

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

SITZUNGSBERICHTE

JAHRGANG

1955

MÜNCHEN 1956

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Über die Entstehung der Karstpoljen auf Grund von Beobachtungen im Taurus

Von Herbert Louis in München

Vorgelegt am 11. November 1955

Als Karstpolje bezeichnet man, wie bekannt, nach der in den dinarischen Karstländern üblichen Benennung, große, breite, meist mehr oder weniger langgestreckte Karstwannen mit flachem Boden. Es ist wesentlich, daß sie unterirdische Entwässerung besitzen, also oberflächlich geschlossene Hohlformen bilden, und damit ergibt sich auch, daß sie nur in Gebieten löslicher Gesteine, vor allem in Kalkgebirgen vorkommen. Sie haben meist steile, ziemlich glatt hinstreichende Hänge, die sich scharf von dem ebenen Poljeboden abheben. Der flache Boden hat geringes Gefälle. Aber dieses ist oftmals nicht nur gegen einen tiefst gelegenen Punkt mit Schluckstellen (Ponoren) gerichtet, sondern mitunter gegen deren mehrere. Die Poljeböden nehmen alle Größenordnungen ein von wenigen qkm bis zu mehreren hundert qkm. Das Livansko-Polje in Westbosnien hat z. B. etwa 380 qkm Fläche.

Die Poljeböden sind weithin mit Lockermassen bedeckt, und zwar hauptsächlich mit mehr oder weniger tonigen bis sandigen Lehmen. Unter der meist dünnen Lehmdecke steht der Kalkfels an. Seine Schichten, ob sie nun steil aufgerichtet sind oder nur schwache Neigung haben, werden von der horizontalen Lehmdecke glatt abgeschnitten. Wegen dieses Lehms sind die Poljen gewöhnlich die einzigen größeren Ackerflächen der Karstgebiete, und daher rührt auch ihr Name Polje, der ja eigentlich Feld bedeutet.

Für die Frage nach der Entstehung der Poljen ist von Wichtigkeit, daß ihre Gesamtform gewöhnlich in naher Beziehung zum allgemeinen Gebirgsbau steht. Die Poljen halten sich vorzugsweise an geologische Mulden oder geologische Gräben. Im einzelnen aber sind sie durch unregelmäßig talartige Zipfel und

Ausläufer mit dem höher aufragenden Gebirgsrelief der Umrahmung verzahnt. Bedeutsam ist außerdem, daß die Poljeböden fast immer Bäche enthalten, die von den benachbarten Höhen oder auch aus Karstquellen am Rande des Poljes kommen. In der feuchten Jahreszeit können die Schlucklöcher vieler Poljen die Niederschlagswasser nicht schnell genug abführen, und es gibt langdauernde mehr oder weniger große seeartige Überflutungen. Man kann in manchen Poljen an der gleichen Stelle im Sommer Weizen bauen und im Winter fischen. Nicht wenige Poljen enthalten auch dauernd kleinere oder größere flache Seeflächen. Eine weitere sehr wichtige und bisher wohl nicht genügend hervorgehobene Eigentümlichkeit der Poljen besteht darin, daß sie zwar allseits von höherem, oftmals von sehr hohem Gelände umschlossen sind, daß sie aber, soweit meine Kenntnis reicht, immer mindestens einen talartigen Ausgang haben, der nicht sehr hoch, nämlich selten mehr als 50–60 m über dem Poljeboden gelegen ist.

Karstpoljen gibt es besonders in den dinarischen Karstländern von Krain bis zum Peloponnes, ferner im Taurus Anatoliens. Sie treten auch in anderen großen Kalkgebirgen auf, z. B. in den Abruzzen auf der Apenninhalbinsel.

Die Entstehung der Poljen ist bisher nicht wirklich geklärt. Um die Jahrhundertwende hat sich der serbische Geograph Jovann Cvijić eingehend mit ihnen beschäftigt.¹ Er faßt die Poljen als Endglieder einer Entwicklung von Karstwannen auf, welche mit einfachen Karsttrichtern (Lösungs-Dolinen) beginnt und durch Verwachsung benachbarter Dolinen unter Weglösung der sie trennenden Wandungen über größere schüsselförmige Karstmulden oder Uvalas schließlich zu den viel größeren Poljen führen soll. Hierbei setzt schon Cvijić besonders bei den großen Poljen eine mehr oder weniger weitgehende Mitwirkung von tektonischen Einbiegungs- oder Absenkungsvorgängen bei der Schaffung der großen Gesamthohlform voraus.

