

Die Karsterscheinungen in Galizisch-Podolien.

Von Dr. Walery Ritter von Łoziński.

Mit 3 Tafeln (Nr. XIV—XVI) und 3 Zinkotypien im Text.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Vor etwa zwei Jahren habe ich eine Abhandlung über „Die Täler der ostkarpathischen und podolischen Flüsse“ in polnischer Sprache veröffentlicht¹⁾. Der dritte Abschnitt der genannten Arbeit war den Karsterscheinungen gewidmet, welche sich in seltener Fülle und Manigfaltigkeit auf der Oberfläche des galizisch-podolischen Plateaus entwickelt haben und stellenweise der Landschaft ihr eigentümliches Gepräge verliehen. Bei dem damaligen Stande meiner diesbezüglichen Untersuchungen war es mir nur möglich, eine Diagnose der Karsterscheinungen in Galizisch-Podolien zu bieten und dieselben in einige Typen zu gruppieren. Seit dieser Zeit aber habe ich meine Studien im Felde ununterbrochen fortgesetzt und mein Material soweit bereichert, daß ich nun den Versuch machen kann, nicht nur die Einzelheiten der podolischen Karsterscheinungen darzustellen, sondern auch ein annäherndes Bild ihrer geographischen Verbreitung auf der beiliegenden Kartenskizze zu entwerfen.

Dem trefflichen Beispiele W. Teisseires folgend, unterscheiden wir in Galizisch-Podolien zwei geologisch und landschaftlich verschiedene Gebiete, das heißt den paläozoischen Horst und die oposischen Senkungen.

Den Sockel des paläozoischen Horstes bildet eine mächtige Reihe obersilurischer und unterdevonischer Ablagerungen, die in einem Teile des paläozoischen Horstes von mesozoischen Bildungen bedeckt sind, während sonst unmittelbar auf dem Paläozoikum das Miocän liegt²⁾. Die mesozoische Gruppe ist durch oberjurassische Kalke, durch cenomane Ablagerungen von wechselnder petrographischer Beschaffen-

¹⁾ Doliny rzek wschodnio-karpackich i podolskich. Lemberg 1905. Ein ausführliches Autoreferat darüber findet man im Geolog. Zentralblatte, Bd. VII, Nr. 2275.

²⁾ Zur näheren Orientierung über den geologischen Aufbau des paläozoischen Horstes sei auf die lehrreichen Kartenskizzen hingewiesen, welche der grundlegenden Arbeit von W. Teisseire: Der paläozoische Horst von Podolien und die ihn umgebenden Senkungsfelder (Beiträge zur Paläont. und Geol. Österreich-Ungarns, Bd. XV) beigegeben sind.

heit und durch die sogenannte „weiße Kreide mit Feuersteinen“ (wahrscheinlich Turon) vertreten, deren mächtige, oft stark zerklüftete Mergelkomplexe sich auf den westlichsten Teil des Horstes beschränken. Über dem Paläozoikum, beziehungsweise dem Mesozoikum breitet sich eine mächtige, einheitliche Decke miocäner Ablagerungen aus, von denen der Lithothamnienkalk (= Leithakalk des Wiener Beckens) und die Gipslager in seinem Hangenden als die wichtigsten Glieder hervorgehoben werden dürfen. Die miocäne Stufe ist durch das Diluvium überkleidet, das hauptsächlich in den tiefsten Partien aus Schottern lokaler Herkunft besteht und nach oben mit echtem, äolisch entstandenen Löß abschließt. Über das Grundwasserregime des paläozoischen Horstes sei an dieser Stelle nur erinnert, daß oberhalb der absolut undurchlässigen paläozoischen Unterlage, meistens in dem miocänen Lithothamnienkalk¹⁾ der größte Teil des einsickernden atmosphärischen Wassers aufgespeichert wird²⁾.

Längs der Dislokationen, welche den NW- und SW-Rand des paläozoischen Horstes bestimmen, treten an denselben die o-polischen Senkungsgebiete heran. Im NW grenzt an den paläozoischen Horst ein Gebiet, dessen Unterlage überaus mächtige Mergelkomplexe des Senons bilden, denen das Miocän und das Diluvium aufgelagert sind. Am SW-Rande des paläozoischen Horstes liegt Pokucie, wo die miocänen Gipslager ihre größte Mächtigkeit und Verbreitung erreichen. Das Liegende der Gipslager bilden die wenig mächtigen, ebenfalls miocänen „Baranower Schichten“, unter denen in den tiefsten Erosions-einschnitten die Mergel der „weißen Kreide“ hervorlugen.

Der geologische Bau Podoliens, insbesondere in den höheren, dem atmosphärischen Wasser am meisten ausgesetzten Partien, zeichnet sich durch das häufige Vorkommen von Gesteinen aus, die geeignet sein dürften, unter dem Einflusse des einsickernden Wassers zu Trägern des Karstphänomens zu werden. Zu diesen karstfähigen Gesteinen Podoliens gehören nicht nur Gipslager und Kalkablagerungen, sondern in manchen Fällen auch Mergel, von denen man allerdings mit Rücksicht auf den bedeutenden Gehalt an unlöslichen Rückständen am wenigsten eine Neigung zum Karstphänomen erwarten würde³⁾. Alle Karsterscheinungen, die in Podolien festgestellt werden konnten, sind fast ausschließlich an drei Gebilde gebunden, und zwar 1. an den senonen Mergel, 2. an den miocänen Lithothamnienkalk und 3. an die miocänen Gipslager. In der „weißen Kreide“ ist ein aus-

¹⁾ Mitunter in seinem Liegenden, wie zum Beispiel im SE-Teile des paläozoischen Horstes, wo zwischen dem Miocän und dem Paläozoikum cenomane Sandsteinbänke eingeschaltet sind.

²⁾ W. v. Łoziński, Bericht über die Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen im politischen Bezirk Horodenka. Verhandl. d. k. k. geol. R.-A., 1905.

³⁾ Das Vorkommen von Karsterscheinungen in Mergeln ist nicht auf Podolien allein beschränkt. Tietze hat im zerklüfteten Kalkmergel des Pläners in Mähren trichterförmige Einsenkungen der Erdoberfläche und das Verschwinden eines Baches beobachtet. (Bemerkungen über das Projekt einer Wasserversorgung der Stadt Brünn aus dem Gebiete nördlich Lettowitz. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XLVIII, pag. 187. — Die geognostischen Verhältnisse der Gegend von Landskron und Gewitsch. Ibid., Bd. LI, pag. 515 und 624.)

gesprochenes Karstphänomen nur in einem einzigen Falle beobachtet worden.

Die vorherrschende Form des podolischen Karstphänomens sind trichter- oder kesselförmige Einsenkungen der Erdoberfläche, deren Typus in den Dolinen des adriatischen Karstes vorliegt. Die Betrachtung der podolischen Karsterscheinungen muß selbstverständlich an die Erfahrungen anknüpfen, die im eigentlichen Karst über die auflösende Tätigkeit des einsickernden Wassers gewonnen worden sind. Wenn wir aber im folgenden das reiche, durch Tietze¹⁾, Cvijić²⁾ und Grund³⁾ an der Adria zusammengebrachte Beobachtungsmaterial verwerten, dürfen wir dies nicht ohne gewisse Einschränkungen tun. Die Gesteine, in denen sich die Karsterscheinungen Podoliens entwickelt haben, zeigen einen ziemlich hohen Gehalt an unlöslichen Beimengungen, die sich in verhältnismäßig kurzer Zeit zu Eluvialprodukten anhäufen und dem einsickernden Wasser den Zugang zum Gestein hindern. Eine üppige, zusammenhängende Pflanzendecke erzeugt zwar reichlich Huminsäuren, die das unterlagernde Kalkgestein angreifen und bei dessen Auflösung mitspielen. Trotzdem ist der Einfluß der Vegetation auf die Entwicklung des Karstphänomens im Großen und Ganzen ein negativer, da sie die feinen lockeren Eluvialprodukte vor der Abspülung schützt und deren Anhäufung erheblich fördert. Es ist begreiflich, daß unter solchen Umständen die Karsterscheinungen Podoliens im einzelnen vergänglich sind. Eine Hohlform, die an der Erdoberfläche entweder durch direkte Auflösung des Gesteins oder durch den Einsturz infolge unterirdischer Auslaugung entstanden ist, wird nach einiger Zeit durch die Akkumulation von Eluvialprodukten eingeebnet und unter dem Einflusse der Vegetation verwischt. Gleichzeitig aber löst das Wasser an einer anderen Stelle das anstehende Gestein auf und schafft allmählich neue Hohlformen. So wird die Existenz der Karsterscheinungen für lange Zeit erhalten, wenn auch ihre Einzelformen einem steten Wechsel unterworfen sind.

Die petrographische Beschaffenheit der Gesteine, und zwar der Gehalt an unlöslichen Rückständen und der Mangel an erforderlicher Festigkeit (insbesondere des senonen Mergels), sowie die dichte Pflanzendecke sind daran schuld, daß die Karsterscheinungen nicht überall mit genügender Schärfe hervortreten und eine dominierende Rolle in der Landschaft spielen. Eine Karstlandschaft ist in Podolien viel seltener als die Karsterscheinungen und eine „blättersteppige“ Szenerie kommt nur denjenigen Gebieten zu, wo die miocänen Gipslager eine bedeutende Mächtigkeit und Verbreitung erreichen.

Es gibt aber auch einen Umstand, der die Ausbildung des Karstphänomens auf größeren Strecken in Podolien begünstigt. Wir meinen die Lagerung der Schichten.

Die Bemerkung von A. Grund, daß „gestörte und gefaltete

¹⁾ Tietze, Zur Geologie der Karsterscheinungen. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXX.

²⁾ Cvijić, Das Karstphänomen. Geogr. Abhandl., herausg. von Penck, Bd. V, Heft 3.

³⁾ Grund, Karsthydrographie. Ibid., Bd. VII, Heft 3.

Kalkschichten viel intensiver verkarstet sind als ungestörte¹⁾, hat keine allgemeine Bedeutung. Sie trifft gewiß zu, wenn wir mit einem Gebiete zu tun haben, das — wie der adriatische Karst — aus Kalkkomplexen von enormer Mächtigkeit und einheitlicher Beschaffenheit aufgebaut ist. In diesem Falle kann die unterirdische Wasserzirkulation durch die Aufrichtung nicht erheblich gestört werden, denn es mangelt an impermeablen Zwischenlagen, die durch ihre Faltung die Kontinuität der unterirdischen, die Klüfte der Kalke erfüllenden Wassermassen vielfach unterbrechen würden. Im Gegenteil, wo die Kalkablagerungen nicht eine Mächtigkeit und Homogenität besitzen, die dem Karste gleichgestellt werden könnten, ist die Aufrichtung der Schichten keine günstige Vorbedingung für die Entwicklung des Karstphänomens. Ohne Zweifel werden die Angriffspunkte des Kalkes gegenüber dem atmosphärischen Wasser durch eine intensive Faltung bedeutend vermehrt. Viel wichtiger aber ist die Tatsache, daß infolge der Faltung die impermeable Unterlage des Grundwassers einen stark wellenförmigen Verlauf annimmt und in rascher Abwechslung an der Erdoberfläche ausstreckt oder in eine bedeutende Tiefe versinkt, wodurch die unterirdischen Wassermassen vielfache Störungen ihrer Kontinuität erfahren.

Im Einklange mit unseren Betrachtungen über den Einfluß der Schichtenfaltung auf das Karstphänomen ist die Tatsache, daß der Plateaujura an Reichtum der Karsterscheinungen den Kettenjura bei weitem übertrifft²⁾. Noch wichtiger sind für uns die Beobachtungen von Katzer, aus denen hervorgeht, daß die Dolinenbildung auch in Kalkmergeln mit einem hohen Gehalte an unlöslichen Beimengungen ebensogut wie in einem reinen Kalk einsetzen kann, wenn die Schichtenlagerung eine ziemlich flache ist³⁾. Auch für die Entwicklung der Karsterscheinungen in Podolien ist es als ein günstiger Umstand hervorzuheben, daß die Ablagerungen, die zum Karstphänomen neigen, nicht gefaltet worden sind. Die Schwankungen, denen die hypsometrische Lage der impermeablen, paläozoischen Unterlage des Grundwassers unterworfen ist, erreichen zwar eine nicht unbedeutende Amplitude. Sie vollziehen sich aber erst auf größeren Strecken hin und so langsam, daß dadurch nur die hypsometrische Lage der unterirdischen Wassermassen verschoben, aber ihr Zusammenhang nicht beeinträchtigt wird. Diese Kontinuität des Grundwasser niveaus in Podolien, die nur durch die tieferen Täler unterbrochen wird, muß ohne Zweifel die Ausbildung der Karsterscheinungen im hohen Grade begünstigen.

Der außerordentliche Reichtum Podoliens, insbesondere des pa-

¹⁾ L. c., pag. 172.

²⁾ Machaček, Der Schweizer Jura. Peterm. Mitteil., Erg.-Heft Nr. 150, pag. 125.

³⁾ Katzer, Bemerkungen zum Karstphänomen. Monatsberichte d. deutsch. geol. Ges., 1905, pag. 239. — Nach Sobolew (Izw. Russk. Geogr. Ob., Bd. XXXV, 1899, pag. 501) wird die Entwicklung des Karstphänomens auf der Onega-Dwina-schen Wasserscheide in erster Linie durch die flache Lagerung der Karbonkalke und -dolomite begünstigt.

läozoischen Horstes, an Travertinabsätzen¹⁾ ist ein sprechendes Zeugnis, welch große Mengen von Kalkkarbonat durch das Grundwasser gelöst werden. Wir können aber die Travertinbildung nicht als ein spezifisches Merkmal der Karsterscheinungen betrachten. Ein Überblick der Verbreitung von Travertinabsätzen und Karsterscheinungen in Podolien zeigt, daß erstere im Bereiche des paläozoischen Horstes unvergleichlich häufiger sind als in den opolischen Senkungsgebieten, die ihrerseits an Karstphänomen reicher sind. Es ist für das Wesen der Karsterscheinungen ohne Belang, wo der aufgelöste Kalk zur Ablagerung gelangt, sei es gleich beim Zutagetreten des Grundwassers oder erst in Wasseransammlungen, in die die abfließenden Gewässer münden. Die Travertinabsätze könnten höchstens nur insofern das Karstphänomen gewissermaßen beeinflussen, als durch ihre Akkumulation Quellenöffnungen verstopft werden und das unterirdische Wasser geötigt wird, sich einen anderen Weg zur Erdoberfläche zu suchen, wie dies tatsächlich hier und da in Podolien der Fall ist.

Die geographische Verbreitung des Karstphänomens in Podolien scheint keiner allgemeinen Regel unterworfen zu sein. Nur für die Karsterscheinungen in den Gipslagern wird es uns möglich sein, ihre Verteilung und Häufigkeit aus dem geologischen Baue des Landes zu begründen (pag. 721). Die Karsterscheinungen dagegen, die in Kalkablagerungen ihren Sitz haben, sind regellos auf der Oberfläche Podoliens zerstreut. Möglicherweise hängt ihr massenhaftes Auftreten im Senon des Quellengebietes des Bugflusses mit der Reinheit der Kalkablagerung zusammen, wie wir es im nächsten Abschnitte zeigen werden. Sonst aber ist die räumliche Anordnung der Karsterscheinungen in den Kalkgebilden recht launenhaft. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die lokale Veranlagung der Kalkablagerungen zum Karstphänomen auf gewisse, noch nicht aufgehellte Unterschiede von primärer petrographischer Beschaffenheit des gegebenen Kalkgebildes hinweist. Aus dem Überblicke der Karsterscheinungen Podoliens ergibt sich als die einzige Regel, daß sie nur da auftreten, wo das betreffende Kalkgestein von keiner jüngeren Ablagerung bedeckt wird²⁾ und seine Oberfläche sanft geneigt ist. Diese Bedingung aber ist selten in Podolien erfüllt, da das Land zur jüngeren Diluvialzeit mit äolischen Staube zugeschüttet worden ist, welcher — wo nur die Neigung des Terrains nicht zu groß war — zu einer dicken Lößdecke sich anhäufte. Die Kalkablagerungen sind daher meistens nur an den steilen Gehängen der Schluchten und Täler entblößt, wo aber das Regenwasser zu schnell abfließt, um das Kalkkarbonat auflösen zu können. Wo hingegen die Oberfläche des Kalkgesteins sanft geneigt ist, dort lastet auf demselben eine mächtige Lößdecke. Das Auftreten des Karstphänomens beschränkt sich daher auf die wenigen Partien, die, wenn auch sanft geneigt, vom äolischen Staube nicht bedeckt wurden³⁾ und wie kleine lößfreie Inseln im Lößgebiete zerstreut sind. Daraus könnte man nicht

¹⁾ Mitteil. d. k. k. geogr. Ges. in Wien, Bd. XLVII, pag. 548. — Verhandl. d. k. k. geol. R.-A., 1905, pag. 94 und 95.

²⁾ Abgesehen von den eigenen Verwitterungsprodukten.

³⁾ Es mag dahingestellt bleiben, ob an diesen Stellen der Staub überhaupt zur Ablagerung nicht gelangte oder erst später abgespült wurde.

mit Unrecht folgern, daß Podolien vor der Lößbildung an Karsterscheinungen viel reicher war, die später zum guten Teil durch die äolische Akkumulation ausgeebnet und verwischt wurden.

2. Die Karsterscheinungen im Bereich des Senons.

Das Gerüst des geologischen Baues des nördlichen Podolien besteht, soweit es unseren Beobachtungen zugänglich ist, aus einem überaus mächtigen Komplex senonen Mergels, welcher nicht nur überall in der Tiefe der Täler als das älteste Schichtensystem dieses Gebietes zutage tritt, sondern auch an den Abhängen zu einer beträchtlichen Höhe ansteigt. Der senone Mergel, wenn auch in der Regel stark zerklüftet, ist dennoch größtenteils nicht zugänglich dem unterirdischen Wasser, das in den miocänen oder diluvialen Bildungen zirkuliert und an der oberen Grenze des Mergels in zahlreichen Quellen zutage tritt. Die völlige Impermeabilität verdankt der Mergel seinen petrographischen Eigenschaften, und zwar der weichen Beschaffenheit und dem hohen Gehalte an feinen unlöslichen Bestandteilen. Die Oberfläche des senonen Mergels ist die impermeable Unterlage, auf der das Grundwasser in den jüngeren Bildungen aufgespeichert wird.

Die genannten petrographischen Eigenschaften des senonen Mergels scheinen eine Neigung zum Karstphänomen geradezu auszuschließen¹⁾. Um so größer ist unsere Überraschung, wenn wir zwischen Złoczów und Brody ein etwa 80 km² großes Gebiet²⁾ finden, wo der Mergel zum Träger typischer Karsterscheinungen wird³⁾. Die Frage, warum der senone Mergel nur in diesem Teile seines Verbreitungsbezirkes Karsterscheinungen zur Schau trägt, kann vorläufig nur auf Grund von zwei chemischen Analysen gelöst werden, die uns in der bisherigen Literatur zur Verfügung stehen. Das Ergebnis dieser Analysen hat gezeigt, daß der senone Mergel bei Lemberg kaum 66·9%⁴⁾, dagegen in der Gegend von Brody 94·34%₅₎ Kalkkarbonat⁵⁾ enthält. Es könnte somit das Auftreten der Karsterscheinungen gerade in der Gegend zwischen Złoczów und Brody durch den petrographischen Charakter des Senons begründet werden, das hier aus einem beinahe reinen Kalkgestein besteht und bei der Auflösung nur geringe Mengen

¹⁾ Uhlig hat seinerzeit den völligen Mangel an Karsterscheinungen im senonen Mergel ausdrücklich betont (Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXIV, pag. 185).

²⁾ Zu vergl. Blatt Złoczów (Z. 6, K. XXXII) der Spezialkarte und dasselbe Blatt des „Atlas geolog. Galicyi“ (Heft 7).

