

ALBRECHT PENCK

# Das unterirdische Karstphänomen

---

SONDERABDRUCK AUS:

„Recueil de travaux offert à M. Jovan Cvijić par ses amis et collaborateurs  
à l'occasion de ses trente-cinq ans de travail scientifique“

---

IMPRIMERIE D'ÉTAT  
DU ROYAUME DES SERBES, CROATES ET SLOVÈNES  
BELGRADE — 1924

## DAS UNTERIRDISCHE KARSTPHÄNOMEN

In seiner ausgezeichneten Monographie des Karstphänomens hat Jovan Cvijić dasselbe als die Summe aller jener Oberflächenformen bezeichnet, welche auf nacktem Kalkstein vermöge dessen Auflösung durch kohlenensäurehaltiges Wasser entstehen. Aber er würdigt zugleich auch Oberflächenformen, welche durch Auflösung von Kalkstein unter Bedeckung mit losem Schutte oder anderem Gestein verursacht werden. Neben den echten Dolinen, welche sich infolge oberflächlicher Lösung nackten Kalksteins durch Tätigkeit der Sickerwässer und der Entfaltung der Abspülung bilden, behandelt er die Schwemmlanddolinen, welche auf Einbrüche einer Schwemmlanddecke über Kalk zurückzuführen sind. Ausdrücklich weist er darauf hin, dass das Wasser den Kalk auch unter Bedeckung mit anderen Gesteinsarten zu lösen vermag. Neben dem *oberflächlichen Karstphänomen* auf nacktem Kalk kennt er ein solches unter Tage.<sup>1</sup>

Das unter Tage liegende Karstphänomen ist verschiedenartig. Es kann der Karst bedeckt sein mit seinen Verwitterungsproducten, die sich anhäufen oder stellenweise zusammenschwemmt wurden. Ihn nennt Eduard Richter *bedeckten Karst*.<sup>2</sup> Es können aber auch lösliche Gesteine unter unlöslichen gelöst werden, also Kalkstein oder Gips unter Sandstein und Sand. Dann sprechen wir mit Katzer vom *unterirdischen Karstphänomen*.<sup>3</sup> Oberflächlich können der bedeckte und der unterirdische Karst einander recht ähnlich werden. Übergänge zwischen beiden kommen namentlich dort vor, wo das hangende Gestein dünn ist oder schwer vom Verwitterungsgestein zu unterscheiden ist. Manches unterirdische Karstphänomen ist deswegen als bedeckt ange-

<sup>1</sup> „Das Karstphänomen, Versuch einer morphologischen Monographie“. Geogr. Abh. V. 5., Wien 1893, S. 35, 50.

<sup>2</sup> „Beiträge zur Landeskunde Bosniens und der Herzegowina“. Wiss. Mitteilungen aus Bosnien u. der Herzegowina X. 1908.

<sup>3</sup> „Bemerkungen zum Karstphänomen“. Zeitschrift d. Dtsch. Geolog. Gesellsch. LVII 1905, Monatsber., S. 233.

sehen worden. Aber derartige Übergänge dürfen uns nicht in der Erfassung der grundsätzlichen Verschiedenheit beider Phänomene hindern. Das bedeckte Karstphänomen ist älter als die hangende Verwitterungsdecke, wenn es sich auch unter dieser nach der Art des unterirdischen weiter zu bilden vermag. Das unterirdische Karstphänomen jedoch ist jünger als das hangende Gestein. Es kommt daher oberflächlich manchmal gar nicht zur Geltung, und Cvijić, der seine Bedeutung klar erkannte, wollte Gebiete, in denen das unterirdische Karstphänomen herrscht, ganz mit Recht nicht als „Karstgebiete“ bezeichnen. Aber es gibt Stellen, wo das unterirdische Karstphänomen durch Abtragung des hangenden Gesteins an die Oberfläche kommt und gleichsam ausgegraben wird. Dann haben wir es mit einem ordentlichen Karste zu tun. Dazu kommt, dass die Vorgänge, die in der Tiefe stattfinden, sich auch vielfach oberflächlich fühlbar machen. Es sackt das Land über Trichterbildungen des unterirdischen Karstphänomens ebenso ein, wie es über einstürzenden Höhlen einbricht. Die dabei entstehenden *Erdfälle* können denen des oberflächlichen Karstes an die Seite gestellt werden, unterscheiden sich allerdings von diesen dadurch, dass sie nicht im eigentlichen Karstgestein auftreten. Es sind mannigfaltige Fäden, die sich zwischen dem oberflächlichen und dem unterirdischen Karstphänomen spinnen; wenn man das eine behandelt, kann man das andere nicht von der Betrachtung ausschliessen.

Das unterirdische Karstphänomen beruht ebenso wie das oberflächliche auf der Löslichkeit gewisser Gesteine. Es ist ein Korrosionsphänomen. Bereits 1839 hat Lyell erkannt,<sup>1</sup> dass auch in der Tiefe unter anderen Gesteinen die Korrosion von Kalk stattfinden kann, was ich auf deutschem Boden bestätigen konnte.<sup>2</sup> Hier ist das unterirdische Karstphänomen für viele Kalkgebiete ebenso bezeichnend wie das oberflächliche für die adriatischen Karstländer. Schon der Umstand, dass der deutschen Sprache ein Wort für „Doline“ fehlt und dass man immer nur von „Erdfällen“ spricht, weist auf die Verschiedenartigkeit des deutschen Karstphänomens vom typischen hin. Selten und spärlich sind in der Tat die offenen Dolinen auf deutschem Boden. Was man hier hat, sind meist gruben- oder trichterförmige kleine Wannen, die durch Einsenkungen des Bodens über Kalkstein oder namentlich über Gips entstanden sind. Sie liegen keineswegs immer im Bereiche des Schwemmlandes. Der Name „Schwemmlanddolinen“ ist daher für sie nicht angebracht; zutreffender ist der Ausdruck „Bodensenkungsdolinen“, den K a t z e r vorgeschlagen hat. Dem Wesen nach sind die meisten wirklich Erdfälle, nämlich entstanden

<sup>1</sup> „On the tabular cavities filled with gravel and sand, called sand pipes, in the chalk near Norwich“. The London and Edinburgh philos. Magaz. (3) XV, 1839. S. 259.

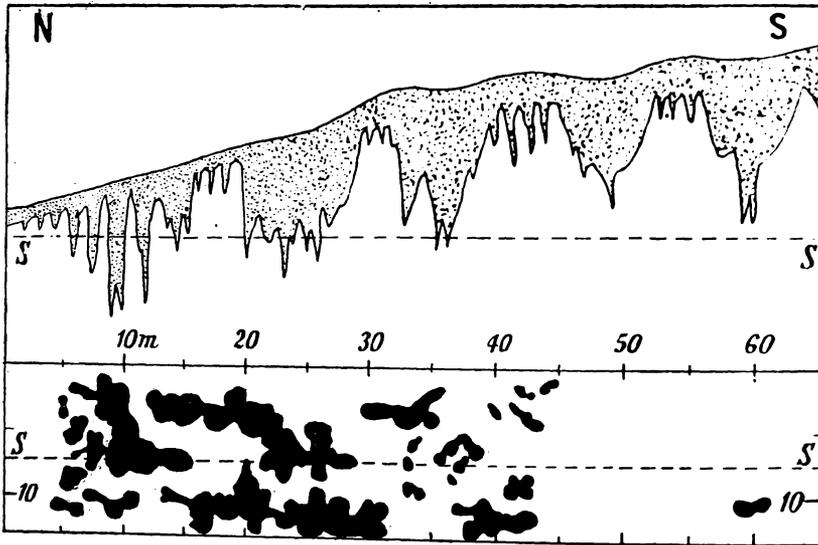
<sup>2</sup> A. P e n c k, „Die Geschiebepformation Norddeutschlands“. Zeitschr. d. Dtsch. Geolog. Ges., XXXI. 1879. S. 117 (134).

durch das Einbrechen des Hangenden von Kalkstein oder Gips, wenn diese in der Tiefe durch Lösung entfernt werden. Sie sind also etwas anderes, als die echten Dolinen des Karstes, und werden am besten nicht als solche bezeichnet.

Mit der grossen Ausdehnung des unterirdischen Karstphänomens wurde ich zum ersten Male näher im Gipsgebiete südlich des Harzes bekannt. Hier bildet der untere Gips des Zechsteins eine deutlich ausgeprägte, durch ihre weissen Felsen weithin leuchtende Schichtstufe. Dieser Glimt zieht sich mit Unterbrechungen aus der Gegend von Sangerhausen über Nordhausen bis nach Osterode. Ich habe ihn westlich von Nordhausen, in der Gegend von Ellrich, Walkenried und Neuhaus bis über Tettenborn hinaus näher untersucht. Dort, wo er nicht mit Wald bestanden ist, oder nicht in weissen Felsen abbricht, wie am Sachsenstein bei Walkenried, erscheint seine Oberfläche von der Entfernung gesehen höckerig und ist voller kleiner Vertiefungen, wie es z. B. der Kranichstein zwischen Walkenried und Tettenborn in Abb. 1 Taf. I zeigt. Die Gipsbrüche von Ellrich und Walkenried lassen erkennen, dass das Gestein des Glimtabfalls von zahlreichen geologischen Orgeln durchsetzt ist, die bei Walkenried mindestens 10 m Tiefe haben. Dicht nebeneinander geschart, wie Abb. 2 Taf. I erkennen lässt, reichen sie in den tieferen Hangpartien bis auf geringere Meereshöhe hinab als in den höheren. Davon konnte man sich 1919 bei Walkenried überzeugen. Hier war eine neue horizontale Steinbruchsohle in den Berg getrieben worden. Sie durchschneidet anfänglich sehr viele Orgeln, die vielfach miteinander verwachsen waren. Je weiter sie sich aber bergwärts erstreckte, desto seltener wurden die Orgeln, und schliesslich wurden nur Orgelspitzen durchschnitten. Fig. 1 unten ist ein Plan der Orgelquerschnitte auf dieser Sohle, darüber ein idealer Durchschnitt derselben anstatt ihrer genauen Wiedergabe, die wegen des Verfalls der Böschung nicht möglich ist. Die Orgeln sind mit gelbem, zähem Lehm erfüllt, der voller Zechsteindolomitstücke steckt. Dieser Inhalt wird entfernt, bevor der Gips gebrochen wird; an Stelle der Orgeln sieht man dann offene Schlote wie in Abb. 2 und dazwischen stehen manchmal nur noch schmale Schlotpfeiler. Abb. 3 Taf. II gibt ein abgedecktes Orgelfeld mit seinen Schlotpfeilern in den Steinbrüchen von Ellrich wieder. Es macht den Eindruck eines Stückes Karstoberfläche, zumal an den Spitzen der Schlotpfeiler karrenähnliche Formen auftreten, die eine grobe Kannelierung der obersten Orgelwände bewirken. Man sieht sie auf Abbildung 7. Feinere, ausserordentlich zierliche Miniaturkarren vom Typus der Karrenrinnen finden sich überdies auf allen freiliegenden Gipspartien und sind selbst im Bereiche der erwähnten Steinbruchsohle zur Entwicklung gekommen, die vor dem Kriege ange-

legt worden ist. Sie sind hier also im Laufe von fünf Jahren entstanden. Nach unten laufen die Orgeln in eine Kluft, also spitz zu. Nach oben werden sie breiter, benachbarte verwachsen miteinander, und der Ort ihres Auftretens wird dann am Hang durch eine der erwähnten Gruben gekennzeichnet.

