

Versuch einer Charakteristik der Canyontäler.

Von Walery Ritter v. Łoziński.

Mit 4 Abbildungen im Text.

I. Der Begriff eines Canyons.

Seit den klassischen Monographien von Powell (1875) und Dutton (1882) ist der Canyon des Colorado zu einem allgemein bekannten und in allen Lehrbüchern wiederkehrenden Vorbilde eines Canyonales geworden, welches den Ausgangspunkt einer jeden vergleichenden Betrachtung der Canyontäler bilden muß. Die Bedingungen der Canyonbildung des Colorado hat Dutton¹⁾ in folgenden Punkten zusammengefaßt:

1. Die große Höhenlage des Gebietes.
2. Die horizontale Schichtenlagerung.
3. Die Gleichartigkeit der Schichten in horizontaler Erstreckung und die ungleiche Widerstandsfähigkeit der aufeinanderfolgenden Schichtenkomplexe in vertikaler Richtung.
4. Das trockene Klima.

Ohne Zweifel hat das Zusammentreffen aller genannten Bedingungen die eigenartige und einzig dastehende Szenerie des Coloradocanyons hervorgebracht. Wenn man aber die großartige Erosion und ihre Leistungen ins Auge faßt, so ist die erste Bedingung, das heißt die große Höhenlage des Gebietes oder — richtiger gesagt — der große Betrag der Hebung von der allergrößten Bedeutung. Die übrigen dagegen, von Dutton genannten Bedingungen haben den Verlauf der Erosion wesentlich nicht beeinflußt und nur dazu beigetragen, ihren Leistungen die unvergleichliche Großzügigkeit und Schärfe zu verleihen. Sieht man aber von diesen äußeren Zügen ab, welche die Szenerie des Coloradocanyons der flachen Lagerung der Schichtenkomplexe, dem vertikalen Wechsel ihrer Widerstandsfähigkeit und der Trockenheit des Klimas zu verdanken hat, so wird man den Canyontypus der Täler nicht alleinig auf den Colorado beschränken, sondern dieselbe Art der Talbildung auch in anderen Gebieten wiederfinden. Es bleibt nur ein quantitativer Unterschied übrig, indem der vertikale

¹⁾ Dutton, Tertiary History of the Grand Canyon District. Monographs of the Un. St. Geol. Survey, Band II, Washington 1882, pag. 245.

Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1909, 69. Bd., 3. n. 4. Hft. (R. v. Łoziński.)

Betrag der Hebung und somit auch der Tiefenerosion sonst weit hinter dem Coloradocanyon zurückbleibt. Es kommt jedoch nicht auf den absoluten Betrag der Hebung, sondern in erster Linie darauf an, daß die Hebung des betreffenden Gebietes und dementsprechend auch die Tieferlegung seines Wassernetzes mit relativ großer Geschwindigkeit, somit in kurzer Zeit erfolge.

Die flache Schichtenlagerung ist für die Canyonbildung nicht unerläßlich. Unter Bedingungen, auf die ich im VI. Abschnitte eingehen werde, können Canyontäler auch bei gefaltetem Schichtenbau herausgearbeitet werden, wie die Canyons der Maas in den Ardennen und der Mosel im Rheinischen Schiefergebirge.

Wo Canyons in flachgelagerten und nicht gleichartigen Schichtenkomplexen eingeschnitten werden, muß dabei ihre ungleiche Widerstandsfähigkeit in vertikaler Richtung zum Ausdruck kommen, indem härtere Schichten die Entstehung von gesimsartigen Leisten an den Gehängen veranlassen. Nur im Coloradocanyon wird die Skulptur der Gehänge durch die Bildung von Stufen infolge des Wechsels der Gesteinsbeschaffenheit in größerem Maße beeinflußt. In anderen Fällen dagegen springen härtere Schichten nur als ganz schmale, häufig unterbrochene Leisten hervor, welche für den Gesamtcharakter eines Canyons keine Bedeutung haben, wie zum Beispiel die devonischen oder cenomanen Sandsteinbänke in den podolischen Canyons. Es gibt aber echte Canyontäler auch in solchen Gebieten, wo der geologische Bau überhaupt keine drastischen Unterschiede der Widerstandsfähigkeit in vertikaler Richtung aufweist. Man kann daher den Wechsel der Gesteinsbeschaffenheit in vertikaler Richtung nicht zu den Bedingungen der Canyonbildung rechnen, noch als ein wesentliches Merkmal der Canyontäler hinstellen. Die Beeinflussung der Gehänge durch die ungleiche Gesteins Härte ist eine sekundäre Begleiterscheinung, die mehr oder weniger zur Geltung kommt, soweit sie im Schichtenbau überhaupt vorhanden ist.

Ein Wechsel der Gesteinsbeschaffenheit in horizontaler Richtung kommt in Betracht, wenn wir mit einem Gebiete zu tun haben, welches gefaltet und dabei aus Schichtenkomplexen von sehr ungleicher Widerstandsfähigkeit aufgebaut ist. Am besten zeigt dies der Rheinlauf im Rheinischen Schiefergebirge, welcher je nach der Beschaffenheit der durchquerten Schichtenkomplexe in vier Abschnitte zerfällt¹⁾. Im Zusammenhange damit trägt die Quersfurche des Rheins im Rheinischen Schiefergebirge keinen so einheitlichen und so durchgängigen Canyoncharakter zur Schau, wie die Längsfurche der Mosel.

An letzter Stelle hat Dutton auch der Trockenheit des Klimas einen Einfluß auf die Gestaltung des Coloradocanyons zugeschrieben. Das trockene Klima spielt jedoch nur insoweit eine gewisse Rolle, als es den Mangel einer Verwitterungsdecke und des Pflanzenwuchses mit sich bringt, wodurch jede Einzelheit der Erosion mit beispielloser

¹⁾ Holzapfel, Das Rheintal. Abhandl. d. kgl. Preuß. Geolog. Landesanstalt, N. F., Heft 15.

