigt sich ein ehemaliges Schotterbett des Flusses ca. 300 m weiter westlich der heutigen Pegnitz.

Verfolgt man alle diese Störungen, so wird man finden, daß sich ihr Verlauf mit den Grenzen morphologisch unterschiedlicher Landschaftsteile, wie sie oben beschrieben wurden, deckt. Die reich gegliederten Gebiete mit geringerer Karstbedeckung entsprechen dabei immer dem relativ gehobenen, die verebneten Gebiete dem abgesunkenen Flügel einer Störung (s. Fig. 6—6 b). Die Regelmäßigkeit dieser Erscheinung berechtigt zu Schlußfolgerungen im umgekehrten Sinne. Es sind dort Störungen zu vermuten, wo morphologisch verschiedene Landschaftsteile aneinanderstoßen. Danach würden sich noch folgende Linien ergeben: Von Weidelwang das Pegnitztal entlang nach Süden bis zum Bahnhof Michelfeld und von hier gegen Osten ungefähr im Verlauf des Flembach- und Speckbachtals über Michelfeld gegen Auerbach zur Vilseck-Pegnitzer Verwerfung. Südlich und westlich dieser Linien schließt der Veldensteiner Forst an, in dem die Kreide als Sand und Sandstein auftritt, während sie sich östlich bzw. nördlich davon in grauen bis rötlichen Tönen ausbreitet. An das Ausstreichen der δ -Schichten des Malm (vgl. S. 35) östlich der Pegnitz und nördlich des Flembaches sei nur erinnert; einen stratigraphischen Wert kann man dieser Tatsache ja nicht beimessen. Weiter zieht eine Linie vom Grundschlag nördlich Sackdilling, also von der Krottenseer Störung ab, über Hohe Tanne-Kammerweiher-Seeweier in Richtung Bronn und verläuft dann ins Klumpertal. Die Linie wird durch eine Reihe Wasserschlinger, die von NO kommende Bachläufe aufnehmen, und zahlreiche Dolinen vor-

gezeichnet (SPOCKER 1931). REYER hat schon festgestellt, daß Verwerfungen im Karst von Dolinenreihen begleitet sein können (REYER 1881, S. 4), wie auch DIENER eine lineare Anordnung von Dolinen in der Verwerfungsrichtung feststellte (DIENER 1884, S. 659). In jüngerer Zeit hat SIHLER (1927, S. 296) auf „Erdfallreihen“ an tektonischen Linien hingewiesen, er ging sogar noch einen Schritt weiter und ließ die Möglichkeit einer Karstentwässerung an Spaltlinien zu, die von Dolinenketten vorgezeichnet werden (S. 299/300), welches Problem vor ihm schon STILLE (1903) gelegentlich der Bearbeitung des Paderquellengebietes behandelte. Eine eigentliche Störung in stratigraphischem Sinne dürfte an der Seeweiherlinie erst NW von Hohe Tanne in Frage kommen, die bis in die Nähe von Bronn zieht. Zwischen diesen Orten erstreckt sich ein schmaler, ca. 1 km breiter Streifen stark entblößten Karstes mit einigen kurzen, schluchtartigen Trockentälern. Der Dolomit tritt überall in lebhaft zerklüfteten Felswänden hervor und die Kreide ist vielfach von den Höhen verschwemmt. Dieser Gegensatz zur verflachten Landschaft im NO und SW steigert sich besonders am Lohgraben (Tafel II, Fig. 3), am Fuchsgraben und in dem Trockental hinter dem Seeweiher. Es hat den Anschein, als ziehe ein schmaler Horst von SO nach NW, dessen NO-Rand in den Dolinen und Wasserschlingern angedeutet wird, wogegen der SW-Rand eine solch ausgeprägte Begrenzung nicht aufweist, sondern lediglich an der anschließenden Verflachung zu erkennen ist. Uebrigens hat LOWENGART bereits aus dem Ergebnis seiner Terrassenkartierungen bei Fischstein auf eine Störung geschlossen und dazu auch das erhöhte Flußgefälle an dieser Stelle als Beweismittel herangezogen (S. 88/89). Es treffen hier also eine Reihe gemeinsamer Merkmale für einen tektonischen Vorgang zusammen, sodaß der Hinweis STAHL's, man dürfe nicht aus jedem Gefällsknick und verschiedener Höhenlage der Unterterrasse tektonische Bewegungen ableiten (S. 163) für den vorliegenden Fall nicht angebracht ist. Dabei muß allerdings die grundsätzliche Richtigkeit dieser Bemerkung nur hervorgehoben werden.

Einen bevorzugten Plaß nehmen heute bei tektonischen Untersuchungen die Kluftrichtungen ein, die in großer Anzahl ausgeführt und als Schaulinien zeichnerisch verarbeitet, ein übersichtliches Bild über die Häufigkeit der Streichrichtungen geben. Aus der Frankenalb liegt bis jetzt schon reichliches Material von WELFHÖFER vor und auch die Messungen von STAHL und SPERBER beschränken sich nicht nur auf das Albvorland, sondern greifen z. T. in den Weißjura herein. Bei all diesen Beobachtungen ist der Rahmen aber zu weit gespannt, um für örtlich begrenzte Probleme, wie z. B. für Quellfassungen Anwendung finden zu können. Für diesen besonderen Zweck führte ich jeweils im näheren Umkreis der Hauptquellen des oberen Pegnitzgebietes Messungen durch, deren Ergebnis lediglich die Verhältnisse in dem betreffenden Quellbereich wiedergibt. Es zeigte sich bei diesen Aufnahmen, daß mit einem umfangreicheren Beobachtungsraum zwar bestimmte, an sich richtige Durchschnittswerte erzielt werden, daß aber innerhalb dieses Rahmens bei örtlich eingeschränkter Behandlung Verschiebungen der Kluftrichtungen auftreten, die beachtet werden müssen. Die Messungen führte ich an folgenden Orten durch: Am Seeweiher, am Kammerweiher, am Fischsteiner oder Mühlweiher, am Seizerweiher und am ehemaligen Haselhofweiher. Mit dem Kammerweiher sind auch die Bergmannsquellen

erfaßt, mit dem Seizerweiher die Kohlmesserquellen und mit dem Haselhofweiher die Brunnbergquellen. Zum Vergleiche dienen noch die Aufnahmen bei Pegnitz, also nördlich des Arbeitsgebietes, und bei Lungsdorf, südlich des Arbeitsgebietes. Insgesamt sind 500 einzelne Kluffmessungen vorgenommen worden, deren zeichnerische Darstellung auf Tafel III erfolgte. Außerdem finden sich die Kluffmaxima von den genannten Orten auch in der Uebersichtskarte eingetragen. Die Erhebungen führte ich aus, um die Tiefbohrungen auf Wasser in der Umgebung von Fischstein nach bestimmten tektonischen Gesichtspunkten zu behandeln und zu beobachten. Bei dem Messungsverfahren hielt ich mich im großen und ganzen an die Methode WELLHÖFER's, wobei die Gradteilung von 0 bis 180° im Uhrzeigersinn erfolgte und 0° bzw. $180^\circ =$ Nord-Süd ist. Auf eine Festlegung der Kluffrichtungen von 10 zu 10 Grad verzichtete ich deshalb, weil es der zu erzielenden Genauigkeit besser entspricht, die Richtungen mit Intervallen zwischen 10 und 10 Grad darzustellen. Dadurch kommt zwar eine scheinbare Ungenauigkeit zum Ausdruck, die innerhalb von 10 Gradteilen schwankt. Tatsächlich wird aber diese mit einer gewissen Streuung verknüpfte Unsicherheit bei derartigen Messungen immer vorhanden sein und kann auch nicht von Massenbeobachtungen beseitigt oder durch eine andere Darstellung behoben werden. Größere Genauigkeit ist erst durch kartemäßiges Erfassen von Karsterscheinungen, wie es die Dolinen sind, zu erreichen, wenn sie sich auf weite Entfernung linear erstrecken. Die Messung geschieht dann nach dem Eintrag in die Karte.

Zur Aufnahme der Klüfte ist zu bemerken, daß nur die im Weißjura gelegenen gemessen wurden, während diejenigen in den Kreideablagerungen unberücksichtigt blieben. Dadurch wird in den Gebieten mit verbreiteter Bedeckung die Möglichkeit der Kluffmessungen wohl eingeschränkt, es tritt aber der Dolomit immer noch in genügendem Umfange hervor, um in ihm sichere Ergebnisse erzielen zu können.

Mit der Einbeziehung der Höhlen und Dolinen in die klufftektonischen Untersuchungen ist deren Eignung hiefür an dieser Stelle als gegeben vorausgesetzt. Ein näheres Eingehen auf Einzelheiten ist einem späteren Abschnitt vorbehalten.

Man kann nun diese Ermittlungen in mehrfacher Hinsicht zusammenstellen und untersuchen. Einmal in Bezug auf die Häufigkeitsquote der Kluffrichtungen innerhalb eines bestimmten Beobachtungsgebietes oder hinsichtlich einer bestimmten Karsterscheinung, also der Höhlen und Dolinen (Darstellung 1 und Schaulinien auf Tafel III). Dann die summierte Häufigkeitsquote der gesamten Messungen innerhalb der Gradintervalle, die damit zugleich die Durchschnittswerte eines größeren Beobachtungsgebietes ergibt, wie sie oben als unzureichend für den vorliegenden besonderen Zweck bezeichnet wurde (Durchschnitt der Darstellung 1). Schließlich wird der Ueberblick über die tektonischen Verhältnisse noch erweitert durch einen Vergleich der Häufigkeitsmaxima zwischen meinen eigenen Aufnahmen und jenen von WELLHÖFER und SPERBER (Darstellung 2). Der jeweilige Höchstwert ist bei der Darstellung 1 mit 100 angesetzt, zu dem die übrigen in Verhältniszahlen erscheinen.

Darstellung 1.

° v. N.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	0
1. Mühlweiher	0	27	54	0	23	27	1	0	54	18	23	100	87	27	14	27	1	0	
2. Haselhofweiher	85	12	70	30	15	25	25	10	47	22	37	100	50	45	85	38	40	18	
3. Seizerweiher	4	28	84	48	12	4	4	6	8	6	6	47	100	42	66	34	19	0	
4. Kammerweiher	0	9	20	23	15	9	0	3	0	0	0	80	100	20	23	20	8	6	
5. Seeweier	0	0	2	9	25	23	15	0	38	9	27	22	15	60	63	100	7	3	
6. Pegnitz	44	83	33	55	22	33	11	0	32	45	45	39	50	100	55	67	28	44	
7. Lungsdorf	100	58	12	11	11	0	0	6	14	20	84	15	32	9	6	47	38	42	
8. Dolinen	32	48	4	88	36	24	32	16	36	24	20	36	100	48	16	20	26	48	
9. Höhlen	63	60	40	29	24	28	20	40	96	88	80	100	48	32	43	32	23	80	
Durchschnitt v. 1—5 u. 8, 9	30	30	54	30	33	21	12	13	56	30	33	94	100	45	60	60	34	18	
Gesamt- Durchschnitt von 1—9	56	56	55	50	31	29	18	13	56	39	55	92	100	65	63	66	32	41	

Darstellung 2.

° v. N.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1. Mühlweiher	—	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	—	+	—	—	
2. Haselhofweiher	+	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	—	
3. Seizerweiher	—	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—	+	—	—	+	—	—	
4. Kammerweiher	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	
5. Seeweier	—	—	—	—	+	—	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	
6. Pegnitz	—	+	—	+	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7. Lungsdorf	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8. Dolinen	—	+	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	
9. Höhlen	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	
Durchschnitt von 1,2,3,4,5,8,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Gesamt- Durchschnitt von 1—9	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10. ob. Pegnitztal	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11. SW von Pegnitz	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12. Rupprechtsteg.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13. Artelshofen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
14. Vorra	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
15. Hohenstadt	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
16. Hersbruck	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
17. Vilseck	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
18. Schlicht	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
19. Sulzbach	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Von 10—16 nach WELLHOEFER, von 17—19 nach SPERBER.

Die Maxima sind mit +, die Minima mit — bezeichnet.

In großen Zügen haben mit einer Ausnahme (am Seeweier) sämtliche Messungen in ihrem Ergebnis ein gemeinsames Merkmal, nämlich den Höchstwert zwischen 110 und 130° v. N. und ein ausgesprochenes Minimum zwischen 60 und 80°, soweit es sich um meine Aufnahmen handelt. Diese Feststellung deckt sich aber auch mit derjenigen WELLHÖFER's (S. 29 ff.) vollkommen und mit derjenigen von STAHL hinsichtlich des Höchstwertes. Ein immer wiederkehrendes, allerdings schwächeres Maximum ist zwischen 20 und 40° zu beobachten, das ebenfalls mit den WELLHÖFER'schen Feststellungen übereinstimmt. Auffallend ist ferner der beharrliche, wenn auch nicht immer besonders ausgeprägte Spitzenwert zwischen 80 und 90° bei den Messungen 1, 2, 3, 5, 6 und 7,

wie auch bei den Aufnahmen WELLHOFER's. Während sich dieser Wert bei den Oberflächenaufnahmen im allgemeinen nicht so hervordrängt, wächst er bei den Höhlen beträchtlich an. Die Streichrichtungen um 90° sind eigentlich Beiwerte zu jenen um 180° , und da ist das Vorhandensein der ersteren in den Messungsbereichen 1 bis 3 und 5 bis 7 umso bemerkenswerter, als in den gleichen Gebieten die 180° -Klüfte lediglich an der Brunbergquelle, sonst aber gar nicht zur Entwicklung kommen. Die großen Höhlen des Gebietes sind N-S und O-W ausgerichtet, sodaß bei dem Vorhandensein der O-W-Richtung in den Kluffmessungen auch die N-S-Richtung zu erwarten wäre, was merkwürdigerweise nicht zutrifft.

Schließlich tritt bei den Messungen 2, 3 und 4 und in den Höhlen noch ein Maximum zwischen 140 und 150° hervor, das sich im Durchschnitt von 1 bis 5 sowie 8 und 9 ebenfalls äußert, um im Gesamtdurchschnitt auf 150 bis 160° überzugehen. Während sich die Streichrichtungen um 10 , 80 und 120° immer wieder als mitbestimmend in der Anlage der Karsterscheinungen und damit wahrscheinlich auch als mitbestimmend für den Karstwasserabfluß erweisen, ist das von dem Maximum zwischen 140 und 150° bzw. 150 und 160° nicht festzustellen.

Im oberen Pegnitzgebiet, d. h. im engeren Bereich der starken Quellaustritte vom Seeweiher bis Neuhaus besitzen die Klüfte zwischen 110 und 130° die größte Verbreitung und beste Ausbildung. Je weiter man aber nach Süden kommt, umso untergeordneter werden sie und umso mehr drängt sich die Nord-Süd-Richtung in den Vordergrund (vgl. Messgs.-Gebiet 7). Wenn die 110 – 130° -Richtungen auch bei weiteren Aufnahmen als Spitzenwerte noch zum Ausdruck kommen, so vermindert sich doch ihr Häufigkeitsfaktor zu Gunsten der Maxima um 180° , von denen sie quantitativ wie qualitativ überlagert werden. Diese Tatsache läßt den Schluß zu, daß die Klufftektonik im oberen Pegnitzgebiet unter dem Einfluß der Sulzbach–Auerbach–Pegnitzer Störung steht.

Die Schwankungen der Spitzenwerte zwischen 110 und 130° oder gar 140° sind zu bedeutend, als daß ihre Ursache allein mit der Unsicherheit im Beobachten erklärt werden könnte, sie liegen außerhalb der Aufnahme-Fehlergrenzen. Das gleiche ist von den Spitzenwerten von 20 bis 40° zu sagen. Man gewinnt vielmehr den Eindruck, als würden sie in einer gewissen Abhängigkeit zueinander stehen, da häufig zu beobachten ist, daß eine Aenderung der einen Streichrichtung eine meist gleichsinnige Aenderung der anderen Streichrichtung im Gefolge hat. Diese Erscheinung ist auch WELLHOFER aufgefallen (S. 24), der die Möglichkeit einer gesetzmäßigen „Wanderung“ der genannten Kluffrichtungen offen läßt. Ich halte sie ebenfalls für naheliegend, und zwar handelt es sich anscheinend um eine wellenförmige Anordnung der Streichrichtungen, etwa so, wie sich die Blätter eines Buches werfen, wenn sie seitlich zusammengedrückt werden. Die Aufnahmen und Untersuchungen in dieser Richtung gehen jedoch zu weit über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinaus, um sie behandeln zu können.

Unter der Annahme, daß örtliche Schwankungen innerhalb von Kluffrichtungsbereichen möglich sind, die einer bestimmten Spannungsphase der Erdkruste entsprechen, ergeben sich für das untersuchte Gebiet in klufftektonischer Hinsicht folgende Systeme:

1. herzynisch	110—130 ° (140 °), Messungen	1—9
2. erzgebirgisch	20 °—40 °	1—4, 6, 8
3. rheinisch longitudinal	80 °—90 °	1—3, 5, 8, 9
4. rheinisch transversal	170 °—10 °	„ 2, 7—9

Diesen Hauptrichtungen gegenüber sind alle anderen von untergeordneter Bedeutung.

Die vorstehenden Ergebnisse werfen ein besonderes Licht auf die Frage, die den nächsten Untersuchungen zugrunde liegen: inwieweit sind Karsterscheinungen überhaupt geeignet, um zur Lösung tektonischer Probleme herangezogen zu werden? Zum Teil ist eine Eignung der Dolinen und Höhlen für solche Zwecke in den obenstehenden Betrachtungen schon vorausgesetzt und die Erörterungen darüber gehören eigentlich auch in diesen Abschnitt. Da aber meines Wissens grundsätzliche Feststellungen in der vorliegenden Form noch nicht gemacht wurden, ist ein näheres Eingehen darauf erforderlich.

D o l i n e n.

Unter tektonischen Linien versteht man im allgemeinen Linien in der Erdkruste, an denen senkrechte oder waagrechte Lagerungsstörungen vorhanden sind. Im Karst gibt es aber auch Erscheinungen, die durch ihre vorwiegend lineare Anordnung gegenseitige gesetzmäßige Beziehungen erkennen lassen. Sie sind von tektonischen Ursachen abhängig, ohne daß eine Verschiebung des Gesteinsverbandes vorzuliegen braucht. Zu ihnen gehören die Dolinen und Höhlen, deren Verbundenheit mit der allgemeinen Klufftektonik als wahrscheinlich angenommen werden kann. Schon GÜMBEL brachte zum Ausdruck, daß die Dolinen, die er Hühlen oder Wetterlöcher nennt (Frankenjura S. 47), an Spalten aufgereiht sind und zeigt dies auf S. 46 in einer recht anschaulichen Abbildung. Später machte NEISCHL das mutmaßliche Gebundensein der Dolinen an gesetzmäßig ausgerichtete Spaltenzüge zum Gegenstand seiner Untersuchungen und baute auf ihnen weitgehende Schlußfolgerungen auf. Sie können in ihrer Art aber nur Anregung sein, da sie den wirklichen Verhältnissen nicht gerecht werden, was von SEEBACH bereits bemerkt wurde. So schematisch verlaufen die Klüfte nicht, wie das der Beschauer aus der ungeeigneten zeichnerischen Darstellung NEISCHL's schließen muß, wenn im übrigen auch Dolinenzüge auf kilometerweite Erstreckung zu verfolgen sind. Dabei möchte ich die Dolinenreihen in den langgestreckten Trockentälern des Veldensteiner Forstes gar nicht mit einrechnen. Ihre lineare Anordnung scheint zunächst von dem ebenfalls linearen Verlauf der Tiefenfurchen abhängig zu sein, weshalb die Behauptung von ihrer tektonischen Gebundenheit in dieser Form auf Widerstand stoßen könnte. Dagegen sind solche Dolinenketten unbedenklich als an großen Spaltenzügen angelegt zu betrachten, die sich unbekümmert um Berg und Tal durch die ganze Landschaft verfolgen lassen, deren Dolinen also sowohl auf den Höhen als auch in den Niederungen auftreten und an einer Linie liegen. Schon die Anordnung kleiner Gruppen von 15 bis 20 Dolinen läßt meist auf kurze Erstreckung (50 bis 100 m) den Zusammenhang mit der großen Linie erkennen. Man kann sich daher bei Kartierungen die Arbeit dadurch erleichtern, daß man lediglich einem einmal erkannten Dolinenzug nachgeht und ihn weiter verfolgt. Trotzdem habe ich, um jede subjektive Beeinträchtigung auszuschalten, auch das übrige Gelände abgesehen. Die Art und der

Umfang der Dolinenkartierung sowie der Höhlenaufnahmen geben eine wesentliche Ergänzung zu den klufftektonischen Messungen im Bereich der großen Quellaustritte. Darüber hinaus vermittelt aber die Zusammenstellung auf Tabelle IV, die 975 kartierte Objekte mit ihren Hauptmerkmalen bringt, ein umfassendes morphologisches Bild von dem Dolinenproblem des oberen Pegnitzgebietes. Die Einzeichnung der einzelnen Dolinen geschah auf 10 000teiligen Forstblättern mit Höhengschichten und auf 25 000teiligen Karten mit Geländedarstellung. Da die Nummerierung der Dolinen auf den Kartenblättern durchgeführt ist, besteht von nun ab die Möglichkeit ihre Lage im Gelände wieder aufzufinden und durch Vergleich mit den vorliegenden Aufnahmen etwaige Veränderungen größeren Ausmaßes an ihnen festzustellen. Von besonders ausgeprägten Ponordolinen wurden außerdem Grundriß- und Querschnittzeichnungen gemacht.

Ich war mir von vornherein klar darüber, daß die Dolinenbearbeitung ein mühevolleres Unternehmen würde, denn mit der Kartierung einiger Dolinen wäre nichts zu erreichen gewesen; es mußte vielmehr eine restlose Erfassung derselben über ausgedehnte Teile des Gebirges angestrebt werden. Auch mit dem Eintrag allein war es nicht getan, sondern ich stellte, wo es irgendwie möglich war, die Achsrichtungen der Dolinen fest, ohne allerdings einen bestimmten Erfolg vorauszuahnen. Die Gesichtspunkte, unter denen die einzelne Doline behandelt wurde, sind insgesamt folgende:

1. **L a g e.** Befindet sich die Doline im Grund, also in einer Tiefenlinie des Geländes, gleichgültig, ob diese in der Hochlandschaft ist, oder sich von einer Höhe herabzieht oder ganz in den Niederungen der Trockentäler liegt, die nahezu höhengleich mit dem Pegnitztal verlaufen, so ist sie als **G r u n d d o l i n e** mit „G“ bezeichnet. Liegt die Doline auf einer geneigten Fläche, die an eine Tiefenlinie anschließt, einerlei ob es das Pegnitztal oder ein Trockental ist, oder auch die Niederungen der Hochlandschaft sind, so wurde sie als **H a n g d o l i n e** angesprochen und ist mit „H“ bezeichnet. Endlich sind jene Dolinen, die auf einem Bergrücken oder einem ausgesprochen verflachten Höhenzug liegen, mit „P“ bezeichnet und als **Pl a t e a u d o l i n e n** aufzufassen. Wenn man einen strengen Maßstab anlegt, so ist ja die Richtigkeit der Bezeichnung „Plateau“ anzufechten, denn ein Bergrücken ist schließlich kein Plateau und andererseits wird dieser Ausdruck auch bisweilen auf die ganze Albhochlandschaft angewandt. Wesentlich für diese Arbeit ist aber, daß aus der Bezeichnung die Lage der Doline eindeutig hervorgeht.
2. **F o r m.** Hier ist es nicht immer leicht, eine völlig einwandfreie Entscheidung zu treffen und es mögen wohl Fälle eintreten, in denen verschiedene Beobachter mit ihrer Beurteilung voneinander abweichen würden. Das grundsätzliche Schema für die Bezeichnung der Dolinenformen ist auf Tafel IV, Fig. 1 a bis 1 f festgelegt und in der Tabelle erscheinen die Signaturen für jede einzelne Form mit

w = Wanne	ti = Trichter	s = Schüssel
to = Trog	g = Graben	b = Brunnen
	u = unregelmäßig.	