An den Orgelwandungen ist der Gips angefressen und vielfach pulverig. Zweifellos ist er vom einsickernden Wasser angenagt worden. Die Orgeln sind Lösungsphänomene und haben nichts mit Riesentöpfen zu tun, was Rothpletz<sup>1</sup> irrigerweise für die des Pariser Beckens angenommen hat und selbst für die in der Umgebung von München



Figur 1. — Idealer Durchschnitt durch den Hang des Gipsglintes bei Walkenried, über einem Plane der Orgelquerschnitte längs SS.

behauptet.<sup>2</sup> Der Lösung des Gipses folgte die Erfüllung des Schlotes mit den von der Höhe am Gehänge herabkriechenden Lehm- und Zechsteinbruchstücken unmittelbar nach. Geologisch ist die Orgelbildung hier jüngsten Datums. Die Orgeln sind jünger als der Hang, den sie durchbohren, denn ihre Spitzen liegen (vergl. Figur 1) in einer dem Hang parallelen Fläche. Der Hang selbst ist jung; er liegt tief unter den Harzschottern, welche da und dort auf der Höhe auftreten und reicht bis zur Talsohle hinab, diese senkt sich bis unter die tiefste Schotterterrasse des Harzvorlandes. Man wird die Orgeln im Großen und Ganzen für postglazial ansehen dürfen.

<sup>1</sup> „Das Diluvium um Paris“. Denkschriften d. schweizer. Gesellsch. f. d. gesamt. Naturwissenschaften XXVIII 2. 1881, S. 43.

<sup>2</sup> „Die Osterseen“. Landeskundliche Forschungen d. geogr. Gesellsch. München. 24, 1917. S. 45. Mitteilungen d. geogr. Gesellsch. München XII. 2. 1917. S. 99 (143).

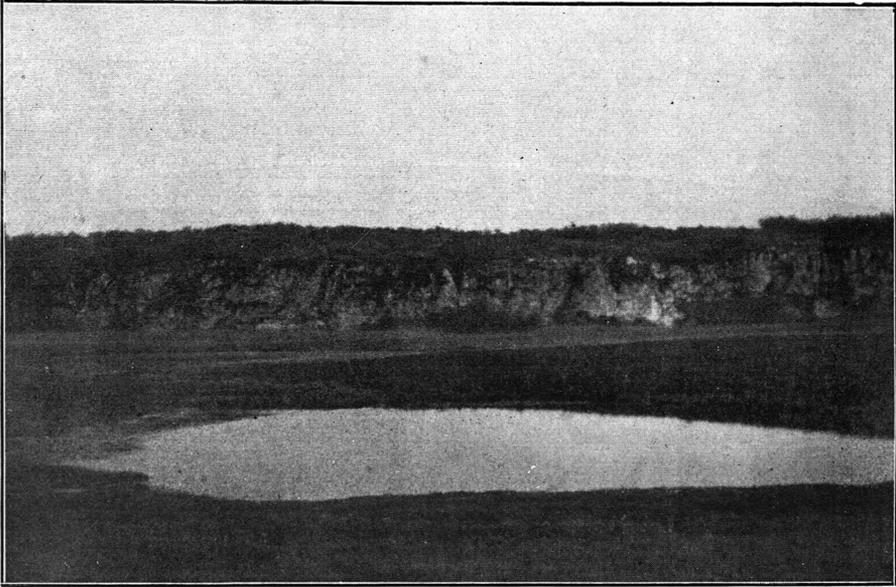


Abbildung 1. — Der Kranichstein bei Neuhof mit höckeriger Oberfläche.  
Erdfall im Vordergrund.

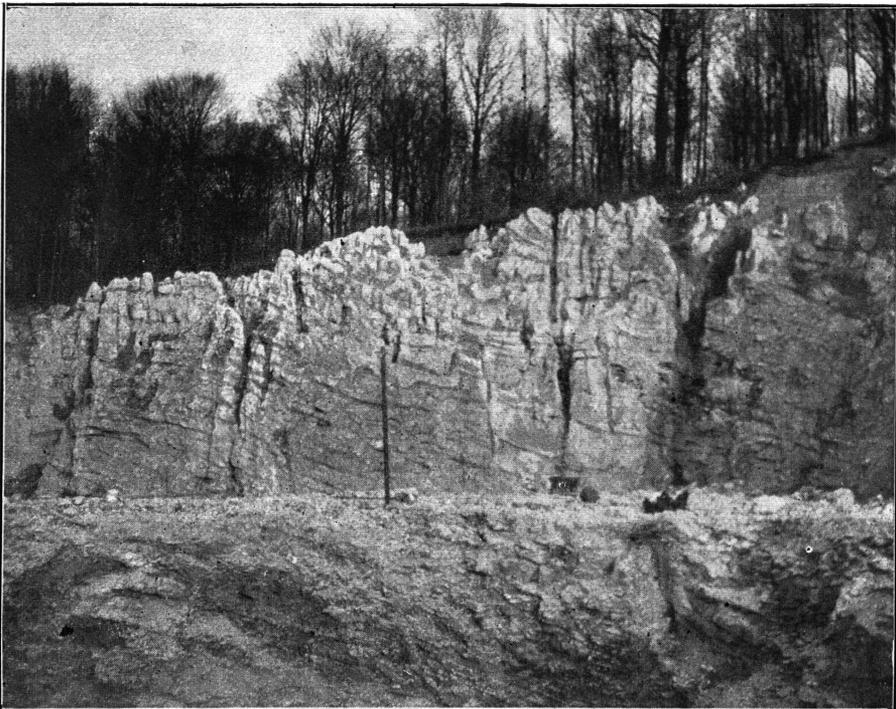


Abbildung 2. — Ausgeräumte geologische Orgeln im Gips von Walkenried.

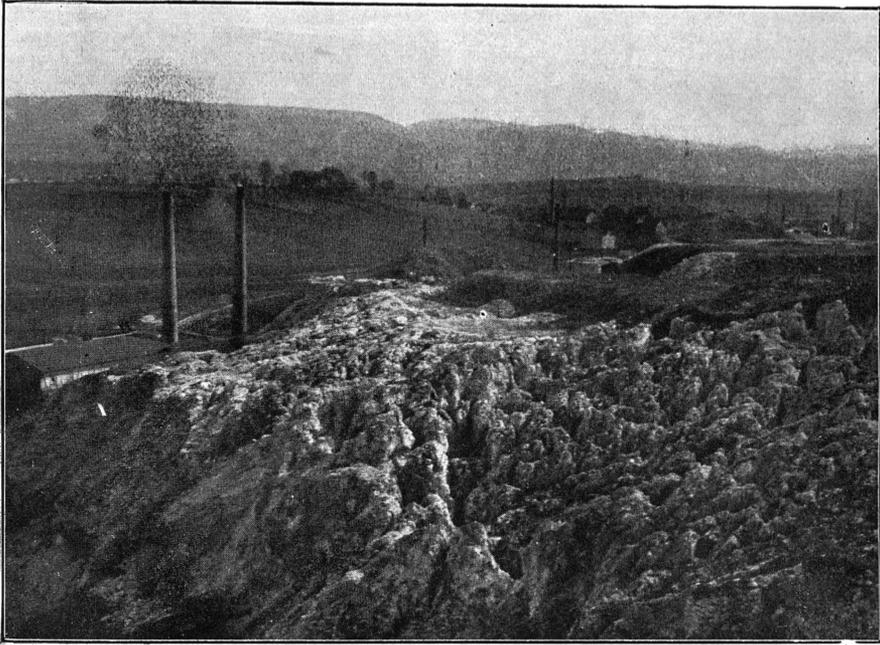


Abbildung 3. — Abgedecktes Orgelfeld bei Ellrich.

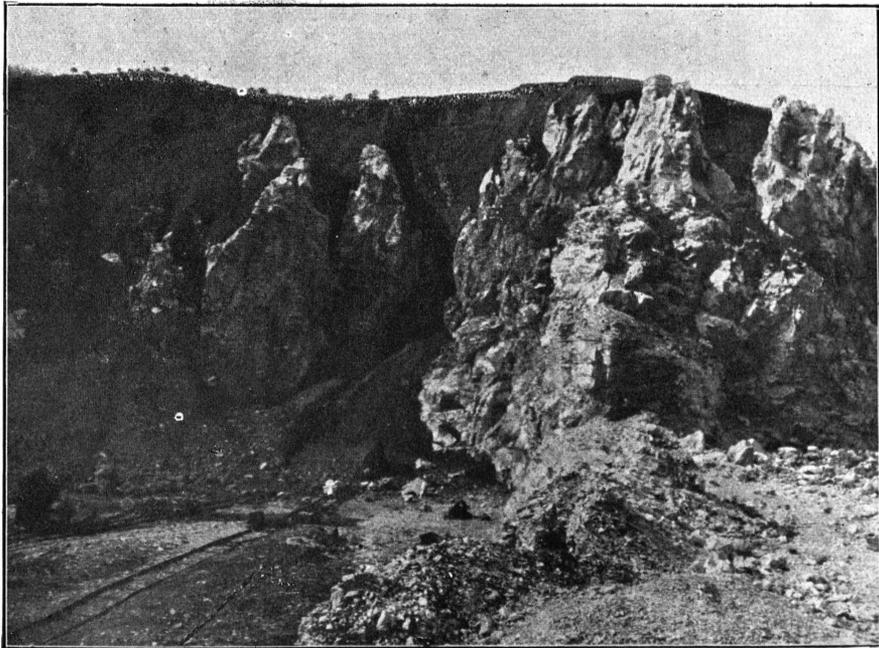


Abbildung 4. — Verwitterungssäcke im Gips von Ellrich.

Weiter bergwärts trifft man in den Steinbrüchen weniger schlanke, mit Lehm erfüllte Schlote als grosse Säcke, die meist mit einer Orgelspitze enden und wohl durch Verwachsen mehrerer Orgeln entstanden sind. Abb. 4 Taf. II zeigt die nach unten spitz zulaufenden Säcke in den Steinbrüchen von Ellrich, Abb. 5 Taf. III einen Sack mit mehreren Spitzen, ein euterförmiges Gebilde. Auch diese Säcke und Euter haben lehmige Erfüllung. Zechsteindolomitbruchstücke sind in ihnen häufiger als in den Orgeln, ja, bei Tettenborn gibt es Säcke von 20 m. Tiefe, die ganz mit Zechsteindolomit erfüllt sind; beim Einsinken in den Gips ist er in weitem Umfange in Trümmer gegangen. Diese letzteren Säcke sowie die hochgelegenen von Ellrich, Walkenried und Neuhof liegen nicht am Hange sondern auf der Höhe der Gipsstufe. Ihre Erfüllung ist nicht durch Gekriech erfolgt, sondern durch Material geschehen, welches einst den Gips zudeckte und in die Säcke und Euter herabgesunken ist. Dabei sind auch auf der Stufenhöhe — namentlich im Mehholze westlich Walkenried — flache, trichterförmige Gruben gebildet. Weiter nach Süden wird die Zechsteindolomitdecke auf dem Gips zusammenhängend und zeigt im allgemeinen die normalen Böschungsverhältnisse. Aber hie und da auftretende, flach tellerförmige Einsenkungen lassen mutmassen, dass auch hier unter dem Dolomit die Gipsoberfläche gelöst wird und das Hangende in die entstandenen Trichter einsackt. Dieses Karstphänomen der Höhen ist älter als die schlanken Orgeln des Stufenhangs. Ich habe in keiner Sackausfüllung Harzgerölle gefunden, die sonst über die Höhen ausgebreitet sind, und schliesse hieraus dass die Sackbildung vor Ablagerung der Höhenschotter begann und mindestens in ihren Anfängen bis in die Präglazialzeit hineinreichte. Zur Bildung oberflächlicher Vertiefungen kam es dabei nur dort, wo das hangende Gestein so wenig mächtig war, dass es beim Nachsinken den Sack nicht völlig zu füllen vermochte.