Schärfe hervortritt. Wir brauchen nicht eine weitergehende Bedeutung der Trockenheit des Klimas zu widerlegen und Beispiele von Canyonälern aus regenreichen Gegenden anzuführen, da Dutton selbst schon ein Jahr später (1883), nachdem er die Canyons im subtropischen Klima der Hawaii-Inseln kennen gelernt hat, seine frühere Annahme eines Einflusses des trockenen Klimas auf die Entstehung des Coloradocanyons vollauf zurückzog¹⁾. Nichtsdestoweniger hat sich die irrtümliche Ansicht, daß die Bildung von Canyons durch die Trockenheit des Klimas bedingt wird, ja daß Canyons eine spezifische Talform des trockenen Klimas darstellen, bis in die modernsten Lehrbücher verbreitet.

Die Annahme eines Zusammenhanges der Canyonbildung mit dem Klima ist auch folgenderweise formuliert worden: „Bedingung der Canyonbildung ist ein niederschlagsreiches Hochgebirge, das seine Gewässer unter bedeutendem Gefälle durch ein regenloses Gebiet entsendet“²⁾. Freilich ist es bei manchen Canyons, wie beim Dniestrcanyon, der Fall, daß der Fluß von einem gebirgigen und im Verhältnis zur höheren Lage niederschlagsreicheren Gebiet kommt. Niemand wird aber das podolische Plateau regenarm, geschweige denn regenlos nennen. Übrigens tragen auch die Zufüsse, deren Quellengebiete innerhalb des Plateaus selbst liegen, denselben echten Canyontypus zur Schau. Der Umstand, daß das Quellengebiet in einem Gebirge liegt, konnte nur bei der Entstehung von solchen Canyons gewissermaßen zur Geltung kommen, die hauptsächlich während der älteren Diluvialzeit eingeschnitten wurden, da in diesem Falle die Vermehrung der Wassermenge, die wir im niederschlagsreichen Klima der älteren Diluvialzeit voraussetzen haben, noch bedeutender war.

Wenn man den Rand des Dniestrtales in Podolien oder des Moseltales im Rheinischen Schiefergebirge betritt, so fällt sofort ihr eigenartiger, den meisten Flußälern fremder Charakter auf. Unschwer erkennt man, daß hier in viel kleinerem Maßstabe derselbe Taltypus vorliegt, als dessen Vorbild der Coloradocanyon genannt wird. Obwohl die Eigenart der Canyonäler schon auf den ersten Blick in die Augen springt, so ist es doch keine leichte Aufgabe, alle spezifischen Merkmale eines Canyons zu fassen und zu präzisieren. In landeskundlichen Lokaldarstellungen wird die Bezeichnung eines Canyons oft ganz willkürlich angewendet, je nach der Bewanderung des Beobachters und dem subjektiven Eindrucke, welchen die Enge und die Tiefe eines Tales machen. Ebenso wenig findet man in den vornehmlichsten Lehr- und Handbüchern den Begriff eines Canyonales scharf definiert. Oft ist nur vom Colorado die Rede, als wäre er das einzige Canyonal in der Welt, oder werden im weitesten Sinne alle

¹⁾ Dutton, Hawaiian Volcanoes. 4. Ann. Report Un. St. Geol. Survey, Washington 1883, pag. 87 und 88. — Bald darauf hat Diener (Libanon, Wien 1886, pag. 137–138) irgendeinen Einfluß des trockenen Klimas auf die Canyonbildung entschieden in Abrede gestellt.

²⁾ K. Zöppritz im Geograph. Jahrb. Bd. IX, 1884, Anm. 137 auf pag. 24. — Was das bedeutende Gefälle anbelangt, so fällt diese Bedingung mit einer relativ rasch sich vollziehenden Hebung zusammen.

genug engen und tiefen Flußtäler mit steilen Gehängen als Canyons bezeichnet und sogar letztere mit Klammern zusammengeworfen. Auch wird ein V-förmiger Querschnitt als charakteristisches Merkmal hervorgehoben¹⁾, wogegen sofort bemerkt werden mag, daß echte Canyon-täler, wie zum Beispiel der Dniestrcanyon in Podolien, ebensogut einen ausgesprochen U-förmigen Querschnitt zeigen. Andererseits gibt es Taltypen, die trotz ihres V-förmigen Querschnittes keine Canyons sind.

Dutton hat die Canyons als „long, narrow, profound trenches in the rocks, with inaccessible walls“²⁾ definiert. Die Länge ist gewiß ein nicht zu vernachlässigendes Merkmal, welches die Canyon-täler von kürzeren und oft nur temporär wasserführenden Schluchten des feuchten, sowie von Wadis des trockenen Klimas unterscheiden läßt. Die Canyons dagegen werden von genug langen und beständigen, wenn auch nicht immer ergiebigen Wassersträngen durchmessen. Wollte man den Canyontypus nach der Breite und der Tiefe abgrenzen, so müßte man ein bestimmtes Grenzverhältnis dieser beiden Dimensionen aufstellen. In der Wirklichkeit aber läßt sich ein solches nicht durchführen, da das Verhältnis der Breite zur Tiefe schon an ein und demselben Canyon kein bestimmtes ist, vielmehr innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken kann, wie zum Beispiel beim Canyon des Colorado. Im Kaibab ist die Breite oben etwa vier- bis siebenmal so groß wie die Tiefe³⁾, wogegen deren Verhältnis bei der inneren Chasm in den anderen Plateauteilen kaum 1:2:1 bis 1:3:1 beträgt⁴⁾. Ein ähnliches, ja sogar noch schärferes Verhältnis kommt vielfach bei Talengen im Gebirge vor, so daß wir auch dadurch zu keiner genauen Abgrenzung des Canyontypus gelangen können.

Eine Einteilung der Oberflächenformen nach ziffermäßigen Verhältnissen, die von lokalen Bedingungen abhängig sind und oft bei grundverschiedenen Typen wiederkehren können, ist unzulässig. Ebenso wäre auch eine quantitative Abgrenzung der Canyons von anderen Taltypen nicht möglich. An Stelle starrer, nichtssagender Zahlenverhältnisse müssen charakteristische morphologische Züge in ihrer genetischen Begründung in den Vordergrund treten. Ein solches soll in den folgenden Abschnitten für die Canyon-täler versucht werden.

¹⁾ Penck, *Morphol. d. Erdoberfläche*, Bd. II, pag. 109. — Brückner, *Die feste Erdrinde*, pag. 321—322. — Nur im Lehrbuche von Supan (*Grundzüge d. phys. Erdkunde*, 4. Aufl., 1908, pag. 603) heißt es mit vollem Recht, daß die Canyons ebensogut einen V- wie einen U-förmigen Querschnitt haben können.