Maßgebend für die Bezeichnung war in erster Linie der Querschnitt der Doline, wenn auch der Grundriß z. B. bei Wannen und

Trichtern nicht immer eine absolut symmetrische Figur zeigte. Erst dann, wenn eine seitliche Zerlappung von größerem Ausmaße vorhanden war, wurde die Bezeichnung „unregelmäßig“ hinzugefügt und erscheint in der Tabelle mit der Signatur *wu* = unregelmäßige Wanne oder *tiu* = unregelmäßiger Trichter. Bei der Schlußzusammenstellung wurden diese Dolinen jedoch ebenfalls als unregelmäßig und nicht als Wannen und Trichter mitgezählt. Jene Dolinen, die überhaupt mit unregelmäßig bezeichnet sind, konnten in keiner der übrigen Formengruppen untergebracht werden, wobei es sich zumeist um Objekte mit unruhiger Sohlenausbildung, einseitiger Begrenzung der Doline durch eine Felswand und unregelmäßige Umrisse handelt.

3. **Maße.** Als Maße sind Länge, Breite und Tiefe aufgenommen. Der Dolinendurchmesser wurde immer von dort aus gerechnet, wo der allgemeine Geländeverlauf deutlich an der Dolinenböschung abseht, oder bei Dolinen mit Zulaufgraben von der Stelle, an der etwa der Dolinenrand hindurchziehen würde, wenn er nicht von einem Graben unterbrochen wäre. Bei sehr unregelmäßigen Dolinen ergaben sich manchmal Zweifel über den Durchmesser; es wurden in solchen Fällen Mittelwerte aus der gesamten Grundrißfigur gewählt, die damit natürlich einer gewissen Unsicherheit unterworfen sind. Da jedoch nur wenige Dolinen vorhanden waren, bei denen so verfahren werden mußte, kann sich diese Unsicherheit im Endergebnis nicht mehr auswirken.
4. **Achsrichtungen.** Bei dieser Feststellung wurde mit dem Geologenkompaß ein etwa längsgefurchter Dolinenboden, ovale Dolinen mit unverkennbarer Achsrichtung sowie gut ausgebildete Tröge und Gräben eingemessen. War die Achsrichtung an einer Doline nur zweifelhaft ausgeprägt oder bestanden sonst irgendwelche Unsicherheiten über den Wert einer Ablesung, so wurde sie unterlassen. Bei den Dolinenaufnahmen rechts der Pegnitz wurde ab Nr. 228 auf eine Erhebung der Achsrichtungen überhaupt verzichtet, da die Kartierung nicht mehr durch mich selbst erfolgte. Eine Entscheidung darüber, ob die Doline für eine Achsaufnahme geeignet ist, liegt schließlich nicht mehr im Rahmen einer rein mechanischen Feststellung allein. Sekundäre Veränderungen an einer Doline durch Wald- oder Ackerarbeiten, Zuführung von Entwässerungsgräben in die Doline u. dgl. können dem nicht geschulten Auge leicht entgehen und damit die Zuverlässigkeit gerade dieser wichtigen Beobachtung in Frage stellen. Ueberhaupt war in ehemaligen Bergbaugebieten eine gewisse Vorsicht mit der Dolinenkartierung geboten, da Pingen und Pingenfelder aus dem Erz- und Farberde-Abbau bei oberflächlicher Betrachtung leicht Anlaß zur Verwechslung mit Dolinen geben konnten. Das rechnerische Ergebnis aus den Achsaufnahmen an den Dolinen ist bereits mit den klufftektonischen Untersuchungen verwertet.
5. **Tektonische Linien.** Hierunter sind die Richtungen jener großen Dolinenzüge vermerkt, an denen die betreffende Doline liegt. Man sollte glauben, daß diese Ziffern mit den als Achsrichtungen festgestellten jeweils übereinstimmen müßten; das ist jedoch nicht immer der Fall.

Im Verzeichnis (Tabelle IV) sind die Dolinen rechts und links der Pegniß getrennt numeriert; bei Hinweisen auf einzelne Dolinen ist im Textteil vor die Ziffer der Buchstabe r = rechts, oder l = links der Pegniß gesetzt.

Aus der Verarbeitung des Gesamtmaterials nach einheitlichen Gesichtspunkten ergibt sich nun folgendes Bild:

Grunddolinien: 447 (100), Hangdolinien: 395 (88), Plateaudolinien: 133 (30)

	Grund	Hang	Plateau	insgesamt
Wannen	177 (100)	201 (100)	57 (100)	435 (100)
Trichter	115 (64)	106 (53)	28 (49)	249 (57)
Schüssel	25 (14)	8 (4)	6 (1)	39 (9)
Trog	51 (29)	34 (17)	12 (21)	97 (22)
Graben	21 (12)	10 (5)	3 (0.5)	34 (8)
Brunnen	7 (4)	12 (6)	5 (1)	24 (6)
unregelmäßig	51 (29)	24 (12)	22 (39)	97 (22)

	Durchmesser		Tiefe		
bis	1 m . .	35 (11)	bis	1 m . .	441 (100)
zwischen	1 und 5 m	324 (100)	zwischen	1 und 2 m	229 (52)
	5 10	287 (89)		2 3 „	102 (23)
	10 20	216 (67)		3 4 „	74 (17)
„	20 „ 50	104 (32)		4 5	57 (13)
über	50 m	9 (2)	über „	5 „ 10	67 (15)
				über 10 m	5 (1)

Die eingeklammerten Ziffern sind die Verhältnisziffern. Die größte Häufigkeit ist gleich 100 gesetzt.

Unter den 975 Dolinen befinden sich 15 Dolinenseen (Locven) und 17 Sumpfdolinien. Die letzteren sind durchweg schüsselförmig. Bemerkenswert ist, daß sie nicht lediglich infolge Verschlämmung eingeebnet werden und versumpfen, sondern vielmehr infolge Verwucherung und Verfilzung durch Moose (Sphagnum). Der Vorgang ist ähnlich demjenigen bei der Hochmoorbildung. Es können z. B. trichterförmige Dolinen im Laufe der Zeit vorwiegend durch pflanzliches Wachstum schüsselförmig werden und völlig ebene Böden bei ringsum steilen Rändern erhalten. Das ist bei den meisten Sumpfdolinien der Fall. Ob es sich dabei um eine vorausgehende Verstopfung der Abzugskanäle unter der Doline handelt und sonach um ein rückbildendes Aufschüttungsstadium im Sinne SAWICKI's (S. 193, 200 ff.) oder um eine ausgesprochen biologische Erscheinung soll hier nicht weiter erörtert werden, da es in dem vorliegenden Arbeitsrahmen belanglos ist.

Von den gesamten Dolinen sind 127 als Wasserschlinger oder -Schwinden (Ponore) ausgebildet, die bisweilen beträchtliche Wassermassen aufnehmen.

Als ein Mangel mag empfunden werden, daß sich die Statistik nicht noch auf die Feststellung erstreckt, ob die Doline im nackten Karst oder im bedeckten liegt. Die Geländeschwierigkeiten in dem oft überaus dicht mit Unterholz und Heidekraut bestandenen Gebiet sind jedoch so groß, daß auf solche Erhebungen schon aus diesem Grunde verzichtet werden mußte. Es könnte ohnedies nur mit einem Handbohrer an jeder einzelnen Doline eine wünschenswerte Sicherheit in der Beurteilung dieser Frage erzielt werden. Aus dem Oberflächenbild allein lassen sich

gar keine Anhaltspunkte gewinnen. So haben diesbezügliche Untersuchungen gezeigt, daß auf völlig ungliederten Flächen, die den Eindruck mächtiger Karstbedeckung erweckten, die Dolinen im nackten Karst lagen oder umgekehrt. Das bedingt die Einebnung des in großen Zügen unregelmäßig geformten Karstreliefs durch die Ueberdeckung, sodaß bei der Oberflächengleichheit die Untergrundverhältnisse nicht ohne weiteres zu beurteilen sind. Dazu kommt noch, daß der nackte Karst des oberen Pegnitzgebietes in der oberflächigen Kleinplastik meist nicht so wild zerklüftet und zerkarst ist, wie z. B. in südlichen Karstländern. Er erscheint im Gegenteil recht ausgeglichen und geglättet. Diesen Verhältnissen ist wohl auch zuzuschreiben, daß CRAMER (S. 268) das Vorkommen von Dolinen im nichtbedeckten Frankendolomit bisher ablehnte.

Der statistischen Uebersicht sind nicht viel Erläuterungen hinzuzufügen. Die Mehrzahl der Dolinen sind Grunddolinen und das Häufigkeitsverhältnis zu jenen im Hang und auf dem Plateau steigert sich noch, wenn man es auf die Flächeneinheit bezieht. Der Grund nimmt höchstens 20 % der gesamten Gebietsfläche ein, ebenso das Plateau, sodaß auf den Hang etwa 60 % zu rechnen wären. Demnach wird sich das Dichteverhältnis etwa folgendermaßen stellen: Grund = 100, Hang = 27 und Plateau = 29. Während also die Verbreitung im Hang und auf dem Plateau nahezu gleich ist, überwiegt die Grunddoline fast um das vierfache. Das ist weiter nicht verwunderlich, denn es bewegt sich eben in dem bisweilen stark verschmierten Karst des oberen Pegnitzgebietes der Ablauf der Niederschläge in weitem Ausmaße auf die Tiefenlinien zu, weshalb sich dort auch die Hauptwirkung des Wassers entfaltet. Das geht u. a. schon aus der hohen Zahl von Ponoren hervor, die sich mit etwa 80 % im Grund befinden. Und darüber herrscht heute wohl kein Zweifel mehr, daß die Entstehung der Dolinen ausschließlich der Einwirkung des Wassers auf das Gestein zuzuschreiben ist. Dabei kann es zunächst gleichgültig sein, ob im Einzelfalle die mechanische oder die lösende Tätigkeit oder beides als Ursache in Betracht kommt. Schließlich können dem vorausgehenden Lösungsprozeß in einem örtlichen Zerklüftungsbereich auch beliebige Nachbrüche folgen, ohne daß dies an dem primären Anteil der Niederschläge bei der Dolinenbildung etwas ändert.

Im übrigen ist der Einfluß der Karstbedeckung auf die Dolinenformung nicht zu übersehen. Mit ihr scheint es auch zusammenzuhängen, daß im Hang die schüsselförmige Doline 4 % ausmacht, während sie im Grund mit 14 % und auf dem Plateau mit 10 % vertreten ist. Die Entstehungsbedingungen für diese Dolinenform dürften mit der Karstbedeckung verknüpft sein, die natürlich im Hang nie so entwickelt ist, wie sie es im Grund oder auf dem Plateau sein kann. Die gleichen Ursachen werden für das Vorkommen der brunnenförmigen Dolinen anzunehmen sein, die im Hang häufiger sind als im Grund, wo die lockeren Sedimente der Talaufschüttung wenn auch nicht gerade ihr Entstehen verhindern, so doch ihre Lebensdauer kürzen. Die Niederschläge sorgen bald für die Umwandlung in trichterförmige Dolinen durch Abböschung der steilen Brunnenränder (vgl. auch Tafel IV, Fig. 4).

Aus den Maßangaben geht hervor, daß die durchschnittliche Größe der Albdolinen zwar bescheiden ist, daß aber immerhin auch eine bemerkenswerte Anzahl größerer Objekte festgestellt werden konnte. Sum-

miert man die wannen- und trichterförmigen Dolinen, ferner die Dolinen mit Durchmessern bis zu 10 m und schließlich jene mit den Tiefen bis 2 m, so ergeben sich für wannen- und trichterförmige = 683, für Durchmesser = 646 und für Tiefe = 670 Dolinen. Aus diesem Ergebnis kann auf den vorherrschenden Dolinentyp des Gebietes als geseßmäßige Erscheinung geschlossen werden. Die charakteristische Albdoline ist demnach wannen- und trichterförmig und ihre Maße liegen vorwiegend bei Durchmessern bis 10 m und Tiefen bis 2 m.

Mit dieser Feststellung, die sich auf ausschließlich statistische Erhebungen stützt, befinde ich mich in einem mir selbst nicht verständlichen Gegensatz zu den SEEBACH'schen Ergebnissen (S. 25 und S. 30). Leider ist dieser Arbeit nicht zu entnehmen, welches Aufnahmematerial ihr zugrunde liegt bzw. ob die dortigen Angaben über die Hauptformen und Dolinenausmaße nicht etwa mehr auf einer gefühlsmäßigen oder schätzenden Beurteilung beruhen.

Hinsichtlich der Genetik der Albdolinen gehen die Anschauungen auseinander. DORN glaubt vor allem auf Grund der überwiegenden Häufigkeit der Dolinen in der Dolomitlandschaft, daß sie mit den petrographischen Eigenschaften des Gesteins ursächlich zusammenhängen. Ihre Anlage sei also gewissermaßen primär im Gestein verborgen und an der Oberfläche komme es dann an den hiezu geeigneten Stellen zur Entwicklung der Dolinen.

CRAMER unterscheidet zwischen „Korrosionsdolinen und Uvalen“ einerseits und „Schwemmlanddolinen und Ponoren“ andererseits. Das Vorkommen der ersteren sei nur auf das unter der Karstbedeckung gelegene fossile Karstrelief beschränkt und, wenn man den Gedankengängen seiner an Problemstellungen reichen Arbeit folgt, müßte ihr Alter kreidezeitlich sein. Als „Schwemmlanddolinen und Ponore“ wären dann alle in der heutigen Karstlandschaft der nördlichen Alb, also auch im oberen Pegnitzgebiet gelegenen Dolinen anzusprechen, sofern man der CRAMER'schen Hypothese Raum geben will. Das ist eine zu weit gehende Verallgemeinerung, die lediglich Teilverhältnisse streift. Ich betonte bereits die Schwierigkeit, die in der Unterscheidung zwischen nacktem und bedecktem Karst besonders im oberen Pegnitzgebiet und auf der nördlichen Frankenalb überhaupt liegt. Sie kann aber nicht ohne weiteres zu der Annahme berechtigen, daß es im nackten Karst unseres Gebietes keine rezenten Lösungsdolinen gibt, und auch die Tatsache, daß die Dolinenhänge abgebösch und von Vegetation bestanden sind (CRAMER S. 269) ist noch kein Kriterium für die Entstehung oder die Art einer Doline. Vor allen Dingen nicht in der Alb, wo sich bei wenigen Centimetern Humusdecke bereits eine verhältnismäßig gute Pflanzenentwicklung zeigt und der absolut nackte, selbst von geringster Humusbedeckung freie Fels, äußerst selten ist. Wenn daher im Sinne der vorliegenden Arbeit eine begriffliche Abgrenzung zwischen nacktem und bedecktem Karst zu machen ist, so kann sie nur dahin gehen, daß unter ersterem auch diejenigen Flächen zu verstehen sind, die von einer schwachen Humus-, Streu- oder Moosdecke u. dgl. überzogen sind. Die eigentliche Wertung des Begriffes nackter Karst ergibt sich ohne weiteres aus einer Gegenüberstellung mit dem entgegengesetzten Begriff bedeckter Karst, der in der mächtigen kretazischen und tertiären Ueberschüttung als festgeformt nur eine eindeutige Auslegung zuläßt. Richtig ist, daß unter der Bedeckung Karsthohlformen liegen, die sich bei großen Aus-

maßen heute noch im Landschaftsbild als Einschnürungen der Täler, hufeisenförmige Bergzüge usw. äußern (vgl. S. 31 dieser Abhandlung). Möglicherweise befinden sich darunter kreidezeitliche Lösungsdolinen, ebensogut können aber auch Hohlformen erst in späterer Zeit infolge Lösungsarbeit unter der Bedeckung durch „subkutane Verkarstung“ entstanden sein und noch entstehen. Man kann diese Hohlformen, wenn sie sich in der hangenden Ueberdeckung äußern, im Sinne CVIJIC's als Schwemmlanddolinen bezeichnen, wie es CRAMER getan hat; es sind jedoch in diesem Falle einige ergänzende Bemerkungen nötig.

CVIJIC ist mit der Feststellung des Types „Schwemmlanddoline“ (er nennt sie auch alluviale Doline) im allgemeinen zwar nach genetischen Gesichtspunkten verfahren, in mancher Hinsicht wäre aber doch eine eindeutige Stellungnahme wünschenswert gewesen. Das Bezeichnende an dem Entstehungsvorgang ist, „daß das Wachstum einer alluvialen Doline meistens von Innen nach Außen vor sich geht“ (CVIJIC 1893, S. 253), womit CVIJIC sagt, daß der Anstoß zur Bildung der Schwemmlanddoline im Karstgestein liegt und die Entstehung der eigentlichen Oberflächenhohlform eine Nachfolgeerscheinung in der Karstbedeckung ist. Als Voraussetzung nimmt CVIJIC dann weiter an, daß im Karstgestein „Spalten oder Schlotte“ (S. 257) vorhanden sein müssen, durch die die lockere Ueberdeckung abgeführt werden kann, „der über dem Loche gelegene Lehm wird dadurch seiner Unterlage beraubt“ (S. 253), wobei sich ähnlich wie in der Sanduhr ein Trichter bildet (vgl. Tafel IV, Fig. 12 d dieser Arbeit). Das ist also ein genau umrissener Vorgang, der sich an eine ganz bestimmte Voraussetzung, nämlich an eine offene Kluft im Karstgestein, knüpft und die Vorstellung von dem Begriff Schwemmlanddoline wäre damit begrenzt. Ich glaube jedoch nicht, daß diese Begrenzung in der Absicht CVIJIC's lag, denn es ist nicht möglich, in jedem Einzelfalle zu prüfen, ob der Schwemmlanddoline eine offene Kluft unterlagert. Es kann sich ebensogut um eine „unterirdische Dolinenbildung“ handeln, die als Ausdruck der oben bereits erwähnten subkutanen Verkarstung eine Nachfolge-Hohlform in der Ueberdeckung hinterläßt. Derartige Dolinen, die unter der Ueberdeckung und nach Ablagerung derselben entstanden sind, wurden während des Wasserleitungsbaues bei Ranna mehrere aufgeschlossen und auch bei Hannesreuth konnte ich eine solche im dortigen Steinbruch an der Straße nach Kürmreuth feststellen. Eine dieser Dolinen (Tafel IV, Fig. 9) befand sich in der Nähe des Bahnwärterhauses bei Moosenberg und zeigte, wie die darübergelegenen Schotter in die unter ihnen entstehende Hohlform nachsackten und sich dieser in der Lagerung anpaßten. Die Doline wurde im Laufe der Zeit durch Schotter und Lehm wieder überdeckt, so daß sie an der Oberfläche nicht mehr sichtbar war. Das gleiche Bild zeigten Dolinen, die beim Bau einer Ausfahrrampe in der Nähe von Fischstein angeschnitten wurden (Tafel IV, Fig. 10). Auch hier lagern auf der Dolomitoberfläche Brauneisenschotter, die sich dem Verlauf der Hohlform bandartig anschmiegen und an den Trichterwänden sogar senkrecht stehen. Die letzte in Fig. 11 dargestellte Doline bei Hannesreuth befindet sich in geschichteten Weißjurakalken und ist von Kalkscherben und Gehängeschutt wieder eingeebnet. Den Vorgang bei dieser Dolinenbildung hat man sich so zu denken, wie es auf Tafel IV, Fig. 12 a bis 12 c dargestellt ist. Die Sickerwässer lösen an den hierzu geeigneten Stellen, z. B. Spalten, das Karstgestein in gleicher Weise,

wie im nackten Karst (Fig. 12 a). Allmählich entsteht an dieser Stelle ein Gesteinsschwund, der sich möglicherweise als Hohlraum äußern kann, wenn die Hangendschichten nicht sofort nachbrechen (Fig. 12 b). Teilt sich nun die Zunahme dieser verborgenen Karsthohlform der auflagernden Karstbedeckung mit, indem diese nachrückt und bestrebt ist, die entstehenden Lücken auszufüllen, so kann das zur Bildung der Schwemmlanddoline an der Oberfläche führen, wenn der Wirkungsbereich an sie hinaufreicht (Fig. 12 c). Es ist nicht immer der Fall, daß die Ueberdeckung im Nachrücken Schritt hält mit dem Wachstum der unter ihr liegenden Karsthohlform, sondern es kann unter Umständen verzögernd, ruckweise vor sich gehen, was zu den bekannten Niederbrüchen Anlaß gibt. Bestimmend dafür wird die Beschaffenheit und Mächtigkeit der Karstbedeckung, die Größe und Gestalt der darunter befindlichen Karsthohlform und ein etwaiger Belastungsanspruch sein, dem die Oberfläche ausgesetzt wird. Das letztere tritt bekanntlich dann ein, wenn über derart kritischen Stellen geackert wird oder sich ein ähnlicher Vorgang vollzieht, und es zu einem plötzlichen Einbruch kommt. Dabei entsteht meist eine Zerreißungsstruktur an den Rändern der Schwemmlanddoline, die auch CVIJC in einer Abbildung (S. 252) als besonderes Merkmal festgehalten hat. Es handelt sich um radial zum Einbruchzentrum gelegene Scherflächen, die bereits aus der Pingenbildung und von Senkungsfeldern her bekannt sind. Das Vorhandensein einer solchen Struktur ist selbstverständlich nicht als Voraussetzung gedacht, da sie in verhältnismäßig kurzer Zeit von den Niederschlägen wieder verwischt werden kann und ihr Fehlen berechtigt an sich nicht zu anders gerichteten Schlüssen.

Bei der Bildung der Schwemmlanddoline ist also das Primäre der Lösungsvorgang an geeigneter Stelle im Karstgestein, das sekundär erfolgende Nachsinken aber ist lediglich ein Ausdruck des gestörten Gleichgewichtszustandes in der Ueberdeckung (vgl. a. FRIESE, S. 86).

Mit diesen Darlegungen soll nicht bestritten werden, daß Hohlformbildung in der Ueberdeckung infolge unterirdischer Abtragung derselben durch eine Spalte oder einen Schlot erfolgen könne, ohne daß vorher eine Wanne oder ein Trichter in der Karstoberfläche entsteht, wie es Fig. 12 d veranschaulicht. Worauf ich hingewiesen haben möchte, ist dies, daß die Karstbedeckung kein direktes Hindernis für die Dolinenbildung und damit vor allem auch für die Dolinenbildung der Gegenwart sein kann und daß sich allenthalben und zu jeder Zeit im Karst die gleichen Vorgänge vollziehen, wo das Wasser das Gestein angreifen kann. Die Zeit, die zur Lösung einer bestimmten Gesteinsmenge nötig ist, hängt natürlich von den klimatischen Verhältnissen und von der petrographischen Beschaffenheit des Karstgesteins ab. Solche Faktoren können lediglich das Tempo der Verkarstung und die Entwicklung ihrer Formen beeinträchtigen, die Verkarstung an sich können sie jedoch nicht ausschalten. Es mag also unter dem gegenwärtigen Klima in unserer Alb die Verkarstung zwar langsamer vor sich gehen, als in südlichen Ländern, keinesfalls aber ist sie unterbunden. In diesem Sinne äußert sich auch FRIESE über die Verkarstung in der Schwäbischen Alb (FRIESE, S. 102).

Zu bemerken wäre noch, daß MÜHLHOFER den Typ der Schwemmlanddoline als „Schwunddoline“ in die Literatur einzuführen suchte, doch wurde die Bezeichnung kaum aufgegriffen, obwohl sie m. E. den Ent-

stehungsvorgang weit besser trifft, als der Terminus „Schwemmlanddoline“.