Es ist eine Gruppe einheitlicher Formen, die wir am Abfalle und auf der Höhe des Gipsglintes bei Ellrich, Walkenried und Neuhof treffen. Der Unterschied des Alters bedingt keine wesentliche Verschiedenheit der Erscheinung; sie sind insgesamt Korrosionsformen des Gipses. Aber morphologisch sind sie verschieden zu bewerten. Die jungen, schlanken Orgeln am Hange sind von der Hangfläche aus gebildet, sie sind Schlote, die fast ganz mit Verwitterungsgebilden zugeschwemmt sind, nur oben sind sie noch ein wenig offen und erscheinen hier als Grübchen zwischen den Höckern des Hanges. Sie gehören zum oberflächlichen, grösstenteils bedeckten Karstphänomen. Die älteren, breiten Säcke der Höhe sind unter Tag gebildet, man spürt sie auf der Oberfläche kaum. Sie gehören zum unterirdischen Karstphänomen. Dazwischen liegen Säcke und Euter am Boden von flachen, in den Gips eingesenkten, schüsselförmigen Vertiefungen. Man hat kein Bedenken, sie Dolinen zu nennen, aber ihre Ausfüllung mit

zahlreichen Brocken von Zechsteindolomit macht sicher, dass sie unter solchem gebildet worden sind. Sie gehören zum unterirdischen Karstphänomen, das hier zu Tage tritt und wahrscheinlich als oberflächliches Karstphänomen weiter gebildet wird. Es sind typische Nachsackungsdolinen. Man kann sich denken, dass bei fortgesetzter Entwicklung eines derartigen unterirdischen Karstphänomens schliesslich der Gips ganz verschwindet und der Dolomit unmittelbar auf den unteren Zechstein zu liegen kommt. Das sieht man in der Tat auf dem Gipsglinte nördlich von Ellrich am Himmelreiche. Es muss sich aber fragen, ob hier der Gips fehlt, weil er ganz ausgelaugt ist, oder weil er hier nicht zur Ablagerung gelangt ist. Angesichts seiner grossen Mächtigkeit beim Himmelreiche kommt mir letztere Möglichkeit nicht wahrscheinlich vor, denn sie würde ein sehr rasches Auskeilen erheischen.

Eine andere Gruppe von Trichterformen tritt am Fusse des Gipsglintes auf. Hier finden sich zahlreiche Erdfälle, welche die Züge der von Cvijić eingehend gewürdigten Schwemmlanddolinen tragen. In der flachen Tahlsole am Fusse des Kranichsteins erglänzt eine Anzahl von Tümpeln, von wassererfüllten Trichtern. Einen sehen wir im Vordergrunde von Abb. 1. Taf. I. Er gehört einem ganzen Schwarme an. Ein wahres Feld solcher Trichter erstreckt sich im Walde südlich von Nüxei. Es dehnt sich im Bereiche der Harzschotter, die die Steine aufgeschüttet hat, wo sie in das Gipsgebiet eintritt, bis wohin sie heute nur bei Hochwasser gelangt; bei Mittelwasser versiegt sie schon weiter oberhalb. Abb. 6. Taf. III zeigt einen Zwillingsrichter im Schwemmlande. Er ist regelmässig mit Wasser erfüllt, während benachbarte und, wie es scheint, kaum höher gelegene immer leer sind oder nur zeitweilig Wasser bergen, wie ein kleiner Zwillingsrichter dicht beim Forsthause Nüxei. Es handelt sich hier um ganz jugendliche Gebilde, eingesenkt in junge Harzschotter, die in der Nachbarschaft von älteren, höher gelegenen überragt werden. Der Gedanke liegt nahe, dass diese Gruppe von Erdfällen nichts anderes darstellt, als Nachsackungen über Trichtern, die sich auf der Oberfläche des liegenden Gipses in ähnlicher Weise wie die Auslaugungssäcke auf der Höhe der Stufe bilden. Aber die Formen sind andere. Scharf heben sich die Ränder der Trichter, wie Abb. 6. Taf. III deutlich erkennen lässt, von der Umgebung ab, und verflössen sich nicht so in dieselbe, wie die der Nachsackungsdolinen auf der Höhe des Glintes. Man erkennt, dass kein allmähliches Einsacken, sondern jähes Einsinken des Trichters stattgefunden hat. Es handelt sich wirklich um Erdfälle, wie sie über Hohlräumen in der Tiefe entstehen, deren Dach einbricht.

Höhlen gibt es in unserem Gebiete ganz ebenso wie in jeder anderen Karstlandschaft. Haben wir es doch mit einer ganzen Anzahl von versiegenden Bächen zu tun, welche nach kurzem unterirdischen Laufe wieder an die Oberfläche treten. Nur ein Beispiel sei genannt.

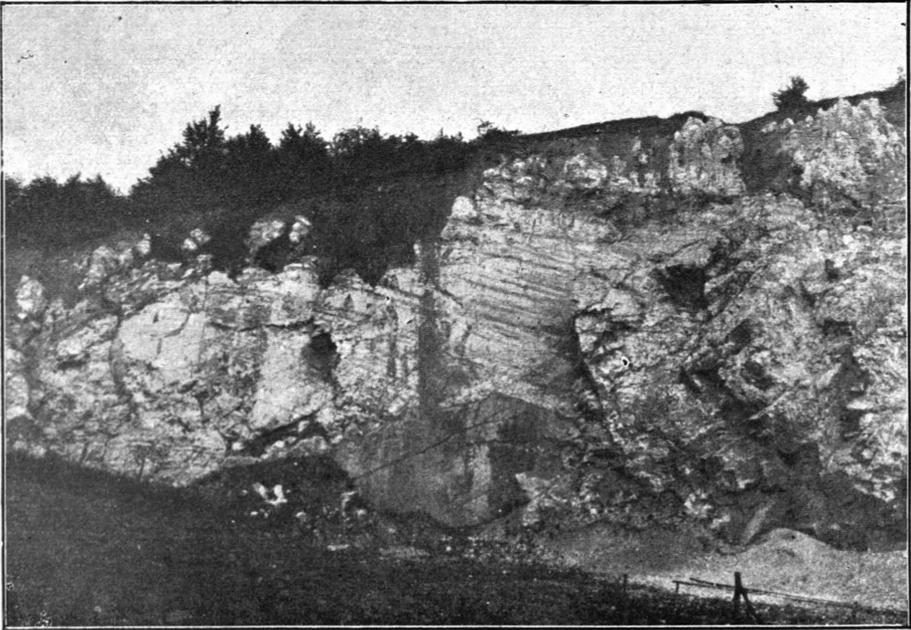


Abbildung 5. — Euter im Gips bei Neuhof.



Abbildung 6. — Doppeltrichter von Erdfällen im Walde bei Nüxei.

Zwischen Walkenried und Ellrich liegen der Itel- und Pontelteich in zwei kerbenartigen Nischen des Gipsglintes, welche sich einander mit west-östlichem Streichen entgegenstrecken. Zwischen beiden bildet der Glint im Himmelreich einen Vorsprung nach Norden. Unter diesem Vorsprung hindurch fliesst der Abfluss des Itelteiches zum Pontelteiche. Schwinde und Quelltrichter sind deutlich zu erkennen. Über dem unterirdischen Wasserlaufe erstreckt sich ähnlich wie die Adelsberger Grotte über der verschwundenen Poik eine grosse Höhle, die beim Bau des Eisenbahntunnels unter dem Himmelreich angetroffen wurde. Durch sie führt der Tunnel zwischen beiden Teichen hindurch. Sein Gewölbe bildet gleichsam ein Rohr durch die Höhle, in die man von der Bahn aus leicht gelangen kann. Wir haben hier den typischen Höhlenstrang eines Karstflusses vor uns. Ähnliche Höhlenstränge dürften an den Schwinden unweit des Bahnhofs Tettenborn namentlich am Trogstein beginnen.

Neben diesen Höhlensträngen von kleinen Karstflüssen gibt es in unserem Gebiete auch die zu Höhlen ausgearbeiteten Bahnen des Karstwassers. An einer Stelle sind sie blossgelegt: Vor dem Kranichstein erhebt sich aus der Niederung zwischen dem Kranichteiche und seinem Nachbarn der kleine Gipsfels des Priestersteins aus dem mit Erdfällen erfüllten Talgrunde. Seine obere Partie wird von echten Schloten durchsetzt. Die Schlotpfeiler dazwischen haben, wie Abb. 7. Taf. IV erkennen lässt, karrige Formen. In der halben Höhe des etwa 15 m hohen Felsens läuft ein Horizont von kleinen wagerechten Höhlen, an welchem die Schlote enden. Ein tieferer Horizont solcher Höhlen von etwas grösseren Maassen — sie überschreiten 1 m Höhe — setzt sich durch den Sockel des Priestersteins. In einem stand im Frühjahr 1919 noch Wasser im Niveau des benachbarten Teiches. Dieser Zug horizontaler Höhlen erscheint als Abfuhrbahn des in anderen Schloten eingesickerten Tageswassers. Er ist das Bett des Karstwassers. Ich kenne in der Gegend keine zweite Stelle, welche Ähnliches zeigte. Keiner der Gipsbrüche im Glinte reicht bis an dessen Fuss herab. Aber zahlreiche Schlundlöcher finden sich hier. Ein solches liegt am Kranichteiche unweit des Priestersteins, mehrere befinden sich am Fusse des Sachsensteins, ein sehr auffälliges an dem des Roseberges, südlich Walkenried. Überall bietet sich am Fusse des Glint dem Wasser die Möglichkeit in den Gips einzudringen. Nahe seiner Sohle muss sich ein weit verzweigtes Höhlensystem erstrecken. In der Tat wird bei der leichten Löslichkeit des Gipses jede von Wasser benutzte Bahn bald ausgeweitet und wird viel stattlichere Maasse erlangen als die Spalten und Klüfte, in welchen sich das Karstwasser des Kalksteins bewegt.

Man kennt im Umkreise des Harzes bereits seit langem ein derartiges Höhlensystem, in dem sich das Karstwasser des Gipses befindet. Es ist durch den Mansfelder Bergbau erschlossen. Dies hat

schon in früherer Zeit mehr oder minder grosse, zusammenhängende, meist mit Wasser erfüllte Höhlen angetroffen, die der Bergmann „Kalkschlotten“ genannt hat.<sup>1</sup> Der Name „Schlotten“ ist ihnen geblieben. Jeder Schacht, welcher in den letzten 50 Jahren zum Tiefbau des Kupferschiefers herabgetäuft worden ist, ist auf solche Schlotten gestossen, und beim Auspumpen des Wassers hat sich gezeigt, dass hier ein allgemeiner Zusammenhang des Wassers in der Tiefe existiert, sodass beispielsweise der Salzige See durch Auspumpen ziemlich weit entfernter Schlotten seit 1892 zum Entleeren gebracht worden ist. Die Schlotten halten sich jeweils an der Sohle des Gipses und zwar des unteren gegen den Zechstein hin, des oberen gegen den sogenannten Stinkstein. Sie erstrecken sich vornehmlich in der Fallrichtung beider Gesteine. Ausgänge gegen Tag sind so gut wie nicht bekannt. Plümicke erwähnt lediglich,<sup>2</sup> dass sie gegen das Ausgehende in mehrere Arme auslaufen oder durch senkrechte, häufig mit rotem Lehm erfüllte Schlotte nach oben sich öffnen, woher sie wohl den Namen „Schlotten“ erhalten haben. Doch sind mir keine grösseren Höhleneingänge bekannt, in die sich Flüsse hineinstürzten. Wir haben von den Schlotten eine alte vortreffliche Beschreibung von Johann Carl Freiesleben.<sup>3</sup> Er gibt namentlich von den Kalkschlotten hinter Wimmelburg eine eingehende, durch Grundriss und Aufriss erläuterte Darstellung. Diese Schlotten waren damals eben trockengelegt und in einer Länge von 600 m in der oberen, von 140—160 m in der unteren Abteilung zugänglich gemacht worden, die einen rund 80, die anderen rund 100 m unter Tage. Nach Süden zu lösen sie sich in ein Labyrinth von Gängen auf, die nur durch einzelne Pfeiler von einander getrennt werden. Nach Norden laufen sie mehr als ein Gang, der sich in kuppeln gewöhnlich 4—10 m, einmal 24 m hoch erhebt. Er führt zum tiefer gelegenen Stockwerk; hier steht Wasser, dessen Spiegel die Bergleute „Wog“ nennen. Hier wird das Karstwasser sichtbar. Anschaulich beschreibt Freiesleben, wie die Höhlungen durch Lösung des Gipses erweitert worden sind. Wo dieser rein ist, sind die Schlottenwandungen vom reinsten Alabaster gebildet und hier hat die Lösung die weitesten Fortschritte gemacht. Wo er unrein ist, ragen die eingeschalteten Stinksteinschichten aus der Gipsoberfläche hinaus. Ja, sogar freischwebend, „wir trafen in den ersten Tagen der Zugänglichkeit solcher Schlotten noch häufig ganz dünne, spinnwebenähnlich freischwebende Lagen von Stinksteinen, die nur der leisesten Berüh-

<sup>1</sup> Die Mansfeldsche Kupferschiefer bauende Gewerkschaft. Festschrift z. 10. disch. Bergmannstag, 1907, S. 83.