²⁾ Dutton, *Phys. Geol. of the Grand Canyon District*. 2. Ann. Report Un. St. Geol. Survey, Washington 1882, pag. 53.

³⁾ Nach den Zahlenangaben bei Dutton, *Phys. Geol. of Gr. Canyon*, pag. 144 und 145.

⁴⁾ *Ibid.* pag. 112. — Übrigens bekommt man ein viel größeres Verhältnis, wenn man — wie es manchmal geschieht — nicht die Breite der eigentlichen Chasm, sondern diejenige der oberen, ebenen Esplanade in Betracht zieht. Vgl. Chamberlain-Salisbury, *Geology*, Bd. I, 1904, pag. 91.

II. Die Gestaltung der Canyons.

Die Mehrzahl der Talbildungen entbehren einer scharf ausgeprägten oberen Grenze. In einem Mittelgebirge, wo die wasserscheidenden Rücken gewöhnlich die Gestalt von breiten, flachen Wölbungen haben, ist es unmöglich, den oberen Rand eines Tales zu fixieren. Die Gehänge steigen mit wechselnder, bald kleinerer, bald größerer Neigung an, wobei allerdings im oberen Teile gegen die Wasserscheide zu der Böschungswinkel im allgemeinen abnimmt¹⁾. Wendet man sich von der Wasserscheide gegen ein Tal zu, so erweitert sich der Einblick mit jedem Schritt und bald kann man das Talinnerste mit aller Genauigkeit überblicken. Das Gegenteil ist bei den Canyons der Fall. Ihr auffallendstes Merkmal, welches schon beim ersten Anblick in die Augen springt und den Eindruck der Tiefe weit über das wirkliche Maß hinaus steigert, besteht darin, daß sie sich ganz plötzlich und unvermittelt vor uns öffnen. Man wandert auf der ebenen oder flachwelligen Oberfläche eines Plateaus, ohne einen Canyon zu ahnen, den man erst dann erblickt, wenn man in die unmittelbare Nähe seines Randes kommt²⁾. Diese Eigentümlichkeit der Canyons rührt davon her, daß sie immer in Plateaus eingesenkt sind, deren beinahe ebene Oberfläche sich mit den zur Tiefe abfallenden Canyongehängen in einer deutlichen, manchmal sogar so scharfen Kante verschneidet, als wenn sie mit dem Messer gezogen wäre. Dadurch wird der Eindruck der Enge gesteigert, wenn man am Rande eines Canyons steht. So berichtet Hassert³⁾ von den Canyons in Montenegro, daß die Eingeborenen sich durch Rufe von einem Rande zum gegenüberliegenden verständigen können.

Mit vollem Recht wurden die Canyons oft als eine spezifische Talbildung von Plateaus erwähnt⁴⁾. Tatsächlich ist der echte Canyon-typus auf solche Gebiete beschränkt, die eine beinahe ebene und um einen namhaften Betrag gehobene Oberfläche besitzen, mag es ein Schichten- oder Destruktionsplateau⁵⁾ sein. Die Plateaufläche ist oft vollkommen eingeebnet, so daß sie dem Ideal einer Davisschen Fastebene am nächsten kommt, wie zum Beispiel die Hochflächen der Vorder-

¹⁾ Vgl. die lehrreichen schematischen Querschnitte bei Penck, Morphol. d. Erdoberfläche, Bd. II, pag. 143.

²⁾ Die innere Chasm des Coloradocanyons im Toroweap soll erst dann sichtbar sein, wenn man sich ihrem Rande auf einige wenige Meter nähert. Vgl. Dutton, Phys. Geol. of Grand Canyon, 2. Ann. Rep. Un. St. Geol. Survey, 1882, pag. 112. — Das gleiche ist bei den Canyons in Montenegro der Fall, die „messerscharf... in die Hochebene eingeschnitten“ sind. Vgl. Hassert, Beitr. z. phys. Geogr. von Montenegro. Peterm. Mitteil., Erg.-Heft Nr. 115, pag. 112.

³⁾ A. a. O.

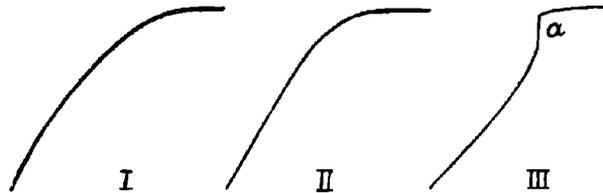
⁴⁾ Vgl. Löwl, Über Talbildung, pag. 122.

⁵⁾ Ich vermeide den von Löwl (l. c.) angewendeten Ausdruck Abrasionsplateau, um über den Faktor der Einebnung nicht von vornherein zu entscheiden, zumal die bekanntesten Canyons in Gebieten auftreten, die durch subaërische Abtragung verebnet wurden.

eifel¹⁾ oder der Ardennen²⁾, in denen die Canyons der unteren Mosel, beziehungsweise der Maas eingesenkt sind. Der eigentliche Reiz der Canyons, wie zum Beispiel derjenigen des Dniestr oder der Dupa in Podolien, liegt gerade in dem schroffen Gegensatz der alten, eingebneten Destruktionsfläche³⁾ des Plateaus und der jugendlichen, steilwandigen Erosionsfurchen.

Nicht immer aber verschneiden sich die Gehänge eines Canyons unmittelbar mit der Plateaufläche. In manchen Fällen sind die Canyons in ein altes, hochgehobenes Tal mit breitem und vollkommen eingebnetem Boden eingesenkt, den ich mit Dutton nach dem schönsten Beispiele des Coloradocanyons im Toroweap die Esplanade nennen möchte⁴⁾. Wo aber auch ein solches der Fall ist, so wird dadurch der morphologische Charakter eines Canyons nicht im geringsten beeinflusst, da der Gegensatz seiner Gehänge gegenüber der ebenen Esplanade und ihr Verschneiden ebenso scharf sind, als wenn der Canyon unmittelbar in die Plateaufläche eingeschnitten wäre. Übrigens ist die Esplanade in der Regel so breit, daß sie als eine selbständige langgezogene Plateaufläche betrachtet werden darf.

Fig. 1.