Sicher gehören viele Albdolinen zu der eben beschriebenen Art, da aber das morphologische Kennzeichen des Nachsackens in den wenigsten Fällen vorhanden ist, Berichte von Augenzeugen über das Einsinken solcher Wannen und Trichter spärlich sind und Aufschlüsse von Dolinen noch seltener vorliegen, kann eine Erörterung über ihre Häufigkeit nur problematischer Natur sein. Man vermag äußersten Falles aus der gesteigerten Häufigkeit der Grunddolinen anzunehmen, daß die Schwemmlanddoline in den Tiefenlinien vorherrscht, wo eine größere Verbreitung von Lehmen und Sanden zu erwarten ist. Aber auch das kann nur Annahme sein, nachdem für eine Beurteilung des Untergrundes sogar in den Tiefenlinien Unsicherheit herrscht.

Unter den für die vorliegende Arbeit aufgenommenen Dolinen befinden sich auch einige Schwemmlanddolinen, die deshalb besondere Erwähnung verdienen, weil sie zeigen, wie den Bäumen gewissermaßen der Boden unter den Wurzeln schwinden kann. So ist z. B. die Grunddoline Nr. I/293 nordwestlich Hannesreuth in der Waldabteilung Hohler Fels ein Trichter von 6 m Durchmesser und 2,50 m Tiefe, in den die Oberfläche samt den Baumwurzeln einer etwa 80jährigen Fichte bis zur Hälfte eingesunken ist (Tafel IV, Fig. 14). Nicht weit entfernt davon liegt ebenfalls im Grund die brunnenförmige Doline I/314 mit 4 m Durchmesser und 1 m Tiefe, die von dem völlig unversehrten, kräftigen Wurzelwerk einer ebenfalls 80jährigen Fichte gitterartig überspannen wird (Tafel IV, Fig. 15). Das sind die Anzeichen einer jungen Dolinenbildung, die übrigens gerade in der Gegend von Hannesreuth, Pommershof und Schmierhütte häufiger beobachtet werden kann. Der Einbruch der Doline Nr. I/179 bei Kühberg erfolgte beispielsweise erst im Frühjahr 1931. Sie ist eine trichter- oder schon fast brunnenartige Hohlform mit steilen Rändern in sandigen Verwitterungslehmen und hat einen Durchmesser von 5 m bei einer Tiefe von 2,50 m. An der Böschung hängen noch Nachbruchreste, die durch Graswuchs zusammengehalten werden (Taf. IV, Fig. 16). Ebenso steht der Dolinenrand durch den Zusammenhalt der Pflanzendecke etwas über den Einbruch herein, womit vorläufig noch eine ausgesprochen trichterförmige Abböschung verhindert wird. Es hat den Anschein, als finde gegenwärtig in dem dortigen Gebiet eine örtlich beschränkte, lebhaftere Verkarstung statt. Die markante Ausbildung der Dolinen und die Häufung von gut ausgeprägten Trichtern in dieser Gegend mag ebenfalls damit zusammenhängen. Diese Feststellung ist allerdings nicht so zu deuten, als sei der Trichter die Ausgangs- oder Jugendform der Dolinen; das wäre keinesfalls zutreffend, denn es sind mir durch Dorfbewohner eine Reihe von Fällen verbürgt, in denen sich die Dolinen von ganz flachen Einmuldungen, die nur im Frühjahr durch das stehengebliebene Wasser kenntlich waren, im Laufe von Jahrzehnten zu umfangreichen Wannen herausgebildet haben. Die Form einer Doline kann nur von Fall zu Fall der Altersbeurteilung dienen, sie kann aber nie als eine Norm für die Entscheidung jung, jungreif, reif, alt oder eine ähnliche Altersbezeichnung verwendet werden.

Bei der gegebenen eindeutigen Definition kann man nicht schlechthin jede Doline in der Ueberdeckung als Schwemmlanddoline bezeichnen, namentlich dann nicht, wenn aus dem gegenwärtigen Vorgang eine andere Entstehungsursache klar ersichtlich ist. Eine solche ist ohne Zwei-

fel bei den Ponordolinen gegeben, die ich bereits in einer früheren Arbeit als Erosionsdolinen bezeichnete und beschrieb (SPOCKER 1924, S. 74). CRAMER glaubte diese meine Auffassung berichtigen zu müssen (CRAMER 1928, S. 269 f.), indem er auch solche Dolinen als genetisch den Schwemmlanddolinen gleichstehend erachtet. Wie schon dargestellt, wirken bei der Entstehung der letzteren aber vorwiegend die Lösungsvorgänge im Karstgestein, denen Einbrüche nachfolgen; bei den Erosionsdolinen hingegen handelt es sich um ganz andere Funktionen des Wassers, nämlich um mechanische. Jene haben ihren Ausgang unter der Ueberdeckung, diese auf ihr, und die Entstehung solcher Dolinen ist der Kesselalbildung im großen, wie sie MÜHLHOFER (1907, S. 12 ff.) aus dem Küstenkarst erwähnt und wie ich sie am Adelsberger Polje feststellte (1932, S. 260 ff.), durchaus analog. Auf der nichtverkarstungsfähigen Geländeoberfläche entwickelt sich ein Gerinne, das oberirdisch so lange besteht, bis es auf Karstgestein trifft, in dem es verschwindet. An der Uebergangsstelle zum unterirdischen Lauf, dem Ponor, kommt es alsbald zur Herausbildung eines Kessels in der Karstbedeckung, der vorwiegend mechanischer Verbreiterung und Vertiefung unterworfen ist. Vielfach wird die Doline selbst einseitig von gewachsenem Fels begrenzt, der in der Regel die Stirnwand bildet, was auch von CRAMER (1928, S. 270) und von SEEBACH (1929, S. 25) bereits erwähnt wurde. Ein Bestimmungsmerkmal für die Genetik der Doline kann das Vorhandensein der felsigen Stirnwand allerdings nicht sein; man mag lediglich die morphologische Bezeichnung „Felsriegeldoline“ auf sie anwenden, die SEEBACH eingeführt hat. Allgemein ist in einem solchen Falle der Unterlauf des Oberflächengerinnes mehr oder weniger rechtwinkelig geknickt, die Ponordoline liegt quer zum Talverlauf und heftet sich an irgendeine Seite des Talrandes (Tafel IV, Fig. 2, Nr. 2). Es entsteht der Eindruck, als sei das bisher im Talstrich gehende Gewässer plötzlich mit Gewalt aus dieser Richtung gerissen und vom Karstgestein angezogen worden. Da solche Dolinen mit dem größten Teil ihrer Anlage gewöhnlich aus der Talaufrichtung herauspräpariert werden, sind sie zwar nicht Bestandteil des Karstgesteins selbst, was man von der Schwemmlanddoline übrigens auch nicht sagen kann, sie sind aber ungeachtet dessen eine Hohlform, deren Entstehen mit der Verkarstung zusammenhängt. Ob die Ponordolinen ausschließlich an fossile Karsthohlformen gebunden sind, bzw. ob es sich hier um unterirdische Ausräumung derselben durch ein versickerndes Gerinne handelt, wie CRAMER (S. 269) das glaubt, ist jedenfalls solange strittig, als der eindeutige Nachweis für die örtliche Beschaffenheit des Untergrundes aussteht. Zwingendes Erfordernis ist diese Voraussetzung jedenfalls nicht, denn ein Oberflächengerinne kann in jeder, der jeweiligen Wassermenge entsprechenden, wegsamen Kluft des Karstes verschwinden, ohne von der Gestaltung des überdeckten Karstreliefs abhängig zu sein, wenn die Kluft über dem Karstwasserspiegel liegt.

Man kann bei dieser durch die Erosionstätigkeit eines Gerinnes an der Berührungsfläche von Karst und Nichtkarst entstehenden Dolinenart verschiedene Entwicklungszustände beobachten, die z. T. in größeren oder kleineren Ausmaßen der Hohlformen bestehen. So ist mir im Ohrental bei Krottensee, dann an der Straße von Sackdilling nach Ranna und im Lohgraben bei Fischstein je eine Stelle bekannt, an der ein Oberflächengerinne plötzlich verschwindet, ohne daß es bis jetzt noch

zur Herausbildung einer ohne weiteres sichtbaren Hohlform gekommen wäre. Die Schwundstelle im Ohrental schluckte z. B. am 24. 6. 33 nach vorhergehenden Regenfällen 4 l/sek. Bei der Versickerung im Lohgraben möchte ich es allerdings dahingestellt sein lassen, ob nicht die Zufüllung entstehender Lücken auf Betreiben der Forstbehörde nach jeder Aktivität des Wassers die Entwicklung einer Hohlform verhindert. Es sind aber auch sehr gut ausgebildete Trichter und Wannen vorhanden, die nur wenige Meter lange Zulaufstüken besitzen und bei denen von einem erheblichen Wasserabzug nicht gesprochen werden kann. Ob man solche Bildungen als Schwemmlanddolinen bezeichnen soll, die zuvor bestehen und dann erst von einem Oberflächengerinne gefunden und ausgestaltet werden, ist eine Frage, die nur durch fortwährende Ueberprüfung des Einzelfalles beantwortet werden kann. Es würde sich hierbei um eine Karsterscheinung handeln, die von HOL als „aufgesuchte Doline“ bezeichnet wurde (1916, S. 126). Der weitaus größte Teil der Ponordolinen aber ist mit wohlausgebildeten, manchmal kilometerlangen Zulaufgräben versehen, die zu regenreicher Zeit die Dolinen mit bisweilen erheblichen Wassermengen beschicken. Die Gerinne durchlaufen sehr oft sumpfige Weihergründe, in denen die unteren Abschlußdämme bis auf ganz geringe Ausnahmen durchstoßen sind, da nach der Säkularisation eine Trockenlegung und Aufforstung der ehemaligen Weiher erfolgte. Ich habe alle diese Verhältnisse in meiner 1924 erschienenen, hier mehrfach zitierten Arbeit bereits dargelegt und wiederhole sie, weil meine Feststellungen von CRAMER als irrig bezeichnet wurden, ohne daß hierfür beweiskräftige Gründe angeführt sind. Denn, daß die Weiher infolge zunehmender Verkarstung „in den letzten Jahren also versickert“ seien“ (CRAMER 1928, S. 250 und Anm. 5), kann nicht unwidersprochen bleiben. Dem steht ganz und gar die Tatsache entgegen, daß im Forstbereich Krottensee und auch anderwärts die Weihergründe sich wieder mit Wasser füllten, nachdem die Durchstiche geschlossen wurden. An dieser Stelle sei noch erwähnt, daß die Weiherbildung vom Karstwasserspiegel unabhängig ist, wenn die Wasseransammlungen nicht im Pegnißtal oder im unteren Ende der unmittelbar anschließenden Seitentalungen (Ranna) selbst liegen. Westlich vom Waldhaus Hufeisen z. B. befindet sich die Sohle der Doline Nr. r/44 um einige Meter tiefer, als der 20 m entfernte Entwässerungsgraben, der in den Plecher Weiher führt, und sie liegt auch noch tiefer als der Spiegel dieses Weihers selbst. Trotzdem enthält sie kein Wasser und zeigt auch keine Neigung zur Versumpfung. Während meiner ganzen Kartierungsarbeiten ist mir übrigens nicht ein Weihergrund bekannt geworden, der von Dolinen durchlöchert gewesen wäre. Es sind ehemals viele Weiher so angelegt worden, daß der letzte unterste Damm kurz oberhalb eines Ponors quer durch das Tal gezogen wurde. Das Ueberschußwasser aus den Weihern floß dann in diese Ponore. Die Anlagen zeigen, daß sie bereits unter Berücksichtigung der seinerzeit schon vorhandenen Karsterscheinungen gebaut wurden, die sich im großen Gesamtbild der Verkarstung bis heute nicht wesentlich geändert haben. Wenn daher auf älteren Karten in Trockentälern Wasserläufe eingezeichnet sind, so kann es sich in der Hauptsache doch nur um Wildwässer handeln, und diese treten heute unter gewissen Voraussetzungen genau noch so auf, wie damals.

Die von der Bevölkerung beobachtete und auch im Schrifttum bekannte Zunahme der Trichter- oder Wannentiefe, wie überhaupt die zeit-

weilige Formveränderung der Ponordolinen nach starken Regengüssen usw. ist ein Beweis dafür, daß in erster Linie der rascher wirkende mechanische Einfluß des Wassers an ihrer Gestaltung arbeitet. Wenn hierbei mehr oder minder umfangreiche Nachbrüche erfolgen, sei es durch Unterwaschung der Ueberdeckung oder übersteilte Hänge, so kann das natürlich kein Anlaß sein, die Doline als Einsturzerscheinung im Karst zu deuten. Wie rasch sich Umformungen an den dem Wasser besonders ausgesetzten Punkten vollziehen können, zeigt Ponordoline Nr. 1/51 im Lohgraben, die ich seit drei Jahren überprüfe.

Im Juni 1930 war die Situation der Schlinger so, wie sie Fig. 7 a auf Tafel IV im Grundriß und Fig. 7 c im Querschnitt zeigt. Die Abzugstelle I glich einer länglichen nahezu senkrechten Röhre, mit geringen Querschnittsunterschieden. Sie ging im Aufschüttungsmaterial bei einem Durchmesser von 40 cm etwa 2 m in die Tiefe. An der mit 2 bezeichneten Stelle war lediglich eine schwache Einmuldung von etwa 1,50 m Durchmesser und 0,30 m Tiefe vorhanden. Das Niedrigwasser zog durch Schlinger 1 ab, ob aber auch Schlinger 2 aufnahmefähig war, konnte nicht festgestellt werden. Eine dritte Einmuldung im Dolinenboden war damals noch nicht vorhanden. Bis zum Oktober 1931 hatten sich beide Schlinger zwar insoferne etwas verändert, als Nr. 1 um ca. 40 cm breiter, Nr. 2 um 20 cm tiefer war, im allgemeinen glich aber die Gestalt genau der früheren. Eine wesentliche Umwandlung konnte ich bei meiner nächsten Begehung im August 1932 feststellen. Schlinger 1 hatte bei 1,30 m Durchmesser eine Tiefe von rund 3 m erreicht, sodaß eine Person bequem darin Platz hatte. Die Umformung zeigte sich besonders in der oberen Hälfte. Schlinger 2 hatte in seiner 0,70 m tiefen Mulde eine sekundäre brunnenförmige Vertiefung, mit der die Gesamttiefe von 1,30 m bei 1,50 m oberem Durchmesser erreicht war (Tafel IV, Fig. 7 d). Wasserführung fehlte zu dieser Zeit, doch war an dem Verlauf der Abflurinne im Dolinenboden zu erkennen, daß das Niedrigwasser nunmehr durch Schlinger 2 abzog. Bei einer weiteren Nachschau im Juni 1933 war außer den beiden alten Schlingstellen eine dritte, weiter grabenaufwärts gelegene Abzugsmulde zu bemerken und die Ponordoline sah nunmehr so aus, wie sie Fig. 7 b auf Tafel IV zeigt. Die Ausmaße der Vertiefungen im Dolinenboden waren dabei folgende:

Schlingstelle 1

= 3,00 m Länge, 1,40 m Breite und 1,00 m Tiefe.

Schlingstelle 2

= 2,10 m Länge, 1,10 m Breite und 1,55 m Tiefe.

Schlingstelle 3

= 1,25 m Länge, 0,50 m Breite und 0,30 m Tiefe.

Die nunmehrige Form ist im Querschnitt aus Fig. 7 e zu ersehen. Schlingstelle 1 war nicht allein in der Form völlig verändert, sondern ihre Funktion war überhaupt erloschen, da sie kein Wasser mehr aufnahm; ebenso war der Schlinger 3 verstopft. Abzug 2 schluckte am Feststellungstag (30. 6. 33) 7 l/sek, ohne damit aber das Maximum an Aufnahmefähigkeit erreicht zu haben. Ueber die rein hydrologischen Verhältnisse soll im II. Teil dieser Arbeit berichtet werden, da seit dem Sommer 1933 am Lohbühlgraben und am Fuchsbühlgraben je ein Meßüberfall eingebaut wurde und auch an anderen Stellen fortwährende Beobachtungen erfolgen, um die hydrographische Bedeutung der Ponordolinen für die Karstentwässerung näher kennen zu lernen.

Gewiß halten sich die festgestellten Veränderungen am Lohbühlponor in bescheidenen Grenzen und beschränken sich nur auf die Schlingstellen selbst bzw. auf den Dolinenboden, sie zeigen aber doch, daß sie vorwiegend der mechanischen Wirkung des zufließenden Wassers zuzuschreiben sind. Innerhalb größerer Zeiträume müssen sich solche Veränderungen auch der ganzen Doline mitteilen, denn es ist z. B. bei den Schlingstellen 2 und 3 bereits unverkennbar, daß der Dolinenhang angegriffen wird. Alle drei Schlinger liegen in tonigen, grauen und rötlich-braunen, dichten, zähen Ablagerungen, die stark mit Hornsteinsplittern, Quarzkieseln und Dolomitstückchen durchsetzt sind. Auch der Zuflußgraben selbst ist beschottert mit größeren, dunkel bis milchiggrauen Hornsteinknollen und -Scherben, die ausnahmslos eine schwärzlich-braune Manganrinde tragen. Die Bachsohle liegt in rötlichen, soweit beurteilt werden kann, ursprünglich gelagerten Kreidetonen. Wenn sich die drei Schlingstellen auch nicht im Dolomit befinden, so liegen sie doch in dessen unmittelbarer Nähe, denn der Fels steht an der Südseite der Doline an. Er birgt eine kleine Höhle, die im Höchstwasserbereich liegt und möglicherweise der älteste Abzugskanal dieser Ponordoline sein kann.

Daß die Oberflächengerinne unserer Alplandschaft, die von Dolinen aufgenommen werden, bis auf wenige Ausnahmen nur bei entsprechend großen Niederschlägen fließen und in der ganzen Art ihres Auftretens Wildwassercharakter tragen, dürfte bekannt sein. Dabei ist es nicht nötig, daß unter gleichen Niederschlagsmengen alle in einem engeren Umkreis gelegenen Ponore gleichzeitig tätig werden müssen; es laufen im Gegenteil die einen Gräben bereits bei geringen Regenfällen, andere hingegen beanspruchen längere und ausgiebigere Niederschläge, um Wasser zu führen. Ebenso kann es vorkommen, daß bei zu geringen Niederschlägen nur der Oberlauf Wasser führt, das unterwegs bereits im Schutt und Schotter des Bachbettes verschwindet, während andere Gräben wieder nur im Unterlauf aktiv werden. Selbstverständlich ist auch der schon vorhandene Durchfeuchtungszustand, gegebenenfalls der Bodenfrost in der Karstbedeckung und schließlich ihre lehmige oder sandige Ausbildung ausschlaggebend dafür, in welchem Maße die Niederschläge oberirdisch ablaufen oder zunächst vom Untergrund aufgesaugt werden. Die starke Abhängigkeit des Fließens von den Niederschlagsspenden wirkt sich auf das einzelne Objekt in beträchtlichen Wasserschwankungen aus, sodaß innerhalb kurzer Zeit der Ponor einmal als Teilschlinger und gleich wieder als Vollschlinger wirken kann. Im Lohbühl floß am 21. 6. 33 ein kleines Rinnsal auf dem Dolinenboden dahin und wurde vom Schlinger 2 bequem aufgenommen. Am 25. 6. 33 war an Stelle der Doline ein Weiher von 5 m Tiefe und etwa 300 m² Fläche, der bis zum 27. 6. 33 unter Zurücklassung von grauen Schlamm-Marken an den Dolinenwänden wieder verschwunden war. Sobald die Aufnahmefähigkeit der Ponore von der Wasserspende übertroffen wird, staut der Ponor zurück und es bildet sich ein Dolinensee, dessen Ueberschuß von einer zweiten, 500 m talabwärts gelegenen Doline aufgenommen wird. Wenn der Zufluß das höchste Aufnahmevermögen der Schlinger unterschreitet, entleert sich der Dolinensee. Der Vorgang kann sich innerhalb kurzer Zeiträume wiederholen. Mit Grundwasserschwankungen hat diese Erscheinung natürlich nichts zu tun. Daß auch zeitweilige Verstopfungen der Abzugskanäle Veränderungen in der Auf-

nahmefähigkeit bewirken können, oder den Abzug überhaupt unterbinden, ist selbstverständlich. Doch ist mir unter den gesamten untersuchten Ponordolinen nur eine bekannt, bei der das zum Dauerzustand wurde, sodaß sie sich gegenwärtig in einem rückbildenden Aufschüttungsstadium befindet. Es handelt sich um das sogenannte „Hirschenbad“ (Doline I/381) in der Nähe der Schmierhütte bei Vilseck, einer schüsselförmigen Doline von 25 m Durchmesser und 5 m Tiefe, in deren Grund sich aus dem Zulaufgraben die eingeschwemmten Sande, Tone und Lehme als Schuttzunge hineinziehen. Die ehemalige Ponordoline ist heute gewissermaßen ein zwischengeschalteter Sammelbehälter, der seinen Wasserüberschuß an einige, 30 bis 40 m talabwärts gelegene Dolinen weitergibt. Aber auch diese Dolinen sind nur schwache Sauger; das Wasser steht in ihnen rasch über dem Rand und breitet sich im Talgrund aus.

Während bei den einen Ponordolinen die Abzugskanäle in der Karstbedeckung liegen, öffnen sich bei den anderen die Schlingstellen unmittelbar an Felsspalten des Dolomites. Wieder andere besitzen überhaupt keinen sichtbaren Abfluß, wie es eben mit der Beweglichkeit der Materie Wasser und Karstbedeckung und der möglichen Vielgestalt des Karstuntergrundes zusammenhängt, daß ein außerordentlicher Spielraum für den ganzen morphologischen und z. T. auch genetischen Fragenbereich gegeben ist.

Mit der Dolinenbildung ist die Wirkung des von den Ponoren aufgenommenen Wassers noch nicht erschöpft. Die Gerinne setzen auf ihrem weiteren Weg im Gebirgsinnern sowohl ihren mechanischen Einfluß fort, wie sie auch eine lösende Tätigkeit am Gestein entfalten. Es kommt zu fortwährenden Hohlraumerweiterungen und Hohlraumneubildungen, die sich bisweilen schon an der Schlingstelle selbst oder auch im Gelände bemerkbar machen. Verschiedentlich verschwinden die Bachläufe in kurzen, an die Ponordoline anschließenden Höhlen, wie im Bärenschacht bei Waldhaus Hufeisen (Dol. r/10), im Taubennestponor bei Fischstein (Dol. r/354) und im Schüllerponor bei Sackdilling (Dol. I/151). Die ersteren verlaufen waagrecht, in der letzteren erfolgt der Wasserabzug senkrecht, der Schlinger ist aber verstürzt und durch Treibholz verlegt. In dem früher bereits erwähnten Gebiet der jungen Dolinenbildung bei Hannesreuth liegt eine Ponordoline (I/313) im Grund der Waldabteilung „Hohler Fels“. Genau südlich davon befindet sich 30 m entfernt und 7 m höher im Hang eine kleine Höhle, die möglicherweise der ehemalige Ponor dieses Entwässerungssystems ist (Tafel IV, Fig. 17). Ihr Eingang ist brunnenförmig und die N-S-Richtung der Hauptkluff geht in der gedachten Verlängerung durch die heutige Schlingstelle. Im oberen Teil ist die Höhle zwar schon reichlich durch Verwitterungseinflüsse zerklüftet und von Verbruchformen beherrscht, im tieferen Teil finden sich aber jene zackigen, schwammartig lückigen und zerfressenen Lösungsformen, welche vielfach die Höhlen der gegenwärtigen Schlinger auszeichnen. Wenn noch bemerkt wird, daß auf den Felssimsen die typischen humösen, schmutzig-dunkelbraunen Lehme liegen, die ebenfalls in den Gesteinslücken und oft auch auf der Sohle der rezenten Höhlenschlinger angehäuft sind, so gewinnt die Annahme hohe Wahrscheinlichkeit, daß der im Grund liegende Ponor 313 die inzwischen durch weitere Ausräumung des Tales verlegte Schlingstelle ist.