Dieser Erklärungsversuch ist aber nicht wirklich befriedigend. Die Größe von Dolinen und Uvalas mißt gewöhnlich nach Aren

¹ Cvijić, Jovan: Morphologische und glaciaie Studien aus Bosnien, der Hercegovina und Montenegro II, die Karstpoljen. Abh. Geogr. Ges. Wien II, 2, 1901.

oder Hektaren, die der Poljen oft nach Zehnern ja Hunderten von Quadratkilometern. Das spricht nicht sehr für die Vorstellung, daß die einen einfach durch Zusammenwachsen aus den anderen hervorgegangen sind, auch dann nicht, wenn man gelten läßt, daß Cvijić Übergänge von großen Uvalas zu kleinen Poljen wirklich beobachtet hat.

Störender für die Annahme eines kontinuierlichen Überganges vom einen zum anderen ist nämlich noch ein qualitativer Unterschied zwischen Poljen einerseits und Uvalas und Dolinen andererseits. Die Böden der letzteren sind gewöhnlich uneben, wenn auch in ihnen am Grunde oft Lehmflecken vorhanden sind. Für typische Poljen ist aber ein flacher Boden mit Lehmdecke ein entscheidendes Merkmal. Dieser flache Boden muß erklärt werden.

Cvijić hat deswegen zu seiner Annahme über die Entstehung der Poljen den zusätzlichen Gedanken geäußert, daß die Poljen zum Unterschiede von Dolinen und Uvalas im Zusammenhang mit einem Grundwasserniveau entstanden seien. Aufragungen des Kalks über dieses Niveau seien weggelöst worden. Die Lehmdecke wird dabei als Lösungsrückstand aufgefaßt, obwohl Cvijić dies nicht ganz deutlich ausgesprochen hat. Durch diese Annahme erlangt die Frage eines Karstgrundwassers eine große Bedeutung. Darüber sind von Cvijić¹ und von Alfred Grund² weitgehende und etwas voneinander abweichende Anschauungen entwickelt worden. Andere, wie z. B. Friedrich Katzer,³ haben solche Annahmen leidenschaftlich und mit guten Gründen bekämpft.

Als Ergebnis der Erfahrungen eines Menschenalters kann man heute feststellen, daß es einen durchgängigen, einigermaßen horizontalen Karstwasserspiegel in den Kalkgebieten nicht oder nur ausnahmsweise gibt. Die Hauptbeweise dafür liegen in

¹ Cvijić, Jovan: Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Rec. d. Trav. de l'Institut de Géogr. Alpine, Grenoble 1918.

² Grund, Alfred: Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. Geogr. Abh. VII, 3, 1903. – Zur Frage des Grundwassers im Karst. Mitt. Geogr. Ges. Wien. Bd. 53, 1910.

³ Katzer, Friedrich: Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, H. 8. Sarajewo 1909.

folgendem: Man hat bei Ingenieurbauten, z. B. bei Tunnelbauten in Kalkgebirgen (Mt. d'Or Tunnel im Schweizer Jura) trockene und wassererfüllte Klüfte nebeneinander und auch wassererfüllte über trockenen gefunden. Man hat Poljeseen einfach durch Umleitung der Zuflüsse trockenlegen können ohne besonders schwierige Abdichtungsmaßnahmen (Kopaïs-See in Böotien, Fucino-See in den Abruzzen). Endlich gibt es nicht selten in naher Nachbarschaft große, fast horizontale Poljeböden von sehr verschiedener, um Hunderte von Metern unterschiedlicher Höhe, und es kommt vor, daß bei Regenwetter der höhere von beiden zuerst überflutet wird. Schließlich ist oft zu beobachten, daß bei Überflutung eines Poljebodens die im Boden befindlichen Schluckstellen nicht etwa aufhören Wasser abzuführen, sondern daß sich in gesteigertem Maße Wasser in sie ergießt. Es gibt also keinen kontinuierlichen Karstwasserspiegel, sondern nur kompliziert und zum Teil unabhängig von der Nachbarschaft entwickelte Röhrensysteme. Das hat vor allem Otto Lehmann 1932¹ herausgearbeitet.

Wenn es keinen horizontalen Karstwasserspiegel oder Grundwasserspiegel im Karst gibt, dann können die flachen Poljeböden auch nicht durch Weglösung allen Kalks bis zu einem solchen Grundwasserspiegel entstanden sein. Ein Ausweg ist durch Kurt Kayser² gesucht worden. Er hat die sicherlich richtige Meinung vertreten, daß jedenfalls der Meeresspiegel und ebenso auch wasserundurchlässige Gesteine am Rand der Karstgebiete eine untere Grenze für das Absinken der unterirdischen Karstwasser vorzeichnen müßten. Nur bis zu diesem Niveau könne in Karstgebieten Kalk weggelöst werden, und es könne hierbei zur Bildung von Karstebenen in diesem Niveau kommen, die er Karstrandebenen nennt. Die Mehrzahl der Poljen kann aber auf diese Weise sicher nicht erklärt werden.