Alle Canyons zeichnen sich durch einen deutlichen oberen Rand aus, so daß im Querschnitt die Stelle ganz genau fixiert werden kann, wo die wasserscheidende Plateaufläche endet und das mehr oder weniger steil hinabschießende Canyongehänge einsetzt. In weniger widerstandsfähigen Gesteinen ist der obere Rand eines Canyons zugerundet (Fig. 1, I und II), immerhin aber ganz deutlich. Wenn dagegen der oberste Teil der Canyongehänge von einem harten

¹⁾ Oestreich, Oberflächengestalt des Rhein. Schiefergebirges. Peterm. Mitteil., Bd. LIV, 1908, pag. 73. Davis, La Seine, la Meuse et la Moselle. Annales de Géographie, Bd. V, pag. 28.

²⁾ Arctowski, Relief de l'Ardenne. Bull. Soc. Belge de Géol., Bd. XI, 1897, Proc. verb., pag. 119. Davis, l. c., pag. 48—49.

³⁾ Ich ziehe die von Philippon (Peterm. Mitteil. Bd. XLV, 1899, pag. 270) vorgeschlagene „Destruktionsfläche“ anderen Benennungen gleichen Sinnes vor. Als Gegensatz einer Destruktionsfläche ist auch eine Konstruktionsfläche, zum Beispiel die Oberfläche einer ausgedehnten Lavadecke denkbar.

⁴⁾ Die ältere Ansicht von Dutton (Phys. Geol. of Gr. Canyon, pag. 121), wonach die Esplanade des Coloradocanyons ein altes Erosionsniveau darstellt, ist viel wahrscheinlicher und ungezwungener als die spätere Auffassung der Esplanade durch W. M. Davis (Excursion to Gr. Canyon of Colorado. Bull. Mus. of Comp. Zool. at Harvard Coll., Bd. XXXVIII, Nr. 4, pag. 181 ff.).

Schichtenkomplex aufgebaut wird, wie zum Beispiel beim Dupacanyon in Podolien, wo zu oberst eine Bank sehr harten Kreidesandsteines liegt (α in Fig. 1, III), in solchen Fällen ist die obere Kante des Canyons sehr scharf, wie mit dem Messer gezogen¹⁾.

Es gehört zu den Eigentümlichkeiten der Canyons, daß die Gehänge vom oberen Rande bis zur Sohle in einer Flucht abfallen. Wird auch der Verlauf der Gehängefläche nicht selten durch das Hervorspringen widerstandsfähigerer Gesteinsschichten²⁾ unterbrochen, so hat dieses für das Gesamtbild eines Canyons keine weitergehende Bedeutung. Es gehört vielmehr zur Eigenart der Canyons, daß härtere Gesteinsbänke leistenförmig hervortreten, während in einem Mittelgebirge, wie Götztzinger gezeigt hat, das Hervorspringen widerstandsfähigerer Schichten auf den Talgehängen durch Schuttkriechen verhüllt wird³⁾. In den meisten Fällen senkt sich die Gehängefläche eines Canyons gleichmäßig, unter demselben Böschungswinkel, wobei die obere Kante entweder abgerundet (Fig. 1, II), wie beim Dniestrcanyon, oder sehr scharf (Fig. 1, III) ist, wie beim Dupacanyon in Podolien. Es kommt aber auch nicht selten vor, daß die Gehängefläche flach konvex ist (Fig. 1, I), wofür der Unterlauf der Strypa in Podolien ein Beispiel bietet. Aber selbst in diesem Falle nimmt der Böschungswinkel des Gehänges nur innerhalb sehr enger Grenzen nach unten zu. Wir können daher als ein Merkmal der Canyons hervorheben, daß ihre Gehänge sich vom oberen Rande in einer Flucht und ohne bedeutende Änderungen des Böschungswinkels⁴⁾ senken. Böschungsknicke kommen überhaupt sehr selten vor und sind so unbedeutend, daß sie nur in wenigen besonders günstigen Ausnahmefällen beobachtet werden⁵⁾.

Das Gesamtbild eines Canyons ist hauptsächlich, fast ausschließlich durch die Erosion bestimmt. Bei eingesenkten Mäandern müssen wir zwischen der schief abhobelnden Erosion auf der konkaven und der unterminierenden Erosion auf der konvexen Seite unterscheiden⁶⁾. Die vielfachen Vorgänge der Abtragung dagegen, denen die gewöhnlichen Flußtäler die Gestaltung ihrer Gehänge zum größten Teil verdanken, treten an den Gehängen eines Canyons ganz in den

¹⁾ Vgl. die Abbildungen des Dupacanyons in Łoziński, Doliny rzek, Lemberg 1905, Taf. III.

²⁾ In den podolischen Canyons wird der Gehängeverlauf lokal auch dadurch gestört, daß an den Quellenaustritten sich Kalktuffabsätze reichlich anhäufen, welche den Eindruck von riesigen, hier und da an eine steile Canyonwand gelebten Blöcken machen.

³⁾ Götztzinger, Beiträge zur Entstehung der Bergrückenformen. Geograph. Abhandl., hrg. von Penck, Bd. IX, Heft I, pag. 104.

⁴⁾ In der Beschreibung der Canyons des Libanon betont Diener (l. c. pag. 133) „die Konstanz, mit welcher die Steilheit der Gehänge auf ihre ganze Erstreckung hin sich gleich bleibt“. Dieses ist aber nur dann möglich, wenn die eingesenkten Mäander keinen Gegensatz der Gehängeneigung aufweisen. Ist dagegen letzteres der Fall, so zeigt dasselbe Canyongehänge in seiner Längenerstreckung einen häufigen Wechsel des Böschungswinkels, je nachdem es in rascher Aufeinanderfolge bald an die Außen-, bald an die Innenseite der Krümmungen herantritt.

⁵⁾ v. Łoziński, Die Übertiefung der Täler in Podolien. Bull. Soc. Géogr. de la Hongrie, Bd. XXXVI, 1908, pag. 100—101.

⁶⁾ Darüber ausführlicher im nächsten Abschnitt.