³⁾ Bereits vor mehr als 30 Jahren hat Plachetko einige Beobachtungen bekanntgemacht, die das Vorhandensein von Karsterscheinungen in dieser Gegend (bei Podhorce) vermuten ließen und dieselben ganz zutreffend auf den senonen Mergel zurückgeführt. Trotzdem wurden bei den geologischen Aufnahmen dieses Landstriches die Karsterscheinungen verkannt, indem Hilber (Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXII, pag. 253—254) und Lomnicki (Atlas geol. Galicyi, VII, pag. 75) für die merkwürdigen Quellbecken die Auflösung des Kalkmerges in Abrede stellten.

⁴⁾ Atlas geolog. Galicyi, X—1, pag. 15.

⁵⁾ Jahrb. d. k. k. geolog. R.-A., Bd. XXXIV, pag. 185.

unlöslichen Rückstandes liefert. Infolgedessen geht die Akkumulation des eluvialen Materials verhältnismäßig langsam vor sich und es kann auf die Dauer eine lebhafte Wasserzirkulation im dichten Kluftnetze des senonen Kalkgesteins bestehen. Möglicherweise aber kommen noch andere Umstände in Betracht, zumal die Reinheit der Kalkablagerung keine unerlässliche Bedingung des Karstphänomens ist¹⁾.

Das in die zahllosen Klüfte des senonen Kalkgesteins eindringende Wasser löst Kalkkarbonat auf und erzeugt charakteristische, trichter- oder kesselförmige Vertiefungen der Erdoberfläche. Die dadurch entstandenen Hohlformen können in bezug auf ihre hypsometrische Lage und auf ihre Funktion in zwei Gruppen eingeteilt werden. Da das Klima Podoliens keine bedeutenden Schwankungen der Niederschlagsmenge im Laufe des Jahres aufweist, ist auch das Niveau des in den Klüften angesammelten Grundwassers keinen erheblichen Schwankungen unterworfen. Infolgedessen ist die Funktion der durch die Korrosion erweiterten Mündungen der Klüfte eine beständige, indem sie, je nach ihrer hypsometrischen Lage gegenüber dem Grundwasserhorizont, entweder immer das atmosphärische Wasser verschlucken oder starke perennierende Quellen liefern.

I. Die kessel- oder trichterförmigen Einsenkungen, die das Verschlucken des atmosphärischen Wassers besorgen und als echte Sauglöcher aufzufassen sind²⁾, treten über dem Grundwasserniveau des Senons, zerstreut oder dicht nebeneinander auf. Während des Regens oder der Schneeschmelze füllen sie sich mit Wasser, das langsam in die feinsten Klüfte des Senons eindringt, sonst aber sind sie trocken. Die Form der Einsenkungen entspricht den „trichterförmigen“ Dolinen in der morphologischen Einteilung von Cvijić³⁾. Ihre Bildungsweise stimmt mit derjenigen der Dolinen des Karstes, wie wir sie durch Cvijić⁴⁾ kennen gelernt haben, vollkommen überein. Das atmosphärische Wasser sickert in die Klüfte des senonen Kalkgesteins ein, löst allmählich Kalkkarbonat auf und erweitert die Mündungen der Klüfte zu kessel- oder trichterartigen Vertiefungen der Erdoberfläche. Selbstverständlich können diese Vertiefungen nur an solchen Stellen entstehen, wo die Oberfläche des senonen Kalkgesteins durch jüngere Ablagerungen nicht bedeckt und dem unmittelbaren Einfluß des atmosphärischen Wassers ausgesetzt ist. Man trifft sie daher in der Regel an sanft geböschten Abhängen oder in der Sohle breiter Erosionseinschnitte, die nach einem kurzen Laufe sich mit den am tiefsten ausgefurchten Tälern dieses Gebietes vereinigen und oft nur vorübergehend Wasser führen. Der Mangel an erforderlicher Festigkeit läßt das Vorhandensein von größeren offenen Klüften im senonen Kalkgestein nicht zu und die dichte Pflanzendecke trägt noch mehr dazu bei, das Einsickern des Wassers von der Erdoberfläche in die Klüfte zu erschweren und zu verzögern. Deshalb sind die Vertiefungen imstande, kaum einen Teil des Wassers aufzusaugen, welches nach

¹⁾ Katzer, l. c., pag. 239.

²⁾ Eine photographische Aufnahme der Sauglöcher ist in meiner Abhandlung „Doliny rzek . . .“ (Taf. IV B) abgebildet worden.

³⁾ L. c., pag. 227.

⁴⁾ L. c., pag. 267 ff.

dem Regen oder nach der Schneeschmelze sich in den genannten Erosionseinschnitten sammelt, während der Überschuß in periodischen, seltener in dauernden Bächen zum Abfluß gelangt und die Erosions-einschnitte allmählich weiter ausarbeitet. Da das Innere und die nächste Umgebung der Vertiefungen immer dicht mit Gras oder Gebüsch bewachsen sind, entzieht es sich der direkten Beobachtung, in welchem Gestein sie ausgelaugt wurden. Die hypsometrische Verteilung deutet entschieden darauf hin, daß die meisten Vertiefungen an das Senon gebunden sind. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß einige am höchsten gelegene Vertiefungen möglicherweise schon auf den miocänen Lithothamnienkalk entfallen. Ganz bestimmt kann dies nur von der Gruppe der Vertiefungen E von Huta Werchobuska angenommen werden.

II. Die kessel-, zuweilen auch schlotenförmigen¹⁾ Vertiefungen, die sich unter dem Grundwasserniveau des zerklüfteten Senons befinden, dienen zu Quellbecken, in denen das Grundwasser des Senons reichlich zutage tritt. Im Volksmunde heißen sie „Augen“ („oka“) oder „Fenster“ („okna“)²⁾. Selbstverständlich erscheinen sie in einer geringeren Höhe als die Sauglöcher³⁾, am Rande des ebenen, versumpften Alluvialbodens der Haupttäler dieses Gebietes, die am tiefsten eingeschnitten sind. In ihrer typischen Form stellen die Fenster kleine runde Wasserbecken dar, deren Wände steil zu einer beträchtlichen Tiefe abfallen. Sie sind mit Wasser von erstaunlicher Klarheit und Frische gefüllt, das aus den Klüften des senonen Kalkgestein ununterbrochen in ergiebiger Menge zufließt. Wie reichlich das Wasser aus der Tiefe der Wasserbecken zutage tritt, ist daraus zu ersehen, daß aus jedem Fenster ein ansehnlicher Bach abfließt, dessen Wassermenge im Laufe des Jahres keine nennenswerten Schwankungen aufweist. Die fortwährende Bewegung des ausfließenden Wassers entfernt die feinen, lockeren Eluvialprodukte und entblößt das senone Kalkgestein, das in der Umrahmung eines jeden Fensters, wenn auch in spärlichen Aufschlüssen, ansteht. Die Fenster sind ein besonderer Quellentypus, der an das zerklüftete Kalkgestein, im nördlichen Podolen an das Senon gebunden ist. Das Wasser, das aus zahllosen, unsichtbaren Klüften hervorquillt, hat ihre Mündungen durch Auflösung des Kalkkarbonats zu Becken erweitert, die sich nach der Tiefe zu allmählich verengen und schließlich in eine Unzahl von Klüften übergehen. Das an den Fenstern Eigentümliche, daß sie perennierend einen ausgiebigen Überfluß klaren und kalten Wassers liefern, weist auf die engste Verwandtschaft mit den Vauclusequellen hin. Ein vollkommenes Analogon der Fenster haben wir in derjenigen Kategorie von Quellen, die wir mit von

¹⁾ Bobutycha.

²⁾ Ich ziehe die Bezeichnung „Fenster“ vor, da der Ausdruck „Augen“ auch für Gebirgsseen verwendet wird und demnach zu Mißverständnissen führen könnte.

³⁾ Durch barometrische Messungen habe ich festgestellt, daß die Sauglöcher in der Nachbarschaft des „Blauen Auges“ um 25—40 m höher liegen. Für die Sauglöcher in der Umgebung des Auges „Bobutycha“ ergab sich ein Höhenunterschied von 15—25 m.

Knebel als „Quelltöpfe“¹⁾ zusammenfassen und deren treffliche Beispiele in den „Bimes“ der Champagne²⁾, im sogenannten „Blautopfe“³⁾ am Südrande der Schwäbischen Alb, in der Quelle der Rudolfszeller Aach und anderen vorliegen.

Dä dem senonen Gestein die erforderliche Festigkeit abgeht, können in demselben keine, aus den erweiterten Mündungen der Klüfte hervorgegangenen Höhlenausgänge⁴⁾ bestehen, die sich horizontal in das Innere des Gesteins hinein erstrecken würden. Wir vermissen daher im Gebiete des Senons Quellen, die — ähnlich der Bunaquelle in Blagaj — aus horizontal verlaufenden und gegen das Innere des Kalkgestein sich einengenden Höhlengängen hervortreten. Wo das Grundwasser aus den Klüften des Senons nicht im Talboden, sondern oberhalb desselben zutage tritt, ist keine Spur vom Karstphänomen zu sehen. Nur in dem einzigen Falle, wenn das unterirdische Wasser aus den Klüften in vertikaler Richtung, von unten nach oben aufsteigend, ausfließt, können Vertiefungen, die aus den durch die Korrasion erweiterten Mündungen der Klüfte entstehen, sich ausbilden und auf die Dauer bestehen. Dieses ist mit den Fenstern der Fall, die immer in der Talsohle, knapp am Fuße der bis zu einer bedeutenden Höhe aus Senon aufgebauten Talgehänge auftreten.

Der Wolicabach, der als der eigentliche Anfang des Seretflusses zu betrachten ist, und der Bugfluß in der weiten Niederung von Koltów entstehen hauptsächlich aus wasserreichen Abflüssen von Fenstern. Die Quellen, welche in der Zahl von sechs die Quellbäche des Seret- und Bugflusses speisen, fallen in die Kategorie der Fenster. Allerdings stehen von den weiter aufzuzählenden Quellen nur die zwei ersten, die zu dem Einzugsgebiete des Seretflusses zählen, in der natürlichen, typischen Form der Fenster da. Die übrigen dagegen, die zum Bugflusse entwässert werden, sind mit Stein oder Holz eingefäßt und haben daher ihre ursprüngliche Form eingebüßt.

1. Das „Blaue Auge“ besteht aus zwei, in der Form einer 8 verschmolzenen, kreisrunden Wasserbecken. Das nördliche Becken ist seicht und man sieht auf seinem Boden zahlreiche Baumäste dicht nebeneinander liegen. Das südliche, bei weitem tiefere Becken ist die eigentliche Austrittsstelle des Wassers, das die beiden Becken füllt und zum Wolicabache abfließt⁵⁾. Die auffallende blaue Farbe des Wassers im Quelltopfe kommt in seinem landläufigen Namen „Blaues Auge“ zum Ausdrucke. Auf Grund der Untersuchungen von

¹⁾ Höhlenkunde, pag. 57 u. 58. — Penck nennt sie Auslaufkessel (Über das Karstphänomen. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturw. Kenntnisse in Wien, Bd. XLIV, pag. 25).

²⁾ Vergl. Daubré, Les eaux souterraines à l'époque actuelle, Bd. I, pag. 147—149.

³⁾ Eine kurze Beschreibung dieses 20 m tiefen und mit blauem Wasser gefüllten Quelltopfes verdanken wir C. B. Kluninger (Jahreshefte des Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg, Jahrg. 57, pag. LXXIX u. LXXX).

⁴⁾ Ich wende diesen Ausdruck in derselben Bedeutung wie Penck an (Über das Karstphänomen, pag. 24).

⁵⁾ In meiner Abhandlung „Doliny rzek . . .“ habe ich einen Durchschnitt (Fig. 7 b, pag. 64) und eine Abbildung (Taf. V B) des „Blauen Auges“ gegeben.

Klunzinger, welcher sich mit der Herkunft der blauen Farbe des Wassers in den mit den Fenstern aufs engste verwandten Quelltopfen am südlichen Rande der Schwäbischen Alb eingehend beschäftigte¹⁾, können wir auch die blaue Farbe unseres Quelltopfes auf den hohen Gehalt des Wassers an gelöstem doppelkohlensauren Kalk zurückführen. Überdies ist auch die Tiefe des Wasserbeckens nicht ohne Bedeutung, indem mit zunehmender Tiefe die blaue Farbe des Wassers stärker hervortritt²⁾. In der Tat kann nur das südliche, bedeutend tiefere Wasserbecken des „Blauen Auges“ auf diesen Namen begründeten Anspruch haben.

2. Das Fenster „Bobutycha“ ist ein kleines Wasserbecken, dessen Wände sehr steil abfallen. Der Umstand, daß die Tiefe im Verhältnis zum Areal der Wasserfläche sehr bedeutend ist, verleiht dem Becken eine schloten-(brunnen-)förmige Gestalt³⁾. Das Fenster mit dem Bette seines ergiebigen Wasserabflusses, der nach einem kurzen Laufe ebenfalls den Wolicabach erreicht, stellt ein winziges, aber mustergültiges Sacktal⁴⁾ vor.

3. Die Quelle im Dorfe Opaki,

4. Die Quelle des Bugflusses in Werchobuż und

5. Die Quelle genannt „Oberda“ (etwa $1\frac{1}{4}$ km südlich von Kruhów)⁵⁾ sind alle in umfangreiche, viereckige Bassins aus Stein oder Holz eingefaßt. Der Boden der Bassins besteht aus senonem Kalkgestein, das auch in der Umgebung der Quellen aufgeschlossen ist. Die Quellen zeichnen sich durch eine besondere Ergiebigkeit aus und speisen wasserreiche Bäche, aus deren Zusammenflusse in der versumpften Niederung von Koltów der Bugfluß entsteht. Die stärkste von diesen Quellen ist diejenige im Dorfe Werchobuż, die als der eigentliche Ursprung des Bugflusses zu betrachten ist. Die Einfassung dieser Quelle schließt ein schüsselförmiges Becken im senonen Kalkgestein ein. Das Wasser tritt an mehreren Punkten des Bodens des Beckens aus unsichtbaren Klüften zutage und erzeugt lebhafte Wirbel, von denen auch das feine Eluvialmaterial ergriffen wird.

6. Zu den genannten Quellen ist noch diejenige zu zählen, die beim Bräuhaus in Koltów auftritt. Dafür spricht der Umstand, daß sie den anderen an Ergiebigkeit kalten und klaren Wassers nicht nachsteht und ebenfalls im Talboden, tief unterhalb der oberen Grenze des Senons liegt. Allerdings besteht der Boden der eingefaßten Quelle nicht aus anstehendem Senon, sondern ist mit lockerem Material⁶⁾

¹⁾ Klunzinger, Über die Ursachen der Farbe unserer Gewässer. Jahreshefte d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg, Jahrg. 57, pag. 327, 330 und 335. — Ebenfalls schreibt Hassert die charakteristische „leuchtend blaugrüne“ Farbe der Karstgewässer dem reichlich gelösten Kalk zu (Beiträge zur phys. Geograph. von Montenegro. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 115, pag. 11).

²⁾ Klunzinger, l. c., pag. 330.

³⁾ Łoziński, Doliny rzek..., Fig. 7 a auf pag. 64 und Taf. V A.

⁴⁾ Im Sinne von Cvijić (l. c., pag. 284). — Von Knebel hat die Bezeichnung „Vanclusetal“ eingeführt (l. c., pag. 160 und 161).

⁵⁾ „Olydra“ auf dem Blatte Złoczów des Atlas geol. Galicyi (Heft 7). Bevor diese Quelle eingefaßt wurde, soll sie ein größeres und tieferes Wasserbecken gebildet haben.

⁶⁾ Dieses Gebilde, das in einer kleinen Grube in der Nähe des Schlosses von Koltów sehr gut aufgeschlossen ist, besteht hauptsächlich aus eluvialen Verwitterungs-

ausgekleidet. Die Eigenschaften der Quelle aber weisen bestimmt auf ihre Herkunft aus den Klüften des Senons hin, das offenbar nur von einer dünnen Schicht des lockeren Materials überzogen ist.

Im Gegensatze zu den Sauglöchern zeichnen sich die Fenster durch ein dauerndes Bestehen aus. In den ersten, die als geschlossene Becken nur unterirdisch, durch die Gesteinsklüfte entwässert werden, schreitet die Anhäufung der Eluvialprodukte fort und führt allmählich, durch die Pflanzenwelt unterstützt, zur gänzlichen Verstopfung der Abflußkanäle. Schließlich hat ein Saugloch seine wasser verschluckende Rolle ausgespielt und verschwindet von der Erdoberfläche. Ganz anders ist es mit den Fenstern der Fall. Die Bewegung des Wassers, das aus den Gesteinsklüften ununterbrochen austritt, reinigt das Becken von Eluvialrückständen und sichert dadurch dem Fenster eine lange Existenz.

Der Wasserspiegel des Fensters „Bobutycha“ und derjenige des „Blauen Auges“ sind von ziemlich hohen steilen Terrassen umsäumt¹⁾, die durch ihre Abflüsse durchsägt sind. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Becken dieser Fenster ursprünglich bis zur oberen Kante der genannten Terrassen gefüllt waren. Allmählich aber haben die Abflüsse ihre Rinnenale vertieft und dadurch den Wasserspiegel der Fenster bis zum gegenwärtigen Niveau erniedrigt. Da der Höhenunterschied zwischen den Fenstern und dem Talboden des Wolicabaches kein bedeutender ist, ging auch das Einschneiden ihrer Abflüsse sehr langsam vor sich. Inzwischen aber wurden die Becken der Fenster weiter ausgelaugt und vertieft und haben sie, wenn auch ihre ursprüngliche Umrandung von den abfließenden Bächen durchsägt worden ist, ihre Existenz nicht eingebüßt.

In der Gegend von Brzeżany, etwa 350 m südlich vom Meierhofe in Nadorożniów²⁾ habe ich — ebenfalls im Senon — ein totes Fenster beobachtet, dessen trichterförmiges Becken vom abfließenden Bach bis zum Boden durchschnitten und entleert wurde. An der Stelle des ehemaligen Fensters ist heute eine trichterförmige, dicht bewachsene Vertiefung vorhanden, in deren Boden das Senon sichtbar ist. Aus den Klüften quillt das Wasser hervor und fließt unmittelbar in dem durch üppigen Graswuchs verhüllten Rinnsal ab (Taf. XVI, Fig. 1).

In der Gegend von Złoczów kommt noch eine andere Art von Wasserbecken vor, die mit den Fenstern sehr nahe verwandt sind

produkten des Lithothamnienkalkes. Es ist ein Gemisch feineren Materials mit herausgewitterten kleinknölligen Lithothamnien. Hier und da kommen Bruchstücke von miocänen Molluskenschalen (Pectenarten etc.) vor. Die Beschaffenheit dieses Gebildes deutet unzweifelhaft darauf hin, daß es von der nächsten Umgebung, und zwar von den höheren Partien des Rückens zusammengeschwemmt worden ist, der die südliche Umrandung des Beckens von Koltów bildet. Offenbar haben wir hier mit einem flachen Schuttkegel des von Süden her in das Bugtal einmündenden Baches zu tun, welcher das Senon der Talsohle mit einer einige Meter mächtigen Schicht von Detritus des Lithothamnienkalkes überzogen hat.

¹⁾ Vergl. die Durchschnitte der beiden Fenster (Doliny rzek, pag. 64).

²⁾ Vergl. Blatt Brzeżany (Z. 8, C. XXXII) der Spezialkarte. — Das Senon dieses Teiles von Podolien bietet nur das einzige in Rede stehende Karstphänomen.

und deren Volksname „bezedna“ oder „bezodnie“¹⁾ durch die Bezeichnung „bodenlose Quelltöpfe“²⁾ wiedergegeben werden kann. An ihre beträchtliche Tiefe knüpft sich manche Sage, wie zum Beispiel vom Ertrinken eines Viergespanns Ochsen im „bodenlosen Quelltopfe“ in Huta Werchobuska. Die „bodenlosen Quelltöpfe“ besitzen alle Eigenschaften der Fenster. Der einzige Unterschied besteht darin, daß sie nicht am Rande, sondern inmitten des ebenen, versumpften Talbodens auftreten, wo kein Senon zu sehen ist. Trotzdem scheint die Herkunft des Wassers der „bodenlosen Quelltöpfe“ aus dem Senon kaum einem Zweifel zu unterliegen. Die breite Sohle der Täler ist mit alluvialen, vom Wasser durchtränkten Schlammabsätzen auskleidet. Als ihre Unterlage aber muß das Senon schon in einer nicht beträchtlichen Tiefe anstehen. Vollkommen berechtigt ist daher die Annahme, daß das Wasser aus den Klüften des unterlagernden Senons reichlich emporquillt, die Decke der versumpften Alluvien durchbricht und in ihrer Mitte sich in den „bodenlosen Quelltöpfen“ sammelt. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß seinerzeit ihr Boden unmittelbar bis zum Senon reichte.