Nicht selten kann auch eine Zurückverlegung der Ponore talaufwärts erfolgt sein, wenn die Oberflächengerinne auf ihrem Laufe bei zunehmender Eintiefung emporragendes Karstgestein anschnitten, das vorher verdeckt war. Das gleiche ist der Fall, wenn bei gelegentlichen Hochwässern die übertretenden Fluten eine neue Kluft am Talrand finden, durch die sie abziehen können. So hat sich auch am Lohgraben einige hundert Meter oberhalb des gegenwärtigen Hauptschlingers eine Abzugsstelle gebildet, an die sich eine Doline (I/107) knüpft. Sie wäre der heutige Ponor des Lohgrabens, wenn nicht ein Schußdamm den Abfluß in sie verhindern und dem oben bereits beschriebenen Hauptschlinger zuführen würde. Der Damm muß fortwährend geflickt werden, da er nur sehr primitiv aufgeführt ist und immer ein Teil der starken Frühjahrs-hochwässer über ihn hinweg in die seitlich gelegene Doline abdrängt (Tafel IV, Fig. 18). Würde diese Regulierung unterbleiben, so wäre dies jetzt der dritte und jüngste talaufwärts verlegte Schlinger im Lohgraben.

Soweit sich der Wasserabzug durch die Ponore an der Oberfläche bemerkbar macht, geschieht dies durch Dolinenreihen und -Nester, die in der vermutlichen Abflußrichtung liegen (Tafel IV, Fig. 5 a – 5 d). Auch in dieser linearen Anordnung der Dolinen ist die früher schon erwähnte tektonische Gebundenheit ausgedrückt und im Zusammenhang mit dem abziehenden Wasser wird man in der Vermutung bestärkt, daß sich hier der Verkarstungsvorgang vorwiegend an den Gesteins-Spalten vollzieht. Am dichtesten drängen sich dabei die Dolinen in unmittelbarer Nähe des Ponores zusammen und werden mit zunehmender Entfernung von ihm nicht nur spärlicher, sondern im allgemeinen auch kleiner. Die Wasserwirkung kann im Anschluß an den Ponor so intensiv werden, daß es im Gelände zu Einbruchgräben kommt. Der größte und wildeste dieser Art ist am Schüllerponor bei Sackdilling (Tafel IV, Fig. 6), der sich auf hundert Meter erstreckt und eine eindrucksvolle Felswirnis in seinem Grunde birgt. Die beträchtliche Steigerung der unterirdischen Wasserwirkung dürfte hier nicht allein auf die hohen Abflußmengen zurückzuführen sein, die der Schlinger aufnimmt, sondern zum guten Teil auch auf die Lage der Ponordoline unmittelbar vor dem Abbruch der Hochlandschaft zum Pegnitztal. Hier ist ein steiles Vorflutgefälle vorhanden, wodurch der Abtransport von Sand und Schutt aus der Karstbedeckung weit stärker und umfangreicher erfolgen kann, als bei den tiefgelegenen Ponoren mit geringem Vorflutgefälle.

Außer den schon beschriebenen bringe ich noch vier größere Objekte auf Tafel IV zur Darstellung, um aus dem umfangreichen Material wenigstens einige auffallend geformte Erosionsdolinen zu zeigen. Ponordoline Nr. I/169 (Fig. 8) liegt im Flurteil „Kühbrunn“ bei Pommershof und ist ein allmählich sich verbreiternder und vertiefender Graben mit ziemlich symmetrischen Formen. Im Zusammenhang mit der eigentlichen Ponordoline schließt sich in ihrer Fortsetzung eine kleinere Wanne an und quer dazu liegen zu beiden Seiten noch zwei kleine Trichterchen. Ponordoline Nr. I/113 (Fig. 13) verläuft in einer beginnenden Spirale und die Tiefenlinie beschreibt einen Halbkreis bis zur Versißstelle des Wassers, sodaß schließlich der Abfluß dem Zufluß entgegengerichtet scheint. Die ganze Form der Anlage und die Böschung sind von besonders schönem Gleichmaße. Eine seltenere Gestalt hat Ponordoline I/110 (Fig. 19), aber auch sie ist in ihrer Gesamtwirkung als Trog noch gut geschlossen.

Da es nicht möglich ist, auf alle untersuchten Ponordolinen einzeln einzugehen, befindet sich auf Tabelle V eine Zusammenstellung, aus der die wichtigsten Beobachtungen ersichtlich sind. Hierzu geben auf Tafel IV die Figuren 2 und 3 a bis 3 c eine zeichnerische Ergänzung. Zunächst ist die Lage des betreffenden Objektes angegeben, wobei als Talwegponore die im Talstrich zwischen den beiden Talrändern oder einer sonstigen Niederung gelegenen Ponore anzusehen sind. Was mit Talrand-, Hang- oder Plateauponor gemeint ist, versteht sich ohne weiteres und ist außerdem aus der schematischen Darstellung (Fig. 2) zu entnehmen. Bezüglich der Art der Ponore wurde unterschieden zwischen gedeckten und offenen, bei solchen noch zwischen offenen im Sediment (Schun, Schotter, Lehm usw.) und offenen im Fels, Ponoren also, bei denen der Wasserabzug durch Höhlen und Spalten erfolgt. Von letzteren sind insgesamt 11 festgestellt. Die Form der Ponordoline und die Ausmaße sind zwar bereits in der Tabelle V vorhanden, doch ist es interessant auch diese Daten mit ausgeschieden zu haben, da aus ihnen zu ersehen ist, ob und wie sich diese Ponordolinen aus dem Rahmen des gesamten Dolinenmaterials herausheben. Wo die Höhenlage aufgenommen oder sonstwie ermittelt werden konnte, ist sie ebenfalls mit eingetragen. Auf eine Angabe der Entfernung von dem nächsten oberirdischen Vorflutgewässer und das damit verknüpfte Gefälle in der Luftlinie wurde verzichtet, da der ausschließlich hypothetische Wert einer solchen Feststellung nur in besonderen Fällen zu Schlüssen berechtigt.

Die Zusammenfassung ergibt folgendes Bild:

Form	Talweg	Talrand	Hang	Plateau	offen	gedeckt	insgesamt
Wanne	14	7	13	2	8	28	36
Trichter	21	7	1	—	6	23	29
Schüssel	4	1	—	—	—	5	5
Trog	17	3	3	1	3	21	24
Graben	4	11	5	—	9	11	20
Brunnen . . .	—	—	—	—	—	—	—
unregelmäßig	7	2	4	—	3	10	13
zusammen:	67	31	26	3	29	98	127

Durchmesser			Tiefe		
bis	1 m	0	bis	1 m	7 (18)
zwischen	1 und 5 m	0	zwischen	1 und 2 m	13 (33)
	5 10 m	20 (18)		2 3 m	20 (51)
	10 20 m	45 (82)		3 4 m	18 (46)
„	20 „ 50 m	55 (100)		4 5 m	26 (66)
über	50 m	7 (13)	über	5 „ 10 m	39 (100)
				10 m	4 (10)

Der größte Teil der Ponore ist demnach im Talweg gelegen, während nur etwa die Hälfte sich am Talrand befindet. Die Hangponore treten zahlenmäßig gegenüber den Ponoren im Talgrund stark zurück; sie machen im Verhältnis zu jenen noch nicht ein Viertel aus. Am wenigsten verbreitet sind aber die Plateauponore, von denen im ganzen nur 3 angetroffen wurden.

Als überraschend kann das Ergebnis über die Ausmaße betrachtet werden. Ein Vergleich mit der Tabelle über die gesamten Dolinen (S. 53) läßt einwandfrei erkennen, daß sich die Ponordoline von allen anderen allein schon durch ihre Größe abhebt. Die Gründe sind gewiß nicht in geologischen Ursachen zu suchen, sondern sie können lediglich auf eine andere genetische Entwicklung zurückgeführt werden. Diese besteht in dem schon dargelegten Unterschied zwischen der Erosionsdoline und der Schwemmlanddoline oder Lösungsdoline. Während auf der Uebersicht über die gesamten Dolinen die Höchstzahl gleicher Durchmesser bei "1 – 5 m" und jene für gleiche Tiefen bei "bis 1 m" liegt, beginnen die Erosionsdolinen überhaupt erst bei 5 m Durchmesser und die Häufigkeit mit Tiefen unter 1 m beträgt nur etwa 5 % der gesamten Ponore. Bei der Gesamtübersicht über die Dolinen nimmt die Häufigkeit vom Maximum zwischen 1 und 5 m Durchmesser und 1 m Tiefe mit steigenden Ausmaßen rasch ab. Dagegen nehmen die Erosionsdolinen fast in jeder Größenstufe bis zu 50 m Durchmesser und 10 m Tiefe zu, sodaß die maximale Häufigkeit bei ihnen zwischen 20 und 50 m Durchmesser und 5 bis 10 m Tiefe liegt. Das Verhältnis zwischen den Häufigkeitsintervallen der Ponordolinen und der übrigen Dolinen gestaltet sich noch gegensätzlicher, wenn man in der Gesamtübersicht die Ponordolinen herausnimmt. Unter den Dolinen zwischen 20 bis 50 m Durchmesser und 5 bis 10 m Tiefe z. B. befinden sich bereits über 50 % Ponordolinen; unter 9 Dolinen über 50 m sind allein 7 Ponordolinen und unter den 5 Dolinen mit Tiefen über 10 m befinden sich gar 4 Ponordolinen. In der Steigerung der Häufigkeit bei den Ponordolinen mit zunehmenden Ausmaßen dürfte ein gewisser Wachstumsprozeß ausgedrückt sein, der eben an der Erosionsdoline völlig anders geartet ist, als an den übrigen Dolinen. Dieses Wachstum ist mit der gegenwärtigen Landschaftsentwicklung eng verbunden.

Aus der Uebersicht über die Ponore geht weiter hervor, daß die Zahl der gedeckten Ponore beträchtlich höher ist als die der offenen. Vom Wassererschließer mag diese Tatsache mit Befriedigung zur Kenntnis genommen werden, denn rein äußerlich hat es den Anschein, als würde dadurch das Wasser bereits etwas vorfiltriert, wenn es nicht in völlig offene Kanäle abzieht. Dazu muß aber bemerkt werden, daß die Hemmung des Wasserabzuges meist nur unbedeutend ist, auch wenn es sich um einen gedeckten Ponor handelt. Ich ließ z. B. während der Niederschlagsperiode vom 26. November 1932 bis 5. März 1933 einen gedeckten Ponor bei Neukirchen mit Meßüberfall versehen und beobachten, wobei die ansehnliche Spitzenmenge von 150 l/sek festgestellt wurde, die der Ponor aufnahm, trotzdem kein offener Abzug vorhanden ist. Es besteht demnach an den gedeckten Ponoren immerhin die Möglichkeit, daß der Abzug nur sehr schütter gedeckt ist und das Wasser durch großlumige Zwischenräume zwischen Geröll und Schotter in die Karstkanäle fließt. Betrachtet man die Dolinen überhaupt im Hinblick auf den Einfluß, den ihr Vorhandensein auf die Qualität des Karstwassers haben könnte, so ist ganz allgemein zu sagen, daß die brunnen- und trichterförmigen Dolinen, dann die Ponordolinen und unter ihnen wieder diejenigen mit offenem Abzug der Vereinigung der Niederschläge mit dem

Karstwasser den wenigsten Widerstand entgegensetzen. Bei ihnen ist jedenfalls naheliegend, daß zwischen der Oberfläche und dem Karstgestein keine wesentliche Bedeckung vorhanden ist, die den Wasserabzug hemmt. Dabei möchte ich allerdings nicht behaupten, daß nicht auch jede andere Doline ein Suspekträger für das Karstwasser sein kann, hauptsächlich dann, wenn alter Hausrat, Kleidungsstücke und verendetes Vieh in ihnen liegt. Leider ist eben die Landbevölkerung immer noch nicht von dem nötigen Gefühl für Hygiene durchdrungen und sieht in den Dolinen und Höhlen willkommene natürliche Abfallgruben. Den Gebrauch dieser bequemen Einrichtung zu dem beschriebenen Zweck hindert auch die Kenntnis über die inneren Zusammenhänge zwischen Wasserschlinger und Quelle nicht, von denen der Bauer meist mehr und bestimmter berichten kann, als der Fachmann nachzuweisen im Stande ist. Ich erinnere nur an die bekannten Enten, an das Häcksel und an andere Dinge, die in irgendeine Doline fielen, um in dieser oder jener Quelle wieder zum Vorschein zu kommen.

Aus den Darlegungen über die Dolinen geht hervor, daß ihre Entstehung und Entwicklung allein durch das Niederschlagswasser verursacht wird, gleichgültig, welcher Art und Form die Doline im Einzelfalle ist und wo sie liegt. Dahin geht denn auch die ganze Ueberlegung, daß die Dolinen die punktförmigen Entwässerungsstellen der Karstoberfläche und dadurch mittelbar ein hydrographischer Bestandteil des Karstes sind. Wenn zu dieser Erkenntnis noch der Nachweis gelingen konnte, daß die Entwässerungsstellen der Oberfläche eine gesetzmäßige Verteilung und Anordnung zeigen, so ist damit eine wesentliche Handhabe gewonnen, den örtlichen Karstwasser-Verhältnissen nach enger gefaßten Richtlinien nachzugehen. Und dieser Nachweis ist mit der Feststellung gelungen, daß die Dolinen in weitem Maße tektonisch gebunden sind. Die Verarbeitung der Achsmessungen an den Dolinen erfolgte in der gleichen Weise, wie die Kluffmessungen im Gestein und beide ergaben eine weitgehende Uebereinstimmung, die sich in der großen Aehnlichkeit der Schaulinien ausdrückt (Tafel III). Der gleiche Versuch wurde mit den Höhlen vorgenommen, die an sich schon die tektonische Linienführung meist deutlich erkennen lassen und auch hier tritt in dem Schaulinienbild der tektonische Zusammenhang klar hervor. Darüber hinaus erfolgte aber auch noch die Untersuchung besonders ausgeprägter Dolinenzüge, deren Verlauf allein und ausschließlich durch eine tektonische Linienführung zu erklären ist. In manchen Fällen liegen die Objekte, insbesondere große Ponore, auf einige Meter genau an Linien aufgereiht, doch wurde in der nachfolgenden Zusammenstellung eine gewisse Streuung des jeweiligen Spaltensystemes angenommen. Es finden sich daher auch jene Dolinen noch mit einbezogen, die 50 m rechts oder links der betreffenden Linie liegen. Bei diesen Aufnahmen konnte ich mich natürlich nicht nur auf das Pegnitzgebiet beschränken, das durch die morphologische Oberflächenwasserscheide abgegrenzt ist. Die Zusammenhänge wiesen über diesen geographischen Rahmen vor allem im Osten hinaus und es wurde ihnen auch nachgegangen. Im ganzen sind 14 große Dolinen- und damit tektonische Kluffzüge festgestellt. Die Uebersicht bringt die Zahl der Dolinen und Ponore, die Lage der Objekte, die Richtung des Dolinenzuges und die Entfernung, auf die er verfolgt werden kann.

Bezeichnung	Gesamtzahl d. Dolinen	darunter				Richtung ° v. N.	Erstreckung km
		Ponore	Grund	Hang	Plateau		
Seeweier . . .	57	9	14	27	16	120	11
Grundschlag . . .	15	4	10	5	0	10	1
Sackdilling . . .	16	4	12	4	0	122	2.5
Schmierhütte . . .	42	7	17	14	11	120	7
Hohler Fels . . .	25	3	14	11	0	120	6.5
Hirschenbad . . .	35	3	24	10	1	68	2
Küchenschlag . . .	30	1	15	13	2	68	3
Kühberg	9	2	6	3	0	125	2.5
Ranna	38	10	24	10	4	120	13.25
Bärenloch	22	4	11	9	2	47	2.5
Neuhaus	20	4	2	18	0	120	11.75
Glasermonument	16	4	0	13	3	175	2.25
Eichenstruth	11	0	4	6	1	13	1.50
Mergners	7	2	4	1	2	70	1.50
zusammen	343	57	157	144	42		

Von den festgestellten 975 Dolinen fanden sich also rund 35 % an Spaltensystemen von größeren Ausmaßen aufgereiht, was sie durch ihre lineare Anordnung zu erkennen geben. Der Prozentsatz an Ponoren ist noch höher, es liegen rund 45 % der gesamten Ponordolinen an den beobachteten Kluffzügen. Das Häufigkeitsverhältnis zwischen Grund-, Hang- und Plateaudolinen stellt sich folgendermaßen: Grund = 100, Hang = 90 und Plateau = 26. Im Grund und Hang gleicht dieses Ergebnis den Verhältniswerten aus der Gesamtdolinenzahl (Seite 53), im Plateau bleibt es jenen gegenüber etwas zurück.

Hinsichtlich der Kluffrichtungen tritt auch hier wieder der früher schon festgestellte Hauptwert von 120° deutlich hervor und dies vor allem in dem Gebiet östlich der Pegnitz. Westlich davon kommt auch die N-S-Richtung noch zum Ausdruck, allerdings in wesentlich schwächerem Ausmaße. In kurzen, nur etliche zehn oder manchmal auch hundert Meter langen Dolinenzügen ist die rheinisch-longitudinale Richtung überall vorhanden (vgl. Tafel IV, Fig. 5 a und 5 b), jedoch rückt sie gegenüber der herzynischen sehr in den Hintergrund. Das geht im allgemeinen auch aus den Schaulinien auf Tafel III hervor, auf die hier nochmals hingewiesen sei. Die Auswertung der vielen kleinen Dolinenzüge erschien für die vorliegenden grundsätzlichen Erörterungen nicht mehr von Bedeutung, da sie keine Aenderung des Gesamtbildes gebracht hätten.

Diese fortwährend auftretenden analogen Erscheinungen an den Teilelementen des Karstes und die zwanglos vorzunehmende Eingliederung ihrer Gesamtheit in ein gesetzmäßiges System ist kein Zufall mehr, hier handelt es sich offensichtlich nur um eine weitgehende Abhängigkeit der Verkarstung und damit der Karsthydrographie samt ihrer Begleiterscheinungen von dem vorhandenen tektonischen Gerüst des Gebirges. Diese Tatsache fand bei einschlägigen geologischen Untersuchungen bisher immer noch zu wenig Beachtung. BRAND, der ein guter Kenner der Alb ist, nahm schon in der SEEBACH'schen Dissertation zu diesen Fragen mit einigen persönlichen Bemerkungen Stellung (S. 19 ff.) und es ist eigentlich zu verwundern, daß die sehr zutreffenden Hinweise in der

genannten Arbeit selbst nicht gleich aufgegriffen und die darin enthaltenen Probleme auch gelöst wurden.

Trotzdem der Untersuchungsbefund die Dolinen des Arbeitsgebietes als an tektonische Linien gebunden zu erkennen gab, möchte ich doch die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, daß auch gewisse mineralogische Vorbedingungen im Dolomit eine Bildung der Dolinen im Sinne DORN's begünstigen. Das kann aber nur dort der Fall sein, wo für das Wasser wegsame Klüfte mit relativ lösungsfähigeren Stellen im Dolomit zusammentreffen. Denn die wegsame Kluft ist überhaupt Voraussetzung dafür, daß sich ein Element des Karstes entwickeln kann, in zweiter Linie erst folgt der Grad der Lösungsfähigkeit. Daß dieser im Dolomit wechselt, steht außer Zweifel. Wenn FRIESE aus der Schwäbischen Alb berichtet, daß der „ ε -Dolomit wenig zur Verkarstung neigt“ (FRIESE 1933, S. 40, 54 und 99), so ist das für die Frankenalb gewiß nicht zutreffend. Die geringe Dolinendichte im geschichteten Kalk der Frankenalb ist wohl mehr auf die Klüftungsverhältnisse zurückzuführen, die in ihm ganz andere sind, als im Dolomit. Das Klüftnetz ist z. B. im Werkkalk weit engmaschiger, als im Dolomit und in hydrographischer Hinsicht ist ein bildlicher Vergleich etwa so, daß der Abfluß im Werkkalk auf eine bestimmte Flächeneinheit wie durch ein Sieb erfolgt, im Dolomit aber wie durch einen Trichter. Diese verschiedene Form der Abflußmöglichkeit muß sich natürlich in der Oberflächengestaltung auswirken. Daß im übrigen eine gewisse Abhängigkeit zwischen der Klüftungsdichte und der Schichtungsmächtigkeit besteht, sei hier nur erwähnt. Je geringer die Gesteinsschichtung ist, umso dichter wird das Klüftnetz in der Frankenalb.

Was nun die Dichte der Dolinen betrifft, so ist diese äußerst wechselnd. Aus einigen Beispielen ist zu ersehen, daß die Häufigkeit an manchen Stellen recht beträchtlich ist und daß man hier im Vergleich zu anschließenden dolinenarmen Gebieten geradezu von Dolinenschwärmern sprechen kann. Für die Entscheidung, ob es sich in solchen Fällen um tektonisch stärker beeinflusste Gebirgsteile handelt, konnte ich leider keine sicheren Anhaltspunkte gewinnen. FRIESE gelang es mit den Dolinenaufnahmen, z. T. gestützt auf die tektonischen Beobachtungen von SCHAD, eine Steigerung der Dolinendichte in relativ gehobenen Gebietsteilen der schwäbischen Alb nachzuweisen und in solchen Gebieten einen erhöhten Verkarstungsimpuls zu erkennen (FRIESE 1933, S. 25, 32, 54 und 98). Für mein Arbeitsgebiet möchte ich nicht rückschließend jungzeitliche Hebung de facto durch das Vorhandensein einer hohen Dolinendichte als erwiesen annehmen. Ich muß es lediglich als möglich und naheliegend bezeichnen. Die Dolinendichte ist an einigen besonders stark durchlöcherten Stellen folgende:

Flurteil	Gebietsfläche km ²	Anzahl der Dolinen	Dichte
Hirschenbad bei der Schmierhütte (Obpf.)	0.040	25	625
Hohler Fels bei Hannesreuth	0.560	66	117
Dreischläg bei Rauhenstein	0.200	36	180
Schimmel bei Hohe Tanne	0.155	32	206
Dreischläg, Schimmel und weitere Umgeb.	1.215	120	99
Plecher Weiher bei Waldhaus Hufeisen	0.625	43	69
Bärenloch bei Waldhaus Hufeisen	0.368	43	117

Innerhalb größer gefaßter Gebiete wird die Dichte allerdings erheblich niedriger. Sie errechnet sich für die Teileinzugsgebiete der oberen Pegnitz folgendermaßen:

Teileinzugsgebiet	Gebiets- fläche km ²	Anzahl der Dolinen	Dichte
Michelfeld	48.30	19	0.39
Flembachmündung	90.30	23	0.25
Fischstein	35.32	203	5.74
Ranna	29.36	248	8.44
Hammerschrott	29.39	136	4.5
Neuhaus	9.02	24	2.66
Rothenbruck	13.99	24	1.7
Velden	5.50	4	0.72
Günthersthal	1.10	3	2.7
Rupprechtstegen	71.57	79	1.1

Diese Zusammenstellung zeigt, daß die Dolinendichte in Ranna den Höchstwert besitzt, von wo aus sie gegen Norden und auch gegen Süden abnimmt.