Hintergrund. In den Canyons Podoliens beschränkt sich die Abspülung hauptsächlich nur darauf, in steilen Gehängen parallele Rillen einzugraben (s. den Anhang). Wie großartig auf den ersten Blick das Abgleiten riesiger Blöcke des Kreidesandsteines, dessen Bank infolge der Abspülung von unterlagernden silurischen Tonschiefern abbricht, auf den Gehängen des Dupacanyons in Podolien¹⁾ auch vorkommen mag, so wird dadurch das allgemeine Erosionsbild dieses Canyons nicht im geringsten verändert. Ebenso sind Massenverschiebungen, Rutschungen und dergleichen an den Canyongehängen verhältnismäßig so unbedeutend, daß sie das durch die Erosion bestimmte Gesamtbild eines Canyons nicht erheblich beeinträchtigen. Die Tiefenerosion war genug kräftig, um das beim Einschneiden eines Mäanders auf seiner Außenseite reichlich abstürzende Gesteinsmaterial durch die Wasserströmung gänzlich fortzuschaffen, so daß am Fuße der Gehänge Schutthalden in größerem Umfange fehlen. Nur in sehr wenigen und kurzen Strecken des podolischen Dniestrcanyons findet man die von steilen Gehängen abgestürzten Gesteinsmassen zu einer schmalen, niedrigen Terrasse angehäuft. Wo immer an den Gehängen Massenverschiebungen erfolgen, wie die Rutschungen im Canyon der unteren Mosel, wodurch stellenweise sein oberer Rand erniedrigt wurde²⁾, handelt es sich nur um untergeordnete Erscheinungen, welche das durch die Tiefenerosion bestimmte Gesamtbild eines Canyons nicht wesentlich beeinflussen.

Im allgemeinen können wir die Canyongehänge als reine Erosionsgehänge den Abtragungsgehängen anderer Talarten gegenüberstellen³⁾. Der Umstand, daß die abtragenden Vorgänge, welche für die Gestaltung der Talgehänge sonst von ausschlaggebender Bedeutung sind, in den Canyons so wenig zur Geltung kommen, wird meistens durch die relativ rasche Tiefenerosion der Canyonflüsse begründet⁴⁾. Ohne Zweifel erfolgte das Einschneiden eines jeden Canyons mit verhältnismäßig bedeutender Geschwindigkeit⁵⁾. Folglich vollzog sich die Ausfurchung in relativ so kurzer Zeit, daß die Abtragung nicht imstande war, parallel mit der Tieferlegung der Sohle die Gehänge umzugestalten. Andererseits muß man jedoch bedenken, daß die Erosionsphase der meisten Canyons nicht in die allerjüngste Vergangenheit fällt. Die Überkleidung der flacheren Canyongehänge in Podolien durch echten jungdiluvialen Löß bis zur Sohle herab

¹⁾ Łoziński, Doliny rzek, Taf. III.

²⁾ Oestreich, l. c. pag. 73.

³⁾ Den Gegensatz von Erosions- und Abtragungsböschungen hat G. Göttinger (l. c. pag. 11) betont. Erosionsgehänge aber muß man in etwas weiterem Sinne auffassen, als Erosionsböschungen. Erstere sind erst dann vorhanden, wenn ein Talgehänge von der Sohle bis zum obersten Rande nur durch die vertikale oder bei eingesenkten Mäandern schief abhobelnde Tiefenerosion ausgestaltet wurde.

⁴⁾ Penck, Morphol. d. Erdoberfläche, Bd. II, pag. 109.

⁵⁾ Das relativ rasche Einschneiden der Canyons war zunächst durch die schnelle Emporhebung des betreffenden Gebietes bedingt. Bei solchen Canyons, welche größtenteils zur älteren Diluvialzeit ausgefurcht wurden, wie die podolischen Canyons, kommt für die Beschleunigung der Tiefenerosion noch die Vermehrung der Wassermenge im nieerschlagsreichen Klima der älteren Diluvialzeit in Betracht.

zeugt, daß hier die Canyons bereits vor der Jungdiluvialzeit bis zum gegenwärtigen Niveau eingeschnitten waren; ihre Austiefung vollzog sich hauptsächlich in der älteren Diluvialzeit, zum Teil sogar vielleicht am Schlusse der Pliocänzeit¹⁾. Etwa zur selben Zeit erfolgte die Ausfurchung der Canyons des Rheins und der Mosel im Rheinischen Schiefergebirge²⁾. Wenn also all die abtragenden Vorgänge seit dieser Zeit keine weitgehende Umgestaltung der Gehänge herbeizuführen vermochten, so darf dieses nicht in erster Linie mit der ehemaligen raschen Vertiefung in Zusammenhang gebracht werden. Der Hauptgrund liegt vielmehr in dem geologischen Schichtenbau, zu welchem das Auftreten von Canyons enge Beziehungen aufweist³⁾.

Durch die besprochene Eigenart der Gehängegestaltung unterscheiden sich die Canyons von anderen Taltypen in auffälliger Weise. Betrachtet man ein Mittelgebirge, so sieht man, daß nur die steilsten Talengen den reinen Erosionscharakter, wie er der Ausgestaltung der Talfurche vornehmlich durch die Tiefenerosion des Flusses entspricht, unverkennbar zur Schau tragen. Wo hingegen der Talboden breit wird, die Gehänge verflachen und weit auseinander-treten, da fällt zunächst auf die weit vorgeschrittene Umgestaltung der Gehänge durch die Abspülung und die Massenverschiebungen, deren morphologische Bedeutung in immer größerem Umfange festgestellt wird⁴⁾. Die Rolle des Flusses, welcher kaum einen Bruchteil der breiten Sohle einnimmt und nur stellenweise unmittelbar an das Gehänge herantritt, ist hauptsächlich darauf beschränkt, daß er das untere Niveau der Gehängeabtragung regelt, ihre Produkte verarbeitet und allmählich hinaus trägt. Wenn man das Bild eines solchen Tales, welches übrigens in den meisten Mittelgebirgen so weit vorherrscht, daß kurze Talengen mit reinem Erosionscharakter eigentlich zu einer Ausnahme werden, vor den Augen hat, so wird man nicht ohne Zagen einen Canyon überhaupt ein Tal nennen. Im Gegensatz dazu kommt uns ein Canyon eher wie ein riesiges, ins Unendliche vergrößertes Flußbett vor. Tatsächlich geben die Canyons in großem Stile genau die Gestalt eines Flußbettes wieder, das im anstehenden Gestein oder im Aufschüttungsboden einer breiten Tahlsole einige Meter tief eingeschnitten ist und, wie die Canyons, einen scharfen oberen Rand, vielfache Windungen mit dem Gegensatze steiler und flacherer Ufer usw. zeigt. Diese Ähnlichkeit wird noch größer, wenn ein Canyon in den breiten, gehobenen Boden eines alten Tales (Esplanade) eingesenkt ist. In dieser Übereinstimmung der Gestalt der Canyons mit einem Flußbette kommt ihr reiner Erosionscharakter,

¹⁾ Łozinski, Doliny rzek, pag. 30 ff.