Der „bodenlose Quelltopf“, den ich im Quellengebiete des Złoczówkabaches, etwa in der Mitte zwischen den beiden Meierhöfen in Pluhów gesehen habe, besteht aus zwei kleinen, miteinander verschmolzenen unregelmäßigen Wasserbecken. Dieser Quelltopf befindet sich inmitten einer ebenen Wiese, die sich auf dem Talboden ausbreitet, und liefert ein kaltes klares Wasser. Das Wasser ist zwar sehr seicht, das Innere des Quelltopfes aber füllt ein äußerst verdünnter Schlamm aus, der sich wie eine zähflüssige Masse verhält.

Die „bodenlosen Quelltöpfe“ sind das vergänglichste Karstphänomen Podoliens. Die aufsteigende Bewegung des Wassers, das aus dem Senon — angesichts der tiefen Lage dieser Quellen unter einem gewissen hydrostatischen Drucke — ausfließt, vermag nur einige Zeit den Quelltopf vom Schlammabsatze zu reinigen und der üppigen Sumpfvegetation entgegenzuarbeiten. Schließlich aber nimmt die Pflanzenwelt überhand und die „bodenlosen Quelltöpfe“ werden spurlos eingeebnet. Südöstlich von Koltów, wo einst ein „bodenloser Quelltopf“ vorhanden gewesen sein soll, findet man heute eine kaum merkliche Unebenheit inmitten der Wiese. Ein anderer Quelltopf in der Nähe des Meierhofes Huta Werchobuska war allmählich dicht bewachsen, er wurde aber nachher teilweise gereinigt, wobei man viele Baumäste aus seinem Inneren entfernte, und in einen Brunnen umgewandelt, der ein sehr kaltes und reines Wasser liefert³⁾.

¹⁾ Der Name kehrt auch in anderen Gegenden Podoliens wieder, doch wird er auf genetisch sehr verschiedene Erscheinungen angewendet, wie zum Beispiel auf Erdfälle im Gips, die mit Wasser gefüllt sind.

²⁾ In wörtlicher Übersetzung könnten sie „Ohneboden“ genannt werden. Vergl. von Knebel, Höhlenkunde, pag. 42, Anm. 3.

³⁾ Man hat mir in Huta Werchobuska berichtet, daß der Bach Kierniczyna früher unterhalb dieser Ortschaft in Unebenheiten, die heute nicht mehr existieren, verschwand und um einige hundert Meter weiter wieder ans Tageslicht trat. Das Verschwinden des Baches soll aber nur zur Trockenzeit beobachtet worden sein. Wahrscheinlich handelt es sich um ein Karstphänomen, wobei die unterirdischen Höhlungen nicht genug umfangreich waren, um die ganze Wassermenge des Baches

Mit den „bodenlosen Quelltöpfen“ sind die kleinen Quellbecken nicht zu verwechseln, die inmitten der sumpfigen Alluvien im Gebiete des Oberlaufes der Flüsse Seret und Strypa oft vorkommen¹⁾. Diese Quellen sind nichts anderes als Austrittspunkte des Grundwassers, das den Alluvialboden der Täler durchtränkt und in kleinen Vertiefungen zutage tritt²⁾.

Die Tatsache, daß das atmosphärische Wasser, mit Kohlensäure beladen, Kalkkarbonat löst und die Klüfte zu Sauglöchern erweitert, ist allgemein bekannt und bedarf keiner näheren Erörterung. Wir sind vollkommen zu der Annahme berechtigt, daß in einer gewissen Tiefe der CO_2 -Gehalt des Wassers durch die Umwandlung von Kalkkarbonat in löslichen doppeltkohlensauren Kalk vollkommen erschöpft wird und infolgedessen die weitere Korrosion auflören muß³⁾. Um so merkwürdiger ist es, daß das Wasser, das aus dem senonen Kalkgestein austritt, noch genug Kohlensäure enthält, um die Becken der Fenster auszulaugen⁴⁾. Ohne Zweifel hat das unterirdische Wasser, das aus dem zerklüfteten Kalkgestein zutage tritt, schon längst seinen ganzen Gehalt an CO_2 zur Auflösung des Kalkkarbonats verbraucht. Unmittelbar aber vor seinem Austritte ist dem Wasser Gelegenheit geboten, eine gewisse, wenn auch geringe Menge von Kohlensäure aufzunehmen. Ein Teil des Niederschlages, der in der Umgebung eines Fensters fällt, dringt in die obersten Partien des Kalkgesteins ein, wobei sein ursprünglicher Kohlensäuregehalt durch die Verwesungsprodukte einer dicken Pflanzendecke vermehrt wird. Das Wasser nun, das im Inneren des Gesteins, der Saugkraft⁵⁾ der Quelle folgend, in einer nach der Quellenöffnung zu gerichteten Bewegung begriffen ist, trifft knapp vor seinem Zutagetreten mit dem atmosphärischen Wasser, wenigstens von Zeit zu Zeit zusammen. Letzteres mischt sich mit dem aus den Klüften entgegenströmenden Grundwasser und gibt an dasselbe seinen CO_2 -Gehalt ab. Auf diese Weise mit einer allerdings spärlichen Menge freier Kohlensäure ausgerüstet, vermag

auch bei einem höheren Wasserstande zu fassen. Seit Jahren findet das Verschwinden des Baches nicht mehr statt und sein Lauf erleidet keine Unterbrechung. Wir haben hier ein weiteres Beispiel, wie bald ein Karstphänomen im Senon infolge der Verstopfung der unterirdischen Wege des Wassers vergeht.

¹⁾ Zum Beispiel im Strypatale bei Zborów trifft man solche Quellen, die auf dem Blatte Pomorzany (7, XXXII) der Spezialkarte mit einem Q oder Qu bezeichnet sind.

²⁾ Eine ganz analoge Art von Quellen stellen die sogenannten „Losnes“ in den Alluvien des Rhônetales vor (Fournet, Note sur les effondrements. Mém. Acad. Nation. de Lyon, Classe des sciences, tom. II, pag. 177 und 178).

³⁾ Grund, l. c., pag. 173.

⁴⁾ Die fortschreitende Auflösung von Kalkkarbonat am Austritte des Wassers aus den Klüften kann an der Bugquelle in Werchobuz ad oculos vorgeführt werden. Im Jahre 1892 ist die Quelle in ein viereckiges, aus Stein gemauertes Bassin eingefäßt worden. Seitdem hat sich die südliche Mauer der Einfassung beträchtlich gesenkt, was nur auf die Erweiterung der Klüfte durch die Korrosion und darauf folgendes Nachsinken des wenig festen Kalkgesteins unter der Last der steinernen Mauer zurückgeführt werden kann. Im Inneren der Einfassung befindet sich eine der tiefsten Stellen des Beckens gerade bei der südlichen Mauer, die im Sinken begriffen ist. Hier ist auch die Wirbelbewegung des aus den Klüften austretenden Wassers besonders lebhaft.

⁵⁾ Diesen Ausdruck entlehne ich von Knebel (Höhlenkunde, pag. 134 ff.).

das Grundwasser noch an seinem Austritte an die Erdoberfläche langsam Kalkkarbonat zu lösen und nach einer längeren Zeit die Becken der Fenster zu erzeugen¹⁾. Sobald aber die beckenförmige Anlage eines Fensters einmal gegeben war, konnte die weitere Auslaugung in einem etwas beschleunigten Tempo vor sich gehen. Das Wasser, das aus den Klüften ans Tageslicht tritt und das Becken eines Fensters füllt, hat sofort Gelegenheit, neue Mengen von Kohlensäure aufzunehmen. Sie röhrt von der nächsten Umgebung eines Beckens her und wird durch die Verwesungsprozesse der Vegetation erzeugt, von Zeit zu Zeit aber auch durch das Regenwasser zugeführt. Das in einem Fenster angesammelte Wasser kann dank seinem CO_2 -Gehalte sich an der weiteren Ausarbeitung des Beckens durch die Auflösung von Kalkkarbonat beteiligen, vorausgesetzt aber, daß die Erneuerung des Wassers durch den ununterbrochenen Zufluß aus den Klüften und den oberflächlichen Abfluß nicht allzu rasch erfolgt. So stellen die im Kalkgestein ausgelaugten Fenster das Ergebnis des Zusammenwirkens von austretendem Grundwasser und einsickerndem atmosphärischem Wasser vor, wobei letzterem die Rolle zukommt, immer neue Mengen der zur Kalkauflösung nötigen Kohlensäure zuzuführen. Diese Erklärung der Bildungsweise von Fensterbecken dürfte höchstwahrscheinlich auch für ähnliche Quellenformen in anderen Kalkgebieten gelten, wie zum Beispiel für die „Dolinenseen“ im Jura²⁾ oder die „Bimes“ der Champagne.

Die südliche Umrundung des Beckens von Koltów bildet die Südgrenze des Gebietes, auf dem die geschilderten Karsterscheinungen verbreitet sind. Weiter gegen SSW erstreckt sich ein etwa 9 km breiter Streifen, wo vom Karstphänomen im Senon nichts zu sehen ist. Erst im Dorfe Pluhów³⁾, in der obersten Talstrecke des Zlo-

¹⁾ Ursprünglich (Doliny rzek, pag. 67) habe ich zu einer älteren Ansicht geneigt, daß das unterirdische Wasser neue Kohlensäuremengen der Umwandlung von Kalkkarbonat in Kalksulfat entnehme, die unter dem Einfluß von Zersetzungprodukten der im podolischen Senon überaus häufigen Schwefelkieskonkretionen erfolgt. Die Tatsache aber, daß die Erweiterung der Austritte des unterirdischen Wassers zu Becken oder Höhlen durch die Korrosion auch in anderen Kalkgebieten, in erster Linie im Karste die Regel ist, zwingt mich, die frühere, nur auf den lokalen Verhältnissen begründete Deutung der Herkunft der Kohlensäure, die bei der Auslaugung der Fensterbecken ins Spiel kommt, aufzugeben und an ihrer Stelle eine allgemeine, von den petrographischen Eigenschaften abhängende Erklärung der Erscheinung zu versuchen. Die Bemerkung von Knebels (Höhlenkunde, pag. 97), daß das unterirdische Wasser aus der unterwegs in Hohlräumen erfolgenden Abscheidung von Kalksinter wieder freie Kohlensäure schöpfen kann, sonst vollkommen begründet, vermag ebensowenig die in allen Kalkgebieten wiederkehrende Erweiterung von Quellenaustritten zu erklären. Die Ausscheidung von Travertin aus dem unterirdischen Wasser ist bei weitem keine so verbreitete Erscheinung wie die Auslaugung von Kalkkarbonat an den Quellenanstritten. Übrigens, wenn hier und da unterirdisch Kalkkarbonat in Höhlen oder Klüften abgeschieden wird, kann die dabei freiwerdende Kohlensäure noch lange vor dem Zutagetreten wieder zum Auflösen des Kalkes verbraucht werden.

²⁾ Als Dolinenseen bezeichnet Machaček Einsenkungen, die bis zum Niveau des unterirdischen Wassers reichen und einen Abfluß liefern (Der Schweizer Jura, pag. 130). Nach dieser kurzen Charakteristik zu schließen, scheint die Analogie der Dolinenseen und der Fenster keinem Zweifel zu unterliegen.

³⁾ Im Grenzgebiete der Blätter Złoczów (6, XXXII) und Pomorzany (7, XXXII) der Spezialkarte.

czówkabaches, eines Bugzuflusses, bietet das Senon¹⁾ wieder Karsterscheinungen. Dieses zweite Gebiet, wenn auch es die Ausdehnung des ersten bei weitem nicht erreicht, zeichnet sich aber durch einen besonderen Reichtum an Karsterscheinungen aus, die auf diesem kleinen Raum zusammengedrängt sind.

Das Tal, in dem Pluhów liegt, beginnt in SE-Richtung von den südlichsten Häusern dieser Ortschaft mit einem breiten Erosions einschneite, dessen linker Abhang sehr sanft geneigt und mit einem dichten Walde²⁾ bewachsen ist. Der Boden des Waldes, insbesondere in seinem östlichsten Teile, ist ein typisches Modell der Karsttopographie. Eine Unzahl von trichterförmigen Einsenkungen³⁾ treten dicht nebeneinander auf, zuweilen nur durch einen schmalen First getrennt. In viele von diesen Einsenkungen münden Wasserrisse, die in ihrem sehr kurzen, oft kaum einige Meter messenden Lauf tief in den Boden einschneiden und sich zu winzigen blinden Tälern ausbilden. Durch rückschreitende Erosion kann eine benachbarte Einsenkung angezapft werden und dann verbindet ein Wasserriß zwei oder mehrere Einsenkungen miteinander, bis er in der untersten sein Ende erreicht. Nach dem Regen füllen sich die Wasserrisse mit atmosphärischem Wasser und führen es den Einsenkungen zu. In der nächsten Umgebung der Einsenkungen gewährt der dichtbewachsene Waldboden keinen Einblick in das anstehende Gestein. Nur dank einem glücklichen Zufall war es mir möglich, ohne Höhenmessungen über allen Zweifel festzustellen, daß die Einsenkungen ausnahmslos im senonen Kalkgestein vorkommen. Im Boden von zwei der höchstgelegenen Einsenkungen hat man kurz vor meinem Besuch dieser Gegend nachgegraben, wobei unter einer dünnen Schicht schwarzen Humusbodens die obersten durch die Auflösung stark gelockerten Partien des Senons angegriffen wurden. Durch die allmähliche Korrosion des zerklüfteten senonen Kalksteins entstanden, spielen die Einsenkungen die Rolle von Sauglöchern, die das atmosphärische Wasser verschlucken. Obwohl ich sie unmittelbar nach einer länger andauernden Regenzeit besichtigte, die im ganzen Lande große Überschwemmungen zur Folge hatte, waren alle Sauglöcher und Wasserrisse, ja der ganze Erosions-

¹⁾ Betrachtet man vom „Atlas geol. Galicyi“ das Blatt Złoczów (Heft 7) und das südlich angrenzende Blatt Pomorzany (Heft 9), so fällt es auf, daß im ersten die Kreide nur durch das Senon, im letzteren dagegen nur durch die Stufe der „weißen Kreide“ vertreten ist. Die Verbreitung der beiden genannten Stufen des Kreidesystems in diesem Teile Podoliens bedarf einer eingehenden Revision, denn es läßt sich nicht denken, daß die Grenze von zwei Kreidehorizonten verschiedenen Alters mit der Grenze der Kartenblätter zusammenfallen könnte. Meiner Ansicht müssen auch die Kreidebildungen eines Teiles des Blattes Pomorzany dem Senon zugewiesen werden. Was die Gegend von Pluhów anbelangt, die für unseren Zweck vom größten Interesse ist, habe ich mich überzeugt, daß in der Umgebung dieser Ortschaft überall nur das Senon sehr schön aufgeschlossen ist, dagegen von der „weißen Kreide mit Feuersteinen“ keine Spur zu sehen ist.

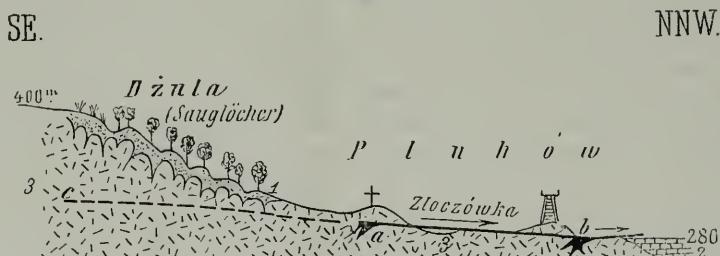
²⁾ „Dżula las“ auf der Spezialkarte (Blatt Pomorzany).

³⁾ Diese Einsenkungen erinnern lebhaft an diejenigen, die E. von Majdan in einem Erosions einschneite, ebenfalls inmitten des Waldes massenhaft vorkommen und bereits abgebildet worden sind (Doliny . . ., Taf. IV B). Die Einsenkungen bei Pluhów sind aber noch schöner und in größerer Zahl entwickelt.

einschnitt schon trocken. Nur während sehr ergiebiger Niederschläge sind die Sauglöcher nicht imstande, alles Regenwasser zu verschlucken. Ein Teil des atmosphärischen Wassers fließt dann oberflächlich ab und sammelt sich im Boden des Erosionseinschnittes zu einem kleinen, vorübergehenden Bache, der in Pluhów den Złoczówkabach erreicht.

Das atmosphärische Wasser, das in den Sauglöchern verschwindet, sickert an zahllosen Klüften in das Innere des senonen Kalkgestein ein und sammelt sich darin zu einer mächtigen Grundwasserschicht an, die in ausgiebigen Quellen zum Vorschein kommt. Wie es im Gebiete der Karsterscheinungen zwischen Złoczów und Brody der Fall war (pag. 690), kommen auch hier die Quellen aus dem Senon in einer tieferen Höhenlage als die Sauglöcher vor. Das Grundwasserniveau des zerklüfteten Senons speist drei bedeutende Quellen, die im Dorfe Pluhów, im Boden des tief im Senon eingeschnittenen Tales,

Fig. 1.



Profil durch das Quellgebiet des Złoczówkabaches in Pluhów.

1. Humusboden eluvialer Herkunft
 2. Travertin
 3. Senon.
 - a. Quellenbecken bei der Dorffigur des heil. Johannes.
 - b. Quellenbecken bei dem Eisenbahnviadukte.
 - c. Grundwasserniveau im Senon.
- } rezente Ablagerungen.

somit schon augenscheinlich unterhalb der Sauglöcher ans Tageslicht treten. Diese drei Quellen sind folgende: 1. Bei der Dorffigur des heiligen Johannes, 2. am Fuße des mittleren Pfeilers des großartigen Eisenbahnviadukts und 3. in der Nähe des Meierhofes Pluhowczyk. Allen kommen die charakteristischen Eigenschaften der vorher beschriebenen Fensterquellen zu. Das reichlich hervorquellende Wasser ist sehr kalt und klar. Die Klarheit des Wassers fiel um so mehr auf, als ich, wie bereits erwähnt, diese Gegend unmittelbar nach starken, seit einer Woche anhaltenden Niederschlägen untersuchte. Allerdings vermissen wir bei den Quellen in Pluhów die typische Form der Fenster. Der Umstand aber, daß die Quellen inmitten eines größeren Dorfes liegen und daß ihr ausgezeichnetes Wasser von Menschen und Vieh ununterbrochen benutzt wird, macht eine Verunstaltung der ursprünglichen natürlichen Form der Quellenbecken höchst wahrscheinlich. Die schüsselförmigen Wasserbecken der Quellen sind

sehr seicht¹⁾ und zeigen keinen regelmäßigen Umriß. Alle drei Quellenbecken stimmen darin überein, daß sie äußerst flache Ufer besitzen und nur von einer Seite durch eine niedrige steile Wand anstehenden Senons begrenzt sind. Am Fuße dieser Wände kann man deutlich sehen, daß im Niveau des Wasserspiegels der Quellenbecken das unterirdische Wasser in einer Reihe von Punkten sehr lebhaft aus dem Senon hervorquillt. Ein besonders starkes Aufwallen des austretenden Wassers beobachtet man am Fuße der Senonwand, die das Quellenbecken bei dem mittleren Pfeiler des Eisenbahnviadukts von der Südseite umrandet. Die Stellen, wo man die Bewegung des hervorquellenden Wassers wahrnimmt, entsprechen offenbar den Mündungen von erweiterten Klüften im senonen Kalkgestein, in denen eine größere Menge Wassers unterirdisch fließen kann. Die drei genannten Quellen aus dem Senon in Pluhów sind sehr ergiebig und liefern wasserreiche Abflüsse, aus deren Vereinigung der Złoczówka-bach, ein Bugzufluß, entsteht. Gleich unterhalb der beschriebenen Quellen wird das dem senonen Kalkgestein entnommene Kalkkarbonat in mächtigen Travertinabsätzen ausgeschieden. Die breite und ebene Talsohle des Złoczówkabaches im nördlichsten Teile von Pluhów ist weit und breit mit einem Lager sehr festen, porösen Kalktuffes auskleidet. Die Travertinlager sind mit einer so dünnen Schicht schwarzen Humusbodens überzogen, daß sie vielfach schon durch den Pflug angeschnitten werden.