Durch einen Vergleich der Höhenlage der Ponore untereinander versuchte ich weitere Gesetzmäßigkeiten zu den linearen tektonischen zu finden, es ergab sich jedoch, daß die Dolinen unabhängig von einer bestimmten Höhe auftreten. Das gleiche ist von den Ponoren zu sagen. Eines jedoch kann als sicher gelten, daß die Dichte sowohl im stark entblößten, als auch im stark bedeckten Karst erheblich zurückgeht, während in den nur teilweise ausgeräumten Gebieten ein Anwachsen der Dolinendichte zu beobachten ist. Und dies nicht etwa allein in den Tiefenlinien, sondern auch im Hang und auf dem Plateau.

— — — — —

Zusammenfassend ist über die Dolinenbildung in dem untersuchten Gebiet folgendes zu sagen:

1. Die Dolinen sind bei genügend umfangreicher Aufnahme und eingehender Untersuchung geeignet, das tektonische Bild des Gebietes, in dem sie liegen, zu ergänzen.
2. Da die Dolinen an die tektonische Struktur des Gebirges gebunden sind und außerdem als Entwässerungsstellen der Karstoberfläche aufgefaßt werden müssen, lassen sich aus ihnen auch weitere Schlüsse auf den Karstwasserabfluß ziehen.

Es sind eigene Wege, die bei diesen Untersuchungen gegangen wurden und wenn sie auch die Dolinenfrage in unserer Alb nicht bis in die letzten Einzelheiten klären konnten — was im übrigen gar nicht angestrebt wurde —, so haben sie doch aus abstrakten, manchmal auch recht lückenhaften Vorstellungen herausgeführt. Ein weiterer Fortschritt wäre zweifellos mit chemisch-physikalischen Untersuchungsmethoden zu erzielen.

Höhlen.

Wie die Dolinen, so sind auch die Höhlen Teilstücke aus dem gegenwärtigen oder ehemaligen Entwässerungssystem des Karstes. Die weitaus meisten Höhlen unseres Gebietes, die dem Menschen überhaupt zugänglich sind, haben heute zwar nicht mehr die hydrographische

Bedeutung, die ihnen in früheren geologischen Zeiten zugekommen sein mochte, sie sind aber trotzdem im Gesamtrahmen der Verkarstung nicht belanglos. Wenn schon Klüfte und Spalten an der Oberfläche Gegenstand tektonischer Untersuchungen sein können, so ist umso mehr von den Höhlen eine Eignung hierfür vorauszusetzen, da sie ja meist nichts anderes sind, als Spalten, die vom Wasser erweitert und ausgestaltet wurden.

Insgesamt habe ich bis jetzt zur eingehenden Untersuchung rund 100 Höhlen vermessen und durchgearbeitet. Sie liegen alle im Plateau Königstein, das im Westen von der Pegnitz und im Süden vom Lehenhammertal begrenzt wird. Von diesen Höhlen fallen 42 auf das engere Gebiet, das Gegenstand der vorliegenden Abhandlung ist, soweit es sich links der Pegnitz erstreckt. Da sich meine Forschungen bisher nur auf diesen Abschnitt der Alb beschränkten, die Höhlen rechts der Pegnitz aber noch der Bearbeitung harren, konnten sie hier leider keine Berücksichtigung finden.

Einer späteren Sonderarbeit über die untersuchten Höhlen soll an dieser Stelle nicht allzuweit vorgegriffen werden, sodaß ich im Vorliegenden nur auf das Notwendigste eingehe. Was an zahlenmäßigen Erhebungen wissenschaftlich erschien, ist auf Tabelle VI verzeichnet.

NEISCHL hat in seiner Dissertation über die Höhlen der Fränkischen Schweiz zwischen Spalten- und Zerklüftungshöhlen unterschieden. Wenn diese Einteilung für die Höhlenwissenschaft auch keine allgemein gültige, grundsätzliche Terminologie darstellen kann, so ist doch Tatsache, daß alle unsere Albhöhlen in zwei Ausbildungsformen auftreten, deren Unterscheidung NEISCHL mit den vorgeschlagenen Bezeichnungen durchgeführt haben wollte. Da aber „Spaltenhöhle“ die morphologische Beschaffenheit und „Zerklüftungshöhle“ mehr genetische Merkmale hervorhebt, ist für den zweiten Typ die früher schon von SCHLOSSER gebrauchte Bezeichnung „Kammerhöhle“ geeigneter. Mit der Anwendung dieser Bezeichnungen soll die Raumgestaltung einer Höhle ohne weiteres vorstellbar sein, und zwar in der Weise, daß bei Spaltenhöhlen der Flächeninhalt des Grundrisses im allgemeinen kleiner ist, als der Flächeninhalt des Längsrisses, bei der Kammerhöhle aber umgekehrt der Flächeninhalt des Längsrisses kleiner oder höchstens ebensogroß, wie jener des Grundrisses. Hervorzuheben ist, daß diese Bezeichnung zunächst ausschließlichs über die Raumgestalt entscheiden soll, selbst dann, wenn zwischen ihr und der Genetik einer Höhle Zusammenhänge gefunden werden. Diese Einteilung ist jedenfalls nicht so zu verstehen, als könnten breit ausladende Höhlen mit größerer Grundriß- als Aufrißfläche nicht ebenso an Spalten angelegt und entstanden sein, wie jene, die ohne weiteres die zur Klüft erweiterte Spalte erkennen lassen.

Es sind bei dieser Zweiteilung selbstverständlich Uebergangsformen von dem einen zum anderen Typus nicht ausgeschlossen, wie auch beide Formen innerhalb einer Höhle nebeneinander auftreten können. Ein solcher Wechsel der beiden Typen innerhalb einer Höhle, oder die Verschmelzung beider Typen innerhalb eines Raumes beeinträchtigt die allgemeine Erscheinung nicht, daß sich der jeweils in einem größeren Höhlensystem ausgebildete Typ in der ganzen Anlage durchsetzt. Ist also z. B. ein Objekt als Spalte ausgeprägt, so finden sich nur wenige Stellen in der Höhlenanlage, die den Charakter einer Kammerhöhle tragen und ist die Höhle einmal mit breitflächigen Decken ausgestattet, so

treten in ihr nur selten spaltenförmige Raumteile auf. Wo das aber dennoch in größerem Ausmaße der Fall ist, kann man unschwer erkennen, daß der Formenwechsel sekundären Einflüssen entsprungen sein mußte, da sich der geänderte Typ im allgemeinen nicht zwanglos in das übrige Höhlenbild einfügt. Gewöhnlich ist es dann so, daß eine morphologisch als älter erscheinende Kammerhöhle von jüngeren Spalten oder Spaltenbündeln gekreuzt wird. Bisweilen kommt es vor, daß ein Spaltensystem in seinem unteren Teile zur breitflächigen Kammerhöhle ausgelaugt wurde, wie im Kohlerbergschacht bei Michelfeld (Tafel V) und an anderen Orten.

Als ausgesprochenes Kammerhöhlensystem kann z. B. die Maximilianshöhle bei Krotensee gelten (Plan bei NEISCHL), als Spaltensystem die Höhle von Loch bei Königstein (Höhlenatlas von Franken Blatt 1) und die Höhle in Steinamwasser (Tafel V).

Bei den Höhlenvermessungen schien es, als verliefen die gut ausgebildeten und besonders umfangreichen Spaltenhöhlen meist N-S und O-W, während sich die Kammerhöhlen mehr auf die dazwischenliegenden Richtungen verstreuten. Es wurde nach der Aufnahme der gesamten Höhlen das Material daraufhin geprüft, ob sich ein bestimmter Typus an gewisse Richtungen hält. Das Ergebnis dieser Zusammenstellung fiel zwar nicht so eindeutig aus, daß man sagen könnte, die Spaltenhöhlen sind ausnahmslos N-S und O-W ausgerichtet, doch ist unverkennbar, daß alle großen Spaltenhöhlen des Gebietes zwischen 0° und 25° v. N. und bei etwa 90° v. N. verlaufen. Diese Erscheinung ist nicht nur dem nördlichen Pegnitzzugsgebiet eigen, sondern macht sich auch nach Süden hin bemerkbar.

Auf Tabelle VI sind die sämtlichen Höhlen des oberen Pegnitzgebietes, soweit sie sich links der Pegnitz befinden, nach Richtungen geordnet aufgeführt. Zur besseren Uebersicht seien hier noch Länge und Rauminhalt der Höhlen zwischen den einzelnen Richtungsintervallen zusammengefaßt.

$^\circ$ v. N.	0—10	— 20	— 30	— 40	— 50	— 60	— 70	— 80	— 90
Ausdehnung m	774	1098	239	10	140	110	—	38	78
Rauminhalt m ³	8920	13430	6030	115	900	1330	—	350	990

$^\circ$ v. N.	100	— 110	— 120	— 130	— 140	— 150	— 160	— 170	— 180
Ausdehnung m	148	97	73	15	13	97	70	48	134
Rauminhalt m ³	6415	2040	1620	615	140	585	1020	1460	1955

Es ist an der Darstellung unschwer ein Anschwellen von Ausdehnung und Inhalt der Karsthohlräume zwischen 170 und 30° v. N. und zwischen 90 und 120° zu erkennen. Das Ergebnis deckt sich mit den Schaulinien über die Klufftektone der Höhlen (Tafel III, Fig. 9) ziemlich genau. Die Hauptwerte liegen bei 10 bis 20° und bei 90 bis 100° v. N., d. s. Richtungen, in denen die großen Spaltenhöhlen vorherrschen.

Zur weiteren Untersuchung ist nun nötig, die beiden Höhlentypen nicht nur nach ihrer Raumgestalt zu werten, sondern sie auch auf die Beschaffenheit ihrer Grenzflächen hin zu prüfen. Da zeigt sich, daß die Spaltenhöhlen fast durchwegs die Spuren der scheuernden oder lösenden Arbeit des Wassers erhalten haben, während dies bei den Kammerhöhlen nur selten der Fall ist. Sie sind meist schon ausgiebig von

Verbruch beherrscht und erwecken den Eindruck einer greisenhaften Karsterscheinung. Es wird wohl auch die Ursache sein, weshalb die Kammerhöhlen bis auf eine Ausnahme (Maximilianshöhle) nur von geringem Umfange sind. Durch die erhöhte Neigung zum Zusammenbruch und durch das daraus anfallende Verbruch- und Schuttmaterial werden die Fortsetzungen verlegt und die Gänge unbegebar. Man mag diese Erscheinung als Selbstverständlichkeit hinnehmen, nachdem die Spalte an sich im Querschnitt eine vorteilhaftere statische Figur zeigt, als die breitflächige Decke der Kammerhöhle, woraus die erhöhte oder verminderte Verbruchneigung hergeleitet werden kann (SPOCKER 1933). Von dieser Tatsache wird aber die, unserer Untersuchung zugrunde liegende Erscheinung nicht berührt, die einen bestimmten Höhlentyp in einer bestimmten Richtung gehäuft zeigt; denn beide Höhlenformen müssen schließlich erst vorhanden sein, bevor an ihnen überhaupt ein irgendwie gearteter Verfall auftreten kann. Für das Vorwiegen der Spaltenhöhlen und der Höchstwerte an Raum und Ausdehnung in den oben bezeichneten Richtungen sowie für das Vorherrschen der Kammerhöhlen in anderen Richtungen können verschiedene Gründe angenommen werden. Zunächst kann die Beschaffenheit des Gesteins auf die Ausbildung eines bestimmten Types von Einfluß sein. Im geschichteten oder gebankten Kalk und Dolomit ist es naheliegend, daß sich breitflächige Höhlenräume entwickeln, während im massigen Gestein wohl mehr die Spaltenhöhle an Bedeutung gewinnt. Bei dieser Annahme ist jedoch durchaus nicht Voraussetzung, daß die eine oder andere Ausbildungsform an eine bestimmte Richtung gebunden ist. Denkbar ist auch, daß die breitflächigen Kammerhöhlen im Auslaugungsbereich des Karstwasserspiegels entstanden sind oder noch entstehen, wie das tatsächlich bei der Höhle Nr. 97 in der Nähe von Fischstein und im unteren Teil des Kohlerberg-schächtes sowie bei einigen Höhlen außerhalb des Gebietes der Fall ist. Die Spaltenhöhlen hätte man sich bei dieser Betrachtungsweise mehr als das Auslaugungsergebnis durch die Sickerwässer zu denken, die dem Karstwasser zustreben, die Kammerhöhlen aber als Hohlraumbildung im Karstwasserniveau selbst. Diese an sich zutreffende Vermutung setzt aber ebenfalls kein Gebundensein eines bestimmten Types an eine bestimmte Richtung voraus. Eine derartige Erwägung gewinnt dann erst Gestalt, wenn man sie mit der Vorstellung verbindet, daß die Spaltenhöhlen später entstanden sein könnten, als die Kammerhöhlen, welche Hypothese mit der als jünger nachgewiesenen rheinischen Streichrichtung in Einklang zu bringen wäre. Ueber diese drei Möglichkeiten im Gesamtrahmen der Höhlenbildung ist zu sagen, daß für den jeweiligen Fall wohl jede einzelne Ursache an der Gestaltung eines Objektes mitgewirkt haben konnte. Um aber die große Linie bei der Erfassung der Verkarstungsvorgänge nicht aus den Augen zu verlieren, muß im Vordergrund der Betrachtung stets die richtunggebundene Anlage der Karsterscheinung stehen. Deshalb soll vor allem jene Möglichkeit weiter verfolgt werden, die für beide Höhlentypen verschiedene Bildungszeiten annimmt.

Den Dolinen gegenüber sind die Untersuchungen der Höhlen dadurch erschwert, daß bei ihnen das Material zahlenmäßig erheblich niedriger ist. Trotzdem wurde versucht, soweit der Umfang des Stoffes es überhaupt zuließ, auch dieses Problem der Lösung näher zu bringen. Wenn das Ergebnis durchaus nicht so zufriedenstellend ist, wie man es

wünschen möchte, so liegt das lediglich an dem quantitativen Mangel an Höhlen. Will man für die zwei Höhlentypen verschiedenes Alter nachweisen, so besteht außer den morphologischen Untersuchungsmethoden an den Objekten selbst nur die Möglichkeit, es mit der Feststellung etwa vorhandener Unterschiede in der Höhenlage beider Typen zu versuchen. Zwischen ihren Entstehungszeiten können nämlich tektonische Bewegungen den Karstwasserspiegel gehoben oder gesenkt haben, was zugleich eine Verlegung des Auslaugungshorizontes, in dem sich vor allem die Höhlenbildung vollzieht, zur Folge gehabt hätte. Bei einem Sinken des Karstwasserspiegels würden beispielsweise die älteren Höhlen höher liegen, als die jüngeren, die sich in einem bereits tiefer gelegenen Karstwasserniveau herausbildeten, sofern ihre Entstehung an dieses gebunden ist (vgl. Tafel II, Fig. 7).

Die Höhlen des Gebietes liegen zwischen 390 m und 560 m ü. NN. Die untere Grenze bestimmt die Pegniß, bzw. das Karstwasserniveau, die höchsten Höhlen befinden sich bereits nahe der höchsten Gipfflur (vgl. S. 33). In der nachstehenden Uebersicht ist die Zahl der Höhlen verzeichnet, die jeweils zwischen einem Höhenintervall von 10 m liegt.

390—400	400—410	410—420	420—430	430—440	440—450	450—460	460—470	470—480	480—490	490—500	500—510	510—520	520—530	530—540	540—550	550—560	m
4	0	2	3	1	0	0	4	5	7	3	3	3	0	0	1	2	

Im ganzen kommen in dieser Zusammenstellung vier Höhlenhorizonte zum Ausdruck, tatsächlich handelt es sich jedoch nur um zwei. Die Höhlen zwischen 390 und 440 m gehören dem jüngsten Höhlenhorizont an und liegen entweder im Niveau der Pegniß oder im Niveau der anschließenden Täler. Die Mehrzahl der Höhlen befindet sich zwischen 460 und 520 m, wobei die größte Häufigkeit zwischen 480 und 490 m zu bemerken ist. Die drei Höhlen über 540 m liegen in Gebieten, die besonders stark gehoben erscheinen, sodaß zweifellos durch die tektonischen Vorgänge eine spätere Trennung des ursprünglich einheitlichen Haupthöhlenhorizontes erfolgte. Sonach bleibt also 1. der teilweise noch unter dem gegenwärtigen Einfluß des Karstwassers stehende Höhlenhorizont zwischen 390 und 440 m und 2. die ältere, durchschnittlich 70 m höher liegende Höhlenflur zwischen 460 und 520 m. Wenn bei ihr immer noch eine senkrechte Streuung von 60 m vorhanden ist, so liegt das daran, daß das Karstwasser- und Höhlenbildungsniveau das Gebirge niemals in gleicher Höhe durchzieht oder durchzogen hat, daß ferner die inzwischen erfolgten Gebirgsbewegungen kein einheitliches Ausmaß über das gesamte Gebiet hatten und daß schließlich auch nicht alle Höhlen unmittelbar im seinerzeitigen Karstwasserbereich entstanden sind. Außerdem ist die Bevorzugung einer bestimmten Höhenlage auf räumlich enger gefaßten Gebieten zu beobachten, wo keine senkrechten Schollenbewegungen den Zusammenhang störten und sich die Unebenheiten des einstigen Karstwasserkörpers nicht so bemerkbar machen, wie auf große Entfernungen.

Verfolgt man nun weiter, ob das Vorherrschen eines Types in einer bestimmten Höhenlage zutrifft, so stellt sich heraus, daß die Spaltenhöhlen in jeder Höhenlage vorkommen, während sich die Kammerhöhlen besonders in dem älteren Horizont häufen. Um diese Erscheinung zu deuten, ist es nötig, sich kurz mit der Frage nach der Genetik der Kammerhöhle und der Spaltenhöhle zu befassen. Für letztere macht es, wie bereits angeführt, schon die senkrechte Bewegungsrichtung der Sicker-

wässer wahrscheinlich, daß sie diesen ihre Ausbildung verdankt. Die durch eine Spalte zur Tiefe rinnenden Niederschlagswässer lösen die Spaltenwände und erweitern so die Kluft. Je nach der Lösungsfähigkeit des Gesteins ist die Verbreiterung einem Wechsel unterworfen; die Hohlraumbildung wird sich aber vorwiegend auf ein Profil beschränken, das den Spaltencharakter beibehält. Anders ist es mit den Höhlen, die durch Auslaugung im Karstwasserbereiche entstehen. Das Bestreben des Karstwassers nach horizontaler Ausdehnung gibt der Höhlenentwicklung eine ganz andere Richtung als das Sickerwasser. Der Raum wird in breitflächigen Decken und Sohlen ausgelaugt (vgl. a. BIESE) und es entsteht eine Kammerhöhle. Selbst wenn bei gerinneartiger Bewegung des Wassers das Ausmaß der Lösung gegenüber der Erosion zurücktritt, wird über dem Karstwasserniveau durch das Einsägen des Höhlenbaches eine Klamm- oder Spaltenform herausgebildet, während im Karstwasserbereich eine Tiefenerosion aufhört und an ihre Stelle die Seitenerosion treten kann. Der Entstehung einer Spaltenhöhle sind über dem Karstwasserspiegel also keine Grenzen gesetzt, dagegen ist die Entwicklungsmöglichkeit einer Kammerhöhle im wesentlichen an den Karstwasserhorizont gebunden. Dementsprechend ist auch das unregelmäßige Auftreten der Spaltenhöhlen in allen Höhenlagen des Untersuchungsbereichs zu werten. Einen auffälligen Gegensatz dazu bildet das Vorwiegen der Kammerhöhlen in dem höheren Horizont und ein Anwachsen ihrer Häufigkeit zwischen 480 und 500 m. Demnach wird es sich bei diesem Niveau nur um einen älteren Auslaugungshorizont handeln können, in dem die Kammerhöhlen entstanden sind. Wieweit innerhalb dieser Höhenlage noch geringere Abstufungen des einstigen Karstwasserspiegels an der Ausbildung der Höhlen zu erkennen sind, soll hier nicht weiter geprüft werden. Bemerkenswert ist aber, daß CRAMER und KOLB (1927) in der Bismarckgrotte bei Rinnenbrunn, südlich des vorliegenden Arbeitsgebietes drei Höhlenbildungsstufen festgestellt haben, deren unterste, also jüngste, sie für pliozän halten.

Aus den Untersuchungsbefunden ergibt sich eine gewisse Relativität in der Altersbeurteilung einer Höhle nach morphologischen Gesichtspunkten, denn die an kein Niveau gebundene Spaltenhöhle kann mit der ständigen Belebung durch Sickerwässer ihre hydromorphen Formen erhalten bzw. sie fortgesetzt erneuern, während die nach einer Gebirgshebung dem Karstwasserbereich entrückte Kammerhöhle dem Verfall preisgegeben ist. Ihre einstige hydromorphe Beschaffenheit ist meist nur noch in Fragmenten vorhanden.

Zur Klärung der vorliegenden Probleme ist eine flüchtige Betrachtung der im heutigen Karstwasserniveau befahrbaren Höhlen besonders geeignet. Insgesamt werden 5 von den bekannten Höhlen des oberen Pegnitzgebietes vom Karstwasser inundiert. Es sind dies die Höhle in Steinamwasser (Nr. 56), der Kohlerbergschacht bei Michelfeld (Nr. 108), eine Höhle bei Fischstein (Nr. 97), die Distlergrotte bei Neuhaus (Nr. 26) und die Quellgrotte am Seeweiher. Die letztere ist zu bedeutungslos, als daß sie mit verwertet werden könnte. Die übrigen fünf im untersten Niveau gelegenen Höhlen werden z. T. nur bei Hochwasser inundiert, z. T. liegen sie bereits so weit abseits der Pegnitz und über dem Karstwasserspiegel, daß sie heute nicht mehr von ihm berührt werden. Die umfangreichste dieser Höhlen ist die in Steinamwasser, über deren hydrographische Erscheinungen ich bereits früher berichtete (SPOCKER

1931 a). Als ausgesprochene Spaltenhöhle besitzt sie nur wenig Raumteile mit dem Kammerhöhlentypus, und zwar vom Eingang bis zur Torhalle und in der Nordhalle (vgl. Tafel V). Beide Strecken sind O-W gerichtet. Das übrige Spaltengeflecht ist einerseits N-S gerichtet, andererseits streichen die Klüfte aus der O-W- zur NW-SO-Richtung über. In dem Planbild kommt gewissermaßen ein Kampf verschiedener Richtungen zum Ausdruck, wobei eine ältere rheinisch-transversale zu einer jüngeren, vorwiegend herzynischen, aber auch rheinisch-longitudinalen überleitet. Ich habe früher von einer Relativität der morphologischen Altersbeurteilung über die Höhlen gesprochen, in dem vorliegenden Falle ist sie eine absolute; die von Verbruch beherrschten kammerartigen Räume sind zeitlich älter als das Netz der Spalten. Die O-W gerichteten Teile mit der breitflächigen Anlage (vgl. Querschnitte I, II, IV, V, XX, XXI, XXV) sind in einem ehemals um ca. 4 bis 5 m höher gelegenen Karstwasserniveau ausgelaugt worden, für das der Flembach als Vorfluter gewirkt haben mochte. Zu dieser Altersbeurteilung führt nicht allein der morphologische Befund, sondern es sind auch andere Anhaltspunkte dafür vorhanden. Könnte man die gesamte Höhle waagrecht sehen, so würde sich zeigen, daß die Spalten z. T. über und unter den Auslaugungshorizont greifen. Durch den Längsriß J—K wird das vorstellbar; man sieht etwa in der Höhe des „K“ den alten Auslaugungshorizont, unter den die Spalten hinabreichen. Wären sie also von Anfang an vorhanden gewesen, als die kammerförmigen Räume in dem Lösungshorizont des Karstwassers entstanden, so müßten sie mit ihnen breitflächig ausgelaugt sein. Daraus, daß dies nicht der Fall ist, kann auf eine spätere Entstehung geschlossen werden. Immerhin ist zu bemerken, daß die jüngere tektonische Anlage der Spalten schon zu der Zeit gebildet wurde, als das Karstwasserniveau noch nicht abgesenkt war, denn einige enge, röhrenförmige Gerinneleitungen münden bereits mit der neuen geänderten Richtung im alten Niveau. Ebenso sind Ansätze zur Hohlkehlenbildung in manchen Teilen des Spaltensystemes in der Höhe des ehemaligen Auslaugungsniveaus zu beobachten. Durch Fossilfunde ist hier ausnahmsweise auch eine genauere Grenze für die Entstehungszeit des neuen Spaltensystemes zu ziehen, das überraschenderweise ein Ergebnis der allerjüngsten geologischen Vergangenheit ist. Im Niveau der älteren horizontalen Auslaugung fanden sich fossile Säugetierknochen eingeschwemmt, deren Vorkommen mit den tieferen Spalten so scharf abschneidet, daß sie dort unbedingt auch angetroffen werden müßten, falls die Klüfte zur Ablagerungszeit der Faunenreste vorhanden gewesen wären. Man mag sich mit dem Gedanken an eine derart junge Höhlenbildung wohl nicht so leicht vertraut machen, da uns die letzte geologische Vergangenheit, das Diluvium, noch verhältnismäßig nahe steht. Das Diluvium und das Nachdiluvium bis zur Gegenwart sind aber immerhin Zeitbegriffe von geologischer Größenordnung, während welcher sich auch anderweitig erhebliche Veränderungen in der Landschaft usw. vollzogen haben. Wenn man noch berücksichtigt, daß an den Höhlen im Prähistorikum und noch in historischer Zeit Vorgänge feststellbar sind, die schon ein beträchtliches Ausmaß erreichen, so wird die Vorstellung von einer geologisch als jung zu nennenden Höhlenbildung leichter fallen.