<sup>2</sup> „Darstellung der Lagerungsverhältnisse des Kupferschieferflötzes und der Zechsteinformation in der Grafschaft Mansfeld“. Karsten u. Dechen, Archiv f. Mineralogie XVIII, 1844 S. 139 (161).

<sup>3</sup> Geognostische Arbeiten Bd. 2. (Geognost. Beitr. z. Kenntn. d. Kupferschiefergebietes). Freiberg, 1809, S. 160.

zung, nur eines Hauches bedurften, um in Asche zu zerfallen“. Der Unterschied von den Schlauchhöhlen des Karstes liegt auf der Hand. Es fehlen die erodierenden Wirkungen des rasch fließenden Wassers. Wir treffen lediglich auf Korrosionserscheinungen in ruhigem Wasser, welches manchmal eine nahezu konzentrierte Gipslösung ist, da es stellenweise Gipskrystalle an den Wandungen der Schlotten ausgeschieden hat. Es rührt im wesentlichen von den in den Gips eingesickerten Wässern her. Daher fehlen Höhlenportale und sind die Schlotten auch heute noch nur durch bergbauliche Anlagen, durch Schächte und Stollen erreichbar. In ihnen findet sich fast bewegungsloses Karstwasser, das den Gips bis zur Sättigung löst und glockenartige<sup>1</sup> Räume schafft. Die Barbarossa-Höhle im Kyffhäuser gehört zu diesen Schlotten. Auch ihr fehlt ein natürlicher Eingang. Auch sie ist durch Bergbau erschlossen und seither durch einen Stollen künstlich zugänglich gemacht worden. Auch in ihr finden sich nahezu stehende Wasseransammlungen. Doch fehlen hier die Gipskrystalle an den Wänden, welche mehrere Kammern der Wimmelburger Schlotten auszeichnen. Der Anhydrit des Höhlendaches blättert sich vielmehr vom Höhlendache, ganz unabhängig von der Schichtung, in dünnen Lagen ab, die wie Felle herabhängen.<sup>2</sup>

Längst ist die enge Beziehung zwischen den Gipschlotten und den Erdfällen bekannt. Freiesleben bezeichnet diese als die unmittelbaren Begleiter von jenen. In der südlichen Partie der Wimmelburger Schlotten ist der hangende Stinkstein vielfach in die Höhle eingebrochen, und Erdfälle finden sich vielfach in der nächsten Nachbarschaft. Sie treten namentlich dann ein, wenn die Schlotten entleert werden, und der Druck des in ihnen befindlichen Wassers gegen das Höhlendach aufhört. So sind zahlreiche Erdfälle im Mansfeldischen in letzter Zeit erfolgt, als tiefere Schlotten ausgepumpt wurden. Handelt es sich um einen grossen einstürzenden Höhlenraum, so pflanzt sich der Einbruch bis zu Tage fort und macht sich hier im hangenden Gestein geltend, in Zechsteinletten oder Buntsandstein, die selbst nicht ein Karstphänomen zu erzeugen vermögen. Die meisten Erdfälle im Umkreise des Harzes sind auf diese Weise entstanden. Sie kommen auch im Gebiete von Walkenried vor: Ein Schwarm von ihnen zieht sich im Bereiche des Buntsandsteins südlich Liebenrode; Opfersee, Wiedertäufeloch, Milchsee und Röstesee erfüllen rundliche Trichter. Das Grubenloch ist ein Zwillingsrichter. An den Wandungen steht Buntsandstein an. Doch fand sich auch an einer Stelle am Grubensee

<sup>1</sup> Vergl. die guten Beschreibungen von G. Nauwerck jun.: Beitrag zur Kenntnis der Gypse mit ihren Schlotten und Höhlungen, sowie Erdfällen im Hangenden des Kupferschiefers, am Harze und im Mansfeldischen sowie ihrer Entstehungsweise. Der Bergwerksfreund, NF. I, 2 Eisleben 1860, S. 111.

<sup>2</sup> Spangenberg. Die Barbarossahöhle. Leipzig. o. J. — A. Berg. Höhlen und andere Karsterscheinungen in unseren Gipsbergen. Heimatkalender f. Kyffhäuser u. Hainleite. I. 1921 S. 53.

Gips; dieser steht also hier in geringer Tiefe an. Weiter nördlich tritt der jüngere Gips zwischen Clettenberg und Obersachswerfen zu Tage, und hier findet sich ein Trichterfeld — vgl. Abb. 8. Taf. IV. u. Taf. V. — von ähnlicher Schönheit wie das von E. Kayser<sup>1</sup> abgebildete von Osterode a/H. Doch muss man sich fragen, ob diese Trichter nicht teilweise wenigstens auch als Erdfälle entstanden sind, denn rote Letten treten bis dicht an sie heran, und einige von ihnen öffnen sich wie Erdfälle gegen die Talsohle des Sachsengrabens.<sup>2</sup>

Wie weit sich die Schlotten des Mansfeldischen nach abwärts erstrecken, ist noch nicht festgestellt. Doch können wir mit Bestimmtheit aussprechen, dass sie dort aussetzen müssen, wo sich über dem Gipse das Steinsalz noch erhalten hat. Das ist im Innern der Mansfelder Mulde der Fall, während es an deren Rändern unter Hinterlassung von Asche, Rauchwacke oder Rohstein weggelöst worden ist. Es reichen unsere Schlotten also höchstens bis zum sogenannten Salzspiegel herab, in dessen Nähe der Gips in einzelne „Stöcke“ aufgelöst ist.

Der Salzspiegel ist das Niveau, bis zu welchem die Salzmassen der Tiefe sich erheben. Er liegt in unserem humiden Klima bei mässig bewegter Oberfläche durchschnittlich 300 m unter Tage, ausnahmsweise steht er höher an, selten einmal liegt er noch tiefer. Er gibt uns die Tiefe an, bis zu welcher herab die Tageswässer das Salz gelöst haben. Dazu ist nicht erforderlich, dass sie bis zu diesen Tiefen hinabsteigen und sich aus ihnen wieder emporheben. Die Lösung kann auch durch stagnierende Wässer erfolgen. Dieses wird in Berührung mit dem Salze eine gesättigte Lösung, von welcher aus sich das Salz durch Diffusion nach oben verbreitet. Infolgedessen erscheint das Wasser in den Schlotten vielfach salzig, auch an Stellen, wo das hangende Salz längst weggelöst ist. Dieser Salzgehalt hat Werner zu der Vorstellung geführt, dass die Schlotten ursprünglich Salzstöcke seien, die im Gipse gelegen gewesen wären. Man könnte sich so allenfalls die Entstehung einer einzelnen Schlottenkammer, nicht aber die Bildung eines zusammenhängenden Schlottensystems erklären. Dieses erscheint uns vielmehr in seiner Gesamtheit als das Werk der Lösung des Gipses durch sein Karstwasser,

<sup>1</sup> Lehrbuch der Geologie. 4. Aufl. 1912. I, S. 334. — Der Herr Präsident der Reichsaufnahme, Exz. Weidner, hat den südlichen Teil des Dolinenfeldes von Clettenberg stereophotogrammetrisch aufnehmen lassen, und mit seiner gütigen Erlaubnis bin ich in der Lage, auf Tafel V danach die erste genaue Karte desselben zu veröffentlichen, wofür ich ihm auch hier danken möchte.

<sup>2</sup> Neben den Erdfällen haben wir es im Gipsgebiete mit ausgedehnten regionalen Senkungen zu tun. Solche wurden in der Gegend von Eisleben und des Salzigen Sees im Ausmaasse von 672 mm bez. 426 mm zwischen 1884 und 1911/12 und seither bis 1922 im Ausmaasse von 80 mm und 182 mm durch Wiederholung des Nivellements der preussischen Landesaufnahme festgestellt. Vgl. Jahresbericht d. Reichsamts für Landesaufnahme. 1921/22. S. 10. (Anmerkung während des Druckes.)