²⁾ Philippson, Entwicklungsgesch. des Rhein. Schiefergebirges. Sitz.-Ber. d. Niederrhein. Ges. f. Naturkunde zu Bonn, Jg. 1899, pag. 49. — E. Kaiser, Die Entstehung des Rheintals. Verhandl. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, 80. Vers., 1908, Teil I, pag. 181.

³⁾ Vgl. den V. Abschnitt.

⁴⁾ G. Braun, Über Bodenbewegungen. XI. Jahresber. d. Geograph. Ges. zu Greifswald 1908. — Götzinger, Beiträge zur Entstehung der Bergrückenformen. Ausführliches Referat von G. Braun in der Geograph. Zeitschr., Bd. XIII, 1907, pag. 448 ff.

welcher durch eine tiefgreifende Abtragung der Gehänge nicht verwischt wurde, am deutlichsten zum Ausdrucke.

Der Vergleich der Gestalt von Canyons mit einem Flußbette wird noch dadurch verstärkt, daß in den Canyons die ganze Breite der Sohle, wie mit vollem Recht oft hervorgehoben wird¹⁾, nur für den Fluß Raum bietet. Bei vielen Canyons trifft dieses ganz genau zu. Die Sohle des podolischen Dniestrcanyons, welche auf der konvexen Seite der Schlingen durch eine steile Wand, auf der konkaven dagegen von der niedrigen Kante eines sanft abfallenden Gehänges begrenzt ist²⁾, wird nur vom Fluß und den an seinen Ufern emportauchenden Schotterstreifen eingenommen, die bei hohem Wasserstande überflutet werden. Auf dem schmalen Boden der montenegrischen Canyons bleibt, wie Hassert³⁾ betont, höchstens noch der Raum für einen Pfad übrig. Die Bedingung, daß der schmale Boden der Canyons nur für den Fluß Raum biete, mag jedoch nicht immer mit der mathematischen Genauigkeit erfüllt sein. Der typische Charakter des Dupacanyons in Podolien wird dadurch nicht im geringsten eingeschränkt, daß der Wasserfaden nur einen kleinen Teil der Sohle einnimmt. Die Hauptsache ist, daß die Sohle im Verhältnis zur Tiefe des Canyons nicht allzu breit sei und dabei keine Erweiterungen erfahre. Ich würde daher die Talfurche des unteren Seret in Podolien nicht mehr zu den echten Canyons rechnen, da ihre Sohle erhebliche, mit terrassierten Aufschüttungen ausgekleidete Erweiterungen⁴⁾ zeigt.

Wenn die Breite des Canyonbodens in seiner ganzen Länge annähernd konstant bleibt und keine Ausweitungen erfährt, so hängt dieses nicht in erster Linie mit der von Dutton für die Canyonbildung verlangten Gleichartigkeit des Schichtenbaues in horizontaler Erstreckung zusammen. Freilich entstehen in einem gefalteten Mittelgebirge beckenartige Ausweitungen nur in solchen Talstrecken, wo der Fluß weichere Schichtenkomplexe durchschneidet. Es werden jedoch durch die relativ geringere Widerstandsfähigkeit von Schichtenkomplexen die Talweitungen nur prädisponiert, aber nicht hervorgebracht. Die eigentliche Ursache der Bildung von Talweitungen liegt darin, daß kräftige Zuflüsse an ihren Mündungen ausgedehnte Schotterabsätze anhäufen, wodurch die Wasserrinnen immer weiter auseinandergerängt und zur ausweitenden Seitenerosion gezwungen werden.

Diese Grundbedingung der Entstehung von Ausweitungen ist bei den Canyons nie gegeben. Wie im IV. Abschnitt dargetan werden soll, zeichnen sich die Canyonzuflüsse dadurch aus, daß sie mit einer bedeutenden Zunahme des Gefälles einmünden. Infolgedessen sind die Mündungen von Seitenzuflüssen eng und findet in denselben keine weitergehende Akkumulation statt, welche ein Auseinandertreten und

¹⁾ Ratzel, Die Erde und das Leben, Bd. II, pag. 88. — Supan, Grundzüge der phys. Erdkunde, 4. Aufl., 1908, pag. 511.

²⁾ Vergl. die Abbildung des Dniestrcanyons auf pag. 126 meines Lehrbuches: Ziemia i jej budowa; Lemberg 1907.

³⁾ Hassert, l. c. pag. 113.

⁴⁾ Zum Beispiel bei Czortkow. Vergl. Blatt 9—XII der Spezialkarte.

die damit verbundene, beckenartige Ausweitungen erzeugende Seitenerosion der Wassergerinne veranlassen würde¹⁾.

Die geringe und in der ganzen Länge eines Canyons annähernd gleichmäßige Breite der Sohle hängt mit dem bereits betonten Umstand zusammen, daß die Vertiefung von Canyons mit relativ großer Geschwindigkeit, somit in kurzer Zeit erfolgte. In Mittelgebirgstälern finden wir eine schmale Sohle nur in solchen Talstrecken, wo der Fluß sehr widerstandsfähige Gesteinskomplexe durchschneidet und durch ihre Härte gehindert war, während der Vertiefung seine Lage in horizontaler Richtung zu verschieben und den Boden auszuweiten. Die Canyons dagegen haben immer eine schmale Sohle, selbst in einem am wenigsten widerstandsfähigen Schichtenbau, als welchen wir zum Beispiel das paläozoische Gerüst des Canyongebietes von Podolien im großen und ganzen bezeichnen dürfen. Bei den Canyons ist die geringe Breite der Sohle eine Folge der relativ großen Geschwindigkeit des Einschneidens, welche gleichzeitige Verschiebungen des Flusses in horizontaler Richtung ausschloß. Infolgedessen war jeder in rascher Tieferlegung begriffene Canyonfluß genau in derselben vertikalen oder schief geneigten Fläche wie eine gespannte Säge festgehalten, so daß sein ursprünglicher Lauf auf der jetzt gehobenen Plateaufläche mit allen Einzelheiten eingesenkt wurde, als wenn er auf das gegenwärtige Erosionsniveau mit geometrischer Genauigkeit projiziert wäre²⁾. Die Fläche, in welcher die Tieferlegung erfolgte, konnte aber nur in geradlinigen Strecken vertikal sein. Bei Krümmungen dagegen war diese Fläche geneigt unter einem Winkel, welcher durch die Richtung der jeweiligen Resultante von zwei Komponenten, das heißt der vertikalen Tiefenerosion und der horizontal wirkenden Fliehkraft bestimmt wurde.