Es erweist sich in der Steinamwasserhöhle ein herzynisch gerichtetes Kluffsystem jünger als das rheinische Streichen und man kann diese Erscheinung nicht anders verstehen, als daß ein posthumes Aufleben der

geologisch-tektonisch älteren, bereits im Präcenoman feststellbaren Streichrichtung erfolgt. Zu sagen ist allerdings noch, daß kaum 1000 m entfernt die gewaltige herzynisch orientierte Amberg—Pegnitzer Verwerfung durchzieht.

Seit Entstehung des Spaltensystems der Steinamwasser-Höhle ist der Karstwasserspiegel gesunken und die von reichlichem Sickerwasserfall ausgelaugten Räume werden in ihren tiefsten Teilen gerade noch vom Karstwasser inundiert. Da der Flembach durch lehmige Tal-aufschüttung vom Karst abgesondert ist, liegt er heute höher als das Karstwasser und verliert an dieses bei Uebersutungen von seinem eigenen Wasser, das sich dann in der Höhle rasch durch einen Rückstau bemerkbar macht (SPOCKER 1931 a, S. 293 f.). In dem neuen Karstwasserhorizont ist bis jetzt noch keine wesentliche Erweiterung der Raumform im Sinne einer breiflächigen Auslaugungshöhle feststellbar. Einerseits kann das an der sehr beschränkten Zugänglichkeit dieser inundierten Teile liegen, andererseits mag auch die Lageveränderung des Wasserspiegels noch zu jung sein, um in größerem Umfange auf das Gestein eingewirkt haben zu können.

Die nächste größere Höhle im heutigen Karstwasserniveau ist der weiter südlich von Michelfeld gelegene Kohlerbergschacht. Bei ihm sind zwei in der Höhenlage getrennte Auslaugungsstufen zu beobachten von denen die unterste im gegenwärtigen Karstwasserbereich liegt. Ueber den breiflächig ausgelaugten Räumen liegen solche vom Typus der Spaltenhöhlen. Der höhere Kammerhöhlenhorizont besteht im großen und ganzen aus seichten Deckengewölben, die sich auf schmale stehen-gebliebene Pfeiler stützen. In der ganzen morphologischen Beschaffenheit gleichen diese Teile vollkommen der von CRAMER aus dem Windsheimer Gipskeuper dargestellten „Höllern“, einer Höhle, die ebenfalls das Auslaugungsergebnis im Karstgestein ist (CRAMER 1931). Der tiefste Teil des Kohlerbergschachtes ist zunächst in einem einzigen rd. 100 m² umfassenden Raum ausgelaugt, dessen mögliche Fortsetzung durch beträchtliche Lehmanhäufungen verlegt sein kann. Zu beiden Horizonten stehen die spaltenförmigen Schächte, durch die man in sie gelangt, in auffälligem Gegensatz. Die ältere tektonische Leitlinie ist an dieser Anlage erzgebirgisch, sie verläuft mit 140° v. N., während ein morphologisch als jünger zu bezeichnendes herzynisches und auch schwach entwickeltes rheinisch-longitudinales Streichen im oberen Höhlenhorizont hervortritt. An der weiter unten zur Beschreibung kommenden Distlergrotte ist gleichfalls eine erzgebirgische Haupttrichtung vorhanden, was deshalb bemerkenswert ist, weil im allgemeinen gerade der erzgebirgische Einschlag bei allen an die Tektonik gebundenen Erscheinungen des Gebietes sehr gering ist. Die Auslaugung in dem untersten Niveau des Kohlerbergschachtes ist so weit fortgeschritten und die Raumform derart unregelmäßig, daß ein Umsichgreifen der Gesteinsauflösung an bestimmten tektonischen Linien nicht mehr zu erkennen ist. Die in Steinamwasser und im Kohlerbergschacht vom Karstwasser inundierte Höhlensohle besteht aus Feinsedimenten, die bisweilen in großer Mächtigkeit auftreten und sich trichterförmig zwischen die Höhlenbegrenzung einlagern. In diesen Trichtern kann der Karstwasserspiegel zu verschiedenen Zeiten verschieden hoch angetroffen werden, sodaß in den dortigen Höhlen die Karstwasserschwankungen recht gut zu registrieren wären.

Die Höhle Nr. 97 bei Fischstein liegt unmittelbar im Pegnigniveau (Tafel V). An ihr sind ebenfalls tiefere Auslaugungshohlräume mit flacher Decke und darüberliegende Klüfte zu beobachten. Die Kammerhöhlenräume sind so nieder, daß man nur kriechend durch das Wasser und den Schlamm vorzudringen vermag. Die Richtung der Anlage ist 80° und 110° v. N.; es tritt also auch hier wieder das herzynische Streichen in Erscheinung.

Die Distlergrotte bei Neuhaus hat die gleiche tektonische Linienführung wie der Kohlerbergschacht und zeigt wie dieser zwei Auslaugungsstufen. Die tektonischen Verhältnisse liegen hier allerdings nicht so eindeutig wie dort, doch geht auch an dieser Höhle eine scheinbar ältere (erzgebirgische) Linienführung mit 75° und eine jüngere (herzynische) mit 136° v. N. Die erstere ist in den oberen Raumpartien, die letztere in dem unteren, vom gegenwärtigen Karstwasser inundierte Höhlenteil vorherrschend. Die jüngere herzynische Richtung äußert sich ferner noch in kurzen Sickerwasserspalten und länglichen Schloten, von denen der obere Teil und damit die ältere Richtung gekreuzt wird. An der Gestaltung der Höhle dürfte vor allem im sog. „Westgang“ außer dem lösend wirkenden auch fließendes und mechanisch arbeitendes Wasser beteiligt gewesen sein (SPÖCKER 1929). Der tiefste im Wasserbereich befindliche Raum gibt noch keine umfangreichere horizontale Ausdehnung infolge Gesteinsauslaugung zu erkennen, soweit er überhaupt infolge der beschränkten Zugänglichkeit zu beobachten ist. Als besondere Erscheinung muß noch vermerkt werden, daß an dieser Stelle unter dem Karstwasserbereich eine Auslaugung und Zerstörung alter Sinterbildungen erfolgt, woraus auf eine jungzeitliche Senkung des Gebietes bei Neuhaus geschlossen werden kann. Der Wasserstand der Höhle befindet sich nur wenig über den Quellspiegeln im Pegnißgrund.

Einer Höhle ist an dieser Stelle noch zu gedenken, die zwar etwas abseits liegt, die aber noch zum Einzugsbereich der oberen Pegniß gehört. Es ist das bei Saaß (Auerbach) gelegene Felslindl, eine Höhle, die sich unmittelbar am Talrand des Speckbaches und nur wenige Meter über dessen Spiegel befindet. Sie wird heute vom Karstwasser nicht mehr bespült, lag aber noch im Diluvium mindestens im Ueberflutungsbereich des Talgewässers, was die in den Schlammablagerungen der Höhle vorgefundenen Fossilreste beweisen, die durch HELLER bestimmt und verarbeitet wurden (HELLER 1931). Diese Höhle beschrieb ich in einer früheren Arbeit (1930) und verweise hier nur auf die seinerzeit bereits gemachte Beobachtung, daß sich in einem tieferen Bereich, und zwar sehr wahrscheinlich in dem heutigen Karstwasserniveau, eine jüngere Hohlraumbildung vollzieht. Ihr folgen z. T. die Bodensedimente der Höhle, was durch die Schwundtrichter und Nachsackungserscheinungen zum Ausdruck kommt. Man erkennt also auch in diesem Falle wieder, wie an der Steinamwasserhöhle, ein älteres, gegenwärtig trockengelegtes Auslaugungsniveau aus dem Diluvium und einen jüngeren, um etliche Meter gesunkenen Karstwasserhorizont der Gegenwart. Selbstverständlich sind die Höhenunterschiede der zeitlich getrennten Auslaugungsebenen nicht an allen Orten gleich groß, was man auch gar nicht erwarten kann. Zunächst muß die Frage offen bleiben, ob das höher verlegte, ehemalige Auslaugungsniveau einer örtlich beschränkten tektonischen Hebung oder der inzwischen infolge Erosionsarbeit fortgeschrittenen allgemeinen Eintiefung des Vorfluters zuzuschreiben ist.

Außerhalb des hier behandelten Gebietes wären noch weitere Höhlen im gegenwärtigen Karstwasserniveau zu nennen; sie haben alle das gleiche Merkmal, ihre Räume sind breitflächig ausgestaltet, wenn sie der Einwirkung des Wassers lange genug unterworfen waren. Sie besitzen also den Typus der Kammerhöhle, während die über dem Karstwasserbereich entstehenden Hohlräume ihrer Gestalt entsprechend als Spaltenhöhlen zu bezeichnen sind. Dabei muß hervorgehoben werden, daß sich die breitflächige Höhlenbildung an der oberen Grenze des Karstwassers, also im Karstwasserspiegel selbst vollzieht. In welcher Weise die Gesteinsauflösung unter diesem Niveau vor sich geht, d. h. welche Hohlraumformen sich dort entwickeln, ist aus dem mir bekannten Gebiet nicht mit Beispielen zu belegen. Die Vorgänge sind in dieser Richtung zwar noch zu wenig erforscht, als daß fest geformte Angaben darüber gemacht werden könnten; doch deutet manches darauf hin, daß sich die Höhlenbildung in dem Bereich unter dem Karstwasserniveau ähnlich vollzieht wie über ihm, wobei jedoch auch die Schichtfugen als Schwächestellen gegenüber den Angriffen des Wassers eine gewisse Rolle spielen. Im übrigen kann hier schon gesagt werden, daß eine erhebliche Tiefenwirkung der Gesteinsauflösung unter dem Karstwasserspiegel in unserem Gebiet nicht stattfindet. Sie dürfte nach den bisherigen Beobachtungen über die Wasserbewegung in der Tiefe kaum 20 m betragen.

Ob man nun bei der Bewegung des Wassers im Karstgebirge an geschlossene Gerinne denkt oder an ein mehr oder minder zusammenhängendes Spalten-, Kluft- und Röhrengeflecht, beeinträchtigt die Tatsache nicht, daß eine konsequente Horizontalentwicklung und ein damit verbundenes Bestreben nach Breitenentfaltung der Räume lediglich in der Ablauebene des Karstwassers möglich wird. Aus diesen Vorgängen ergibt sich im größeren Landschaftsrahmen eine gewisse Horizontierung des Höhlenphänomens, wie sie oben festgestellt wurde.

Für die vorliegende Arbeit mag diese allgemeine Betrachtung genügen; die Ergebnisse liefern eine weitere Stütze für die Annahme, daß die zwischen 460 und 520 m gelegene Höhlenflur mit der verhältnismäßig hohen Zahl von Kammerhöhlen ein altes Auslaugungsniveau des Karstwassers ist, in dem die breitflächigen Höhlen angelegt und ausgestaltet wurden. Eine bestimmte Richtung ist an ihnen nicht festzustellen, doch mag das vielleicht auch an der schon stark fortgeschrittenen Zerstörung der Höhlen durch Verbruch und an ihrer geringen Ausdehnung mit liegen. Die gut ausgeprägten Spaltenhöhlen dagegen erweisen sich an keine Höhe gebunden, sie bevorzugen aber die rheinische Streichrichtung. Ihre Entstehung ist zeitlich zwischen den alten Höhlenhorizont und den jüngsten zu legen und es ist wahrscheinlich, daß sich die gegenwärtige Hydrographie unseres Karstgebietes zum Teil auch heute noch an diese Entwässerungslinien hält. Als Beweis dafür sind außer den in N-S-Richtung verlaufenden kurzen Dolinenreihen (vgl. Tafel IV, Fig. 5 b) u. a. die im Karstwasserniveau befindliche Steinbachhöhle und der Lichtengrabenponor, beide im südlichen Plateau Königstein gelegen, zu nennen. Im gegenwärtigen Bereich des Karstwassers ist ein Wiederaufleben der herzynischen Orientierung zu beobachten, wie auch über ihm, an den Höhlen junge, vom Sickerwasser erweiterte Spaltenansätze im gleichen Richtungsabschnitt beobachtet werden können. Aus diesen Feststellungen klären sich von selbst Gegensätze, die scheinbar zwischen den

Dolinen- und den Höhlenbeobachtungen bestehen. Während eine jüngere Hohlraumbildung zwischen dem alten und dem jetzigen Karstwasserniveau in der N-S- und O-W-Richtung, bisweilen auch schwach mit erzbergischem Einschlag in Erscheinung tritt, zeigt der gegenwärtige Karstwasserabfluß an der Oberfläche durch die Dolinen vorwiegend ein Gebundensein an herzynische Linien. Dieser jüngste, herzynisch gerichtete tektonische Einfluß lebt aber auch in der jüngsten Entwicklung der Karsthohlräume wieder auf und kann in den wenigen vom Menschen erreichbaren Höhlen des Karstwasserniveaus beobachtet werden. Wenn daher zwischen den Versickerungsstellen der Oberfläche und den Quellaustritten eine Bewegung des Karstwassers an tektonisch vorgezeichneten Abflußbahnen angenommen wird, so müssen diese in erster Linie herzynisch und in zweiter Linie rheinisch gerichtet sein. Beurteilt man die Bedeutung der rheinischen Richtungen nach den Feststellungen an den Dolinen, also nach dem gegenwärtigen Entwässerungsbild der Oberfläche, so dürfte sie allerdings hinter der herzynischen erheblich zurückstehen.

Bei diesem Anknüpfen der heutigen Abflußwege an eine sehr alte tektonische Struktur bliebe festzustellen, ob es sich nur um eine Regeneration bereits bestehender, z. B. kreidezeitlicher Entwässerungsstränge handelt, oder um eine völlige Neubildung solcher. In keiner der bis jetzt bekannt gewordenen offenen Höhlen konnten kreidezeitliche Reste auf primärem Lager gefunden werden. Lediglich in einem Raum der Maximilianshöhle befindet sich ein geringer Rest weißlicher Tone, die den Cardien-Tonen ähnlich sind. Diese sehr spärliche Ablagerung ist dort zwischen verpreßtes Gestein eingequetscht, sodaß ihr Vorhandensein lange Zeit überhaupt nicht auffiel. Was in den Höhlen des Gebietes an Einlagerungen auftritt, sind verschwemmte Sande und Lehme oder an Ort und Stelle entstandene Ausscheidungen, wie Kalksinter, Mangan, Brauneisenerze jüngerer Bildungszeit und dergleichen. Es ist also in keinem Falle ein kreidezeitliches Alter der gegenwärtig zugänglichen Höhlen durch etwaiges Vorhandensein entsprechender Einlagerungen nachzuweisen. Dagegen sind bei bergbaulichen Arbeiten schon wiederholt Höhlen angefahren worden, die völlig mit Tonen, Sanden, oberturonen Farberden oder sandsteinähnlichen Ablagerungen verstopft waren. Der Verkarstungsprozeß scheint an der von unlöslichen oder schwer löslichen Sedimenten verkitteten, alten, kreidezeitlichen Struktur erheblichen Widerstand zu finden und ein Ueberwinden desselben durch den gegenwärtigen Abfluß dürfte nur selten erfolgen.

Will man sich mit der geologischen Altersstellung des Höhlenhorizontes zwischen 460 und 520 m näher befassen, so ist dazu bis jetzt nur eine spärliche Handhabe geboten. Das Windloch bei Sackdilling liegt in 500 m ü. NN., es gehört also zu dieser Höhlenflur. Die zahlreichen in die Höhle eingeschwemmten Fossilreste wurden von HELLER als oberpliozän bestimmt (HELLER 1930), sodaß auch für die hydrographischen Vorgänge, die sich an die Ablagerungen knüpfen, eine genauere Zeitangabe möglich wurde. In einer hierauf Bezug nehmenden Arbeit legte ich dar, daß auf Grund der Feststellungen im Gelände und in der Höhle diese etwa zur Oberpliozänzeit noch im Karstwasserniveau gelegen sein mußte (1933). Heute befindet sich dasselbe mindestens 60 m tiefer. Um die Wende des Oberpliozäns zum Diluvium wurde das Gebirge gehoben, sodaß die Höhle von da an dem Karstwasserbereich entrückt ist. Es

besteht also die Möglichkeit, daß sich der ganze ältere Auslaugungshorizont zwischen 460 und 520 m noch bis zum Oberpliozän im Niveau des Karstwassers oder mindestens in seiner Nähe befand. Selbstverständlich wurde nichts versäumt, um weitere Anhaltspunkte zur Lösung dieser Probleme vor allem in Form von Fossilresten zu finden, ein Erfolg war diesen Bestrebungen bis jetzt jedoch nicht beschieden.

Die Feststellungen über den älteren Höhlenbildungshorizont und das Fehlen jeder kreidezeitlichen Ablagerung in den gegenwärtig offenen Höhlen berechtigt zu der Annahme, daß der tektonischen Neubelebung seit Abschluß der oberturonen Eindeckung auch jeweils eine Neuorientierung der Karsterscheinungen an der Oberfläche und ein eigener Höhlenbildungsabschnitt folgte.

Diesem Schlusse liegen zusammengefaßt folgende bereits erörterte Untersuchungsergebnisse zugrunde:

1. Die Dolinen sind ein Bestandteil der gegenwärtigen Landschaft; ihre weitgehende tektonische Gebundenheit lassen sie in der Anlage und Anordnung erkennen. Die tektonische Tendenz ist vorwiegend herzynisch, die rheinisch-longitudinale Richtung von untergeordneter Bedeutung. Für das jüngste Aufleben einer herzynisch gerichteten Tektonik konnten an der Seeweierlinie bei Fischstein u. a. auch geologische und geomorphologische Beweise gefunden werden.
2. In einem alten Höhlenniveau nachoberturonen Alters zwischen 460 und 520 m lassen die einzelnen Objekte zwar keine Bevorzugung irgendeiner Richtung erkennen, es finden sich jedoch besonders häufig Kammerhöhlen vor, die in dem Auslaugungsbereich eines ehemaligen Karstwasserhorizontes liegen. Jünger als dieser sind zahlreiche, vor allem größere Spaltenhöhlen, die vom Sickerwasser ausgestaltet wurden und unverkennbare rheinische Streichrichtung zeigen. Eine Häufung in einer bestimmten Höhenlage lassen sie nicht erkennen. Der unterste und jüngste Höhlenhorizont birgt zwei Auslaugungsstufen, die nur einige Meter in der Senkrechten auseinander liegen. In ihnen ist teilweise noch ein älterer rheinisch-transversaler Einfluß, sowie minder gut ausgeprägt eine erzbergische Tendenz und eine jüngere oder besser gesagt die jüngste (posthum) herzynische Tektonik zu erkennen. Die Lösungsvorgänge folgen vorwiegend dieser tektonischen Struktur und man darf auch für den Karstwasserabfluß annehmen, daß er sich vor allem an das jüngste herzynisch gerichtete Kluffnetz hält bzw. daß er von ihm weitgehend vorgeschrieben wird.

Schrifttum.

- BIESE, W.** Ueber Höhlenbildung. I. T. Entstehung der Gipshöhlen am südlichen Harzrand und am Kyffhäuser. Abh. d. Preuß. geol. Landesanstalt Berlin, N. F. Nr. 137, Berlin 1931.
- CRAMER, H. und H. KOLB.** Höhlenentwicklung und Eisenerzbildung in der Bismarckgrotte, Oberpfalz. Arbeiten der Sektion Heimatforschung der Naturhistorischen Gesellsch. Nürnberg, H. 2. Nürnberg 1927.
- — Untersuchungen über die morphologische Entwicklung des fränkischen Karstgebirges. Abh. d. Naturhist. Ges. Nürnberg, 22, 7. Nürnberg 1928.
- — Die „Höllern“, eine Gipshöhle im fränkischen Gäu. Die Fränkische Alb, Zeitschrift des Fränk. Alb-Vereins. 18. Jhrg. 8. Nürnberg, 1931.
- CVJIC, J.** Das Karstphänomen. PENCK's geographische Abh. 5, 3 Wien 1893.
- DIENER, K.** Jahrb. d. geol. R. A. Wien. 34. Wien 1884.
- DORN, P.** Zur Geologie der Fränkischen Dolinen. Jahresber. u. Mitt. des Oberrh. geol. Vereins. N. F. 13 Stuttgart 1924.
- — Beiträge zur Geologie des Frankendolomits. Zeitschr. d. d. geol. Ges. Berlin. 78: 1926. Berlin 1927.
- FRIESE, H.** Die Karsthohlformen der Schwäbischen Alb, mit besonderer Berücksichtigung der geschlossenen Oberflächenformen. Stuttgarter Geographische Studien. Reihe A, H. 37/38. Stuttgart 1933.
- GUEMBEL, C.** W. v. Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb. (Frankenjura). Kassel 1891.
- HELLER, Fl.** Eine Forest-Bed-Fauna aus der Sackdillinger Höhle. Neues Jahrb. f. Min. etc. 63, Abt. B. Stuttgart 1930.
- — Eine fossile Mikrofauna mit *Alactaga saliens foss.* Nhr. aus der Felslindhöhle bei Saaß (Oberpfalz). Centralbl. f. Min. etc. Abt. B, 7. Stuttgart. 1931.
- HERMANN, R.** Die östliche Randverwerfung des Fränkischen Jura. Zeitschr. d. d. geol. Ges. Berlin. 60. Berlin 1908.
- HOL, J. B. L.** Beiträge zur Hydrographie der Ardennen. Proefschrift. Utrecht 1916.
- KRUMBECK, L.** Zur Kenntnis der Tithonrelikten und anderer Restgesteine auf dem Frankenjura und im Regnitzbecken. Sitz.-Ber. d. phys.-med. Soc. in Erlangen. 54/55. Erlangen 1922/23.
- — Zur Kenntnis der alten Schotter des Nordbayerischen Deckgebirges. Geol. u. paläont. Abh. N. F. 15, 3. Jena 1927.
- LOEWENGART, St.** Beiträge zur Tektonik, Morphologie und Talgeschichte des oberen Pegnitzgebietes unter Berücksichtigung des benachbarten Rednitz-Regnitztales. Dissert. Tübingen 1924.
- MUEHLHOFER, F.** Der mutmaßliche Timavotalschluß. Globus, 91, Braunschweig 1907.
- — Beobachtungen über Dolinenbildungen am Triester Karste. Globus, 96, Braunschweig 1909.
- NEISCHL, A.** Die Höhlen der Fränkischen Schweiz und ihre Bedeutung für die Entstehung der dortigen Täler. Inaug. Diss. Nürnberg 1904.
- REUTER, L.** Die geologischen Grundlagen zur Wasserversorgung im bayer. Jura-gebiet. Journ. f. Gasbeleuchtg. u. Wasserversorgg. SA, München 1921.
- REYER, E.** Studien über das Karstrelief. Mitt. d. k. k. geogr. Ges. Wien. 24. Wien 1881.
- SAWICKI, L.** Ritter v. Ein Beitrag zum geographischen Zyklus im Karst. Geogr. Zeitschr. Jahrg. 15, 4. Leipzig 1909.
- SCHAD, J.** Beiträge zur Kenntnis des Rheingletschers und der Talgeschichte der Donau von Sigmaringen bis Ulm. Jahresber. u. Mitt. d. Oberrheinischen Geolog. Ver. Neue F. 1. Stuttgart, 1911.