Als eine mit den Quellenbecken im Senon eng verwandte Erscheinung kommt südwestlich von der Bierbrauerei in Pluhów, am Südrande des breiten und versumpften, tief im Senon eingeschnittenen Talbodens ein „bodenloser Quelltopf“ vor, welcher bereits besprochen worden ist (pag. 694).

Wie in der Gegend zwischen Złoczów und Brody, ist auch hier die Eigentümlichkeit der Wasserzirkulation im stark zerklüfteten Senon der Aufmerksamkeit des Volkes nicht entgangen. Das Volk hat eine gewisse unbestimmbare Ahnung davon, daß das unterirdische Wasser im Senon unter außergewöhnlichen Umständen zirkuliert, es glaubt aber gleich an umfangreiche unterirdische Höhlungen, die sich auf unmöglich große Entfernung hin ohne Unterbrechung erstrecken würden. Mit besonderer Vorliebe denken die Bewohner von Pluhów an eine unterirdische Verbindung mit dem großen Teiche bei Brzeżany, der in der Luftlinie um mehr als 30 km entfernt ist. So erzählt man von einem Fische, der beim Ablassen des Teiches von Brzeżany aus demselben auf unterirdischem Wege in das Quellenbecken bei der Dorffigur des heiligen Johannes gelangt sei. Eine andere Fabel läßt ein Ochsenpaar im „bodenlosen Quelltopf“ in Pluhów ertrinken und nach einiger Zeit in dem genannten Teiche zum Vorschein kommen.

Die Wasserzirkulation im zerklüfteten Senon, mit ausgesprochenen Karsterscheinungen verbunden, ist auf die nächste Umgebung von Pluhów beschränkt. Nur in NWW-Richtung, längs der Eisenbahnstrecke²⁾

¹⁾ Die Maximaltiefe des größten Quellenbeckens in Pluhów, desjenigen bei dem Meierhofe Pluhowczyk, erreicht kaum etwa 1 m.

²⁾ Rechts von derselben.

nach Złoczów können wir das Vorhandensein eines Grundwasserhorizonts im Senon noch ziemlich weit verfolgen. Etwa 800 m SEE von der Eisenbahnhaltestelle Zarwanica hat man in einem tiefen Brunnen unterhalb des Eisenbahndamms den Grundwasserspiegel des Senons erreicht. Im Dorfe Zarwanica treten ebenfalls in der Nähe des Schienenstranges zwei schwache Quellen aus dem Senon dicht nebeneinander zutage, von denen eine eingefäßt ist, die andere dagegen eine natürliche beckenförmige Anlage zeigt. Sie sind höher gelegen als die Quellenbecken in Pluhów und stehen ihnen an Ergiebigkeit bei weitem nach. Der Brunnen südsüdwestlich von Kiejków¹⁾ ist der westlichste Punkt, wo das Grundwasser im Senon noch festgestellt werden konnte.

Längs einer Linie, die von Lemberg zuerst in östlicher Richtung bis in die Gegend westlich von Złoczów verläuft und dann nach NEE umbiegt, bricht das galizisch-podolische Plateau plötzlich ab und grenzt unmittelbar an das Senkungsgebiet am oberen Bug- und Styrfuß. Als eine etwa 150 m hohe Stufe tritt der Nordabfall des podolischen Plateaus sehr scharf im Terrain hervor und wird von den höchsten Erhebungen der podolischen Platte gekrönt. Der westliche, zwischen Lemberg und der Gegend von Złoczów sich erstreckende Teil der Nordkante Podoliens bildet die Wasserscheide, die die Einzugsgebiete der Ostsee und des Schwarzen Meeres trennt. Die nördlichen Flanken werden durch die Bugzuflüsse zur Weichsel entwässert, während die äußerst sanfte Abdachung auf der südlichen Seite zum Dniestrgebiete gehört. An einer Stelle aber fällt die Wasserscheide nicht mit der orographischen Nordkante des podolischen Plateaus zusammen und hat der Bugfluß das oberste Seretgebiet angesapft. Wie ineinandergelegte Finger greifen der Bugfluß und der ihm tributäre Złoczówkabach zwischen die Quellbäche des Seretflusses hinein. Langgezogene Rücken, die durch die Erosion aus dem Plateau herausgeschnitten worden sind, trennen ihre Täler voneinander und bilden die zickzackförmig verlaufende Wasserscheide der beiden Einzugsgebiete. Eine bestimmte Wasserscheide aber ist nur auf der Erdoberfläche vorhanden, wogegen unterirdisch die beiden Flußgebiete zum guten Teil miteinander in Verbindung stehen²⁾. Ein Teil des atmosphärischen Wassers versinkt in den Sauglöchern in das engmaschige Kluftnetz des Senons und sammelt sich in der Tiefe zu einer ausgedehnten einheitlichen Grundwasserschicht an, die die Quellen des Bugflusses in der Umrandung der Niederung von Koltów und die durch den Wolicabach dem Seretfluß tributären Fenster speist. Eine andere Grundwasserschicht ist im Senon des Quellgebietes des Złoczówkabaches aufgespeichert. Diese beiden Gebiete einer lebhaften Wasserzirkulation im Senon entbehren höchstwahrscheinlich eines

¹⁾ Zwischen der Landstraße (bei der Kilometerstange 73) und dem Eisenbahndamm.

²⁾ Es lässt sich vorläufig nicht entscheiden, inwiefern die orographische, oberflächliche Wasserscheide mit der unterirdischen übereinstimmt. Beide können unabhängig voneinander verlaufen, wie dies zum Beispiel im Paderborner Plänergebiete der Fall ist (Stille, Geol.-hydrologische Verhältn. im Ursprungsgebiete der Pader. quellen zu Paderborn. Abhandl. d. königl. preuß. geol. Landesanstalt, Neue Folge, Heft 38, pag. 34).

unterirdischen Zusammenhangen und sind als unabhängig voneinander anzusprechen.

Die Betrachtung der Karsterscheinungen im Bereiche des Senons ist uns eine willkommene Gelegenheit, zu den Ansichten von A. Grund¹⁾ Stellung zu nehmen, deren Verallgemeinerung ernsten Einwänden begegnet hat²⁾. Die Meinungsverschiedenheit gipfelt bekanntlich in der Frage, ob wir die Eigentümlichkeiten der Karsthydrographie mit A. Grund durch ein zusammenhängendes, alle Klüfte erfüllendes Grundwasser oder im Gegenteil durch selbständige unterirdische Wasserströme erklären sollen. Die Existenz von echten Höhlenflüssen, deren unterirdischer Lauf auf einer längeren Strecke verfolgt wurde, kann meiner Ansicht die Theorie von Grund nur modifizieren, aber nicht umstürzen. Es ist kein größerer Gesteinskomplex denkbar, der in seiner ganzen Masse genau in demselben Grade zerklüftet wäre. Das vielseitige und überzeugende Beweismaterial, welches v. Knebel³⁾ zusammengebracht hat, zwingt zu der Annahme, daß es Zonen einer stärkeren Zerklüftung des Gesteins gibt. Mit der Intensität der Faltung und Zusammenpressung der Schichten muß zugleich ihre sekundäre Zerklüftung wechseln. Ebensogut können auch die primären Eigenschaften eines Gesteins, die für die unterirdische Wasserzirkulation maßgebend sind, nicht in seiner ganzen Masse dieselben bleiben. Wir sind daher vollkommen berechtigt, das Vorhandensein von Gesteinspartien oder Gesteinszonen vorauszusetzen, die vom Grundwasser mit Vorliebe benutzt werden und unterirdische, in zahllose Quellstränge aufgelöste Wasserströme darstellen⁴⁾. Durch das fortschreitende Erweitern der Klüfte werden die Quellstränge immer größer, zugleich aber an Zahl geringer, bis sich schließlich ein einziger unterirdischer Höhlenfluß herausbildet⁵⁾. Durch die Erweiterung der Klüfte, mit der die Herausbildung eines unterirdischen Flusses aus dem Grundwasserstrom verbunden ist, wird das Gestein in unzählige Fragmente gelockert. Auf diese Weise entsteht ein guter Teil der Schuttanhäufungen, die in den Höhlen vielfach beobachtet wurden. Zwischen den Zonen starker Zerklüftung können aber Partien nicht geklüfteten Kalkes eingeschaltet sein, die wasserundurchlässig sind⁶⁾. Wir müssen daher in einem jeden größeren Karstgebiete nicht ein einheitliches, ununterbrochenes Grundwasserniveau, vielmehr aber mehrere selbstän-

¹⁾ L. c., Schlußbemerkungen.

²⁾ Katzer, l. c., pag. 239 ff. — v. Knebel, Höhlenkunde, pag. 56 ff. und 89 ff.

³⁾ Höhlenkunde, pag. 117 ff.

⁴⁾ Die geringe Geschwindigkeit des unterirdisch zirkulierenden Wassers, welches v. Knebel ausführlich erörtert (l. c., pag. 59 ff. und 67 ff.), möchte ich auf die bedeutende Vergrößerung des Reibungswiderstandes infolge der Auflösung in eine Unzahl von Wasserfäden zurückführen.

⁵⁾ Ebenfalls betrachtet v. Knebel (l. c., pag. 133) die vom Grundwasser benutzten Zerklüftungszonen als die Anlage der späteren Höhlenflüsse.

⁶⁾ Solche Partien aber müssen nicht unbedingt wasserdicht sein. Auch zerklüftete und mit Wasser durchtränkte Partien können die Rolle eines vollkommen undurchlässigen Gesteins übernehmen, wenn ein sehr hoher Reibungswiderstand die Bewegung des Wassers in denselben aufhebt (Stille, l. c., pag. 97).

dige, voneinander unabhängige Grundwasserregimes voraussetzen. Mitunter kann zwischen zwei benachbarten Grundwassergebieten periodisch oder auf die Dauer eine Verbindung bestehen, die jedoch nicht immer ausreicht, um ihre Niveaudifferenz auszugleichen. Die schwache Seite der Theorie von A. Grund besteht nur darin, daß sie eine zu große, mit der Wirklichkeit nicht immer vereinbare Allgemeinheit anstrebt, dabei aber die Anwendung auf die Einzelfälle zu wenig berücksichtigt.

Die geringe Festigkeit des senonen Kalkgesteines, die wir schon betont haben, schließt das Vorhandensein von größeren Höhlungen mit unterirdischen Wasserläufen aus. Die Nachrichten, daß Spreu oder Kohlen, die in die Sauglöcher im Quellgebiet des Serethauses geschüttet wurden, später in der Bugquelle in Werchobuz hervorgekommen sein sollen, sind wissenschaftlich nicht bestätigt worden und können demnach nicht in Betracht gezogen werden. Das senone Kalkgestein ist von einem dichten Netze von engen Klüften durchsetzt, in denen das Wasser wie in einem porösen Gestein zirkuliert, die Mündungen von Kluftsystemen zu Sauglöchern und Quellenbecken ausweitend. Die Wasserzirkulation im Senon ist im allgemeinen den Gesetzen unterworfen, die A. Grund für die Hydrographie des adriatischen Karstes aufgestellt hat. Meiner Ansicht aber liegt absolut kein Anlaß vor, das sogenannte „Karstwasser“ als eine besondere Art des Grundwassers zu unterscheiden, wie es Grund getan hat. Ich vermeide daher diese von Grund eingeführte Bezeichnung und habe ich stets nur vom Grundwasser oder vom unterirdischen Wasser im Senon gesprochen.

Es wird von A. Grund ein „stagnierendes Grundwasser“ in der Tiefe der zerklüfteten Kalkkomplexe und über demselben ein „fließendes Karstwasser“ unterschieden¹⁾. Penck hat den Begriff des Karstwassers auf „alles in den Fugen des Karstgebirges befindliche Wasser“ erweitert²⁾. Die Rücksicht auf das Volumen der Hohlräume, die für Penck allein maßgebend ist, das Karstwasser der zerklüfteten vom Grundwasser der porösen Gesteine auseinanderzuhalten³⁾, könnte höchstens in rein praktischer Beziehung, zum Beispiel bei Brunnenbohrungen zur Geltung kommen. Es bleibt aber noch die Frage offen, ob der quantitative Unterschied zwischen einem zerklüfteten und porösen Gestein wirklich so groß ist, wie es von Penck angenommen wurde. Ohne Zweifel hat Grund, dessen Berechnung den Ausführungen von Penck zugrunde liegt, das Volumen der Klüfte bei weitem unterschätzt⁴⁾. Das senone Kalkgestein ist in dem Teile Podoliens, wo es zu Karsterscheinungen neigt, von einem so dichten Netze von Klüften durchsetzt, das es an Volumen der Hohlräume einem porösen Gestein gleich kommen dürfte. Da es nach dem Gesagten keinen wesentlichen Unterschied zwischen dem Grundwasser der porösen Gesteine und dem Karstwasser der zerklüfteten Kalke gibt, ist auch die Einführung der neuen Bezeichnung „Karst-

¹⁾ *I. c.*, pag. 173 und 174.

²⁾ Über das Karstphänomen, pag. 13.

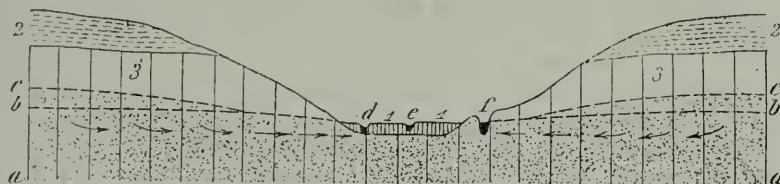
³⁾ *Ibid.*, pag. 14 und 15.

⁴⁾ Katzer, *I. c.*, pag. 240. — Auch v. Knebel, *I. c.*, pag. 18.

wasser" nicht begründet. Wenn man mit Penck das Karstwasser des zerklüfteten Kalkes vom Grundwasser der porösen Schotter trennt, wie würde man dann das unterirdische Wasser nennen, das ein zugleich poröses und stark zerklüftetes Gestein, zum Beispiel den Quadersandstein durchtränkt?

Das atmosphärische Wasser, das an den Klüften absickert, wird im Inneren des Senons zu einer mächtigen Grundwasserschicht aufgespeichert. Die Tiefe, in der die untere Grenze des Grundwassers sich befindet, ist — ebenso wie die Mächtigkeit und das Liegende des Senonkomplexes — nicht bekannt. Dem Beispiele A. Grunds folgend, können wir im Grundwasser des Senons zwei Schichten unterscheiden, daß heißt eine untere stagnierende und eine obere, in ununterbrochener Bewegung begriffene Grundwasserschicht. Ihre Grenze (b) wird annähernd durch das Erosionsniveau der Flüsse bestimmt, sie kann aber nicht als eine Fläche gedacht werden, wie es A. Grund getan hat. Zwischen dem stagnierenden und in Bewegung begriffenen Grundwasser gibt es keine scharfe Grenze, indem

Fig. 2.



Theoretische Skizze der Wasserzirkulation im Senon.

1. Alluvium. — 2. Miocän und Quartär. — 3. Senon.

ab , tiefer und ac , hoher Grundwasserstand im Senon. — d . Bodenloser Quelltopf. — e . Flüßbett. — f . Fenster.

ein allmäßlicher Übergang sich vollzieht. Wenn das Grundwasserniveau nach ergiebigen Niederschlägen von b bis c steigt, so wird der Wasserzuwachs (b c) nicht — wie Grund voraussetzt — auf der äußerst sanft geneigten Fläche b abfließen, vielmehr aber das darunter befindliche Grundwasser auspressen, das seinerseits nach der Seite hin in der durch Pfeile angegebenen Richtung ausweicht und in den Quellen zutage tritt. Auf diese Weise wird das Grundwasser erneuert, seine Bewegung aber pflanzt sich nach unten mit rasch abnehmender Geschwindigkeit fort, bis in einer nicht unbeträchtlichen Tiefe der Wasseraustausch aufhört und das vollkommen stagnierende Grundwasser erreicht wird. Die Quellen, die in den Tälern aus dem Senon hervorkommen, sind Überläufe des in den Klüften angehäuften Grundwassers. Daher könnte man diejenigen Talstrecken, in denen fensterähnliche Quellen den größten Teil des abfließenden Wassers liefern, „Überlauftäler“¹⁾ nennen. Der Umstand, daß in den Quellen

¹⁾ Diese Bezeichnung sollte überhaupt auf alle Talstrecken erweitert werden, deren Sohle innerhalb der Grundwasserschicht liegt. Die podolischen Dniestr-

nicht das unmittelbar nach dem Niederschlage abgesickerte, sondern das dadurch ausgepreßte Grundwasser zutage tritt, erklärt die Kälte und die Reinheit¹⁾ des Wassers in den Fenstern und verwandten Quellen. Die Klüfte im Senon sind sehr eng und die Anhäufung von Eluvialprodukten erschwert noch mehr die Bewegung des Grundwassers. Die Tatsache, daß die Fensterquellen im Gegensatze zu den Quellen anderer Kalkgebiete²⁾, namentlich des adriatischen Karstes, keine bedeutenden Schwankungen des Ertrags aufweisen, ist neben der gleichmäßigen Verteilung der Niederschläge auch dadurch begründet, daß die Wasserzirkulation infolge des großen Reibungswiderstandes in den engen Senonklüften sehr langsam stattfindet und infolgedessen die Schwankungen der Regenmenge ausgeglichen werden.

In morphologischer und hydrographischer Hinsicht ist das Becken von Koltów eine höchst auffällige und eigenartige Erscheinung. Das Becken hat einen annähernd rhombischen Umriß, der durch die Erosion vielfach ausgezackt ist. Sein Boden nimmt ein Areal von etwa 14 km² ein und ist größtenteils versumpft. Rundum ist der ebene Boden von ziemlich steilen Abhängen umrahmt, die sich von ihm scharf abheben. An ihrem Fuße treten ergiebige Quellen aus dem zerklüfteten Senon hervor und speisen den Bugfluß. Diese Eigentümlichkeiten, die sonst nirgends in Podolien wiederkehren, verleihen dem Becken von Koltów den Charakter eines Karstpoljes. Die Funktion der Poljen, die nach Penck darin besteht, daß sie das Austreten des unterirdischen Wassers ermöglichen³⁾, kommt in dem Quellenreichtum des Beckens zum Ausdrucke. Wenn wir mit Teisseyre⁴⁾ annehmen, daß seine Grenzen durch Brüche bestimmt sind⁵⁾, können wir es als

zuflüsse fließen in ihrem Oberlaufe meistens in solchen Überlauffällern, in deren Boden das Grundwasser in zahllosen Überlaufquellen hervortritt (Łoziński, Doliny . . . , pag. 10—12). Besser würde vielleicht die Bezeichnung „Überfließtäler“ klingen, wir müssen sie aber vermeiden, da sie bereits von F. E. Geinitz auf die glaziale Hydrographie angewendet wurde (Die Seen, Moore und Flußläufe Mecklenburgs, pag. 4).

¹⁾ In einem der II. Tagung der polnischen Ärzte und Naturforscher 1875 erstatteten Berichte heißt es, daß das Wasser der Bugquelle in Werchobuż zur Zeit des Regens oder der Schneeschmelze trübe wird und zuweilen Molluskschalen, Laub etc. aus dem Gesteinsinneren mit sich bringt (Pamiętnik der genannten Tagung, pag. 154). Obwohl ich die Quelle zur Regenzeit (Anfang September 1905) besichtigte, war das Wasser von stäunender Klarheit. Da aber die Quelle erst vor 15 Jahren eingefäßt wurde, konnte sie früher ohne Zweifel durch das von den umgebenden steilen Gehängen oberflächlich herabfließende Regenwasser getrübt werden. Dasselbe muß man auch von den erwähnten Molluskschalen etc. annehmen, die in den feinen Klüften gewiß keinen Weg finden würden. Dank der Einfassung wird die Quelle von äußeren Einflüssen geschützt und erfährt selbst während des Regens keine Trübung.