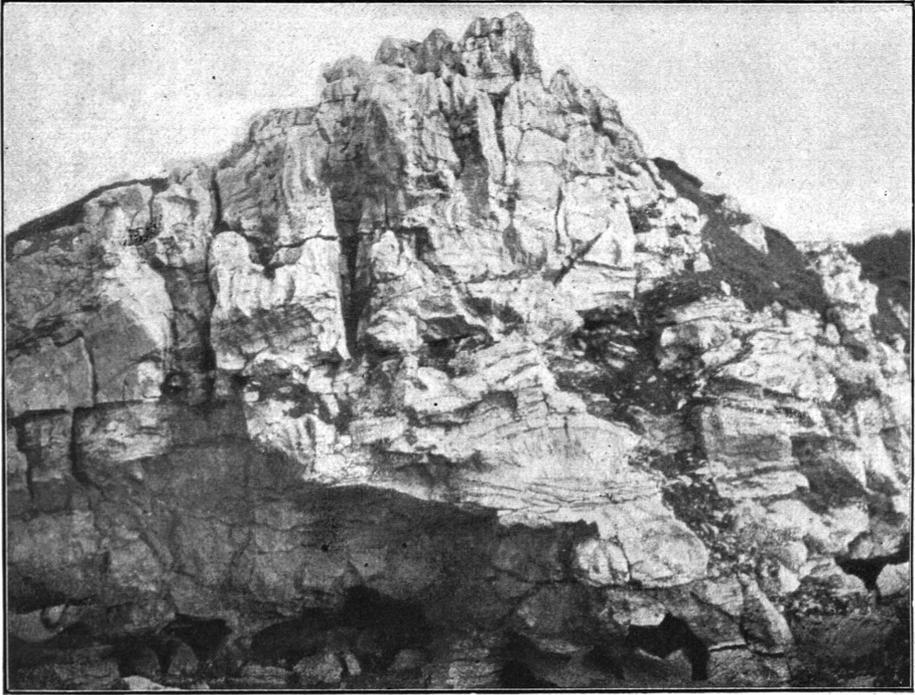
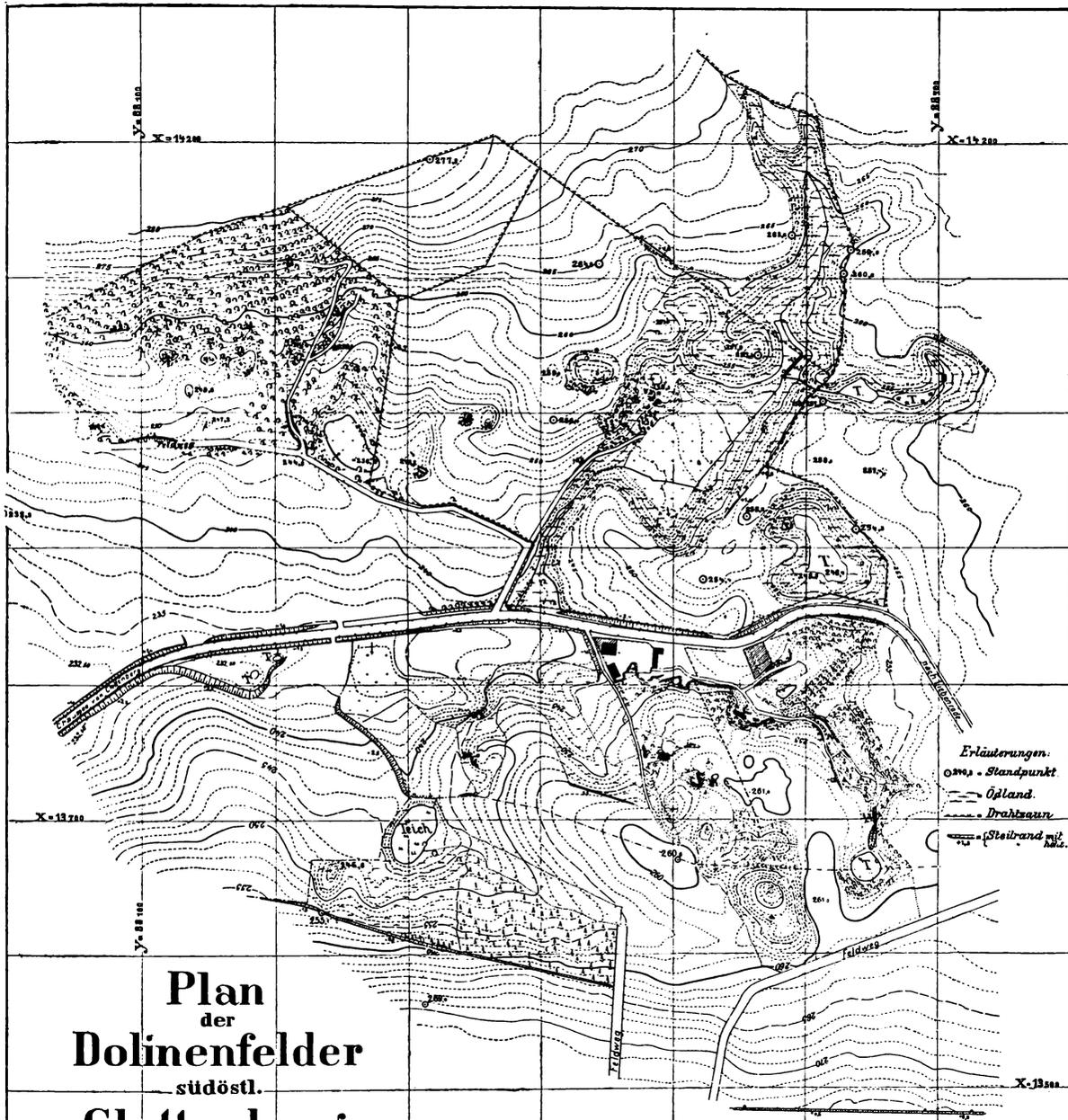


Abbildung 7. — Der Priesterstein bei NeuhoF mit offenen senkrechten Schloten, die auf einen oberen Horizont kleiner Höhlen herabführen. Unten ein blossgelegter Zug horizontaler Höhlen des Karstwassers. Auf den Pfeilern zwischen den Schloten Karren.



Abbildung 8. — Dolinenfeld von Clettenberg.



**Plan**  
der  
**Dolinenfelder**  
südöstl.  
**Clettenberg.**

*Photogrammetrische Ableitung*  
des  
*Reichsamts für Landesaufnahme.*  
1923.

Maßstab 1:2000.



*Koordinaten nach Gauß-Krüger*  
*Höhen über N.N.*  
*Photographisch verkleinert auf 1:5000*

- Erläuterungen:*  
 ○ 290.0 - Standpunkt  
 --- Ötland  
 --- Drahtseilbahn  
 --- (Steilwand mit  
 1:100)

*Stereophotogrammetrisch aufgenommen*  
und ausgemessen  
a, durch *Photogrammeter Wiegatz.*  
b, " " " *Radicke.*



das über seiner Sohle steht. Soolquellen bekunden, dass der Lösungsvorgang des Steinsalzes in der Tiefe noch fortschreitet; der Salzspiegel senkt sich infolgedessen fortwährend. Dies geschieht indes nur sehr langsam. Die Oberfläche, unter welcher die Zechsteinsalze Mitteldeutschlands auftreten, ist weithin die oligozäne Rumpffläche, sodass die gesamte Senkung des Salzspiegels seit der Oligozänepoche nur 300 m ausmacht.

Wenn in der Tiefe eine sehr langsame Fortführung von Salzen stattfindet, kann ein ganz allmähliches Nachsacken der gesamten Oberfläche erfolgen. Dieses ist südlich von Harz so gleichmässig geschehen, dass ältere Geologen dessen gar nicht gewahr geworden sind-

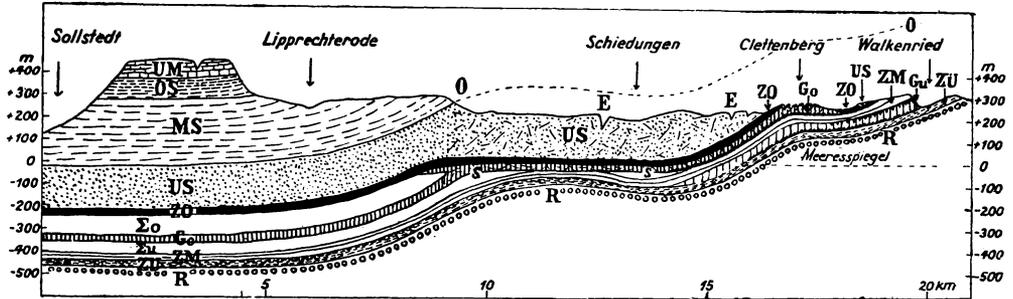


Fig. 2. — Profil durch den Südrand des Harzes zwischen den Bleicheroder Bergen und Walkenried.

UM Unterer Muschelkalk; OS Oberer —, MS Mittlerer —, US Unterer Buntsandstein; ZO Oberer Zechstein;  $\Sigma_0$  Oberes Salz;  $G_0$  Oberer Gyps;  $\Sigma_u$  Unteres Salz; ZM Mittlerer Zechstein;  $G_u$  Unterer Gyps; ZU Unterer Zechstein; R Rotliegendes; OO Ursprüngliche Grenze zwischen Mittlerem und Unterem Buntsandstein über dem nachgesackten Gebirge. SS Salzspiegel; E Erdfälle.

sie haben anstehendes Gestein dort kartiert, wo der Buntsandstein über dem schwindenden Salze gleichsam eingeklappt ist, wobei er natürlich vielfach in Brüche ging. Das gilt fast vom ganzen Buntsandsteingebiet zwischen Harz und Thüringer Muschelkalkplatte. Wir haben es mit einem Nachsackungsphänomen grossartiger Art zu tun, das nur durch seine Dimensionen, nicht der Art seiner Entstehung nach verschieden ist von jenen Nachsackungen, die wir über unterirdischen Karsttrichtern treffen. Wenn wir aber jene mit einem unterirdischen Karstphänomen, nämlich der Lösung von Gestein, in Verbindung bringen, so müssen wir Gleiches auch mit dem erwähnten Buntsandsteingebiete tun. Wir stellen dieses Nachsackungsphänomen um Schiedungen in Fig. 2 dar. SS ist der Salzspiegel, OO die ursprüngliche Schichtgrenze, zwischen mittlerem und unterem Buntsandstein, darunter liegt das über dem ausgelaugten Salze nachgesackte Gebirge. Schematisch sind Erdfälle EE, Säcke und die Schlotten dargestellt.

Sein Formenschatz ist freilich ein wesentlich anderer. So langsam ist der Buntsandstein über dem in Lösung gehenden Salze einge-

sunken, dass er auf weite Strecken hin die charakteristischen Oberflächenformen einer sanft geböschten Tallandschaft gewahrt hat. Anders allerdings dort, wo das nachsackende Land bis unter das Niveau einer Schwelle herabsank. Dann wurde es verschüttet, und breite Auslaugungstalfflächen sind entstanden. Die Goldene Aue ist ein Beispiel einer solchen.<sup>1</sup> Diese Auslaugungstalungen stehen vielfach mit der Tektonik des Landes in enger Beziehung. Sie stellen sich namentlich dort ein, wo das Salz bis über die Höhe des Salzspiegels aufgebogen ist. Wir erhalten dann stumpfende Antiklinaltäler, wie das der Helder bei Heldringen. Ja, am Nordwestende des Thüringer Waldes sehen wir, wie dieser im Bereiche der Salzlösungen sich tektonisch in einer Niederung bei Gerstungen fortsetzt. Auch manches sogenannte Aufbruchbecken, wie das von Pyrmont, erklärt sich ungezwungen als Auslaugungsbecken.

Aber auch diese recht charakteristischen Oberflächenformen nachgesackter Gebiete haben mit denen des Karstes keinerlei Ähnlichkeit. Das kommt daher, dass der Salzspiegel im Gegensatz zu den oberflächlichen oder unterirdischen Karsterscheinungen, die wir bisher kennen gelernt haben, eine ziemlich ebene Fläche ist. Erst kürzlich hat Fulda, dem wir die Aufhellung des Nachsackungsphänomens in der Umgebung des Kyffhäusers verdanken<sup>2</sup>, darauf hingewiesen, dass der Salzspiegel eine von der Horizontalen nicht erheblich abweichende Fläche ist. Gelegentlich kommen auf dem Salzspiegel allerdings auch Buckel vor; es sind Abfälle nach verschiedenen Richtungen hin festgestellt worden, ja, einmal gibt es sogar einen wahren Salzhang.<sup>3</sup> Aber eine solche unebene Oberfläche, wie sie das oberflächliche und unterirdische Karstphänomen auf Kalk und Gips zeigen, weist der Salzspiegel nirgend auf. Die Salzlösung kann daher kein so unregelmäßiges Relief zeitigen wie die Lösung von Gips oder Kalkstein, und wenn wir im Gebiete der grossen Nachsackungen zwischen Harz und Thüringer Muschelkalkplatte zahllose Erdfälle finden, so hat dies nichts mit der Lösung des Salzes in der Tiefe, sondern mit jener des Gipses zu tun.

Ein zweites Gebiet besonders grossartiger Entwicklung des verdeckten Karstphänomens auf deutschem Boden ist die Fränkische Alb. Der sie zusammensetzende weisse Jura trifft auf ihrer Höhe keineswegs zusammenhängend an die Oberfläche. Diese ist vielmehr von einer eigentümlichen Überdeckung eingenommen, aus welcher, häufiger

<sup>1</sup> Gisela Frey. Das südliche Harzvorland. Festband Albrecht Penck. Bibliothek geographischer Handbücher. 1918. S. 135.