Die weitere Forschung hat dann hauptsächlich festgestellt, daß in den schon vorhandenen Poljen eine allmähliche Vergrö-

¹ Lehmann, Otto: Die Hydrographie des Karstes. Enzyklopädie der Erdkde. Leipzig u. Wien 1932.

² Kayser, Kurt: Morphologische Studien in Westmontenegro II. Zeitschr. Ges. f. Erdkde, Berlin 1934.

³ a. a. O.

Berung des Poljebodens durch Lösung des Kalks an einzelnen Stellen am Rande des Poljebodens stattfindet, vor allem da, wo Schluckstellen liegen. In der Mitte der Poljeböden ist dagegen der Untergrund durch Schwemmlehm weitgehend abgedichtet und daher der Lösung weniger stark ausgesetzt. Diese Beobachtungen setzen aber das Vorhandensein eines flachen Poljebodens schon voraus. Über dessen Ursprung ist man sich in Wirklichkeit nicht klar.

Beobachtungen an kleinen Poljen, besonders im westlichen Mitteltaurus um Akseki im Jahre 1953 haben mir Aufschluß darüber gegeben, wie diese Anfänge der Poljebildung tatsächlich zustande kommen. Das möchte ich im folgenden kurz andeuten. Im Grunde ist die Sache einfach:

1. Es gibt in allen Kalkgebirgen echte Täler, d. h. Hohlformen, die durch fließendes Wasser ausgearbeitet wurden und die daher gleichsinniges Gefälle haben. Oder es hat zum mindesten am Anfang der Abtragungsgeschichte eines Kalkgebirges solche Täler gegeben, als nämlich die Klüfte des Kalkes noch nicht karsthydrographisch wirksam d. h. für unterirdische Entwässerung zusammenhängend durchgängig gemacht waren. Das hat Otto Lehmann³ überzeugend dargelegt.

2. Es gibt in den meisten Kalkgebirgen, die seit langem der Abtragung ausgesetzt waren, verkarstete Täler, d. h. Talzüge, die das wesentliche Merkmal echter Täler, nämlich das gleichsinnige Gefälle durch unterirdische Entwässerung und durch örtliche Lösungserscheinungen im Talgrunde verloren haben. In solchen Karsttälern gibt es also im Talgrunde geschlossene Wannen, aber zwischen diesen und der talab folgenden Talfortsetzung sind die Felsriegel dann gewöhnlich nicht sehr hoch.

3. Es gibt in allen Kalkgebirgen innerhalb der kalkigen Gesteinsserien gelegentlich sandig-tonige Schichtkomplexe. In den Dinariden z. B. besonders in den unteren Werfener Schichten, in der karnischen Stufe der Mitteltrias, die den Raiblerschichten der Alpen entspricht, im Eozän, das neben Nummulitenkalkfazies auch Flyscheinlagen aufweist, schließlich auch in Kohle führenden sandig-tonigen Schichten des Oligozäns. Im Taurus

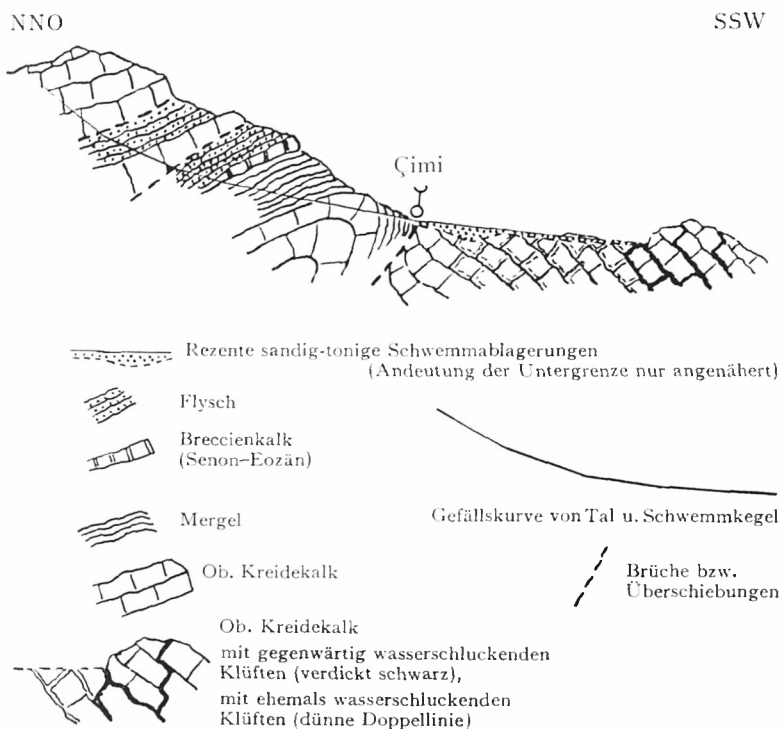
sind stellenweise paläozoische Schiefer, andererseits alttertiäre Flyschkomplexe dem Schichtbau eingefügt. Gewöhnlich bilden aber diese sandig-tonigen Schichtglieder nur örtlich beschränkte Massen innerhalb des Kalkgebirges.