²⁾ Die Areusequelle im Neufchâtel Jura ist das beste Beispiel, welch riesige Schwankungen des Ertrags in einem Kalke möglich sind, der das Vorhandensein von bedeutend erweiterten Klüften verträgt. Zu vergl. Daubrée, *Les eaux souterr. à l'époque act.*, Bd. I, pag. 345 und 347. — Schardt im Geologischen Zentralblatte, Bd. VIII, Ref. Nr. 528.

³⁾ Geomorphologische Studien aus der Herzegowina. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines, Bd. XXXI, pag. 27.

⁴⁾ Sprawozdanie Kom. Fizyograf., Bd. 29, pag. 176.

⁵⁾ Es ist möglich, daß die verhältnismäßige Häufigkeit der Karsterscheinungen im Senon der Umgebung des Beckens von Koltów zum Teil auf die

ein Senkungspolje betrachten. Im Gegensatze aber zu den echten Karstpoljen wird das Polje von Koltów nicht unterirdisch, sondern oberflächlich entwässert. Die tektonische Anlage des Poljes von Koltów dürfte mit der Entstehung der Nordkante Podoliens, die Teisseyre in das Ende der Miocänzeit versetzt¹⁾, zeitlich zusammenfallen. An die Poljenatur des Beckens knüpft sich nun die Frage, ob es anfangs nur unterirdisch entwässert, vielleicht sogar von einem See eingenommen und erst später durch den Bugfluß angezapft wurde, oder gleich von seiner Entstehung an den gegenwärtigen oberflächlichen Abfluß besaß. Die erstere Eventualität würde genau mit dem Entwicklungsgange der bosnischen und herzegowinischen Poljen übereinstimmen und wir könnten in diesem Falle das Becken von Koltów ein „eröffnetes“²⁾ oder ein „aufgeschlossenes“³⁾ Polje nennen. Vorerst haben wir jedoch keine Anhaltspunkte⁴⁾, um die Entwicklungs geschichte des Beckens in allen Details verfolgen zu können. Da aber, wie ich schon früher unwiderleglich dargetan habe⁵⁾, die größten Leistungen der Erosion in Podolien auf das niederschlagsreiche Klima der älteren Diluvialzeit zurückzuführen sind, können wir annehmen, daß die Ausbildung der gegenwärtigen Hydrographie des Beckens von Koltów in großen Zügen bereits zur jüngeren Diluvialzeit abgeschlossen war.

3. Die Karsterscheinungen des Lithothamnienkalkes.

Der Lithothamnienkalk, dessen Alter und petrographischer Charakter dem Leithakalke des Wiener Beckens vollkommen entsprechen, ist das verbreitetste Gebilde Podoliens. Er erstreckt sich sowohl über dem Senongebiete des nördlichen Podoliens wie auch über dem paläozoischen Horste bis zu seinem Südrande, allerdings nicht ohne fazielle Unterschiede, die in der Mächtigkeit des Komplexes und in der Größe der Lithothamnien⁶⁾ zum Ausdrucke kommen. Im

stärkere Zerklüftung des Kalkgestein durch tektonische Bewegungen zurückgeführt werden kann. So hat Stille im Gebiete der Paderquellen eine Koinzidenz der Erdfälle und Quellenanstritte mit Spaltenzügen nachgewiesen, welche letztere aber oft von keinen oder nur äußerst geringen Schichtenverschiebungen begleitet werden (l. c., pag. 75 ff.).

¹⁾ Atlas geolog. Galicyi, Heft VIII, pag. 283 und 284.

²⁾ Vergl. Cvijić, Morphologische und glaziale Studien aus Bosnien, II. Teil. Abhandl. d. k. k. geograph. Gesellsch. in Wien, Bd. III, Nr. 2, pag. 85.

³⁾ Cvijić, Karstphänomen, pag. 292 und 303.

⁴⁾ Am empfindlichsten ist die Unmöglichkeit eines Einblickes in die Beschaffenheit der jüngeren Ablagerungen am Boden des Beckens, die erst durch Bohrungen erschlossen werden könnten. Vielleicht würde es sich herausstellen, daß die Verwitterungsprodukte, die wir in Koltów kennen gelernt haben (pag. 692, Anm. 6), von einem Bach abgelagert wurden, welcher ehemals, bevor das Becken vom Bugfluß erobert wurde, im heutigen Bugtale, aber in entgegengesetzter Richtung floß und bei Koltów in das Becken einmündete.

⁵⁾ Doliny . . ., pag. 26 und 29. — Auch Geologisches Zentralblatt, Bd. VII, pag. 760 und 761.

⁶⁾ Zu vergl. Teisseyre, Versuch einer Tektonik des Vorlandes der Karpathen. Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. 1903, pag. 302. Atlas geolog. Galicyi, VIII, pag. 293 ff.

Lithothamnienkalke wird der größte Teil des Grundwassers in Podolien aufgespeichert, insbesondere wenn er — wie es sehr oft der Fall ist — unmittelbar auf undurchlässigen Ablagerungen, entweder auf paläozoischen Tonen oder auf obercretacischem Mergel liegt¹⁾. Das Grundwasser des Lithothamnienkalkes tritt in zahllosen, sehr ergiebigen Quellen zutage, aus denen nicht selten ein ansehnlicher Bach entsteht. An Ertrag bleibt manche Quelle aus dem Lithothamnienkalke gewiß nicht hinter den Fenstern zurück, die im vorhergehenden Abschnitte geschildert wurden. Man kann aber die aus dem Lithothamnienkalke reichlich zutagetretenden Quellen nicht, wie es mit den Fenstern geschah, als eine Karsterscheinung auffassen, da an keiner von ihnen irgendein Merkmal zu beobachten ist, das sich aus der Auflösung von Kalkkarbonat durch das unterirdische Wasser ergeben würde. Es kommt zwar manchmal vor, daß eine Quelle oder Quellengruppe aus dem Lithothamnienkalke eine beckenförmige Anlage mehr oder weniger ausgesprochen zur Schau trägt²⁾. Diese Becken aber, in denen eine oder mehrere Quellen austreten, sind lediglich durch die rückschreitende Erosion des stark abfließenden Wassers herausgearbeitet worden. Im Gegensatze zu den Fenstern kommen die Quellen aus dem Lithothamnienkalke in der Regel hoch an den steilen Abhängen der Täler zum Vorschein, ihr Wasser fließt rasch ab und stürzt mit einem starken Gefälle den Abhang hinab. Dadurch sind die Abflüsse imstande, eine intensive Erosionstätigkeit an den Talgehängen zu entwickeln. Indem sich der Austritt des Grundwassers immer weiter in den steilen Abhang hineindrängt, können hie und da durch die rückschreitende Erosion schüsselförmige oder — wenn ein steiles Gehänge über der Quelle ansteigt und unterminiert nachstürzt — kesselförmige Quellenbecken geschaffen werden. Das wirksame Fortschreiten der Erosion bringt es mit sich, daß das Quellwasser sofort abfließt und keinesfalls sich im Becken ansammelt, ausgenommen den Fall, wenn es künstlich abgedämmt wird. Es kann sich mit der Zeit ereignen, daß das Grundwasser seinen Austritt verlegt und das Quellenbecken trockengelegt wird. Derartige ehemalige Quellenbecken habe ich in der Gegend zwischen Brzeżany und Rohatyn beobachten können³⁾. In das Gehänge eingefressen und gewöhnlich dicht bewachsen, wodurch sie schon aus der Ferne auffallen, machen solche erloschene Quellenbecken beim ersten Anblick den Eindruck einer Karsterscheinung. In der Tat

¹⁾ Vergl. von Łoziński, Hydrogeol. Unters. im Bzk. Horodenka. Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. 1905, pag. 90.

²⁾ Von den vielen Beispielen, die ich beobachtet habe, mögen nur zwei angeführt werden. Im Dorfe Chmielowa (pol. Bezirk Zaleszczyki) befindet sich ein weites, schüsselförmiges Becken, in dessen Umrandung eine Reihe von Quellen aus dem Lithothamnienkalke austreten. Ihre Abflüsse vereinigen sich zu einem Bach, welcher in einer engen Schlucht zum Dniestr stürzt. — Ungefähr 450 m NEE von der Eisenbahnhaltestelle Nagrabie (Blatt Brzeżany der Spezialkarte) kommt eine Quelle aus dem Lithothamnienkalke in einer kesselförmigen Nische hervor. Einem ganz ähnlichen Quellenbecken begegnet man weiter in derselben Richtung, am entgegengesetzten Abhange des Rückens. Von davon kommt ein trockengelegtes Quellenbecken vor, worauf wir noch zurückkommen werden.

³⁾ Zum Beispiel in der Nähe des letzten von den Quellenbecken, deren beispielsweise Erwähnung getan wurde (s. Anm. 2).

sind sie nur ein Pseudokarstphänomen. Von den echten, durch Auslaugung von Lithothamnienkalk entstandenen Hohlformen unterscheiden sie sich dadurch, daß sie vereinzelt an den Abhängen und nicht auf dem ebenen Plateau auftreten.

Die Gewässer Podoliens, die aus dem Lithothamnienkalk hervorquellen, scheiden große Massen von Travertin ab¹⁾. Das ungemein häufige Vorkommen von Travertin führt uns vor die Augen vor, welch große Mengen von Kalkkarbonat dem Lithothamnienkalk durch das Grundwasser entzogen werden. Die Auslaugungsprozesse aber, die im Innern des Lithothamnienkalkes in großem Maßstabe fortwährend stattfinden, haben nur ausnahmsweise die Oberflächengestaltung des Landes merklich beeinflußt und karstähnliche Bodenformen erzeugt. Die Tatsache, daß trichterförmige Einsenkungen im Bereich des Lithothamnienkalkes auf einige kleine und isolierte Partien beschränkt sind, kann nur durch die Struktur dieses Gesteins erklärt werden. Gegenüber den Angriffen des durchsickernden Wassers verhält sich der Lithothamnienkalk nicht wie ein homogener Kalk, indem er aus kompakten Lithothamnienknollen zusammengesetzt ist, die in einer porösen Kalkmasse eingebettet sind. Das unterirdische Wasser kann daher nur in dem kalkigen Bindemittel der Lithothamnienknollen reichlich zirkulieren und Kalkkarbonat lösen, während letztere nicht in demselben Grade vom Grundwasser durchdrungen werden und viel länger der Auflösung widerstehen²⁾. Der Lithothamnienkalk wird allmählich in ein Haufwerk von losen Lithothamnienknollen verwandelt, die in den unlöslichen Eluvialprodukten eingebettet sind. Meistens sind die auf diese Weise gelockerten Lithothamnienkalke durch die Vegetation gebunden und vor der Abtragung geschützt. Nur im südlichen Teile des paläozoischen Horstes, wo faustgroße Lithothamnien dicke Kalklager aufbauen, entstehen nicht selten an den Gehängen der Schluchten und Täler im Ausgehenden der Lithothamnienbänke mächtige, sehr labile und langsam abwärts bis zum Talgrunde hinab wandernde Schutthalden von kugel- oder eiförmigen Lithothamnienknollen. Da die Auflösung des Lithothamnienkalkes sich unterirdisch abspielt und der Entblößung durch die Abspülung voraussetzt, sieht man überall an den Abhängen der Erosionseinschnitte statt des Lithothamnienkalkes lediglich einen mit Lithothamnienknollen dicht gespickten Eluviallehm. Nur in den Steinbrüchen, wo das frische Gestein unterbrochen erschlossen wird, steht der Lithothamnienkalk noch nicht durch das Grundwasser aufgelockert an. Hier kann man sehen, wie der Auflösungsprozeß von den obersten Partien des Lithothamnienkalkes nach unten vordringt. Zu unterst zeigt das Gestein noch keine

¹⁾ Die Travertinabsätze habe ich an anderen Stellen behandelt. Zu vergl. Mitteil. d. k. k. geogr. Ges. in Wien, Bd. XLVII, pag. 548. Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. 1905, pag. 94 und 95.

²⁾ Der ungleichen Löslichkeit der Lithothamnienknollen und der umgebenden Kalkmasse könnte vielleicht auch ein Unterschied der physikalischen Eigenschaften zugrundeliegen. Dafür spricht die ungemein häufige Erscheinung, daß auf der Oberfläche der verschiedensten Kalkarten die Versteinerungen, wie Korallen oder Molluskenschalen, unter dem Einflusse des atmosphärischen Wassers sehr schön aus dem umgebenden Kalke herauspräpariert sind.

sichtbaren Spuren der auflösenden Tätigkeit des unterirdischen Wassers. Die oberen Partien dagegen sind bereits in eckige Fragmente aufgelockert, deren Zwischenräume der unlösliche Rückstand ausfüllt. Der gelockerte Lithothamnienkalk geht nach oben allmählich in gelben Eluviallehm über, in welchem die Lithothamnienknollen, durch die Auflösung mit der größten Genauigkeit herauspräpariert, eingebettet sind. Da die Auslaugung des Lithothamnienkalkes unterirdisch, unter dem wasser durchlässigen Löß vor sich geht, habe ich diesen Prozeß „Kryptokarstphänomen“ genannt. Sein Endresultat ist die Anhäufung des Eluviallehms unter dem Schutze einer mächtigen Lößdecke. Bei der Bildung von Eluviallehm nimmt selbstverständlich das ursprüngliche Volumen des Lithothamnienkalkes bedeutend ab und infolgedessen sinkt auch die Lößdecke im Hangenden äußerst langsam nach, ohne es aber durch irgendein merkliches morphologisches Anzeichen auf der Erdoberfläche zu verraten.

Ein Gestein, das — wie der Lithothamnienkalk — nicht gleichmäßig ausgelaugt wird und sich in ein Haufwerk von schwerer löslichen Fragmenten verwandelt, ist selbstverständlich zur Entwicklung des Karstphänomens wenig geeignet. Dadurch erklärt es sich, daß Karsterscheinungen im Lithothamnienkalk im Verhältnisse zur großen Verbreitung dieses Gebildes in Podolien spärlich sind. Das Vorhandensein von karstähnlichen Hohlformen im Lithothamnienkalk ist aber nicht an Podolien allein gebunden. Kürzlich sind zahlreiche Dolinen und ein blindes Tal im Leithakalk der Gegend von Sukdull und Afram (SSE von Graz) bekannt geworden¹⁾.

Am häufigsten erscheinen trichterförmige Vertiefungen der Erdoberfläche in Lithothamnienkalk SW von der Stadt Brzeżany²⁾. Die Trichter dieser Gegend sind in drei getrennten Gruppen verteilt, von denen eine die Mitte des Rückens Jaryszków einnimmt. Unweit davon erstreckt sich eine andere Trichterschar N vom Dorfe Olchowiec, auf dem nordwestlichsten Teile des Kiziarückens³⁾. Die Wanderung in der SW-Richtung von Brzeżany fortsetzend, erreichen wir nach einer längeren Unterbrechung die dritte und zugleich die größte Trichtergruppe, welche sich auf der Höhe des Rückens Obreczowa (NNE von Mieczyszczów) hinzieht⁴⁾. Hier sind die unzähligen Trichter so dicht zusammengedrängt, daß oft nur ein schmaler First zwei benachbarte Einsenkungen scheidet. Meistens besitzen sie eine regelmäßige Trichterform. Ihre Größe ist sehr verschieden, ihre Gestalt aber ist immer die der „trichterförmigen Dolinen“ von Cvijić⁵⁾.

¹⁾ Fabian, Das Miocänland zwischen der Mur und der Stiefling bei Graz. Mitteil. d. naturw. Ver. für Steiermark, Jahrg. 1905, pag. 14 und 15. Die auf pag. 15 abgebildete Doline in Sukdull ist morphologisch ein Analogon der Trichter im podolischen Lithothamnienkalk.

²⁾ Zu vergl. Blatt Brzeżany (Z. 8, Kol. XXXII) der Spezialkarte.

³⁾ Diese beiden Trichterscharen sind um mehr als 1 km in SE-Richtung vom Dorfe Raj entfernt.

⁴⁾ Gegen NWW endet diese Trichterschar bei dem Buchstaben O des Namens Obreczowa auf der Spezialkarte. Weiter nach N, jenseits des Quellengebietes des Baches Manasterski, ist auf dem benachbarten Rücken noch eine Anzahl von Trichtern zerstreut.

⁵⁾ Das Karstphänomen, pag. 227.

Zwischen den Trichtern auf dem Obreczowarücken befinden sich stellenweise runde, äußerst flache und kaum merkliche Bodeneinsenkungen, in denen sich nach dem Regen ein kleiner Wassertümpel sammelt¹⁾. Ich betrachte sie als Ansätze der Trichterbildung, deren weitere Entwicklung aber infolge einer lokal stärkeren Anhäufung von wasserundurchlässigen Eluvialprodukten bedeutend verzögert oder sogar unterbrochen wurde.

Die hypsometrische Verteilung der Trichter im Lithothamnienkalk zeigt eine auffallende Regelmäßigkeit. Sie treten alleinig auf der beinahe ebenen Oberfläche der schmalen, langgestreckten Rücken auf, die durch die Erosion eines dichten, stark verzweigten Wassernetzes aus dem Plateau herausgeschnitten wurden. Infolgedessen sind die Einsenkungen in Streifen geschart, deren Längenerstreckung mit der Achse der Rücken zusammenfällt. Die Längenerstreckung des größten Trichterschwarmes auf dem Obreczowarücken beträgt fast 2 km, wogegen die Breite kaum 300 m erreicht.

Die Trichter sind immer nur auf die ebene Fläche der Rücken beschränkt und verschwinden mit einem Schlag an ihrem Rande, wo die Böschung anfängt. Diese Art des Auftretens ist ganz begreiflich, da auf der flachen Oberfläche der Rücken das atmosphärische Wasser langsam abfließt und zum guten Teil in den Boden eindringt. Hingegen an den Böschungen rieselt das Regenwasser so rasch herab, daß nur wenig davon vom Lithothamnienkalk aufgesogen wird. Eine üppige Vegetation scheint die Bildung von Einsenkungen zu begünstigen, indem sie das Einsickern des Regenwassers reguliert und dasselbe mit Huminsäuren bereichert. Die meisten Trichter kommen SW von Brzežany, inmitten dichter Waldbestände vor. In der Regel ist hier der Boden der Trichter mit Pflanzenresten (Laub etc.) ausgekleidet. In anderen Teilen Podoliens, wo ich noch Einsenkungen im Lithothamnienkalk beobachten konnte, sind sie durch den Wald nicht geschützt und treten sporadisch auf. NE und W von Monasterzyska²⁾ habe ich in stark gelichteten und reduzierten Waldpartien vereinzelte Einsenkungen gefunden, ihre Zahl ist aber zu gering, um von Trichtergruppen sprechen zu können. Einige Trichter befinden sich im Lithothamnienkalk beim NE-Ende von Nuszcze³⁾, zwischen dem Dorfe und dem Rande eines dichten Waldes. Mit dem Trichter in Woroniaki (SE von Złoczów), welcher inmitten der Gehöfte einsam auftritt, dafür aber an Größe und Regelmäßigkeit seiner Form alle bisher aufgezählten übertrifft, ist unser Inventar der karstähnlichen Einsenkungen im Lithothamnienkalk Podoliens⁴⁾ abgeschlossen.

Daß die Hohlformen, die uns in diesem Abschnitte beschäftigt haben, sich an den Lithothamnienkalk knüpfen, wird durch ihre hypsometrische Lage verbürgt. Wie gesagt, beschränken sie sich ausschließ-

¹⁾ In Deutschland werden solche feuchte Stellen „Wasserlöcher“, „Tränken“ oder „Suhlen“ genannt (Stille, l. c., pag. 103).

²⁾ Etwa in der Mitte zwischen dieser Ortschaft und dem Dorfe Sawaluski, beziehungsweise bei Wyczulki (zu vergl. die Spezialkarte, Z. 9, K. XXXII).