<sup>2</sup> „Die Oberflächengestaltung in der Umgebung des Kyffhäusers als Folge der Auslaugung des Zechsteinsalzes“. Zeitschr. f. prakt. Geologie, 1909, S. 25.

<sup>3</sup> „Salzspiegel und Salzhang“. Zeitschr. d. Dtsch. Geolog. Gesellsch. LXXV, 1923, Monatsber. S. 10.

nur in einzelnen Kuppen, seltener in grösseren Partien, der Kalk aufragt. Die Überdeckung ist weithin lehmiger Natur, und ich bin früher der Meinung gewesen, dass dieser Lehm ein Lösungsrückstand des Kalkes sei und dass es sich deswegen um ein altes Karstgebiet handle.<sup>1</sup> Aber ein grosser Teil der Albüberdeckung besteht aus weissem, scharfem Quarzsande, der nie bei Verwitterung des Kalkes zurückbleiben konnte. Er ist vielmehr der Überrest einer früher ausgedehnten Formation, welche über die ganze Fränkische Alb gebreitet gewesen ist und welche heute noch in der Gegend von Hollfeld, im Veldensteiner Forst beiderseits des Pegnitztales, sowie zwischen Solnhofen, Eichstätt und Neuburg a. D. ansehnliche Flächen einnimmt. Diese Sandvorkommnisse gehören nachweislich dem Kreidesysteme an.

Es ist für die Auffassung dieser sandigen Albüberdeckung nicht von Vorteil gewesen, dass G ü m b e l in der vierten Abteilung seiner grossen Geognostischen Karte des Königreichs Bayern die von ihm sorgfältig verzeichnete sandige Albüberdeckung von dem von ihm bereits als kretazeisch erkannten Veldensteiner Sandstein<sup>2</sup> der Gegend von Hollfeld<sup>3</sup> und des Veldensteiner Forstes abtrennte und allerdings unter Vorbehalten zum Tertiär stellte. Wanderungen in der Gegend zwischen Pegnitz, Egloffstein und Graefenberg haben mich überzeugt, dass die hier verzeichnete sandige Albüberdeckung sich in nichts vom Veldensteiner Sandstein unterscheidet. Sie bildet lediglich isolierte Vorkommnisse des letzteren, Auslieger der früher zusammenhängend gewesenen Decke. Diese isolierten Vorkommnisse erfüllen bald grössere, bald kleinere Nester zwischen zum Teil recht auffälligen Aufragungen des Dolomits. Gleichwohl beteiligt sich dieser nirgend an der Zusammensetzung der Sande. Nicht ein Bröckchen ist eingeschwemmt, was doch der Fall sein müsste, wenn zur Zeit ihrer Ablagerung die sehr unruhige Dolomitoberfläche schon vorhanden gewesen wäre. Ja, dicht am Fusse von Dolomitauftragungen, wie z. B. dem südlich des Hühnersteins (südwestlich Betzenstein), findet sich nicht ein Dolomitstückchen in den erschlossenen Sanden. Hie und da kommen im Sande unregelmässig begrenzte quarzitische Partien vor, durch deren örtliche Verfestigung entstanden. Derartige Knollensteine, im Bereiche der Alb „Kalminzer“ genannt, sind weithin über die Alb gestreut und finden sich auch an Stellen, wo die Sande fehlen, namentlich auf den Höhen. Beispielsweise lagern sie auf den Höhen östlich Hilpoltstein und weisen hier wie westlich Egloffstein (bei Ortspitz) daraufhin, dass auch hier

<sup>1</sup> Über das Karstphänomen. Vorträge des Vereins z. Verbreitg. natw. Kenntn., Wien, XLIV. 1904, S. 1 (20).

<sup>2</sup> Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb. Kassel 1891, S. 426. Geologie von Bayern. II. Kassel 1894, S. 868.

<sup>3</sup> K r u m b e c k wies hier glaukonitischen Sandstein nach, den er für marines Zenoman hält. Beiträge zur Geologie von Nordbayern III. Marines Zenoman auf dem nördlichen Frankenjura bei Hollfeld. Sitzungsber. d. phys. med. Societät Erlangen XLVIII/XLIX. 1916/17, S. 345.

die Sandbedeckung eine allgemeine gewesen ist, und bis auf die grossen Quarzite abgetragen ist. Die Schichtung der Sande ist meist undeutlich. Vielfach sind ihnen tonige Lager eingebettet, weisse kaolinartige, aber auch grüne und braune. In den untersten Partien finden sich öfters rote Tone, die mit Sandkörnern gesprenkelt sind. Hie und da kommen auch Quarzgerölle von Taubeneigrösse vor. Die tonigen Lager haben durchweg unregelmässige Schichtung, sind gebogen und gestaucht. Nicht selten sind sie von Harnischen durchsetzt. Alles dies weist darauf hin, dass sie nach ihrer Ablagerung Schichtenstörungen ausgesetzt gewesen sind, von denen man im umgebenden Dolomite nichts spürt. Sie sind in denselben *ingesackt*, als er unter ihnen gelöst wurde. Bereits Köhne hat von einem unterirdischen Karstphänomen auf der nördlichen Fränkischen Alb gesprochen,<sup>1</sup> nachdem er früher gezeigt hatte, dass für die Lagerung der Sande die allmähliche Entziehung der Unterlage durch Auflösung eine grosse Rolle spielt.<sup>2</sup>

Dass dem so ist, drängt sich auch in der Gegend zwischen Solnhofen und Neuburg a. D. auf. Scheid hat erkannt, dass die hier von Gumbel angegebene sandige Albüberdeckung dem Kreidesysteme angehört, das sich diskordant über den weissen Jura breitet und vom Frankendolomit des Kimmeridge bis zum obersten Portland reicht.<sup>3</sup> Dabei senkt sich die Ablagerung von etwa 550 m Höhe in der Nähe der Altmühl auf rund 450 m Höhe in der Nähe der Donau hinab. Aber an einzelnen Stellen reichen unsere Sande viel tiefer als sonst und sind in ihre Unterlage in grossen Säcken eingesenkt. Längst schon ist die sandige Ausfüllung einzelner Schlote in den Solnhofner Steinbrüchen bekannt. Bei Wildbad zwischen Mörsheim und Wellheim ist Sand mit stellenweise schräger Schichtung in den Frankendolomit eingesenkt. Viel tiefer reichen zwei Säcke am Westhange des Wellheimer Trockentales bei Wellheim, und einen treffen wir bei Hütting. Es kann sich hier nicht um herabgerutschte Massen an den Talgehängen handeln. Bei Hütting liegt ein typischer Sack vor, der bis 430 m herabreicht, also bis 25 m über die Talsohle, während in der Nachbarschaft auf der Höhe die Quarzsande in rund 500 m Höhe auftreten. Bei rund 70 m Tiefe ist der Sack nur 20 m breit und wird im Süden von einer steilen Dolomitwand begrenzt. Gleichwohl gehen Dolomittrümmer in die Zusammensetzung des Sandes nicht ein. Es ist ein scharfer weisser Quarzsand, stellenweise wie jener der nördlichen Alb zu Knollensteinen verbacken. Solche treten in der Nach-

<sup>1</sup> Notizen über die Albüberdeckung im nördlichen Frankenjura. Zeitschr. d. Dtsch. Geolog. Ges. LIX. 1907, S. 84.

<sup>2</sup> Vorstudien zu einer neueren Untersuchung der Albüberdeckung im Frankenjura. Sitzber. d. phys. med. Sozietät, Erlangen XXXVII. 1905, S. 321 (340).

<sup>3</sup> Die Geologie der fränkischen Alb zwischen Eichstätt und Neuburg a. D. 2. Teil. Geognost. Jahreshfte, München XXVIII, 1915, S. 1 (29).

barschaft auf der Hochfläche in 500—550 m Höhe auf. Die Schichtung des Sandes ist wie in den Säcken der nördlichen Alb verwischt. Der Dolomit am unteren Ende des Sackes ist angefressen, mehlig und in Blöcke aufgelöst. In den Sanden der Säcke von Wellheim fand Schneid *Inoceramus Crippsi* Mantell. Hier ist sicher Zenoman eingesunken, während auf der benachbarten Höhe im Konstein-Wald im Sande eine Fauna mit Turonanklang gefunden worden ist.

Auch in der Gegend von Regensburg finden sich Einsackungen der Kreide in dem dortigen Jurakalk. Sie werden von den Schutzfelschichten Gumbels gebildet<sup>1</sup>; scharfe Quarzsande, recht ähnlich denen in der Umgebung des Veldensteiner Forstes, liegen in Taschen des Kalkes, aber dieser beteiligt sich an der Zusammensetzung der durchaus kalkfreien Sande nicht, sondern kommt nur gelegentlich in Form von Blöcken in ihnen vor. Die Schichtung der Sande biegt sich in die Taschen hinein. Sie sind von Harnischen durchsetzt. Aus all dem hat bereits Meckenstock geschlossen, dass es sich um Nachsackungen der Sande in den Kalk handelt, der unter ihnen gelöst wurde.<sup>2</sup> Klüpfel, dem die Untersuchung von Meckenstock erst nach Abschluss seiner Arbeit zu Gesichte kam, ist geneigt, in diesen Säcken die Querschnitte vieler kleiner Rinnsale zu erblicken, welche die praezenomane Landschaft zerschnitten haben, gibt aber in den Erläuterungen zu den Tafeln zu, dass die mit den Schutzfelschichten erfüllten Vertiefungen und Einsenkungen vielleicht teilweise als Dolinen der verkarsteten Jurakalkoberfläche zu deuten sind.<sup>3</sup> Es erscheint mir in der Tat ausgeschlossen, dass jene Vertiefungen die Querschnitte verschütteter Täler seien. Sie haben nicht die Form von solchen. Es fehlt die Talsohle. Unsere Säcke laufen nach unten spitz zu. Die Ausfüllung ist ortsfremd. Es müsste doch irgend einmal ein Geröll von Jura in die Sande geraten sein, wenn diese von Flüssen angeschwemmt worden wären. Die einzelnen Jurablöcke, die Meckenstock in ihnen wahrgenommen, möchte ich mit den „Gipsstöcken“ des Mansfeldischen vergleichen und als Lösungsrückstände deuten. Vor allem aber vergewissert uns die Einbiegung der Schichten in die Säcke, dass es sich hier um Nachsackungen handelt. Inwieweit dies auch von den anderen präzenomanen Talstücken gilt, die Klüpfel in der Gegend von Amberg gefunden zu haben meint, vermag ich nicht zu beurteilen, da ich die dortigen Verhältnisse nicht kenne.

Wir erhalten also in den verschiedenen Teilen der Fränkischen Alb dasselbe Bild (vergl. Figur 3). Über den Jura ist eine Sandstein-

<sup>1</sup> Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges. Gotha 1868, S. 727.

<sup>2</sup> Morphologische Studien im Gebiet des Donaudurchbruches von Neustadt bis Regensburg. Diss. Berlin Mitt. d. Ver. d. Stud. d. Geogr. a. d. Univ. Berlin, 1915, S. 1.