4. Wenn nun im Einzugsgebiet verkarsteter Täler solche lokalen Vorkommen sandig-toniger Gesteine durch den Abtragungsvorgang angeschnitten werden, dann werden die sich ergebenden unlöslichen Abtragungsmassen im allgemeinen in die erste in ihrem Transportweg auftretende geschlossene Wanne hineingespült.

5. In der Wanne entsteht dann eine Ablagerung mit flacher, nämlich schwemmkegelartiger Oberfläche. Diese Ablagerung dichtet den Untergrund hier mehr oder weniger gut ab. Die aufschüttenden Wassermassen gehen über die Kegeloberfläche hinweg und werden gegen die kalkige Umrahmung geleitet. Hier treten sie in Klüfte des Kalkes ein und versinken. Dabei wird beim Eintritt in den Kalkstein Kalk weggelöst. Gleichzeitig bringen die Wasser dauernd neues wasserunlösliches Schwemm-Material heran. Dadurch wird die flach schwemmkegelartige Fläche an ihrem unteren Rande, an dem das Wasser versickert, vergrößert unter gleichzeitiger Kappung der über das Schwemmkegelniveau aufragenden Kalkmassen. Es entsteht die für die Poljeböden typische flache Abtragungsebene im Kalk mit dünner Lehmdecke, eine Art Pedimentfläche im Karst. (Vgl. das nebenstehende schematische Profil der Poljeebene von Çimi).

6. Die randliche Erweiterung der Karstpoljen durch Lösung (Korrosion) findet zum mindesten in diesem Stadium der Entwicklung nicht an allen Seiten der Schwemmfläche gleichmäßig statt. Sie ist vielmehr besonders stark dort, wo das fließende Wasser auf der im Polje gebildeten flachen Schwemmkegeloberfläche möglichst senkrecht oder doch wenigstens in schiefer Winkel gegen die kalkige Umrahmung des Poljes strömt. Dort ist dann der Rand zwischen Poljeebene und umrahmendem Kalkhang scharf. An anderen Stellen bildet sich dagegen am Fuß der Poljeumrahmung eine sanfte Übergangsböschung. Bei der geschilderten Einebnung können natürlich hier und dort inselartige Resthügel, mit steilem Hangfuß über dem Poljeboden aufragend, erhalten bleiben. Das sind die Humi.

7. Da die Einfüllung ein vorher gebildetes verkarstetes Tal getroffen hat, so gibt es in der Umrahmung dieser Poljeböden immer eine Stelle, an der man über einen verhältnismäßig niedrigen Felsriegel hinweg zu einer tiefer gelegenen Fortsetzung der alten Karsttalung gelangen kann. Andererseits liegen solche von der Einschwemmung betroffene Karstwannen natürlich besonders häufig dort, wo die alte Karsttalung einer geologisch vorgezeichneten Strukturform, z. B. einer Synklinalregion oder einem Graben, folgt. Dadurch erklärt sich das so häufige Zusammenfallen besonders der großen Poljen mit tektonischen Struktureinheiten.