³⁾ Zu vergl. Blatt Złoczów der Spezialkarte, Z. 6, K. XXXII.

⁴⁾ Abgesehen von der Umgebung des Dorfes Huta Werchobuska, die schon früher besprochen wurde (pag. 690).

lich auf die ebenen Flächen der Rücken. Wo aber wilde Schluchten die Gehänge zerreißen¹⁾ und uns den inneren Bau der Rücken verraten, überall sehen wir, daß ihr oberster Teil aus mächtigem Lithothamnienkalk besteht. In der unmittelbaren Nähe der Trichter, wo der Boden bewachsen und mit Waldstreu bedeckt ist, gibt es keinen geologischen Aufschluß, es fehlt aber auch hier nicht an direkten Anzeichen, daß die Karsterscheinungen an den Lithothamnienkalk gebunden sind. Als ich die Höhe des Obreczowarückens durchwanderte, fand ich auf seinem nordwestlichen Zipfel, genau im Niveau der Trichter, eine große durch den Wind entwurzelte Buche. Gleich unter den Wurzeln waren faustgroße Lithothamnienknollen zu sehen, die als Reste des *in situ* gelockerten Lithothamnienkalkes im schwarzen Humusboden eingebettet waren. Auch in der Umgebung dieser Stelle sah ich hie und da großknollige Lithothamnien unter einer dünnen Schicht humusreichen Waldbodens hervorlugen. Die in der Gegend von Brzeżany dicht mit Trichtern besäte Oberfläche der Rücken ist mit lehmigen und tonigen, äußerst kalkarmen oder ganz kalkfreien Gebilden überzogen. Zwischen den Trichtern SE von Raj kommt in zahllosen Maulwurfhügeln ein hellgelber, sehr feiner und zerreiblicher Lehm zum Vorschein. Der Lehm, welcher an den steilen Wänden der Einsenkungen des Obreczowarückens spärlich hervorlugt, hat einen mehr tonigen Charakter. Stellenweise ist es sogar ein hellgrauer Ton, der im feuchten Zustande plastisch, nach dem Austrocknen erhärtet. Die Impermeabilität des dichten Tones hat zur Folge, daß das Regenwasser nur im Boden der Trichter langsam absickern kann, auf der Höhe dagegen zwischen den Trichtern in Lachen stagniert. Diese lehmig-tonigen Gebilde stellen den letzte Eluvialrückstand des Lithothamnienkalkes dar.

Zur Vervollständigung unseres Bildes der Karsterscheinungen im Lithothamnienkalke müssen wir noch die Grenzen des eigentlichen Podolien verlassen und einer merkwürdigen Erscheinung Erwähnung tun. Vom podolischen Plateau zweigt der lange, verhältnismäßig schmale Lemberg-Tomaszower Rücken (auch Roztocze genannt) ab, welcher orographisch in NW-Richtung streicht und die Senkungsgebiete der Flüsse Bug und San voneinander trennt. In geologischer Beziehung ist er eine Dependenz des nördlichen Podolien und zeigt denselben Schichtenbau. Die Westflanke des Rückens ist durch zahlreiche Bäche ausgezahnt, die aus starken Quellen im Lithothamnienkalke entstehen. Einer der stattlichsten, der Bach Szklo, quillt E von der gleichnamigen Ortschaft²⁾ in dicht aneinander gedrängten Überlaufquellen aus dem Lithothamnienkalke hervor. Von den Quellen fließt der Bach in einem engen Tälchen ab, dessen steile Abhänge aus Diluvialsand bestehen, während im Bette der Lithothamnienkalk entblößt ist. Ungefähr 300 m unterhalb seines Ursprunges erweitert sich der Bach in ein kleines, flaches Wasserbecken, in dessen Boden

¹⁾ Am großartigsten am linken Talgehänge des Olchowiecaches im Dorfe gleichen Namens.

²⁾ Vergl. Blatt Jaworow-Gródek (Z. 6, K. XXIX) der Spezialkarte und dasselbe Blatt des „Atlas geol. Galicyi“ (Heft 10, T. 2).

eine starke intermittierende Quelle („Kipiaczka“) austritt. In Zeitabschnitten von einigen Minuten erfolgt ein starkes Aufwallen in einem Punkte der Wasseroberfläche. Das aufwallende Wasser ist mit Sand gemischt, welcher durch die aufsteigende Bewegung vom Boden mitgerissen wird. Offenbar liegt hier ein Karstphänomen vor, das durch die glazialen Ablagerungen zum Teil verschleiert ist. Der hydrostatische Druck, unter welchem das Wasser rhythmisch ausbricht, ist im geologischen Bau der Gegend begründet. Am westlichen, durch einen tektonischen Bruch bestimmten Rande des Lemberg-Tomaszower Rückens fällt die Oberfläche des Senonmergels, auf dem das reichliche Grundwasser des Lithothamnienkalkes zusitzt, nach W ein. Der Neigung der impermeablen Unterlage folgend, ist das Grundwasser in einer westwärts gerichteten Bewegung begriffen und tritt in der genannten Quelle unter einem gewissen hydrostatischen Drucke hervor. Aus solchen hydrologischen Verhältnissen geht hervor, daß man die bisher nicht bekannte Herkunft des periodisch hervorquellenden Wassers nur weiter östlich suchen muß. Das rhythmische Ausbrechen hat Lomnicki ganz richtig durch die Verstopfung des Wasseraustrittes mit Sand erklärt¹⁾. Das austretende Wasser kann nicht ununterbrochen den Druck der darüber befindlichen Wasserschicht aufheben und die Quellöffnung vom Sande reinigen, welcher von der nächsten Umgebung zusammengeschwemmt und auf dem Boden des Beckens ausgebreitet wird. Früher soll das Aufwallen des Wassers viel intensiver stattgefunden haben²⁾. Ich möchte darin eine neue Bestätigung der allgemeinen Regel sehen, daß durch fortschreitende Auslaugung der Abfluß des Grundwassers allmählich erleichtert und in demselben Maße auch das Grundwasserniveau herabgedrückt wird³⁾.

Das kleine Talstück des Szklobaches, welches von seiner Quelle bis zur Westgrenze des Lemberg-Tomaszower Rückens reicht, trägt deutlich die eigentümlichen Merkmale zur Schau, die auch sonst im ostgalizischen Gebiete des Lithothamnienkalkes, mehr oder weniger ausgesprochen, nicht selten wiederkehren. Die Täler der Bäche, die aus dem Lithothamnienkalke entspringen, weisen — soweit der Bach im Niveau des Lithothamnienkalkes fließt — eine große Ähnlichkeit mit den Sacktälern des Karstes auf. Das Tal hat den Charakter eines Canyons und zeichnet sich durch einen sackförmigen Talschluß aus. Freilich wird das Tal nach oben nie durch eine steile Wand abgeschlossen, wie es im Karste oft der Fall ist⁴⁾. Die Hintergehänge des Talschlusses fallen zirkusartig, jedoch mäßig oder sanft geneigt, zum Quellenaustritt ab. Die Hauptsache aber ist, daß der Bach nicht aus der Vereinigung von mehreren Wasserfäden, sondern aus einer wasserreichen Quelle entsteht und infolgedessen seine Erosionskraft an einem Punkte einsetzt. Der sackförmige Talschluß kann oft da-

¹⁾ Atlas geol. Galicyi, Heft 10, T. II, pag. 116.

²⁾ Ibid., pag. 115. Nach Aussagen der Eingeborenen kommt gegenwärtig das spontane Aufwallen des Wassers nur nach atmosphärischen Niederschlägen zustande. Als ich das regelmäßige Aufwallen Ende August 1906 beobachten konnte, war es in der Tat kurz nach einer längeren Regenzeit.

³⁾ Stille, l. c., pag. 102.

⁴⁾ Cvijić, Das Karstphänomen, pag. 284.

durch verunstaltet werden, daß der im Einzugsgebiete der Quelle fallende Niederschlag zum Teil oberflächlich abfließt und die ursprüngliche Form des Talschlusses umgestaltet.

4. Die Karsterscheinungen in der „weissen Kreide“.

Die mächtigen, oft stark zerklüfteten Mergelkomplexe der „weißen Kreide“, die den westlichsten Teil des paläozoischen Horstes und die benachbarten Senkungsgebiete einnehmen, übertreffen an Reinheit und Festigkeit des Kalkgestein den senonen, Karsterscheinungen tragenden Mergel des nördlichen Podolien. Angesichts so günstiger petrographischer Veranlagung würde man kaum vermuten, daß die Stufe der „weißen Kreide“ im großen und ganzen dennoch zum Karstphänomen nicht neigt. Nur in einem einzigen Falle war es möglich, Karsterscheinungen in den Kalkgesteinen der „weißen Kreide“ festzustellen. Von Monasterzyska in NW-Richtung wandernd, erreichen wir ein Seitental, das in das Tal der Złota Lipa mündet und auf der Spezialkarte¹⁾ mit der Bezeichnung „Falkiewiczowa Dolina“ versehen ist. Am linken Abhange dieses Tales, etwa $2\frac{1}{4}$ km oberhalb seiner Mündung in das Tal der Złota Lipa, tritt uns unerwartet eine kleine, aber recht hübsche Gruppe von Karsterscheinungen entgegen. Wie aus der Abbildung (Taf. XV) zu ersehen ist, senkt sich das Plateau zuerst langsam mit einer sanft geneigten Fläche, um nachher in einer steilen Kante abzubrechen, die zu unterst cenomane Ablagerungen (a) und darüber die Mergel der „weißen Kreide“ (b) zur Schau trägt. In einer nischenförmigen Erweiterung tritt im Niveau der Talsohle eine starke Quelle zutage, aus der ein stattlicher Bach entsteht und zur Złota Lipa abfließt. Das unterirdische Wasser löst vor dem Zutagetreten den Kalkgehalt des Mergels auf und lockert sein Gefüge. Dadurch entstehen kleine kesselförmige Einsenkungen, die in der Umrandung des Quellbeckens dicht nebeneinander zerstreut sind.

Im Randgebiete des paläozoischen Horstes²⁾, wo der Kalkmergel der „weißen Kreide“ sich in mächtigen Komplexen an dem Aufbau der Erdoberfläche beteiligt, kommt die starke Zerkleüftung dieses Gesteins in gewissen Zügen der Landschaft zum Ausdrucke. An das reichliche Verschlucken des atmosphärischen Wassers durch das dichte Kluftnetz mahnen zahlreiche tiefe Schluchten, die nach dem Regen reißende Wildbäche führen, sonst aber trocken sind oder nur durch kaum sichtbare Wasseradern entwässert werden. Die steilen, oft nackten Kalkwände der Schluchten und mächtige Schuttkegel an ihrem Ausgange geben ein beredtes Zeugnis von den Leistungen der Erosion durch temporäre Wildwässer ab, wenn die Klüfte nur einen kleinen Teil des atmosphärischen Niederschlags aufzunehmen vermögen.

¹⁾ Vergl. Blatt Monasterzyska (9, XXXII).

²⁾ Zum Beispiel in der Umgebung von Niżniów und Niezwiska.

5. Die Karstlandschaft der Gipsgebiete.

Die Hohlformen in den Kalkablagerungen Podoliens, von denen bisher die Rede war, sind zwar stellenweise so häufig, daß sie geradezu Trichterschwärme bilden, nie aber beherrschen sie ein so großes Gebiet, um die Landschaft zu bestimmen. Dieses ist dagegen mit den Erdfällen¹⁾ der Gipslager der Fall. Im südlichen Podolien, insbesondere aber im pokutischen Senkungsgebiete am SW-Rande des paläozoischen Horstes, sind sie massenhaft über so großen Strecken verbreitet, daß wir hier bereits vom Karstcharakter der Erdoberfläche sprechen dürfen.

Die Geschichte der Erforschung des Karstphänomens kann in zwei Abschnitte geteilt werden. Die Einsturztheorie, welche früher die herrschende war und in Tietze ihren besten Vertreter fand, faßte die Hohlformen als Deckeneinstürze unterirdischer Höhlungen auf. Seitdem aber Cvijić die Auslaugungstheorie unwiderleglich begründet hat, welche die Dolinen als eine Oberflächenerscheinung betrachtet und auf die Auflösungstätigkeit des atmosphärischen Wassers zurückführt, ist die ältere Ansicht in ihrer Anwendung auf den adriatischen Karst und andere Kalkgebiete ein überwundener Standpunkt. Wenn wir nun den Ursprung der zahllosen Trichter auf der Oberfläche Podoliens deuten wollen, so sind hier die beiden Ansichten im gleichen Maße berechtigt. Die Einsenkungen der Kalkbildungen, die den Gegenstand der vorhergehenden Abschnitte bildeten, sind ohne Zweifel infolge der von der Erdoberfläche nach unten fortschreitenden Auflösung des Kalkgesteins durch das Regenwasser entstanden und bilden sich noch gegenwärtig auf dieselbe Weise. Im Gegenteil müssen die Trichter in den Gipslagern, wenn nicht ausschließlich, so doch in überwiegender Mehrzahl als Einstürze unterirdischer Hohlräume betrachtet werden²⁾.

Die Verschiedenheit der Bildungsweise von Hohlformen in den Kalkablagerungen und in den Gipslagern hängt in erster Linie mit dem ungleichen Verhalten von Kalkkarbonat und Kalksulfat gegenüber der auflösenden Tätigkeit des Wassers zusammen. Das erstere ist unmittelbar so schwer löslich, daß das reine Wasser durch die Auflösung von Kalkkarbonat keine nennenswerten morphologischen Wirkungen hervorzubringen imstande wäre. Die korrodierende Tätigkeit des atmosphärischen Wassers beruht hauptsächlich auf seinem Gehalte an Kohlensäure, die das Kalkkarbonat in das viel leichter lösliche Kalkbikarbonat umwandelt. Das in die Klüfte einsickernde Regenwasser verbraucht allmählich die in der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche aufgenommene Kohlensäure zur Auflösung von Kalk. In einer gewissen Tiefe aber, wenn der Gehalt an Kohlensäure bereits erschöpft ist, geht dem Wasser die Fähigkeit ab, Kalkkarbonat zu lösen. Das Kalksulfat dagegen ist unmittelbar in verhältnismäßig großen Mengen im Wasser löslich. Wenn es mit Gipslagern in Be-

¹⁾ Im Volksmunde „wertebý“.

²⁾ Auch Penck (Morphol. der Erdoberfl., Bd. II, pag. 276) läßt in den Gipsgebieten die Einsturztheorie zur Geltung kommen.

rührung kommt, ebensogut auf der Erdoberfläche wie in der Tiefe, löst es so lange das Kalksulfat auf, bis eine vollkommene Sättigung erreicht ist.

Wenn wir ein Kalk- und Gipsgebiet in bezug auf die unterirdische Wasserzirkulation miteinander vergleichen, so ergibt sich ebenfalls ein beträchtlicher Unterschied. Der Kalk wird oft von unzähligen Klüften durchsetzt, die dem atmosphärischen Wasser den Zugang zum Gesteinsinnern ermöglichen und seine unterirdischen Wege im vorhinein bestimmen. Den Gipslagern dagegen mangelt es an Klüftung. Das Grundwasser durchtränkt die permeablen Schichten im Hangenden oder im Liegenden eines Gipslagers und greift seine obere, beziehungsweise untere Fläche an. Das über dem Gipslager angesammelte Grundwasser löst an manchen Stellen das Kalksulfat schneller auf und es entstehen Hohlräume, die allmählich an Breite und Länge zunehmen und schließlich das Gipslager in seiner ganzen Mächtigkeit durchbohren. Nun kann das Grundwasser auch die permeablen Schichten im Liegenden des Gipslagers erreichen und durchtränken. Wo der Grundwasserspiegel bis zur Basis des Gipslagers sich erhebt, wird dasselbe auch von unten angegriffen und die fortschreitende Korrosion schafft geräumige Höhlungen. Bei einer Brunnenbohrung, die im Jahre 1874 in Czortowiec ausgeführt wurde, hat man unter einer dicken Lehmdcke das Gipslager erreicht, über dem nur eine geringe Menge Grundwassers vorhanden war. Indem man den Brunnenschacht weiter im Gipslager senkte, wurde ein Hohlraum im Gipse angezapft, aus dem das Wasser in einem ziemlich hohen Strahl hervorbrach. Nach einiger Zeit nahm die hydrostatische Spannung des ausströmenden Wassers ab, doch war der Wasserzufluß aus dem dünnen Sandsteinkomplex im Liegenden des Gipses ein anhaltender¹⁾.

Das unterirdische Wasser, welches in den zahllosen, vielfach gewundenen und verzweigten Kanälen lebhaft zirkuliert, löst reichlich Kalksulfat auf, wodurch mit der Zeit umfangreiche Höhlungen ausgewaschen werden. Die Zahl der Höhlen, die aus dem Gipsgebiete Podoliens bekannt sind, ist allerdings sehr gering. Die erste Stelle unter ihnen nimmt diejenige in Bilcze bei Borszczów ein, deren Eingang im Innern eines Erdfalles sich befindet. Die langgestreckten und vielfach verzweigten Gänge, deren Boden von einer dicken Lehmschicht bedeckt wird, sind eine reiche Fundgrube für die Urgeschichte Podoliens²⁾. Aus der Lage der Menschenskelette hat Dr. Demetrykiewicz geschlossen, daß die prähistorischen Einwohner infolge eines lokalen Zusammenbruches des Gewölbes in der Höhle abgesperrt wurden und zugrunde gingen³⁾. In der Umgebung der Stadt Horodenka sind zwei größere Höhlen bekannt. Die Höhle, die vor 10 Jahren beim Steinbrechen in Lokutki (NNE von Tlumacz) erschlossen wurde,

¹⁾ Das Ergebnis dieser Bohrung habe ich seinerzeit ausführlich besprochen. Zu vergl. „Kosmos“, Bd. XXX, Lemberg 1905, pag. 357 und 358.

²⁾ Eine kurze Beschreibung der Höhle gab Kirkor in „Zbiór wiadom. do antropol. kraj.“, Bd. III, pag. 34—37 und Tafel II.

³⁾ Materyał antropol.-archeol., Bd. IV, pag. VII und VIII.

ist mit prachtvollen Stalaktiten und Stalagmiten ausgekleidet¹⁾. Das im Inneren der Höhle abgeschiedene Kalkkarbonat wird vom durchsickernden Wasser offenbar der wenig mächtigen Kalkablagerung entnommen, welche den Gips überlagert und hier das Dach der Höhle bildet²⁾. Vom Standpunkte der physikalischen Chemie ist es eine interessante Erscheinung, daß das Wasser, sobald es mit dem Kalksulfat in Berührung kommt, das früher aufgelöste Kalkkarbonat ausscheidet³⁾. Auch in anderen Höhlen Podoliens sind Stalagmiten gefunden worden.

Neben diesen großen Höhlen, die in der beigegebenen Karten-skizze eingetragen wurden, kommen auch kleinere vor. Kirkor hat von Höhlen im pokutischen Gipsgebiete bei Chocimierz, bei Żabokruki und bei Czortowiec berichtet. Ihren Boden bedecken Schuttmassen mit großen Gipsblöcken. Die Wände der Höhle bei Żabokruki sind nach Kirkor mit Stalaktiten inkrustiert⁴⁾. Tietze hat aus dem schon erwähnten Dorfe Lokutki, wo später die große Höhle entdeckt wurde, auch eine andere beschrieben, aus der ein kleiner Bach hervortritt⁵⁾. Die verhältnismäßig sehr geringe Zahl von bekannten Höhlen gegenüber den Tausenden von Trichtern an der Erdoberfläche ist noch kein stichhaltiger Beweis, daß letztere nicht den Einstürzen ihre Entstehung verdanken. Ist doch im Jahre 1896 eine früher nicht geahnte Höhle im Gips nur durch einen Zufall entdeckt worden! Übrigens aber darf die Wahrscheinlichkeit der Einsturztheorie nicht durch einen ziffermäßigen Vergleich der heute vorhandenen Trichter und Höhlungen geprüft werden. Ein gegenwärtiger Trichter ist eine gewesene Höhlung, während eine gegenwärtige Höhlung einem künftigen Trichter entspricht. Die Bildung von Höhlungen und Trichtern hat aller Wahrscheinlichkeit nach schon in jener Zeit angefangen, als Podolien gegen das Ende der Tertiärzeit endgültig zum Festlande geworden ist. Seit diesem Zeitpunkte muß die Zahl der Trichter allmählich zugenommen haben und die gegenwärtig vorhandenen Trichter sind das Resultat der Einstürze von Höhlungen, die nicht gleichzeitig, sondern zu verschiedenen Zeiten ausgewaschen wurden, seitdem ihre Bildung begonnen hat. Indem Höhlungen durch den Zusammenbruch ihres Gewölbes zugeschüttet wurden, mußte das unterirdische Wasser neue Wege aufsuchen. Dabei erzeugte es durch Auflösung neue Höhlungen, deren Einsturz wiederum die Entstehung von neuen Trichtern zur Folge hatte. In der Tat, wenn wir die unzähligen Trichter der Gipsgebiete Podoliens durchmustern, merken wir ihnen ein sehr verschiedenes Alter an. Viele von ihnen mögen durch die Denudationsvorgänge, deren Spielraum die Erdoberfläche

¹⁾ Über die Erforschung der Höhle liegt ein Bericht von A. M. Lomnicki vor („Kosmos“, Bd. XXI, Lemberg 1896, pag. 373—8).