- SCHLOSSER, M. Höhlenstudien im Fränkischen Jura, in der Oberpfalz und im Ries. Correspondenzbl. d. Deutschen Ges. f. Anthropologie, Ethnol. u. Urgesch. Jahrg. 29. Braunschweig 1898.
- SCHUSTER, M. Abriß der Geologie von Bayern rechts des Rheins. München 1929.
- SEEBACH, H. Die Dolinen der Fränkischen Schweiz. Arbeiten der Sekt. Heimatforsch. d. Naturhist. Ges. Nürnberg. 2, 1/2. Nürnberg 1929.
- SEEMANN, R. Die geologischen Verhältnisse längs der Amberg - Sulzbacher und Auerbach - Pegnißer Störung. Abh. d. Naturhist. Ges. Nbg. 22, 3. Nürnberg 1925.
- SIHLER, H. Zum Wasserhaushalt des Blautopfes. Blätter des Schwäbischen Albvereins. 39. Jahrgang, 1927.
- SPERBER, H. Geologische Untersuchungen im Bereiche des Hahnbacher Sattels. Sulzbach 1932.
- SPOECKER, R. G. Karstphänomene im Schelmbachgebiet. Abh. d. Naturhist. Ges. Nbg. 22, 2. Nürnberg 1924.
- — Die Distlergrotte bei Finstermühle. Die Fränk. Alb. Zeitschrift d. Fränk. Alb.-Ver. Jahrg. 16, 8/9. Nürnberg 1929.
- — Das Felslindl bei Saaß. Die Fränk. Alb. Zeitschr. d. Fränk. Albver. Jahrg. 17, 8/9. Nürnberg 1930.
- — Das Gaisloch bei Krottensee. Fränk. Monatshefte. Jahrg. 10, 7. Nürnberg 1930 b.
- — Wasserschlinger im oberen Pegnißgebiet. Die Fränk. Alb. Zeitschr. d. Fränk. Alb.-Ver. Jahrg. 18, 1. Nürnberg 1931.
- — Die Höhle in Steinamwasser. Fränk. Monatshefte. Jahrg. 10, 7, 10/11. Nürnberg 1931 a.
- — Untersuchungen über einige Kesseltäler des Karstes (Adelsberg, Zirkniß und Planina). Neues Jahrb. f. Min. etc. Beil.-Bd. 68, Abt. B Stuttgart 1932.
- — Ursachen und Formen des Höhlenverfalls im Frankenjura. Speläol. Jahrb. Wien. 13/14. Wien 1932/33.
- — Die jungpliozänen Ablagerungen in der Sackdillinger Höhle und ihre Beziehungen zur Landschaft. Ein fossiler Wasserschlinger. Neues Jahrb. f. Min. etc. Beil. Bd. 70, Abt. B. Stuttgart 1933.
- STAHL, W. Geologische Untersuchungen zwischen unterer Pegniß und Schwarzach. Sitzungsber. d. physik.-mediz. Soziet. zu Erlangen. 61. Erlangen 1929.
- STILLE, H. Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiet der Paderquellen. Abh. der preuß. geol. Landesanstalt. N. F. H. 33. Berlin 1903.
- WELLHOEFER, B. Klufftektonische Untersuchungen in der nördl. Frankenalb. Abh. d. Naturhist. Ges. Nbg. 23, 1. Nürnberg 1929.
-

Tab. IV R. G. SPOCKER: Der Karst des oberen Pegnitzgebietes etc. 1935

Dolinen links der Pegnitz

Main data table with columns: Nr. der Doline, Lage, Form, Länge, Breite, Tiefe, Achse v.N., tekt. Linie v.N., and multiple columns for detailed doline characteristics.

G - Grunddoline
H - Hangdoline
P - Plateaudolinen
w - wannenförmig
ti - trichterförmig
s - schüsselförmig
to - trogförmig
g - grabenförmig
b - brunnenförmig
u - unregelmäßig

Tab.IV

Dolinen rechts der Pegnitz

Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.	Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.	Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.	Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.	Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.	Nr. der Doline	Lage	Form	Länge	Breite	Tiefe	Achse v.N.															
1	G	G	8	8	2.50		54	G	G	15	15	1.50		107	P	P	7	7	1	80	160	G	ti	6	6	2		213	G	G	8	8	1	120	266	G	G	5	5	0.50		319	H	G	20	20	0.60		372	H	G	8	6	0.80		118
2	G	G	8	8	2.50		55	G	H	5	5	0.50		108	P	P	7	7	2.50		161	G	ti	6	6	2		214	G	s	8	8	0.50	120	267	G	G	5	5	1		320	G	G	20	20	0.80		373	G	G	25	20	1.20		
3	G	G	10	10	2		56	G	H	12	12	2		109	H	H	10	10	2		162	P	ti	4	4	1.50		215	G	G	15	10	1.50	120	268	G	G	10	4	0.50		321	H	H	30	20	0.60		374	H	ti	8	8	2.50		
4	G	G	10	10	3		57	G	ti	12	12	2.50	40	110	H	H	8	8	1.50		163	G	ti	4	3	2		216	G	ti	1	1	0.50		269	G	ti	30	8	4	70	322	H	H	40	20	0.50		375	H	ti	10	10	2.50		118
5	G	G	15	15	2		58	G	ti	2	2	0.50		111	H	H	10	10	1		164	G	ti	15	15	4		217	G	ti	1	1	0.80		270	G	ti	15	15	4		323	H	H	20	15	0.60		376	H	ti	25	20	5		118
6	G	G	15	15	2		59	H	H	15	8	2	10	112	G	ti	15	10	2		165	G	to	25	15	8		218	G	ti	20	20	6		271	H	H	6	3	0.50		324	G	G	2	2	0.50		377	H	ti	6	6	3		118
7	G	G	2	2	0.50		60	H	H	4	4	1		113	H	ti	5	5	1.50		166	G	ti	9	5	2		219	G	ti	6	6	1		272	P	P	20	8	1	70	325	G	G	25	12	1	11	378	H	G	20	10	3.50		118
8	G	G	5	5	0.50	130	61	H	H	15	8	2	10	114	H	ti	5	5	2		167	G	ti	7	7	3		220	G	to	20	20	1.50		273	P	P	2	1	0.50	70	326	H	H	40	20	1	11	379	H	G	30	10	4.50		118
9	G	G	5	5	0.50	130	62	P	P	20	20	4	40	115	H	ti	20	15	5		168	G	ti	4	4	1.50		221	G	w	10	10	1		274	H	H	30	20	2	70	327	H	H	1	1	0.80		380	P	ti	8	8	3.50		
10	G	G	8	8	6		63	P	P	10	10	4		116	H	ti	4	4	3		169	G	ti	10	10	3.50		222	H	ti	8	8	2		275	H	H	1	0.60	5		328	H	H	30	15	0.50		381	H	H	15	10	3	175	
11	H	H	2	2	0.50	170	64	H	H	6	6	1.50	110	117	H	ti	4	4	1		170	H	H	8	8	2		223	H	ti	1.50	1.50	2	120	276	H	H	60	25	2		329	H	H	15	5	0.60	11	382	H	H	20	10	3	175	
12	H	H	2	2	0.50	170	65	H	H	3	3	0.50		118	H	w	4	4	3		171	H	w	8	8	2		224	H	ti	4	4	1.50	120	277	P	P	20	10	1	120	330	H	H	8	4	0.60	11	383	H	w	6	2	1.50	175	
13	H	H	4	4	2.50	170	66	H	H	12	9	2.50		119	H	ti	6	6	5		172	H	ti	4	4	1.50		225	G	w	18	12	1		278	H	H	6	6	0.40		331	H	w	6	6	0.40	11	384	P	P	20	15	4	175	
14	H	H	3	3	1		67	H	H	12	12	5	180	120	H	ti	20	20	9		173	H	s	30	30	4.50		226	G	w	12	10	2.50		279	H	ti	2	2	1.50		332	H	w	6	3	0.40	11	385	P	w	15	10	2	175	
15	H	H	3	3	1		68	G	G	8	8	2.50	160	121	H	ti	12	12	3		174	H	w	17	13	3.50		227	G	w	6	4	1.50		280	H	ti	2	1.50	1		333	G	w	5	3	0.60		386	P	ti	10	8	3.50	175	
16	H	H	15	15	12		69	G	G	30	10	5		122	H	ti	12	10	4		175	G	to	15	12	3		228	G	ti	22	8	6		281	H	ti	3	2	1.50		334	H	H	6	3	0.50		387	H	H	10	6	2	175	
17	G	G	3	3	0.50	170	70	G	G	7	7	1.50		123	H	ti	10	10	4		176	H	ti	4	4	0.80		229	G	w	10	10	0.60	70	282	H	H	10	4	1.50	11	335	H	w	3	2	0.40		388	H	H	20	15	3.50	175	
18	G	G	3	3	0.50	170	71	G	G	10	10	2		124	G	w	6	6	1.50		177	G	ti	25	20	8		230	G	w	30	30	8	70	283	H	H	4	4	0.80	11	336	H	w	25	5	0.80		389	H	ti	10	8	4	175	
19	G	G	4	4	0.80		72	G	G	15	15	4		125	G	w	15	15	4		178	G	ti	20	20	5		231	G	w	40	20	4	70	284	H	w	1.50	1.50	0.40		337	H	w	25	20	6	3	390	H	H	25	20	3	175	
20	G	G	5	5	0.50		73	H	H	15	15	4		126	G	w	15	15	1		179	H	w	6	5	0.50		232	G	w	6	5	1.50	120	285	H	w	6	6	0.30		338	P	P	10	8	1		391	H	H	3	2	0.80	175	
21	G	G	12	8	2	80	74	H	H	10	10	4		127	H	w	5	5	0.50		180	G	w	5	5	0.50		233	G	ti	10	10	5	120	286	H	H	50	40	2.50		339	H	w	6	3	0.60	11	392	H	w	6	3	0.60	175	
22	G	G	15	8	2	80	75	H	H	15	15	4		128	H	to	8	5	3	120	181	H	ti	4	4	1		234	H	H	6	4	4	70	287	G	w	40	30	4	11	340	H	H	6	3	0.40	11	393	H	H	6	3	0.60	175	
23	G	G	3	3	3		76	G	G	15	15	3		129	G	w	15	15	2.50	130	182	G	to	30	25	6		235	H	w	8	6	2		288	H	w	40	30	5		341	H	H	5	3	0.50	11	394	H	H	30	15	5		
24	G	G	3	3	1		77	H	H	10	10	5		130	G	w	5	5	0.50		183	G	g	17	8	3		236	H	w	3	3	1		289	H	w	15	20	3		342	H	ti	12	5	1.50		395	G	ti	15	15	5		
25	G	G	2	2	0.50		78	H	H	5	5	5		131	G	u	5	5	4		184	G	w	30	30	5		237	H	w	1.50	1.50	0.60		290	G	w	30	30	2		343	G	G	15	10	1		396	G	G	50	25	1.30		
26	G	G	4	4	1		79	G	G	5	5	1		132	G	u	18	18	6		185	G	w	20	20	2		238	H	w	1.50	1.50	0.50		291	P	P	3	2	1		344	G	G	12	4	1	11	397	H	w	25	20	2.50		
27	G	G	5	5	1		80	H	H	5	5	5		133	G	w	10	10	1.50		186	G	w	30	25	5		239	G	w	10	8	1.50		292	H	w	40	20	2.50		345	H	w	40	30	6	11	398	G	G	20	10	4		
28	G	G	8	5	2.50	40	81	G	ti	30	20	6	160	134	G	w	15	8	2.50	80	187	H	w	7	7	1		240	H	w	6	4	0.60		293	H	w	30	10	1.50	118	346	H	H	35	10	6		399	H	w	20	10	3		
29	G	G	10	10	3		82	G	G	40	30	6	90	135	G	w	7	7	0.50		188	H	b	1	0.80	1		241	H	w	3	3	0.50		294	H	w	10	6	1		347	H	H	8	8	1.20		400	G	w	15	10	0.80		
30	G	G	15	15	3		83	H	H	8	6	3	10	136	G	w	10	8	1		189	H	ti	1	1	1		242	G	ti	3	3	0.60		295	H	w	40	15	5	118	348	P	P	6	3	1.50		401	G	G	25	20	5		
31	G	G	20	20	10		84	H	ti	15	13	8		137	G	w	10	8	1.50		190	P	w	9	9	2		243	G	ti	30	30	8		296	G	w	35	15	5	118	349	H	H	20	6	2		402	G	w	20	10	2.50		
32	G	G	25	20	15	40	85	H	ti	5	5	3		138	G	w	10	7	1.50		191	P	ti	5	5	2		244	G	w	6	6	1.50		297	H	w	12	5	2	118	350	H	ti	20	20	0.50		403	H	H	25	10	1		
33	G	G	5	5	2		86	G	G	10	10	2		139	G	ti	2	2	0.30		192	G	s	30	20	2		245	G	ti	20	20	6		298	H	ti	5	5	2	118	351	H	ti	20	20	8		404	H	H	8	5	0.50		
34	G	G	15	15	7		87	G	G	30	30	0.50		140	G	w</																																								

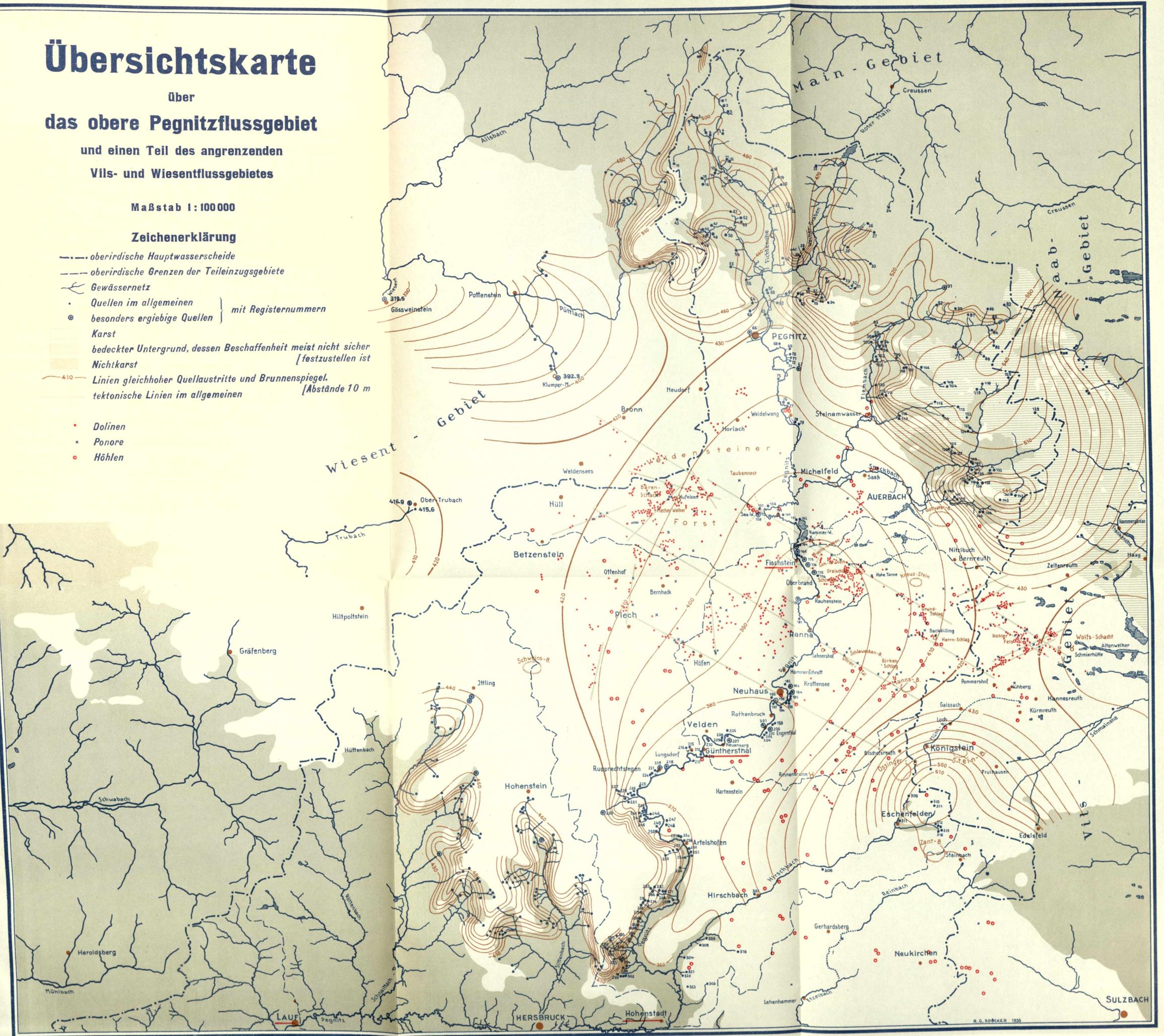
Übersichtskarte

über
das obere Pegnitzflussgebiet
und einen Teil des angrenzenden
Vils- und Wiesentflussgebietes

Maßstab 1:100 000

Zeichenerklärung

- oberirdische Hauptwasserscheide
- oberirdische Grenzen der Teileinzugsgebiete
- Gewässernetz
- Quellen im allgemeinen
- ⊙ besonders ergiebige Quellen } mit Registernummern
- Karst
- bedeckter Untergrund, dessen Beschaffenheit meist nicht sicher festzustellen ist
- Nichtkarst
- 410 — Linien gleicher Quellaustritte und Brunnenpiegel. (Abstände 10 m)
- tectonische Linien im allgemeinen
- Dolinen
- × Ponore
- Höhlen



Tafel II

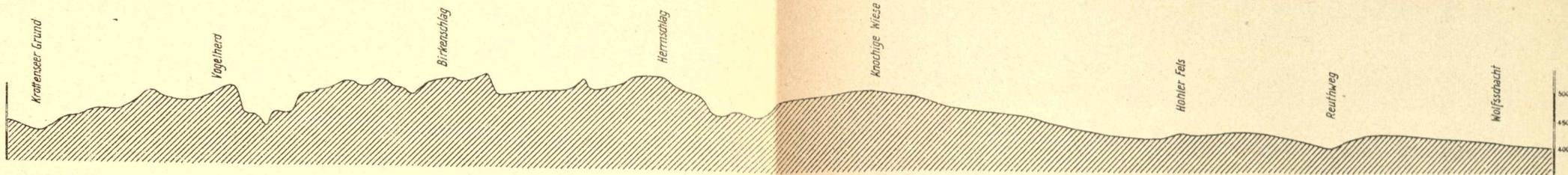


Fig. 1
Schnitt Krotenseer Grund - Wolfsschacht

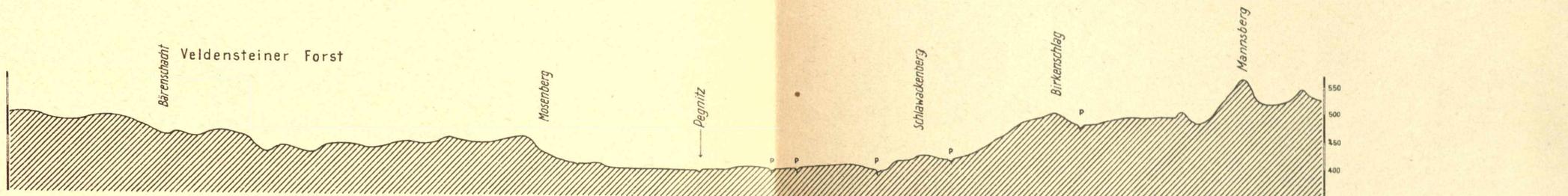


Fig. 2
Schnitt Bärenschacht - Mannsberg

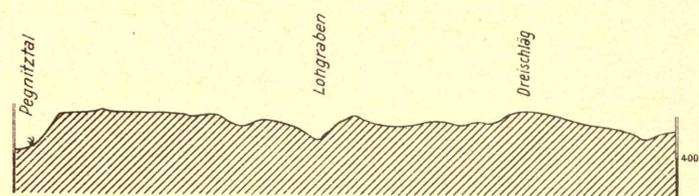


Fig. 3
Schnitt Bergmannquelle - Lotgraben - Dreischlag - Flurteil Hohe Tanne



Fig. 4
Talquerschnitt bei Günthersthal

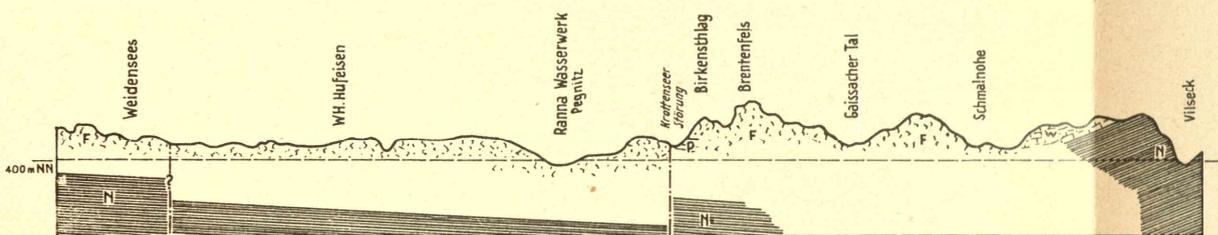


Fig. 5
Talquerschnitt bei Fischstein

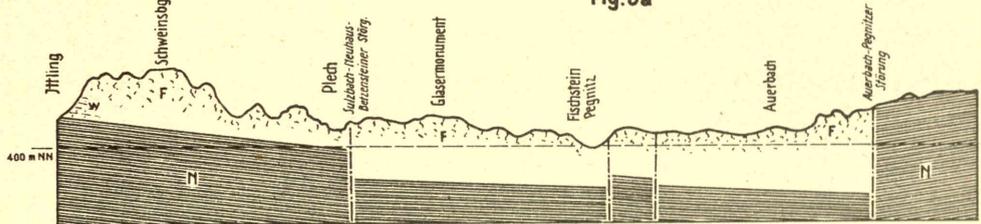
Oberflächenschnitte

gezeichnet nach Forstkarten mit Höhenschichten und Tachymeteraufnahmen
Längen 1:40'000 Höhen 1:10'000

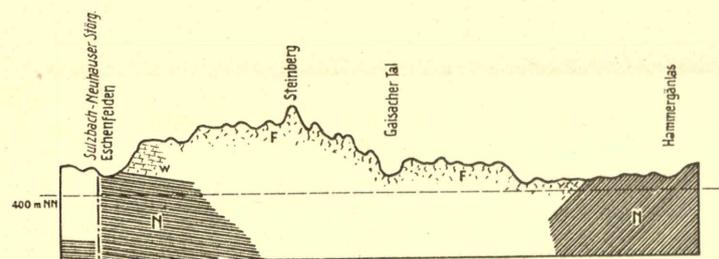
Die Schnitte zeigen den Unterschied in der Landschaftsgliederung. Fig. 1 läßt die allmähliche Verflachung der Landschaft nach ONO erkennen, das Jurarelief taucht unter die Bedeckung hinab. Aus Fig. 2 ist ebenfalls die Verflachung und Tieflage des Veldensteiner Forstes ersichtlich.