Schematisches Profil der Poljeebene von Çimi

östlich von Akseki im westlichen Mittel-Taurus

Geologische Angaben z. T. nach M. Blumenthal: Recherches géologiques dans le Taurus occidental dans l'arrière-pays d'Alanya. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları'ndan Seri D. No 5 Ankara 1951 S. 98

8. Die großen Poljeböden haben nun aber in Wirklichkeit meist nicht die Gestalt deutlicher flacher Schwemmkegel, oder nur teilweise ist eine solche in ihnen erkennbar. Das kann aber auch nicht anders erwartet werden. Denn diese Schwemmkegelform kann nur so lange erhalten bleiben, wie die Einfüllung von wasserunlöslichen Abtragungsmassen anhält. Das wieder kann nur so lange andauern, wie solche Massen verfügbar sind. Es handelt sich aber in den Karstgebieten immer nur um Fetzen solcher Gesteinspakete. Nach Aufhören der Einschüttung muß sich die Schwemmkegelform durch Umlagerung der lockeren Massen auf den flachen Böschungen des einstigen Schwemmkegels und durch Nachsackung über einem Untergrund, der wohl einigermaßen, aber doch nicht vollständig abgedichtet ist, allmählich verlieren. Daraus ergibt sich dann das heutige Bild der meisten großen Poljen mit flachem Boden und mit ganz geringem Gefälle gegen mehrere Schlucklochgebiete hin, welches nicht dazu veranlaßte, die Entstehung der Poljeböden mit Schwemmkegelbildung in Verbindung zu bringen.

9. Die Entstehung der Poljen nach der hier entwickelten Auffassung ist unabhängig von einem Grund- oder Karstwasserspiegel.

10. Sie ist auch unabhängig vom Meeresniveau und von alten Verebnungsflächen, sie wird allerdings in einem flachen Kalkrelief rascher vor sich gehen als in einem tief zerschnittenen. Deswegen dürften sich Poljen auch besonders häufig am Grunde tektonisch angelegter Hohlformen entwickelt haben, deren ehemaliges Talnetz durch Karstentwässerung das gleichsinnige Gefälle verloren hatte.

11. Die Poljebildung ist hiernach nicht Endglied einer Karstabtragung bis zum Karstwasserspiegel, wie Cvijić und andere dachten, sondern sie bewirkt durch lokale Verstopfung der unterirdischen Zirkulation im Karst eher eine Verzögerung der Karstentwicklung. Und diese wird durch lokale schwer voraus berechenbare Ursachen hervorgerufen. Es müssen nämlich lokale Pakete unlöslicher Gesteine und geeignete Karstwannen zum Auffangen der von diesen Gesteinspaketen herrührenden Abtragungsprodukte vorhanden sein.

12. Bei Zerschneidung von außen her oder beim Einbruch von Höhlen unter dem Poljeboden ist eine Umlagerung der den Poljeboden bedeckenden Lehme und deren erneute Festsetzung in einer tiefer gelegenen Karstwanne möglich. Eine wasserunlösliche Ablagerung, die einmal in ein Karstgebiet hineingespült worden ist, bildet eben im Kalk einen schwer zu entfernenden Fremdkörper, weil ihre Entfernung durch unterirdische Entwässerung nicht möglich ist.

13. Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, daß die Lehme der Polje-Ebenen nicht einfach als Lösungsrückstände von weggelösten Kalken gedeutet werden können. Denn eine Überschlagsrechnung zeigt leicht, daß die Menge dieser Lehme innerhalb der sehr reinen Kalke viel zu groß ist, um in dieser Weise erklärt werden zu können.

14. Schon Cvijić hat überdies das Vorkommen von Geröllen, namentlich auch von Quarzgeröllen, in den Lehmen der Poljen festgestellt. In neuerer Zeit hat besonders Roglić¹ darauf hingewiesen. Auch in diesen Beobachtungen liegt ein Beweis dafür vor, daß es sich bei den Lehmen der Poljeböden tatsächlich in erheblichem Umfang um herantransportierte Ablagerungen handelt und nicht vorzugsweise um Lösungsrückstände.

15. Die geschilderte Form der Poljebildung scheint auf die nicht zu feuchten, zum mindesten jahreszeitlich trockenen Subtropen und auf die mittleren Breiten beschränkt zu sein. In den feuchten Tropen und Subtropen scheinen die größeren Täler ihre Gerinne oberflächlich aufrechterhalten zu können. Dort entstehen dann nach den Beobachtungen von Herbert Lehmann,² H. v. Wißmann³ und anderen Karstverebnungen im Anschluß an dauernd fließende offene Gerinne.

(Eine ausführlichere Darstellung der Einzelbeobachtungen, auf die die vorstehenden Ausführungen gegründet sind, erscheint in der „Erdkunde“

¹ Roglić, J.: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. Erdkunde Bd. VIII. 1954. S. 113f.

² Lehmann, Herbert: Der tropische Kegelkarst auf den großen Antillen. Erdkunde Bd. VIII. 1954. S. 130.

³ v. Wißmann, A.: Der Karst der humiden heißen und sommerheißen Gebiete Ostasiens. Erdkunde Bd. VIII. 1954. S. 122.