²⁾ Ibid., pag. 377.

³⁾ Darauf habe ich schon bei der Erörterung der Bildungsweise der podolischen Travertinabsätze aufmerksam gemacht (Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. 1905, pag. 95). Auf dem Boden der Gipshöhlen im Gouv. Ufa kommen oft Kalktuff-absätze vor. Darüber zu vergl. Krubber, O karst. jawl. Rossii. S.-A. aus Zemlew-jedjenje, Bd. VII, 1900, pag. 17.

⁴⁾ Rozprawy wydz. hist.-filoz. Akad. Umiej., Bd. V, pag. 215—219.

⁵⁾ Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXVI, pag. 682. und Bd. XLI, pag. 62

ist, vollkommen verwischt worden sein. Immerhin aber müssen wir angesichts der leichten Löslichkeit des Kalksulfats voraussetzen, daß die Bildung von Höhlungen und Trichtern in einem schnelleren Tempo vor sich ging, als die Denudation die Trichter einzuebnen vermochte, daß somit die Zahl der Trichter seit dem Zeitpunkte, als die Bedingungen zu ihrer Bildung bereits gegeben waren, allmählich sich vergrößert hat. Auf diese Weise ist sukzessive die heutige Trichterlandschaft der Gipsgebiete Podoliens entstanden.

Die Gipslager Podoliens, in denen die Auslaugung und das Einstürzen von Hohlräumen geschieht, sind in der Regel von jüngeren Gebilden bedeckt. Das Hangende des Gipses bildet eine Kalkablagerung, deren Schichten eine sehr geringe Mächtigkeit besitzen und oft — wie es Tietze¹⁾ in der Gegend von Tlumacz beobachtet hat — durch die Korrosion des unterirdischen Wassers ihren Zusammenhang eingebüßt haben. Darüber breitet sich eine Lehmdecke aus, welche hauptsächlich aus äolischem Lößmaterial besteht und deren Mächtigkeit einem häufigen Wechsel unterworfen ist. Je nachdem der Einsturz eines Hohlraumes unter einer dünnen oder dicken Lehmdecke erfolgt, kann man die Erdfälle des südlichen Podoliens in zwei morphologische Typen gruppieren:

Die Erdfälle vom I. Typus entstehen in dem Falle, wenn das Gipslager, in welchem ein Hohlraum zusammenbricht, mit einer dünnen Lehmdecke überzogen ist. Da das nachsinkende Lehmmaterial den ganzen Erdfall nicht auszukleiden vermag, steht im Innern des letzteren das Gipslager an. Die weißen, durch die Korrosion des Regenwassers modellierten Gipsentblößungen sind für diesen Typus der Erdfälle bezeichnend (Taf. XVI, Fig. 2)²⁾. Ihre Form ist asymmetrisch, indem auf einer Seite der entblößte Gips sehr steil oder senkrecht abfällt, auf der anderen dagegen der nachsinkende Lehm eine mäßig steile Neigung annimmt. Die Erdfälle, die zu dieser Gruppe gehören, zeigen keine regelmäßigen Umrisse. Mag auch der anstehende Gips der Korrosion des Regenwassers leicht zum Opfer fallen, so besteht immerhin in der unregelmäßigen Gestalt ein sicheres Merkmal dieses Typus. Die Dimensionen der Erdfälle sind recht verschieden. Im pokutischen Gipsgebiete gibt es sogar Bodensenkungen, die das gewöhnliche Maß der Trichter überschreiten und mit den Karstmulden („Uvalas“)³⁾ zu vergleichen wären. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die größeren Depressionen nicht aus einem einmaligen Einsturze hervorgegangen sind, sondern eine Verschmelzung von mehreren Einstürzen darstellen.

Ein schönes Beispiel einer größeren Bodensenkung, die gegenwärtig von einem Wasserlaufe benutzt wird, betrachten wir im Dorfe Olejowa Korolówka⁴⁾. Dieses Dorf liegt auf dem rechten Bachufer, welches sanft geneigt und mit Lehm bedeckt ist. Am gegenüberliegenden Ufer treten hohe und schroffe, durch die Korrosion des

¹⁾ Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXVI, pag. 683.

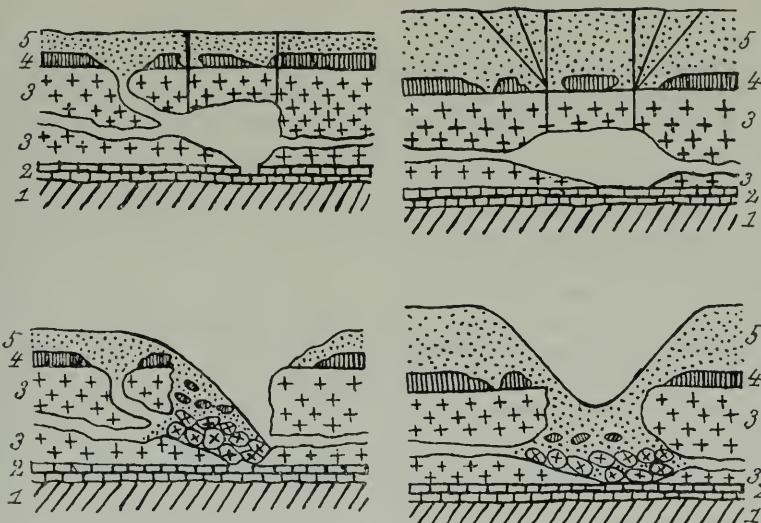
²⁾ Ein anderes instruktives Beispiel eines solchen Erdfalles habe ich in meinem Lehrbuche „Ziemia i jej budowa“ auf pag. 109 abgebildet.

³⁾ Cvijić, Morphologische Studien, II. T., pag. 76 und 77.

⁴⁾ Politischer Bezirk Horodenka.

atmosphärischen Wassers stark angegriffene Gipsfelsen dicht an den Bach heran¹⁾. Es ist nicht wahrscheinlich, daß dieses Talstück nur durch die mechanische Erosion entstanden sei, da bei der leichten Löslichkeit des Kalksulfats die Korrosion früher die Gipsfelsen abgetragen hätte, bevor noch der Bach sein Bett bis zum heutigen Niveau einzuschneiden vermochte. Der Umstand, daß am linken Bachufer der Gips nicht als eine einheitliche Felsmasse ansteht, sondern in riesige, gegeneinander verschobene Blöcke aufgelöst ist,

Fig. 3.



Bildungsweise der Erdfälle im Bereiche der pokutischen Gipslager.

1. Mergel der oberen Kreide (Senon, beziehungsweise weiße Kreide).
 2. Baranower Schichten
 3. Gipslager
 4. Kalk
 5. Diluvialer Lehm (zum Teil Löß).

} Miocän
} (II. Mediterranstufe).

spricht für die Entstehung dieses Talstückes aus eingestürzten, langgestreckten Höhlungen, wie es von manchen Talstrecken des schwäbisch-fränkischen Jura angenommen wird²⁾.

Die Erdfälle vom II. Typus sind eine Folge der Einstürze, die sich im Gips unter einer stärkeren Lehmdcke³⁾

¹⁾ Mein Lehrbuch „Ziemia i jej budowa“ bringt auf pag. 108 eine Abbildung dieser Gipsfelsen.

²) Neischl, Die Höhlen der Fränkischen Schweiz, Nürnberg 1904, pag. 36—39.

3) Es darf aber auch die Lehmdecke nicht zu mächtig sein, denn in dem Falle würde eine Senkung ihre Oberfläche kaum betreffen.

ereignen. Der kreisrunde Umriß und die regelmäßige Trichterform sind ihre wesentlichen Kennzeichen, die uns immer mit fast geometrischer Genauigkeit entgegentreten. Wenn auch ihre Größe oft recht stattlich ist, so erreichen sie im allgemeinen doch nicht die Maximaldimensionen der Erdfälle vom I. Typus.

Das lockere Lehmmaterial, das in den zusammenbrechenden Hohlraum reichlich nachsinkt, kleidet das Innere der im Entstehen begriffenen Oberflächeneinsenkung vollständig aus. An der Stelle, wo die Decke eines unterirdischen Hohlraumes einstürzte, brechen die über dem Gips befindlichen Lehmmassen in den Hohlraum hinein. Da der Lehm in der Regel eine gleichmäßig lockere Beschaffenheit besitzt, strebt er von allen Seiten der im Gewölbe des Hohlraumes entstandenen Öffnung in demselben Maße zu und dadurch bildet sich auf der Lehmoberfläche — genau wie in einer Sanduhr — eine trichterförmige Bodensenkung. Theoretisch sollte der Lehm an den Wänden des Trichters diejenige natürliche Böschung zeigen, die seiner lockeren Beschaffenheit entspricht und nach Reyer höchstens 40° betragen kann¹⁾. In der Wirklichkeit aber sind noch größere Böschungswinkel möglich, da die oberste Lehmschicht mit einem dichten Rasen gebunden ist und infolgedessen eine größere Neigung ihrer Oberfläche vertragen kann. Durch das weitere Wachsen des Rasens auf den Wänden eines Trichters wird ihre übermäßige Böschung für längere Zeit erhalten.

Aus der Ablagerung von äolischem Staub auf unebener Unterlage und der späteren Abspülung leuchtet es ein, daß die Mächtigkeit der Lößdecke, die über den Gipslagern sich ausbreitet, sogar auf kleinen Strecken einem vielfachen Wechsel unterworfen ist. Dadurch erklärt es sich, daß die beiden Typen der Erdfälle nicht räumlich gesondert, sondern miteinander gemischt auftreten. Nur im südlichen Teil des paläozoischen Horstes, wo die Lößbedeckung in der Regel stärker ist als in der anstoßenden Pokuciesenkung, scheint der II. Typus zu überwiegen.

Die Einteilung der Erdfälle in zwei morphologische Typen, die wir soeben vorgenommen haben, bewährt sich auch in anderen Gebieten. Unter den Erdfällen der Fränkischen Schweiz²⁾ sind gewiß die beiden Typen vertreten, die wir im Gipsgebiete Podoliens unterschieden haben. Ebenso gut darf unsere Einteilung auf die mit Wasser gefüllten Einsturzbecken im Gips des deutschen Zechsteingebietes übertragen werden, wie man es aus den Untersuchungen von Halbfäß³⁾ ersieht. So zum Beispiel zeigt das Becken des Denser Sees

¹⁾ Reyer, Bewegungen in losen Massen. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXI, pag. 434. — Von den mit Wasser gefüllten Einsturzbecken des deutschen Zechsteingebietes zeigt die „Bernshäuser Kutte“ in der Rhön die größte mittlere Böschung, welche $34\frac{1}{2}^{\circ}$ beträgt (Halbfäß, Über einige Einsturzbecken im NW Thüringen und in der Vorderrhön. Globus, Bd. LXXXI, pag. 8). Diesem Einsturzbecken kommt der Wiedensee am Südrande des Harzes mit 30° mittlerer Böschung nahe (Halbfäß, Über Einsturzbecken am Südrand des Harzes. Archiv f. Landes- und Volkskunde d. Provinz Sachsen, Jg. XIV, pag. 82).

²⁾ Neischl, l. c., pag. 12.

³⁾ Vergl. neben den bereits angeführten Schriften auch Archiv für Landes- und Volkskunde der Provinz Sachsen, Jg. XIII, Taf. IV.

in Hessen eine dem I. Typus entsprechende asymetrische Gestalt¹⁾. Den Gegensatz des steilen und flachen Ufers des „Schönsees“ in der Rhön erklärt Halbfass²⁾ durch die ungleiche Mächtigkeit der eingestürzten Höhlung. Es läßt sich nicht leugnen, daß die Gestalt und die Dimensionen des einstürzenden Hohlraumes die Form der dadurch entstehenden Bodeneinsenkung beeinflussen können. Dieses ist aber nur dann der Fall, wenn das Gipslager von einer dünnen Lehmschicht bekleidet wird. Ist es dagegen stärker mit Lehm bedeckt, dann kommt die Gestalt des eingestürzten Hohlraumes auf der Erdoberfläche nicht mehr zum Ausdrucke und es bildet sich ein genau trichterförmiger Erdfall, dessen Wände ringsum gleichmäßig geneigt sind.

Vor mehr als einem halben Jahrhundert hat L. Meyn³⁾ die Bildung von Erdfällen durch den Einsturz unterirdischer Hohlräume im Gipse in Abrede gestellt. Seine Auffassung der Entstehung von Erdfällen im Gebiete der Gipslager deckt sich vollkommen mit der Bildungsweise der sogenannten „Schwemmlanddolinen“, die von Cvijić⁴⁾ als eine besondere Art von Dolinen behandelt wurden, die ich aber mit Katzer⁵⁾ besser „Bodensenkungsdolinen“ nennen möchte. Es drängt sich nun die Frage, ob überhaupt und eventuell inwiefern unter den Erdfällen der podolischen Gipslager auch echte Bodensenkungsdolinen vertreten sind. Bei der Betrachtung der Art und Weise, wie das Grundwasser in den Gipslagern und den sie umhüllenden Ablagerungen zirkuliert, haben wir gesehen, daß eine geringe Wassermenge sich über dem Gipse sammelt und seine Oberfläche angreift (pag. 714). Somit können auf der Gipsoberfläche flache Vertiefungen oder Schlotmündungen vorhanden sein, in die ein Nachsacken des darüber befindlichen Lehmes erfolgt. Es ist auch möglich, daß ein gewisser Teil der Erdfälle des podolischen Gipsgebietes echte Bodensenkungsdolinen darstellt, immerhin aber ist die weit überwiegende Mehrzahl der Erdfälle Einstürzen innerhalb der Gipslager zuzuschreiben. Die zutreffende Bemerkung von Katzer⁶⁾, daß Bodensenkungsdolinen sich nur dort bilden, wo die Lehmdecke nicht zu stark ist, können wir noch durch weitere Argumente bekräftigen. Eine mächtige Lehmdecke ist auch zu schwer, um eine auf ihrer Unterlage im Auslaugen begriffene Vertiefung länger zu überbrücken und rückweise nachzusinken. Überdies kann die Vegetation den Lehm nur bis einer solchen Tiefe binden, wo ihr Wurzelwerk noch reicht. Daher werden die tieferen Partien einer mächtigen Lehmdecke von den Wurzeln nicht erreicht und müssen schon bei der geringsten Unebenheit der Unterlage sofort nachgeben. Wenn nun die geringe Mächtigkeit der Lehmbedeckung eine unerlässliche Bedingung der Bildung von Bodensenkungsdolinen ist, so können wir dieselben im

¹⁾ Halbfass, Die „Kauten“ in der Nähe von Sontra (Hessen). Globus, Bd. LXXXIX, pag. 92.

²⁾ Globus, Bd. LXXXI, pag. 8.

³⁾ Die Erdfälle. Zeitschr. d. deutsch. geolog. Ges., Bd. II, pag. 318—321.

⁴⁾ Das Karstphänomen, pag. 251 ff.

⁵⁾ L. c., pag. 233.

⁶⁾ L. c., pag. 236.

podolischen Gipsgebiete nur unter den Erdfällen vom I. Typus vermuten.

Von der Höhenlage eines Erdfalls gegenüber dem Grundwasserniveau hängt es ab, ob er trocken oder mit Wasser gefüllt ist. Die Mehrzahl der Trichter im Gipsgebiete Podoliens sind trocken¹⁾. Wenn der Boden eines Trichters den Grundwasserspiegel anzapft, tritt in seinem Innern eine Quelle zutage. Senkt sich dagegen ein Trichter tiefer in das Grundwasser hinein, dann wird er teilweise mit Wasser gefüllt, beziehungsweise versumpft. In solchen Trichtern, deren Inneres mit tonigen, undurchlässigen Eluvialrückständen des aufgelösten Gipses ausgekleidet ist, sammelt sich das Regenwasser zu vorübergehenden Tümpeln an.

Die Erdfälle können entweder durch einen einzigen Einsturz oder durch mehrere, ruckweise sich vollziehenden Zusammenbrüche erzeugt werden. Insbesondere ist für die größeren Einsenkungen, die morphologisch dem I. Typus angehören, eine Kombination von mehreren Einstürzen höchstwahrscheinlich. Um den Entwicklungsgang der Erdfälle zu verfolgen, denken wir uns den einfachsten Fall, daß ein Erdfall infolge eines einmaligen Einsturzaktes entsteht. Zunächst haben wir eine Einsenkung, deren Wände ziemlich steil abfallen und deren Rand sich scharf abhebt. Das atmosphärische Wasser spült den Lehm von den Rändern weg und schwemmt ihn am Boden der Einsenkung zusammen. Dadurch nimmt ihre Tiefe allmählich ab und gleichzeitig erweitert sich ihr Umfang. Die Einsenkung, deren ursprüngliche Gestalt die einer trichterförmigen Doline war, geht in eine flache, schüsselförmige Terrainmulde mit verschwommenem Umriss über. Schließlich ist die Einebnung durch das atmosphärische Wasser soweit gediehen, daß die Einsenkung der Bodenkultur zugänglich und früher oder später, ihrer Größe gemäß, vom Pfluge vollständig verwischt wird.

Die weitaus größte Zahl der Gipstrichter ist auf die Pokucie-Einsenkung konzentriert. Ein breiter Streifen der Erdoberfläche, welcher von der Gegend von Tlumacz in SE-Richtung hin, rechts vom tiefen Dniestr-Canyon sich erstreckt, ist von zahllosen Erdfällen durchsiebt und verdankt ihnen sein karstähnliches Aussehen²⁾. Die außerordentliche Häufigkeit der Trichter ist beiläufig aus folgenden Zahlen³⁾ zu ersehen, die nach den betreffenden Sektionen der militärischen Originalaufnahme (1 : 25.000) ermittelt wurden:

¹⁾ Diesen Umstand führt Tietze als Beweis an, daß die Erdfälle nicht durch die oberflächliche Korrosion, sondern durch das Einstürzen unterirdischer Höhlungen entstehen (Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XLI, pag. 63).

²⁾ Tietze gebührt das Verdienst, den Karstcharakter dieses Gebietes hervorgehoben zu haben (Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. XXXVI, pag. 682).

³⁾ Zum Vergleiche mag angeführt werden, daß Stache den mittleren Abstand der Dolinen im istrianischen Karste mit 55—75 m in Anschlag bringt (Geol. Landschaftsbild des istr. Küstenlandes. Österr. Revue, 1864, II, pag. 200). — Im Paderborner Kreidegebiete konnten bis 42 Erdfälle auf 1 km² gezählt werden, ja sogar 19 auf einem Flächenraume, der 0,2 km² nicht erreicht (Stille, l. c., pag. 64).