<sup>3</sup> Zur geologischen und palaeogeographischen Geschichte von Oberpfalz und Regensburg. Abh. d. Giessener Hochschulgesellschaft III, 1923, S. 7 u. 90.

formation gebreitet gewesen, ähnlich dem Quadersandstein der Sächsischen Schweiz, und zwar in diskordanter Auflagerung. Bei Hilpoltstein und westlich Egloffstein reicht sie bis in das Niveau der Schwammkalke des Oxford und bei Neuburg a. D., wie schon erwähnt, bis auf das oberste Tithon. Bei Ablagerung des Sandes ist kein Jurakliff vorhanden gewesen, durch dessen Zerstörung sich ihm Trümmer beige-sellt hätten. Seine Auflagerungsfläche muss daher ziemlich eben gewesen sein. Die sandige Albüberdeckung ist ein Überrest dieser Sandformationen, und die lehmige Albüberdeckung ist wohl nur zum geringsten Teile Verwitterungslehm des Jura, sondern grösstenteils ein Rückstand mergeliger Einlagerungen im Sand. Wenn sich nun heute diese Albüberdeckung stellenweise tief in ihr Liegendes einsenkt, so handelt es sich um ein Phänomen, das erst nach ihrer Ablagerung erfolgt und dadurch bedingt ist, dass unter ihr die Oberfläche des Jura in unregelmässiger Weise gelöst wurde, sodass sie einsinken musste. Nur in solchen Einsenkungen hat sich die Albüberdeckung ausserhalb des zusammenhängenden Gebietes der Veldensteiner Schichten und der Kreideablagerungen zwischen Solnhofen und Neuburg a. D., sowie westlich vom Regensburger Kreidegebiete erhalten. Die Albüberdeckung ist eine grossartige Residualformation im Bereiche eines unterirdischen Karstphänomens.

Die Entwicklung des letzteren setzt bereits sehr zeitig ein. Die marinen Zenomansandsteine zwischen Regensburg und Kelheim machen nur einen Teil der Einsackungen der Schutzfelsschichten mit. Dieselben waren vor ihrer Ablagerung bereits grösstenteils erfolgt und haben seither nur geringe Fortschritte gemacht. Anders liegt es in der Gegend von Wellheim, wo die Einsackungen auch das marine Zenoman erfassen. Köhne hat 1905 gute Gründe dafür beigebracht, dass die Brocken marinen Turonkalkes der Gegend von Betzenstein auch durch Lösung ihrer Unterlage in ihre jetzige Lage gebracht worden sind. Der Nachsackungsprozess ist also hier wie bei Wellheim postkretazeisch. Zur Miozänzeit war er bereits vollendet; die miozäne Albüberdeckung der Gegend von Ingolstadt ist in die verkarstete Fläche eingeschnitten; er dürfte hier also im wesentlichen während des älteren Tertiärs erfolgt sein.

Morphologisch kommt das unterirdische Karstphänomen der Fränkischen Alb lediglich dort zur Geltung, wo die eingesackten Schichten ganz oder teilweise wieder ausgeräumt worden sind, sodass die Säcke sichtbar werden und die Pfeiler in Erscheinung treten, die als Zeugen stehen geblieben sind. Sie sind es, welche den Hochflächen des Frankendolomits, insbesondere im Bereiche der Fränkischen Schweiz, die charakteristischen Züge der Oberflächengestaltung aufdrücken. Es sind manchmal recht jähe Aufragungen, oftmals von bizarren Formen, wie z. B. der Felsen von Hilpoltstein. Man bezeichnet

sie gern als Verwitterungsgebilde des Dolomits. Das trifft nur für Einzelheiten ihrer Gestaltung zu. Als Ganzes genommen, sind sie Rückstandsformen der unterirdischen Gesteinslösung, Korrosionsgebilde, die durch nachträgliche Verwitterung noch manche Einzelheit aufgedrückt bekommen haben. Sie sind ebenso aufzufassen, wie die Pfeiler des Orgelfeldes von Ellrich in unserer Abb. 3. Taf. II. Aber die Hohlformen zwischen diesen Pfeilern tragen nicht den Charakter von riesigen Dolinen oder von Uvala, die aus ihrem Zusammenwachsen hervorgegangen wären, sondern sind Talungen, die allerdings des rinnenden Wassers und damit auch streckenweise des gleichsinnigen Gefälles entbehren. Leider fehlen noch gute topographische Karten der Fränkischen Alb, welche diese Einzelheiten zum Ausdruck brächten. Die einschlägigen Blätter des Topographischen Atlas von Bayern sind sehr alt. Sie rühren aus den dreissiger und vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts her. Positionsblätter 1:25.000 fehlen leider noch für unser Gebiet.

Am Boden unserer Talungen sind vielfach kretazeische Sande erhalten, die durch Dolomitriegel voneinander getrennt werden. Die also erzielten Kammern werden vielfach durch Schlundlöcher oder trichterförmige Dolinen entwässert. Doch sind dies keineswegs häufige Erscheinungen. Erst dann, wenn man die in den Talungen noch erhaltene Ausfüllung sich ausgeräumt denkt, wird man eine Dolinen- oder Uvala-Landschaft erhalten, welche sich etwa einer Cockpit-Karstlandschaft nach der von Grund gegebenen Darstellung<sup>1</sup> an die Seite stellen liesse.

Die Talungen auf der Höhe der Alb richten sich teils nach deren Stirn, wo sie in Stirntälern ihre Fortsetzung finden, so die Talungen südlich von Hilpoltstein und südwestlich Betzenstein in den nach Schnaittach führenden Stirntälern. Andere ziehen sich nach den grossen Tälern, welche die nördliche Alb zerschneiden, zum Trübach-, Püttlach-, und Wiesenttale. Der Gedanke liegt nahe, dass sie durch Vereinigung von Säcken entstanden, deren Scheidewände durch spätere Erosion der ausräumenden Flüsse fielen. Es kann aber auch gedacht werden, dass die Einsackungen von vornherein zu versteckten Talungen verwachsen. Hierüber können erst nähere Untersuchungen Aufschluss bieten.

Diese eigentümliche Karstlandschaft der Fränkischen Alb ist an den Frankendolomit gebunden. Dieser ist zugleich das Gestein, der fränkischen Höhlen, von denen nur ganz wenige ausserhalb seiner Grenzen auftreten. Die vielgefeierten Höhlen der Fränkischen Schweiz sind durchweg, wie die Untersuchungen von Neischl gezeigt ha-

<sup>1</sup> Der geographische Zyklus im Karst. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde Berlin 1914, S. 621 (638).

ben,<sup>1</sup> von ziemlich unbedeutenden Maassen. Sie stehen mit dem hier beschriebenen Nachsackungsphänomen in keinerlei Verbindung. Namentlich reicht nirgend die sandige Albüberdeckung in sie hinein. Sie sind ein späteres Phänomen, welches erst zur Entwicklung kam, als die heutigen tiefen Täler in die Hochfläche der Alb mit ihren Felspfeilern und Talungen einschnitten. Viele liegen ziemlich hoch und sind leer, weil das Höhlenwasser, das sie ausarbeitete, längst in tiefere Niveaus gesunken ist. Hier speist es heute mächtige Quellen. Neischl führt alle von ihm untersuchten Höhlen auf Spalten im Gestein oder dessen Zerklüftung zurück. Die von ihm aufgenommenen Höhlenpläne bekräftigen diese Auffassung. Keine einzige Höhle der Fränkischen Alb kann so gedeutet werden, wie es Walther tut, welcher noch heute glaubt, dass die dortigen Höhlen<sup>2</sup> ursprüngliche, bei der Ablagerung des Dolomits offen gebliebene Höhlungen darstellten, die durch Einbrüche in ihrer Decke und Verschüttung ihres Bodens nach oben wuchsen. Deckeneinstürze fehlen natürlich in den fränkischen Höhlen nicht und haben gelegentlich, wie z. B. beim Klingloche zur Entstehung von Einbrüchen geführt. Ob aber alle sogenannten Erdfälle der Alb dieser Entstehung sind, bleibt noch zu untersuchen. Gleich den Höhlen sind sie ein keineswegs häufiges Phänomen und bei weitem seltener als die Dolinen des nackten Karstes. Während Distel und Scheck<sup>3</sup> auf dem Plateau des Zahmen Kaisers, einer ziemlich nackten Karstfläche der Ostalpen über 900 Eintiefungen auf den halben Quadratkilometer zählten, verzeichnet ein Kärtchen bei Neischl im Wiesentknie, östlich von Ebermannstadt, auf 70 qkm nur 130, also auf 1 qkm kaum 2. Deutlich heben sich diese Phänomene, welche bisher beinahe ausschliesslich Gegenstand der Untersuchung gewesen sind, schon durch ihre Seltenheit von dem weit grossartigeren Nachsackungsphänomen im Bereiche des unterirdischen Karstes ab, wobei dicht gedrängte Einsackungen von fast 100 m Tiefe entstanden.

Beide Phänomene greifen aus dem Dolomitgebiet nicht auf die unteren Stufen des Weissjura, auf das Bereich des Werkkalkes und oberen grauen Kalkes über, welche an die Stirn der Alb mit normal geböschter Oberfläche herantreten (vergl. das Idealprofil der Fränkischen Alb Figur 3). Auf ihnen fehlen die Felspfeiler und in ihnen auch die Höhlen so gut wie gänzlich. Auf ihnen aber fehlt auch in der Regel die Albüberdeckung. Hier ist die Abtragung der Hochfläche so weit vorgeschritten, dass das Nachsackungsphänomen bis

<sup>1</sup> Die Höhlen der Fränkischen Schweiz und ihre Bedeutung für die Entstehung der dortigen Täler. Nürnberg, 1904.

<sup>2</sup> Geologie Deutschlands. 4. Aufl. 1923, S. 412.

<sup>3</sup> Distel und Scheck. Das Plateau des Zahmen Kaisers. Landeskundliche Forschungen herausgegeben von der Geographischen Gesellschaft in München. XI. 1911. Mitteil. d. Geogr. Gesellsch. München. VI. 1911. S. 97.

auf seine tiefsten Wurzeln beseitigt ist, und zur Entwicklung des späteren Höhlenphänomens fehlt die Veranlassung. Pfeilerförmige Felsauftragungen gibt es auch dort nicht, wo im Dolomitgebiete die gutgeschichteten Krebscherenkalke auftreten wie z. B. in der Gegend von Brunn zwischen Pegnitz und Graefenberg, während die Säcke nicht fehlen. Ihre unteren Enden sind in den Steinbrüchen bei Brunn gut erschlossen. Auch im Bereiche der Solnhofner Plattenkalke gibt es

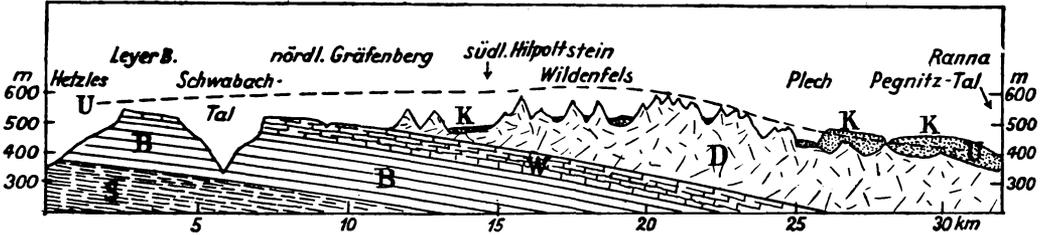


Fig. 3. — Profil durch den Frankenjura östlich Erlangen.

S Schwarzer —, B Brauner Jura. W Werkkalk, D Frankendolomit des Weissen Jura. K Veldensteiner Sande der Kreide. UU ursprüngliche Auflagerungsfläche der Kreide.

nicht Felspfeiler, während die Säcke vorhanden sind. Letztere liegen hier weiter auseinander als im Dolomitgebiete. Es ist die grosse Widerstandstähigkeit des Dolomits, welche die Erhaltung seiner Pfeiler ermöglicht und ihm einen Formenschatz bewahrt, der dem Werkkalk, wie es scheint, bereits genommen ist, während ihn die Plattenkalke der Solnhofener Gegend mit ihren seltenen Säcken vielleicht noch nicht erhalten haben. Der Dolomit unterliegt der Verkarstung langsamer als der Kalk. Wie Grund<sup>1</sup> bemerkt, ist er im Bereiche des nackten Karstes nicht verkarstet, im Bereiche des unterirdischen Karstphänomens von Franken hat er andere Formen als der benachbarte Kalk. Seine Pfeiler geben Zeugnis von der Grösse der hier stattgehabten unterirdischen Gesteinslösung, die stellenweise Schichten von 100 m Mächtigkeit entfernt hat.