Profil A-B
Fig. 6a



Profil C-D
Fig. 6b



Profil E-F
Fig. 6c

F = Frankendolomit
P = Pseudomutabiliskalke } Karstgestein
W = Werkkalk
N = Braun- und Schwarzjura: nicht-verkarstungsfähiges Gestein

Fig. 6
Schematische Darstellung der Landschaftsunterschiede im Karst der oberen Pegnitz

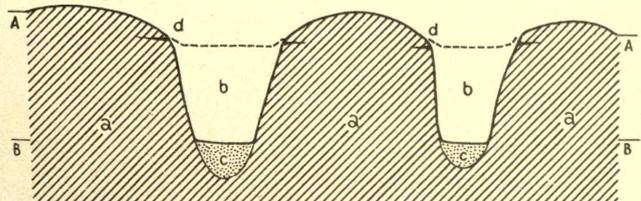
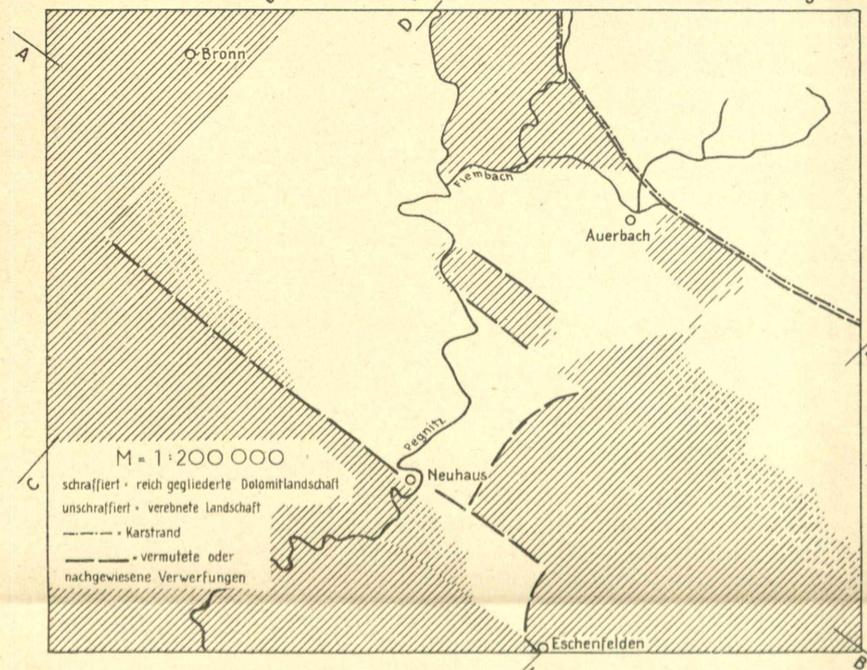


Fig. 7
Schematische Darstellung des Karstreliefs nach Ausräumung der Karstbedeckung

a = Gebirgsfundament b = ausgeräumte Karstbedeckung c = Karstbedeckung
d = alter Höhlen- und Karstwasserhorizont A = alte Landoberfläche B = neues Abtragungsniveau

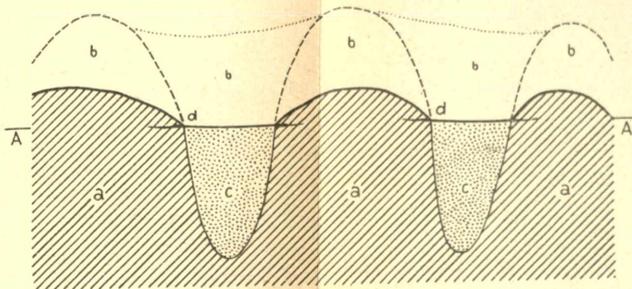


Fig. 8
Schematische Darstellung des Untergrundes im bedeckten Karst der Frankenalb und der Abtragung des herausragenden Gebirgsfundamentes

a = Gebirgsfundament b = abgetragenes Gebirge c = Karstbedeckung (Kreide, Tertiär, Diluvium)
d = Karstwasser- und Höhlenhorizont A = Abtragungsbasis

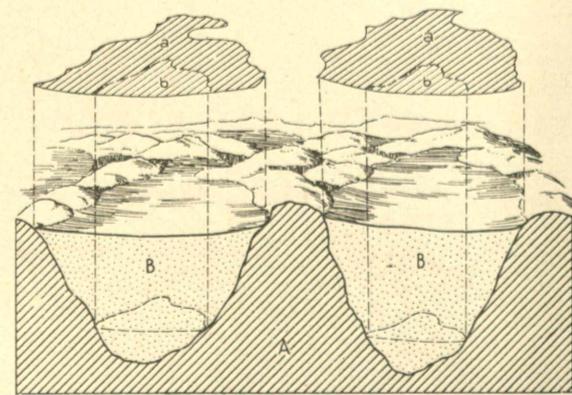
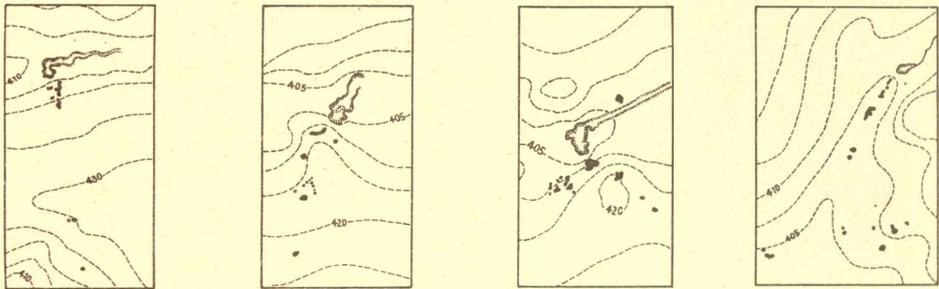
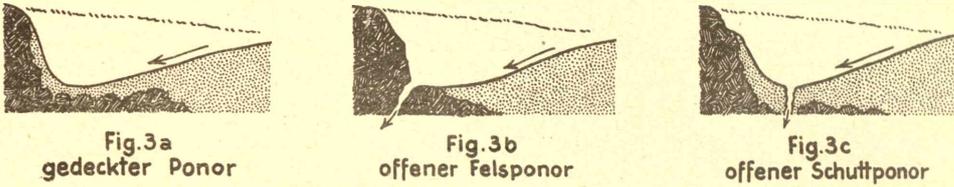
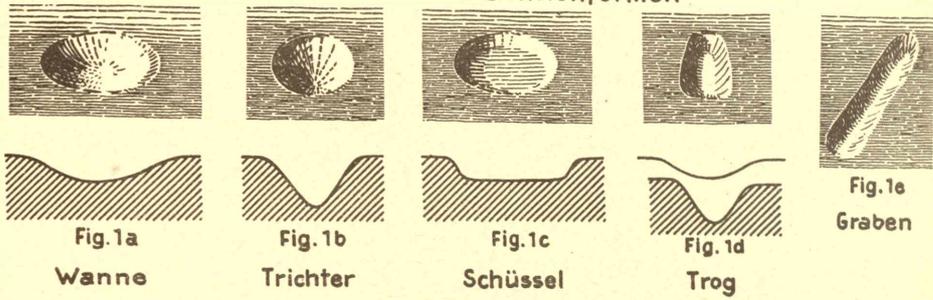


Fig. 9
Schematische Darstellung flächenhafter Einschränkung der Karstbedeckung bei zunehmender Ausräumung

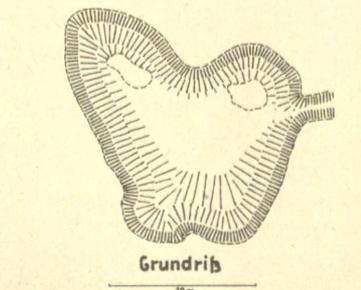
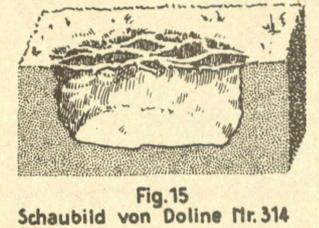
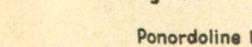
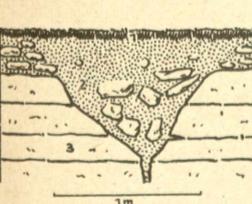
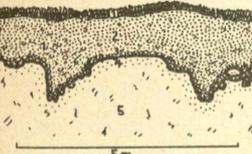
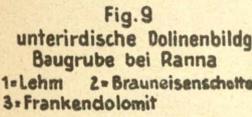
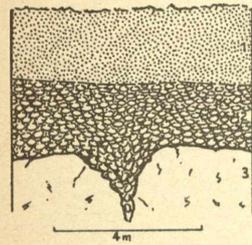
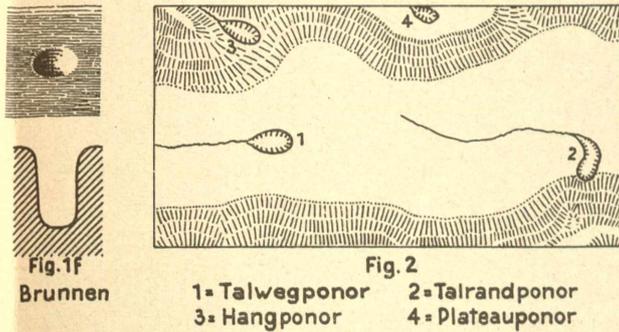
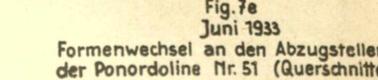
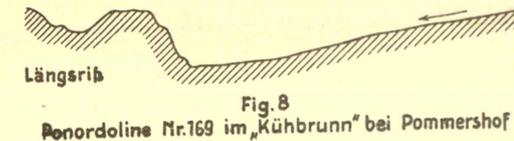
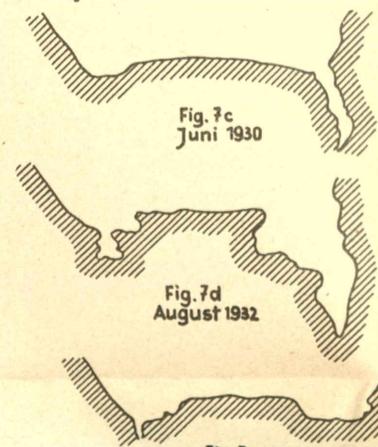
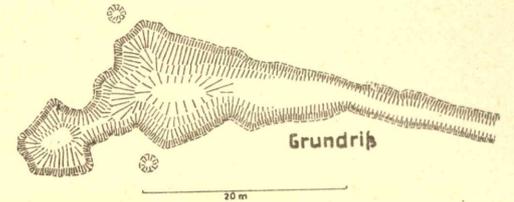
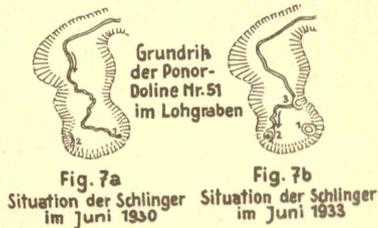
A = Gebirgsfundament B = Karstbedeckung a+b = Grundfläche der Karstbedeckung vor ihrer Ausräumung b = Grundfläche der Karstbedeckung nach ihrer Ausräumung

Dolinen

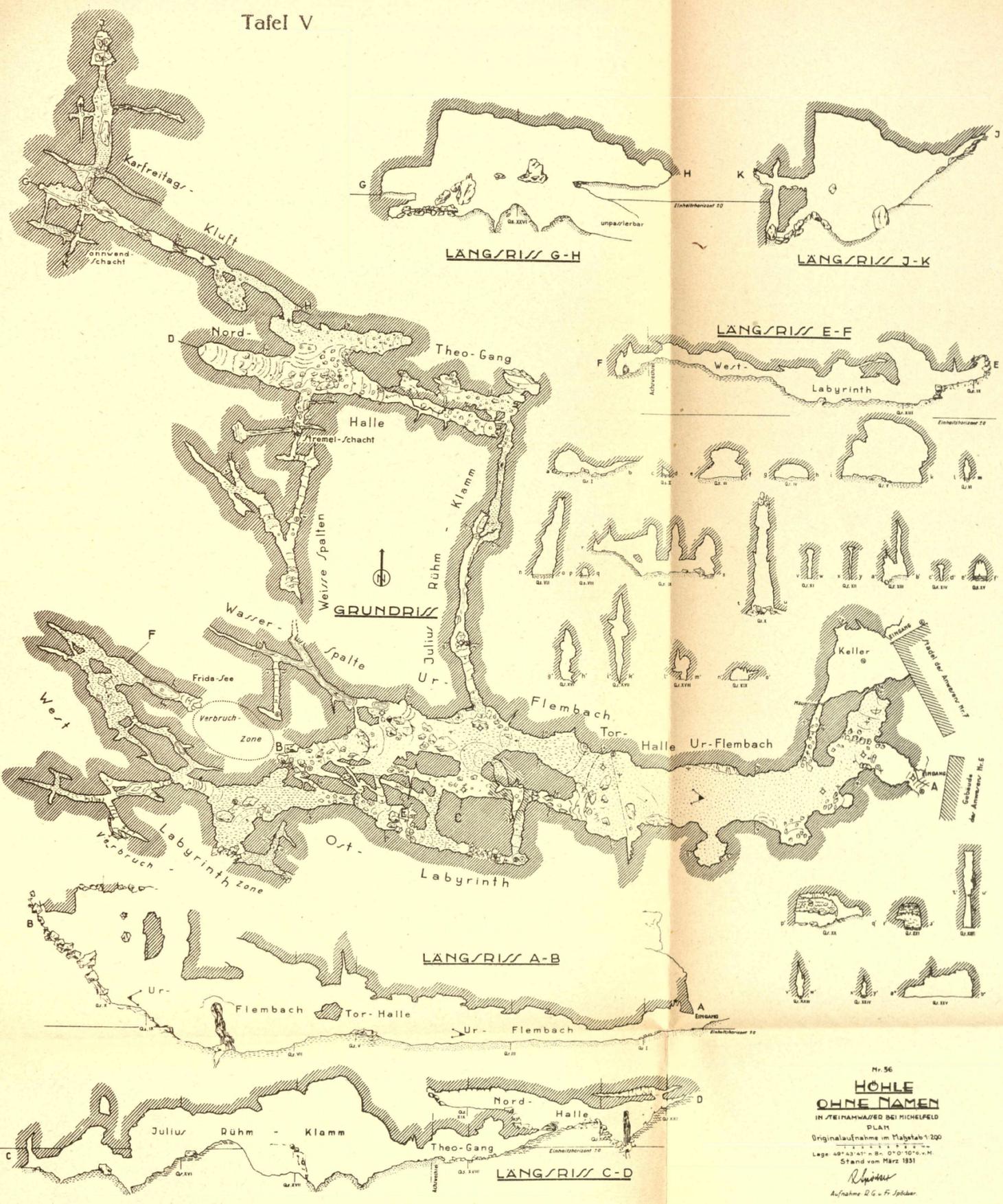
Dolinenformen



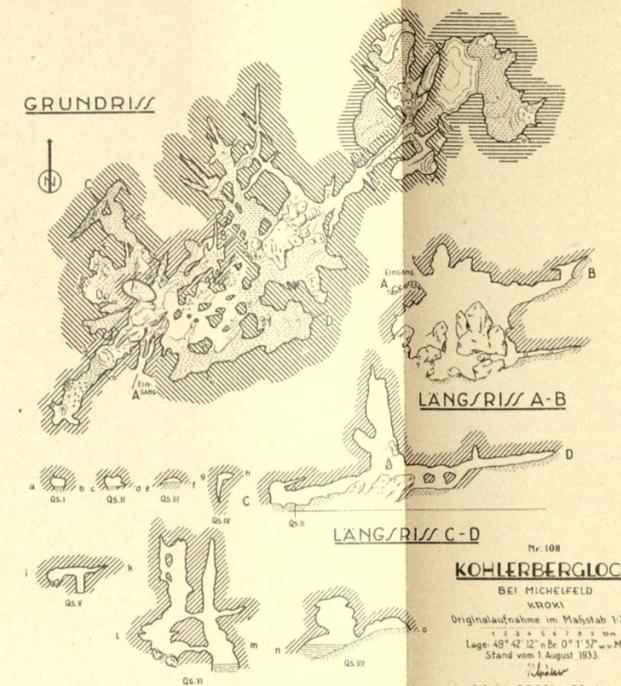
Maßstab 1: 10000



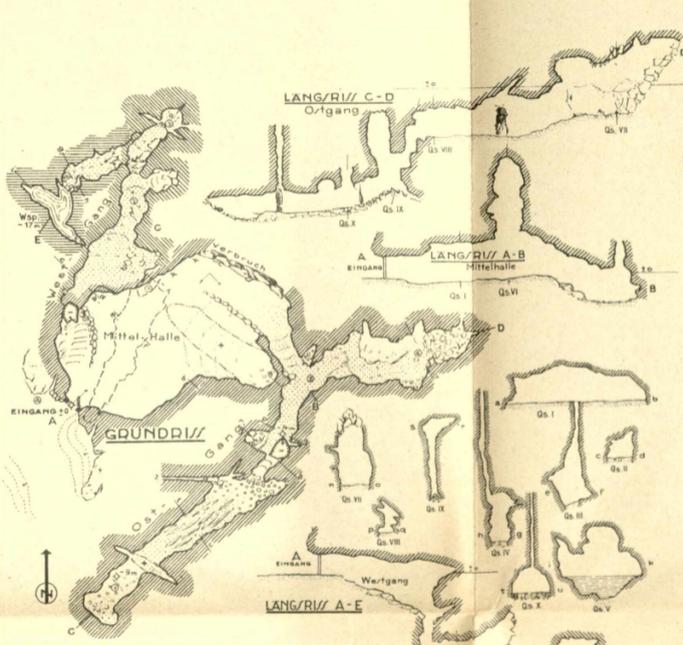
Tafel V



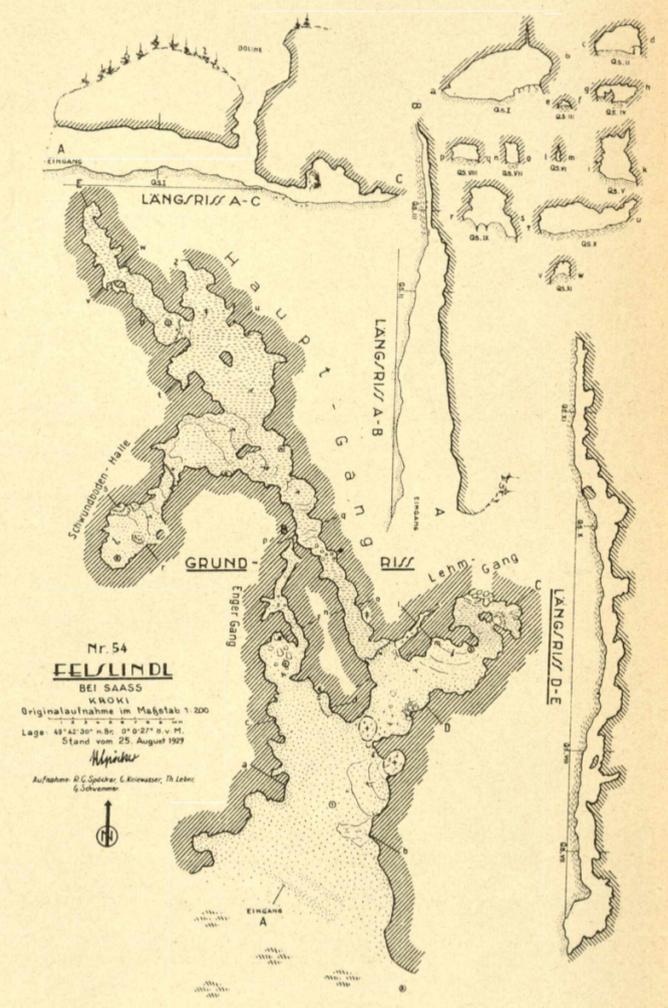
Nr. 56
HÖHLE OHNE NAMEN
 IN TEINHAUSEN BEI MICHELFELD
 PLAN II
 Originalaufnahme im Maßstab 1:200
 Lage 49°43'41" N, 8°0'10" O, M.
 Stand vom März 1931
 Aufnahme R.G. v. F. Spöcker



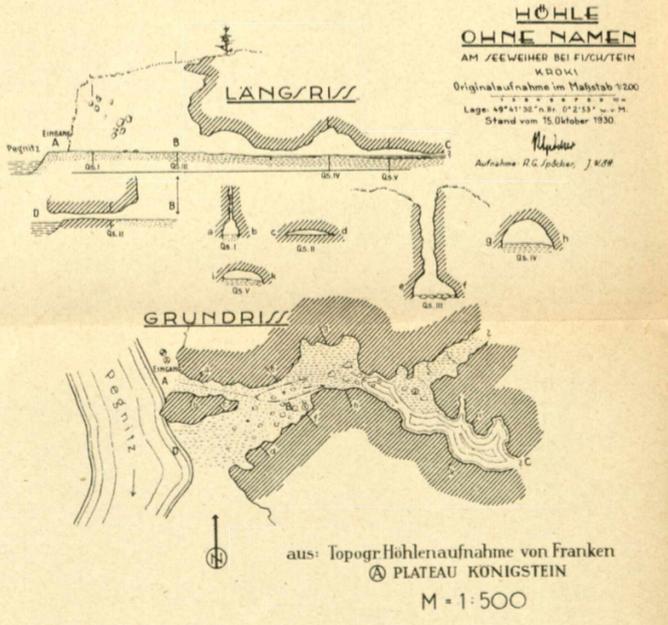
Nr. 108
KOHLERBERGLOCH
 BEI MICHELFELD
 KRÖKI
 Originalaufnahme im Maßstab 1:200
 Lage 49°42'22" N, 8°0'13" O, M.
 Stand vom 1. August 1933
 Aufnahme R.G. Spöcker, P. Jordan



Nr. 26
DISTLERGROTTE
 BEI FINSTERMÜHLE (NEUHAUS a. D.)
 KRÖKI
 Originalaufnahme im Maßstab 1:200
 Lage 49°37'28" N, 8°0'21" O, M.
 Stand vom 26. Mai 1929
 Aufnahme R.G. Spöcker, C. Krenauer



Nr. 54
FELSINDL
 BEI SAASS
 KRÖKI
 Originalaufnahme im Maßstab 1:200
 Lage 49°42'30" N, 8°0'27" O, M.
 Stand vom 25. August 1929
 Aufnahme R.G. Spöcker, C. Krenauer, Th. Leber, G. Schwaner



Nr. 97
HÖHLE OHNE NAMEN
 AM ZEUWEIHER BEI FUCHSTEIN
 KRÖKI
 Originalaufnahme im Maßstab 1:200
 Lage 49°41'38" N, 8°0'23" O, M.
 Stand vom 15. Oktober 1930
 Aufnahme R.G. Spöcker, J. Hoff

aus: Topogr. Höhlenaufnahme von Franken
 © PLATEAU KÖNIGSTEIN
 M = 1:500