III. Die eingesenkten Mäander.

Der Lauf der Flüsse, welche ihre Canyons tief in ein Plateau hinein vertieft haben, befand sich ursprünglich auf der verebneten, gegenwärtig gehobenen Hochfläche. Auf solchen eingeebneten Flächen haben die Flüsse in der Regel einen stark gewundenen Lauf. Bei dem relativ raschen Einschneiden der Canyons haben nun die Flüsse ihren ursprünglichen Lauf ganz genau beibehalten und mit allen Einzelheiten tief in das Plateau hineingesenkt. Es zeichnen sich daher die meisten Canyons durch zahllose eingesenkte Mäander (*entrenched meanders, méandres encaissés*) aus, so daß der Lauf höchstens nur auf kurze Strecken hin annähernd geradlinig bleibt. Den gewundenen Lauf hat Powell mit Recht als ein Merkmal

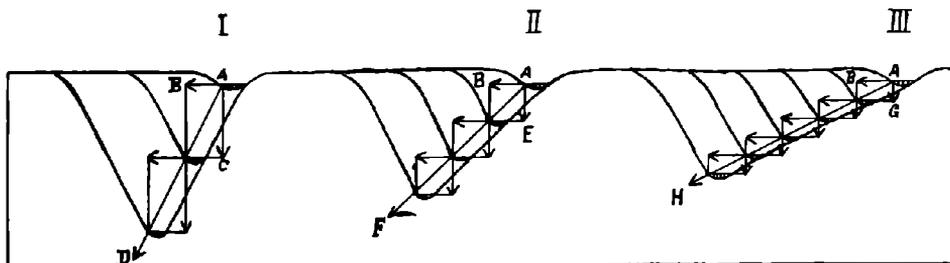
¹⁾ Eine allmähliche Erweiterung des Canyonbodens tritt erst dann ein, wenn nach vollständigem Erlahmen der Tiefenerosion die an den Krümmungen entstehende Fliehkraft allein zur Geltung kommt und die im stationären Niveau untergrabende Seitenerosion einleitet. Darüber vergl. den III. Abschnitt.

²⁾ Im VII. Abschnitte soll an dem Beispiele des podolischen Dniestr gezeigt werden, wie treu ein Canyonfluß alle Details seines Laufes auf der nunmehr gehobenen Plateaufläche bewahrt.

der Canyons hervorgehoben¹⁾. Es sind jedoch die eingesenkten Mäander keine ausschließliche Eigenschaft der Canyons, da sie auch bei anderen Taltypen vorkommen können, wie zum Beispiel in einzelnen Strecken von Mittelgebirgstälern²⁾. Immerhin aber sind eingesenkte Mäander sonst nirgends mit solcher genau geometrischen Regelmäßigkeit der Formen ausgebildet wie bei den Canyons.

Beim Einschneiden von Flußschlingen kommt neben der Tiefenerosion auch die Fliehkraft zur Geltung und infolgedessen erfolgte das Einsenken der Mäander nicht in einer vertikalen, sondern längs einer mehr oder weniger steil geneigten Fläche. Dabei bildete sich der Gegensatz der steilen konkaven und der schief abgehobelten konvexen Canyongehänge heraus. Es fällt aber auf, daß dieser Gegensatz bei verschiedenen Canyons nicht in demselben Grade hervortritt. Dieses läßt sich erklären, wenn man bedenkt, daß die Geschwindigkeit der Hebung nicht für alle Canyongebiete dieselbe sein mußte. Vielmehr ist anzunehmen, daß einzelne Canyongebiete

Fig. 2.



mit verschiedener Geschwindigkeit emporgehoben wurden. Ging auch im allgemeinen das Einschneiden von Canyons verhältnismäßig rasch vor sich, so war doch die Geschwindigkeit der Tieferlegung in jedem einzelnen Canyongebiete selbstverständlich eine andere.

Nehmen wir an, daß bei den drei Flusschlingen, deren Querschnitte (I—III) in Abbildung 2 dargestellt sind, die Fliehkraft gleich groß ist und dem Abschnitte AB entspricht. Die Geschwindigkeit der Vertiefung dagegen, durch vertikale Abschnitte ausgedrückt, sei in jedem von diesen drei Fällen eine andere, sodaß die vertikalen Abschnitte $AC:AE:AG$ sich zueinander wie $3:2:1$ verhalten. Nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte erhalten wir nun die Neigung der Flächen, längs welcher das Einschneiden einer Schlinge erfolgt. Die Neigung dieser Fläche wird für jeden der drei be-

¹⁾ Powell, Exploration of the Colorado River. Washington 1875, pag. 4.

²⁾ Ich möchte daher nicht mit Penck (Morphol. d. Erdoberfläche, Bd. II, pag. 73) einen besonderen Typus von Mäandertälern unterscheiden, da wir unter einem solchen Begriffe neben Canyons auch Mittelgebirgstäler zusammenwerfen müßten, soweit letztere in kürzeren oder längeren Strecken aus eingesenkten Mäandern bestehen, wie zum Beispiel die Täler des San. des Dunajec u. a. in den Karpaten.

trachteten Fälle durch die Richtungen der Resultanten AD , AF und AH angegeben. Aus der Konstruktion ersieht man ohne weiteres, daß bei verschiedener Geschwindigkeit der Vertiefung das konvexe, abgehobelte Gehänge eines eingesenkten Mäanders mehr oder weniger steil ist. Das konkave Gehänge dagegen, welches nur durch die fortwährende Untergrabung bestimmt wird, bleibt in allen Fällen gleich steil.