Der Formenschatz der beiden Gebiete unterirdischer Karsterscheinungen in Deutschland ist, wie wir sehen, ein recht verschiedener; ihre morphologischen Abweichungen von einander sind viel grösser als diejenigen zwischen verschiedenen Gebieten Oberflächen-Karstes. Ihre Gestaltung hängt sichtlich in weitem Umfange von der Natur des in Lösung gehenden Gesteines ab. Die Oberfläche über den unterirdisch verkarsteten Gipsen des Zechsteins zeigt mehr Erdfälle als Nachsackungen, die in Beziehung zu geologischen Orgeln und Verwitterungssäcken stehen. In der Fränkischen Alb herrscht die Nachsackung und der Felspfeiler dazwischen drückt dem Land den Charakter

<sup>1</sup> Die Karsthydrographie. Geogr. Abh. VII, 3. Leipzig, 1903. S. 172.

auf. Sie hat die Entstehung von Talungen begünstigt. Im Bereiche des grossartigsten Nachsackungsphänomens auf deutschem Boden, wo Hunderte von Metern Salz in Lösung gegangen sind, begegnen wir den ganz abweichenden Formen der Auslaugungstäler und nur ganz selten denen ringsum geschlossener Wannen, wie solche von den Mansfelder Seen eingenommen sind und waren. Für die Entwicklung der Oberflächenformen im Bereiche des verdeckten Karstphänomens spielt eben auch die Natur der Fläche, auf welcher in der Tiefe die Lösung von statten geht, eine massgebende Rolle. Wenn hier ein ziemlich ebener Salzspiegel entsteht, dann kommen die für die Nachsackungen so bezeichnenden Wannenformen erst dann zur Entwicklung, wenn das nachsackende Land unter das Niveau einer Schwelle gerät. Die Bildung eines solchen Salzspiegels haben wir mit dem Auftreten von stagnierendem Bodenwasser in Verbindung gebracht. In weitblickender Weise hat bereits Grund dieses stagnierende Wasser von dem in der Tiefe sich bewegenden geschieden. Es löst seine Unterlage flächenhaft, wenn es mit bewegtem Wasser in Verbindung steht, das die gelösten Materialien wegzuführen vermag. Das sich bewegende Bodenwasser hingegen wirkt linienhaft; von Oberflächenwasser gespeist, kann es längs seines ganzen Weges lösend wirken und wird alle die Bahnen ausweiten, auf denen es in die Tiefe sickert oder in der Tiefe sich fortbewegt. Es durchbohrt das sich ihm entgegenstellende Gestein, weitet in dessen Oberfläche Trichter aus, bildet senkrechte Schlöte und mehr oder weniger horizontale Höhlen. An alle seine in der Tiefe geschaffenen Formen knüpfen sich Nachsackungen der Einstürze lokaler Art, während die über einem Salzspiegel allgemeiner Art sind.

Die lösende Wirkung des in der Tiefe stagnierenden Wassers können wir bisher lediglich auf Steinsalz erweisen. Für Gips- und Kalkgebiete ist sie zwar ohne weiteres zuzugeben, aber in den Formen ihrer Entfaltung noch nicht näher bekannt. Nicht ausgeschlossen ist, dass manche Säcke des verdeckten Karstphänomens sich an stagnierende Wasseransammlungen am Boden des Deckgesteins knüpfen, welche sich sozusagen in die Tiefe frassen, indem das in Lösung gegangene Material durch die Wasserzirkulation oberhalb des stagnierenden Wassers gleichsam ausgepumpt wurde. Man könnte geneigt sein, sich also die Entstehung der breiten Cockpit ähnlichen Säcke zwischen den Dolomitfelsen auf der Alb vorzustellen, zumal diese Säcke meist nicht mit Höhlen in Verbindung stehen. Den Mangel zugehöriger Höhlen könnte man aber auch durch die Annahme erklären dass die in der durchlässigen Decke des Kalkes zirkulierende Wasser wegen hoher Lage des Karstwasserspiegels in den Kalk nicht einzusickern vermochten und auf ihm unterirdisch abflossen. Dann kam es weder zur Höhlenbildung noch zur Entwicklung von Säcken, sondern zur Entstehung von unterirdischen Rinnen, die durch Ausräumung in ober-

flächliche verwandelt werden können. Auf diese Weise könnte man zugleich mit dem Mangel korrelater Höhlungen auch die Entstehung der Talungen im Dolomitgebiete der Fränkischen Alb zu erklären versuchen. Ich entwickle diesen Gedanken nicht um Hypothesen aufzustellen, sondern lediglich um zu zeigen, wie viele Erklärungsmöglichkeiten noch bei einer eingehenden Untersuchung des Phänomens, die allerdings das Vorhandensein zuverlässiger Karten zur Voraussetzung hat, in Erwägung zu ziehen sind. Die Zahl solch denkbarer Möglichkeiten ist immer grösser als die der von der Natur wirklich eingeschlagenen Wege. Noch häufiger aber führt die Naturbeobachtung zur Erkenntnis von Möglichkeiten, an die der spekulative Sinn vorher nicht gedacht hat.

Wenn auch so das nackte Karstphänomen des ganz nackten oder mehr oder weniger verdeckten Karstes sich in Gestalt von Schloten und Höhlen in die Tiefe fortsetzt, wenn sich auch das unterirdische ganz in der Tiefe abspielt, so wird man doch keineswegs von Knebel beipflichten, wenn er das Wesen der Verkarstung in sichtlichem Widerspruch zu Cvijić ausschliesslich in der Verlegung der Wasserwirkung von der Oberfläche in die Tiefe erblickt.<sup>1</sup> Schon der Umstand muss bedenklich stimmen, dass die Lösungserscheinungen an der Oberfläche, wie Karren und Trichterdolinen, nicht als Eigentümlichkeiten des Karstphänomens gelten sollen, d. h. also dass das, was das Allerauffälligste in den Karstländern des adriatischen Gebietes ist, nicht zum Karstphänomen gehören soll. Das Wesen des Karstphänomens beruht auf der Löslichkeit gewisser fester Gesteine der Erdoberfläche. Sie werden korrodiert dort, wo sie mit dem Wasser in Berührung kommen, also an ihrer eigenen Oberfläche, mag diese nun offen als Landoberfläche daliegen, oder von anderen Gesteinen bedeckt werden. Erst von der Oberfläche der Gesteine aus dringt deren Lösung in ihr Inneres ein und führt zur Höhlenbildung. Letztere erscheint nur als ein Teil des Karstphänomens und nicht ausschliesslich als Wesen desselben. Wie sich das Höhlenphänomen dem Karstphänomen einordnet, hat sich herausgestellt, als man Entwicklungsreihen desselben aufzustellen versuchte. Das kommt in der letzten einschlägigen Arbeit von Cvijić besonders klar zum Ausdruck.<sup>2</sup>

Wer die hier wiedergegebenen schönen Blockdiagramme von Cvijić betrachtet, erhält allerdings andere Vorstellungen vom Karstphänomen als der Leser dieser Arbeit. Tiefgreifende Unterschiede walten zwischen dem Karstphänomen im Dinarischen Gebiete und dem in Mitteleuropa ob. Bereits in seiner grundlegenden Arbeit hat Cvijić re-

<sup>1</sup> Höhlenkunde. Braunschweig 1906, S. 152.

<sup>2</sup> Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Recueil des Travaux de l'Institut de Géographie alpine. Université de Grenoble. VI, 4. 1918.

gionaler Verschiedenheiten des Karstphänomens gedacht und darauf hingewiesen, dass die Beschaffenheit des Kalksteins und das *Vorhandensein oder die Abwesenheit von losem Material* über demselben hier eine massgebende Rolle spielen, wozu sich dann noch die Grösse der Niederschlagsmenge gesellt.

Es bezeichnet keinen Fortschritt, wenn von Sawicki in seiner Gegenüberstellung des mitteleuropäischen und mediterranen Karstes gar nicht der Bedeckung des Kalkes mit anderem als dem durch seine Verwitterung hervorgegangenen Material gedenkt.<sup>1</sup> Der typische Karst der dinarischen Gebiete und der Kalkstöcke der Ostalpen erstreckt sich über nacktem Fels. Das mitteleuropäische Karstphänomen ist in seinen typischen Vorkommnissen unterirdisch verdeckt. Oberflächenkarst ist sehr beschränkt. Das gilt wie vom Gipsgebiete des Harzes und vom Frankenjura auch vom mährischen Karste. Gerade beim Abschlusse dieser Untersuchung erhalte ich eine Arbeit von Cvijić in der er ganz mit Recht äussert, dass der auf dem devonischen Karstgebiete Mährens vorkommende Jura nachträglich durch Lösung seines Untergrundes eingesenkt worden ist.<sup>2</sup> Die Frage nach der Verschiedenheit des mitteleuropäischen und mediterranen Karstgebietes spitzt sich daher in erster Linie dahin zu: Warum ist in jenem der Kalk verdeckt, und warum liegt er in diesem nackt da?

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns vergegenwärtigen, wo die Gesteine entstanden sind, an die sich das Karstphänomen knüpft. Sie sind grösstenteils im Meere abgelagert, die Kalke, sofern es sich nicht um Riffkalke der Küsten handelt, in einiger Tiefe. Erst infolge einer Hebung können sie der Verkarstung ausgesetzt werden. Nur dann, wenn sie beim Auftauchen aus dem Meere beim Passieren der Brandungszone glatt abgewaschen werden, werden sie sofort als nackte Kalke an die Landoberfläche treten. Gewöhnlich kommen sie aber dabei unter Bedeckung mit litoralen Anschwemmungen, oder andere Gesteine haben sich über sie gebreitet, bevor sie gehoben wurden. Ersteres gilt selbst von den jungen Riffkalcken bei Mombassa, und es entwickelt sich auch auf diesen ein unterirdisches Karstphänomen. Soll sich das typische entfalten, so müssen die Kalke von ihrer Bedeckung mit anderen Gesteinen befreit, gleichsam rein gefegt werden. Alle neueren Untersuchungen stimmen darin überein, dass die adriatischen Karstgebiete infolge ihrer Hebung eine sehr starke Erosion erfahren haben. Diese hat den nackten Kalk geschaffen, auf dessen Oberfläche sich, begünstigt durch starke Niederschlagsmengen und vor

<sup>1</sup> Beiträge zum geographischen Zyklus im Karst. Geogr. Zeitschrift XV, 1909, S. 185 (203). — vergl. auch Krebs. Offene Fragen der Karstkunde. Geogr. Zeitschr. XVI, 1910, S. 134.

<sup>2</sup> Phases d'évolution du Karst de Moravie. Glas der serb. Akademie d. Wiss. CVIII, Belgrad 1923.

allem durch die Mächtigkeit des Kalkes, das klassische dinarische Karstphänomen entwickelt. Anders war der Lauf der Dinge in Mitteleuropa. Die Karstgesteine sind hier als Glied eines mächtigen Schichtkomplexes gehoben worden, unter Bedeckung mit anderen Gesteinen, die langsam im Laufe ganzer Perioden über ihnen abgetragen wurden, wobei sich unterirdisch das Karstphänomen entwickelte, sowohl auf dem verhältnismässig wenig mächtigen Gipse am Harzrande, höchst eigenartig auf dem Frankendolomite, anders wieder in Mähren.

ALBRECHT PENCK  
Berlin