	Anzahl der Trichter pro 1 km ²	Mittlerer Abstand der Trichter in Metern
NW von Horodenka . . .	60—65	125
N und E von Chocimierz	65—85	110—125
N und W von Czortowiec	80—85	110
W von Okno	100	100

In der Nähe der NE-Grenze der Pokuciesenkung nehmen die Trichter rasch an Zahl ab. Zum Beispiel in der Gegend von Niezwiska kann man schon nicht mehr als etwa 30 Trichter auf 1 km² zählen. Wenn man endlich Pokucie verläßt und den Südrand des paläozoischen Horstes überschreitet, so sind die Gipstrichter nur eine sporadische Erscheinung, die sich überhaupt nur auf den südlichen Teil des Horstes beschränkt.

Die Gründe einer solchen Verteilung der Gipstrichter, und zwar einer in der Richtung nach N und NE hin erfolgenden Abnahme ihrer Häufigkeit lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Wie Teisseyre¹⁾ nachgewiesen hat, nimmt die Mächtigkeit der Gipslager in derselben Richtung ab, gleichzeitig aber steigt ihre hypsometrische Lage an.

2. Für die Entwicklung des Karstphänomens ist die hypsometrische Lage des Erosionsniveaus gegenüber der impermeablen Unterlage des Grundwassers von einschneidender Bedeutung²⁾. In Pokucie vermochte die Erosion nur in den tiefsten Talstrecken die obersten Partien der obercretacischen Mergelkomplexe anzuschneiden, über welchen sich das Grundwasser des Miocäns sammelt. Im paläozoischen Horste dagegen sind die Canyons tief in die impermeable paläozoische Unterlage eingeschnitten, wodurch das Grundwasserniveau sich in einer beträchtlichen Höhe über dem Talboden befindet. Dadurch erfolgt der Abfluß des Wassers im paläozoischen Horste leichter und schneller als in Pokucie, wo es in den Gipslagern oder in den sie umhüllenden Ablagerungen einige Zeit stagnieren kann.

3. In Pokucie sind zwischen den Gipslagern und den impermeablen Kreidemergeln klastische Ablagerungen von einer sehr geringen Mächtigkeit eingeschaltet. Dieses Liegende der Gipslager ist vom Wasser ganz durchtränkt, so daß letzteres sich bis zur unteren Fläche der Gipslager erhebt und dieselbe angreifen kann. Im paläozoischen Horste sind die Gipslager vom mächtigen Lithothamnienkalke unterteuft, der das unterirdische Wasser aufsaugt und in seinen tiefsten Partien aufspeichert. Daher steigt der Grundwasserspiegel nicht bis zu den Gipslagern an und kann dieselben von unten nicht auflösen.

In den versumpften Steppengebieten des nördlichen Podolien (Pantalicha, Poplawy) kommen häufig flache, muldenförmige Einsen-

¹⁾ Atlas geolog. Galicyi, Heft VIII, pag. 268 und 297.

²⁾ Penck, Morphologie der Erdoberfläche, Bd. II, pag. 284. — Grund, l. c., pag. 191 und 192.

kungen der Erdoberfläche vor, deren Entstehung Teisseyre auf die Auslaugung der Gipslager zurückführt¹⁾. In morphologischer Hinsicht besteht zwischen den durch die Auslaugung von Gips erzeugten Bodeneinsenkungen des südlichen und denjenigen des nördlichen Podolien ein auffälliger Gegensatz. Während die ersten in ihrer ursprünglichen Form immer den trichterförmigen Dolinen von Cvijić entsprechen und erst nachträglich unter dem mechanischen Einflusse des atmosphärischen Wassers verflachen (pag. 720), tritt uns im nördlichen Podolien die schüsselförmige Form allein entgegen, was offenbar mit der nordwärts sich vollziehenden Abnahme der Gipsmächtigkeit zusammenhängt.

6. Über akustische Begleiterscheinungen des Karstphänomens.

Den ersten Anlaß, die Karstfähigkeit des podolischen Senons einer Diskussion zu unterziehen, gab vor mehr als 30 Jahren die Nachricht von einem Schallphänomen, das NE von Złoczów, in der Umgebung der karstähnlichen Einsenkungen im senonen Mergel (pag. 688 ff.) vernommen wurde. Im September 1872 hörten die Hirten ein unterirdisches Getöse, dessen Intensität wechselte und bald stärker, bald schwächer war. Mit kleinen Unterbrechungen dauerte dieses Getöse acht Tage und wurde, wenn auch in abnehmender Stärke, im Umkreise einer halben Meile (unter anderem im Dorfe Podhorce) vernommen. So viel erfahren wir aus einem Berichte von Dr. Krziż, der etwas später diese Gegend besuchte und noch ein „entferntes Geräusch in der Tiefe der Erde“ zu hören glaubte²⁾. Dieses Phänomen erinnert an die Detonationen des Reichenauer Berges in Mähren, auf dessen Rücken ebenfalls karstähnliche Einsenkungen im Plänermergel vorkommen³⁾. Ich möchte es nicht als einen bloßen Zufall betrachten, daß aus zwei so entfernten Gebieten, wo im Bereiche einer mergeligen, sonst zu Karsterscheinungen nicht neigenden Formation karstähnliche Einsenkungen der Erdoberfläche vorhanden sind, zugleich Nachrichten über akustische Phänomene vorliegen. Wenn auch in beiden Fällen die Berichte der Ohrenzeugen bei weitem nicht genügend sind, um eine Erklärung des seltsamen Phänomens zu wagen, scheint es dennoch angemessen, daran einige theoretische Erwägungen über diesen Gegenstand zu knüpfen.

In einem Gestein, dessen Inneres von umfangreichen Höhlungen durchzogen wird, sind verschiedene Ursachen von Detonationen denkbar. Ein Einsturz der Höhlendecke muß selbstverständlich ein Schallphänomen zur Folge haben, wobei wir mit Knett das Krachen des zusammenbrechenden Gewölbes und „das Aufschlagen der ge-

¹⁾ Atlas geolog. Galicyi, VIII, pag. 155 und 264. — Sprawozdanie Kom. Fizyograf., Bd. XXIX, pag. 182.

²⁾ Pamietnik II. zjazdu lekarzy i przyrodników polskich, pag. 153 und 154.

³⁾ Tietze, Die geogn. Verhältn. der Gegend von Landskron und Gewitsch. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Bd. LI, pag. 624 ff.

lösten Gesteinspartien am Boden“ unterscheiden können¹⁾). Überdies könnte noch das Geräusch des in Höhlenkanälen strudelnden Wassers und das Abbröckeln der Gesteinsfragmente von den Höhlenwänden ins Spiel kommen. Durch das letztere hat Sapper die Knallphänomene in Guatemala zu erklären versucht²⁾). Wenn aber das Loslösen der Steine von den Höhlenwänden irgendeinen vernehmbaren Schall erregen soll, müssen die Gesteinsstücke genug groß sein oder in einer größeren Menge auf einmal niederfallen.

Beim Durchfahren des podolischen Gipsgebietes haben Alth und Bieniasz des öfteren ein dumpfes Getöse vernommen, als wenn sie über eine Brücke gefahren seien. Sie haben dieses Getöse auf das Rollen des Wagens auf dem Gewölbe eines Hohlraumes zurückgeführt³⁾). Es könnte aber das Geräusch ebensogut von Wasserradeln in Höhlenkanälen herrühren.

Viel schwieriger ist es, akustische Phänomene mit Karsterscheinungen in Zusammenhang zu bringen, wenn wir mit Kalkgesteinen zu tun haben, in denen das Vorhandensein von Höhlungen ausgeschlossen ist. Gerade um solche Gesteinsarten handelt es sich in den beiden eingangs zitierten Fällen. Im Senon zirkuliert das Wasser nur in engen Klüften und auch im Plänermergel des Reichenauer Berges kann die Existenz von Hohlräumen nicht vorausgesetzt werden. Somit müssen diejenigen schallerregenden Vorgänge, die nur mit größeren Höhlungen vereinbar sind⁴⁾), in Abrede gestellt werden.

Infolge der geringen Festigkeit des Senonmergels sind die Klüfte in demselben immer sehr eng. Wenn aber das Grundwasser stets neue Mengen von Kalkkarbonat aus dem Gesteinsinnern entfernt, so müssen selbstverständlich die über dem Grundwasserniveau befindlichen Mergelpartien um einen sehr kleinen, an der Oberfläche überhaupt nicht merklichen Betrag nachsinken⁵⁾). Höchstwahrscheinlich würde dieses Nachsinken nicht Hand in Hand mit der Ausweitung der Klüfte gehen, vielmehr aber von Zeit zu Zeit, vielleicht erst dank einem geringen äußeren Anstoße, ruckweise stattfinden. Es ist begreiflich, daß ein solcher Vorgang unter Umständen eine Detonation erregen kann und diese Ursache möchte ich vornehmlich für das erwähnte Schallphänomen in der Gegend von Złoczów verantwortlich machen, insofern die Erscheinung sich aus dem spärlichen Berichte beurteilen läßt.

Weitaus schwächer und beschränkter dürfte der akustische Effekt der Auflösungsprozesse sein, die auf der Oberfläche des Senonmergels sich abspielen. Die dolinenähnlichen Vertiefungen in demselben sind mit dichtbewachsenen Eluvialprodukten ausgekleidet.

¹⁾ Knett, Über die Beziehungen zwischen Erdbeben und Detonationen. Sitzungsberichte d. kais. Akademie, math.-naturw. Kl., Bd. CIX, Abt. I, pag. 732.

²⁾ Meteorol. Zeitschr., Bd. XVI, pag. 229.

³⁾ Atlas geol. Galicyi, I, pag. 37 und 43.

⁴⁾ Das heißt das Einstürzen einer Höhlung, das Loslösen der Steine von den Wänden, das Geräusch des unterirdisch fließenden Wassers und schließlich die Kompression der in Hohlräumen eingeschlossenen Luft.

⁵⁾ An der Bugquelle in Werchobuż ist das Resultat des Nachsinkens sichtbar (pag. 695, Anm. 4).

Bei der Erweiterung der Einsenkung durch fortschreitende Korrasion werden die angehäuften Auflösungsrückstände nachsinken, dabei aber höchstens ein ganz lokales Geräusch zur Folge haben, wie es bei der von Katzer¹⁾ beobachteten Bildung einer Bodensenkungsdoline der Fall war.

Von den äußeren Einflüssen, die den letzten Anstoß zum plötzlichen Nachsinken von größeren, durch die Erweiterung der Klüfte unterminierten Mergelschollen geben können, kommen die meteorologischen Verhältnisse, und zwar der Luftdruck und der Niederschlag in Betracht. Daß ein hoher Luftdruck das Nachsinken von gelockerten Gesteinspartien herbeizuführen vermag, bedarf keiner weiteren Erörterung. Durch den atmosphärischen Niederschlag wird die Decke der Auflösungsrückstände erweicht und sinkt in die Unebenheiten der kalkigen Unterlage nach. In der Tat haben die bisher beobachteten Fälle der Bildung von Bodensenkungsdolinen nur zur Regenzeit stattgefunden²⁾. Bei weitem wichtiger ist aber der Einfluß, den die Niederschlagsverhältnisse ausüben, indem sie den Grundwassersstand beeinflussen³⁾. Es liegt auf der Hand, daß ein Nachsinken von Gesteinspartien und eventuell ein damit verbundenes Schallphänomen zur Trockenzeit am wahrscheinlichsten sind, wenn das Niveau des Grundwassers sich erniedrigt und letzteres die ausgeweiteten Klüfte verläßt. Damit würde es übereinstimmen, daß der Reichenauer Berg während eines nassen und kühlen Sommers keine Detonationen vernehmen ließ⁴⁾.

Anhang.

Einige Worte zur Kartenskizze (Taf. XIV).

Die Karsterscheinungen in der „weißen Kreide“, im Senon und im Lithothamnienkalke sind ausschließlich auf Grund meiner eigenen Beobachtungen dargestellt worden. Die Erdfälle im Gipsgebiete des südlichen Podolien wurden nach den betreffenden Blättern des „Atlas geologiczny Galicyi“⁵⁾ und der Spezialkarte (1 : 75.000) eingetragen, auf denen ihre Verbreitung sehr deutlich zum Ausdrucke gelangt. Dabei habe ich mich bemüht, durch den Abstand der Punkte voneinander die relative Häufigkeit der Erdfälle mit der tunlichsten Annäherung zu veranschaulichen. Die Einsenkungen in den Gipslagern der Steppengebiete sind nach den Untersuchungen von Teisseyre wiedergegeben⁶⁾. Ich konnte mich aber nicht entschließen, einige von den durch Teisseyre hervorgehobenen Karsterscheinungen auf der Kartenskizze zu berücksichtigen, da ihr Sitz nicht klar ist. Hierher gehören erstens die flachen, von seichten Weihern einge-

¹⁾ L. c., pag. 235.

²⁾ Cvijić, Das Karstphänomen, pag. 251 und 253.

³⁾ Bei Grundwasserschwankungen von einer kleinen Amplitude dürfte auch ein gewisser Einfluß der Luftdruckschwankungen in Betracht kommen (Nature, Bd. LVI, pag. 298. Meteorol. Zeitschr., Bd. XX, pag. 364 ff.).

⁴⁾ Tietze, l. c., pag. 625, Anm. 2.

⁵⁾ Heft I und IX.

⁶⁾ Atlas geolog. Galicyi, Heft VIII.

nommenen Vertiefungen, die am linken Ikwaufufer im nordöstlichen Podolien auf dem Plateau dicht nebeneinander zerstreut sind¹⁾. Die Vermutung Teisseires, daß diese Weiher wahrscheinlich mit Gipslagern im Zusammenhange stehen, wird durch kein Gipsvorkommen in der weiteren Umgebung dieser Weiher bestätigt. Meinerseits würde ich die Möglichkeit, sie auf den Lithothamnienkalk zurückzuführen, der in den umgebenden Taleinschnitten als das höchste Schichtenglied zutage tritt, nicht in Abrede stellen. Da aber in der nächsten Umgebung der Weiher eine mächtige Decke von Schwarzerde die älteren Gebilde vollständig verhüllt, muß die Frage nach dem Ursprunge der Weihergruppe vorläufig dahingestellt bleiben. Ebensowenig läßt sich etwas Bestimmtes über die Herkunft der versumpften oder mit Wasser gefüllten Einsenkungen des Miodoboryzuges sagen²⁾. Trotz seiner genauen Untersuchungen war es Teisseyre nicht möglich, die Frage zu entscheiden, ob sie auf Gipslager oder auf den sarmatischen Riffkalk des Miodoboryzuges zurückgeführt werden sollen³⁾.

Inhalt.

	Seite
1. Allgemeine Bemerkungen	683
2. Die Karsterscheinungen im Bereich des Senons	688
3. Die Karsterscheinungen des Lithothamnienkalkes	705
4. Die Karsterscheinungen in der „weißen Kreide“	712
5. Die Karstlandschaft der Gipsgebiete	713
6. Über akustische Begleiterscheinungen des Karstphänomens	722
A n h a n g. Einige Worte zur Kartenskizze (Taf. XIV)	724

¹⁾ Ibid., pag. 265 und 266.

²⁾ Ibid., pag. 266 ff.

³⁾ Ibid., pag. 269.

Erklärung zu Tafel XV.

Karsterscheinungen in den Mergeln der „weißen Kreide“.

„Falkiewiczowa dolina“, ein Seitental des Złota Lipatales, NW von Monasterzyska.

Die Bildfläche liegt SOO—NNW.

a. Cenoman. — *b.* Mergel der weißen Kreide.

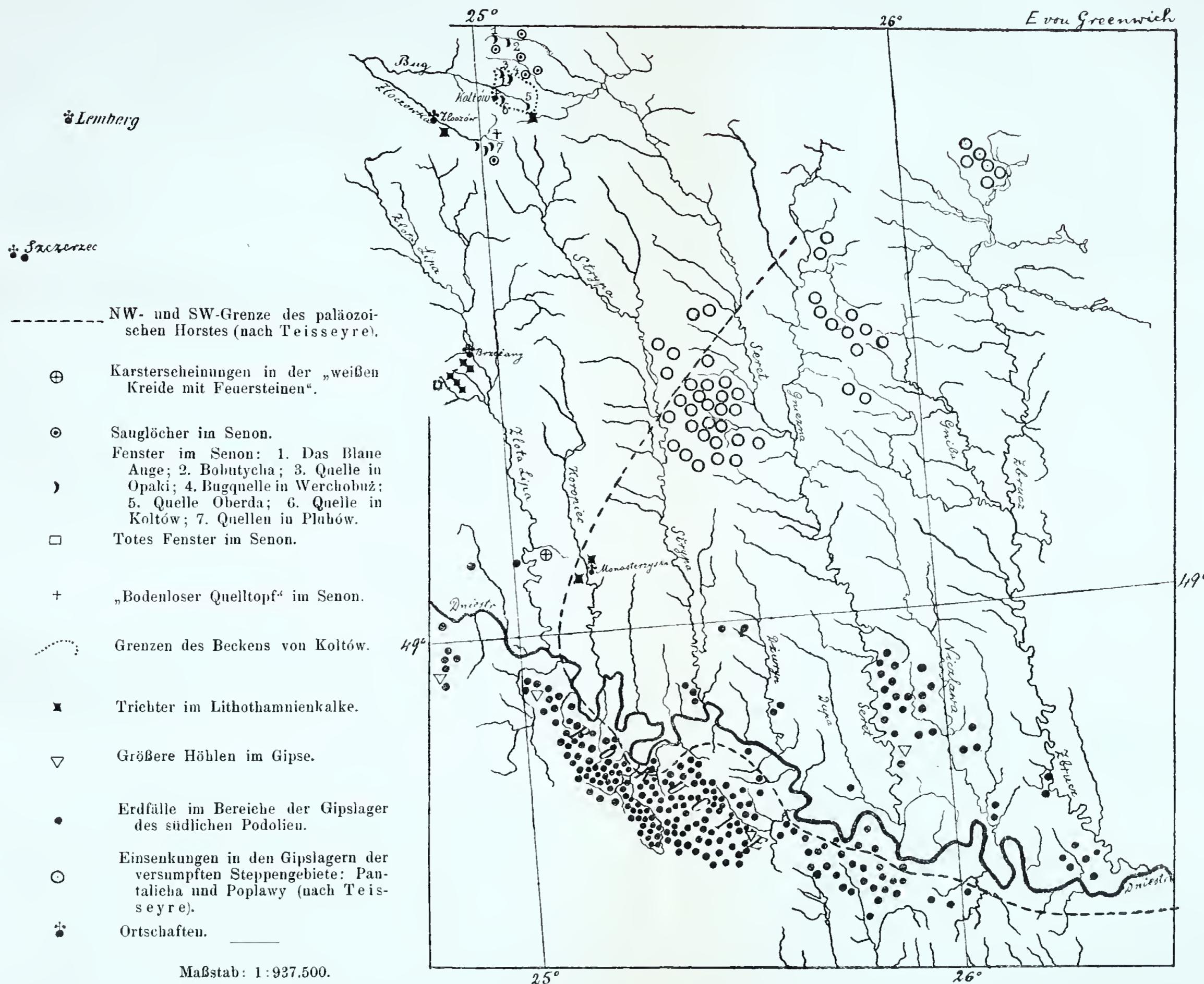
Nach einer photographischen Aufnahme des Verfassers.

Erklärung zu Tafel XVI.

Fig. 1. Ein totes Fenster im Šenon südlich von Nadorožniów im polit. Bezirk Brzežany.

Fig. 2. Ein Erdfall mit anstehendem Gipse in der Nähe des Maierhofes NO von Olejowa Korolówka im polit. Bezirk Horodenka.

Beide Bilder nach photographischen Aufnahmen des Verfassers.



Dr. W. Ritter von Łozinski: Karsterscheinungen in Galizisch-Podolien.

Tafel XV.



Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Band LVII, 1907.
Verlag der k. k. geologischen Reichsanstalt, Wien III. Rasumofskygasse 23.

Dr. W. R. v. Łoziński: Karsterscheinungen etc. Taf. XVI.



Fig. 1.



Fig. 2.

Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Band LVII, 1907.

Verlag der k. k. geologischen Reichsanstalt, Wien III. Rasumofskygasse 23

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [057](#)

Autor(en)/Author(s): Lozinski Walery Ritter v.

Artikel/Article: [Die Karsterscheinungen in Galizisch-Podolien. 683-726](#)