Bei der größten Geschwindigkeit der Vertiefung (Fall I in Abbildung 2) ist das Gehänge auf der Innenseite eines eingesenkten Mäanders ungefähr ebenso steil wie auf der Außenseite. Ein solches kommt beim Canyon des Colorado vor, dessen Windungen keinen sichtbaren Unterschied des Böschungswinkels der Gehänge auf der konvexen und konkaven Seite aufweisen. Ist die Geschwindigkeit des Einschneidens etwas kleiner (Fall II), so kommt der Gegensatz der konvexen und der konkaven Gehänge schon ganz scharf zum Ausdruck. Der Fall II dürfte etwa den Gegensatz der Gehänge an den eingesenkten Mäandern der unteren Mosel wiedergeben; im Innern einer Schlinge fällt das Gehänge nach allen Seiten wie der Mantel eines Kegelstumpfes ab und ist oben von einem schmalen, langgezogenen Ausläufer der Plateaufläche („die Rippe“ von Dechens¹⁾ gekrönt, welcher sich in die Schlinge hineinzieht²⁾. Bei kleinster Geschwindigkeit der Vertiefung (Fall III) endlich ist der Unterschied des Böschungswinkels der Gehänge an einem eingesenkten Mäander am größten, wie wir es in der Natur im podolischen Dniestrcanyon finden. Die Plateaufläche sendet nicht mehr einen schmalen Ausläufer in die Schlinge hinein, sondern endet schon in der engen Ansatzstelle einer Ω -ähnlichen Flußhalbinsel. Von dieser Ansatzstelle bis zur Sohle des Canyons senkt sich das Gehänge wie der Mantel eines Kegels und ist ziemlich flach.

Anderseits aber kann es auch vorkommen, daß in ein und demselben Canyongebiete, innerhalb dessen wir überall etwa dieselbe Geschwindigkeit der Vertiefung voraussetzen dürfen, der Gegensatz der Gehängeneigung bei den eingesenkten Mäandern in sehr ungleichem Grade zum Ausdruck kommt. In diesem Falle hängt der Unterschied der Gehängeneigung zu beiden Seiten eines eingesenkten Mäanders in erster Linie von der Größe der Fliehkraft ab, die ihrerseits bei gleichem Radius der Krümmung und bei gleichem Gefälle (beziehungsweise Geschwindigkeit der Wasserströmung) von der Wassermenge abhängig ist. Nehmen wir an, daß zwei Flußschlingen, deren Querschnitte Abbildung 3 zeigt, mit derselben Geschwindigkeit (KM) eingesenkt werden. Die Größe der Fliehkraft dagegen sei in beiden Fällen (IV—V) verschieden, indem die betreffenden horizontalen Abschnitte KL und KP sich zueinander wie 4:1 verhalten. Aus der Konstruktion nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte ergibt sich ein bedeutender Unterschied im

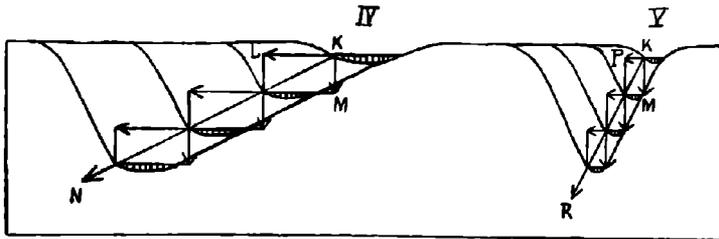
¹⁾ K. Schneider, Studien über Talbildung aus der Vordereifel. Zeitschr. der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Bd. XVIII, 1883, pag. 42.

²⁾ Vergl. die Abbildung eines eingesenkten Mäanders der Mosel bei Frech, Aus der Vorzeit der Erde, 2. Aufl., T. III, pag. 31.

Böschungswinkel (durch die Richtungen der Resultanten KN und KR angegeben) der konvexen, abgehobelten Gehänge, je nach der Größe der Fliehkraft. Während das konkave, durch Untergrabung bestimmte Gehänge eines eingesenkten Mäanders immer gleich steil ist, wird das Gehänge auf der konvexen Seite mit wachsender Größe der Fliehkraft flacher. Einen trefflichen Beleg hierzu bietet das podolische Canyongebiet. Der Canyon der untersten Dupä ist nur durch einen schmalen Plateastreifen vom Dniestrcanyon getrennt. Der Canyon des Dniestr, an dessen Krümmungen die Fliehkraft dank der bedeutenden Wassermenge groß ist, zeigt einen ebenso scharfen Unterschied der Gehängeböschung auf beiden Seiten seiner eingesenkten Mäander, wie etwa der in Abbildung 3 dargestellte Fall IV. Beim Canyon der untersten Dupä dagegen, welcher von einem unbedeutenden Wasserstrange durchmessen wird, sind die Gehänge — wie im Fall V — auf beiden Seiten der Krümmungen ungefähr gleich steil.

Wenn die Tieferlegung eines Canyons zum Stillstande kommt und die vertikale Komponente gleich Null wird, dann tritt die all-

Fig. 3.



mähliche Umbildung der eingesenkten Mäander unter dem Einfluß der Fliehkraft ein, welche die untergrabende Seitenerosion ins Leben ruft. Indem die halbinselartigen Plateauausläufer im Innern der eingesenkten Mäander allmählich eingeschränkt und in der engsten Ansatzstelle abgeschnitten werden¹⁾, erweitert sich die Sohle immer mehr und die Erosionsfurche, welche ursprünglich alle Merkmale eines echten Canyons zur Schau trug, rückt mit der Zeit in ein vorgeschrittenes Entwicklungsstadium. Sind auch die durch Untergrabung bestimmten Gehänge der Erosionsfurche noch immer ebenso steil, so gehen nunmehr zwei Grundbedingungen der echten Canyongestalt, die schmale Sohle und das jugendliche Aussehen, ab.

Es scheint jedoch, daß die erlahmende Tiefenerosion nicht unmittelbar durch die Seitenerosion abgelöst wird. Der podolische Dniestrcanyon ist seit der älteren Diluvialzeit nicht mehr vertieft worden. Dennoch hat seine Sohle bisher keine Erweiterung erfahren²⁾,

¹⁾ Diese Vorgänge sind von Davis (Physical Geography, 1900, pag. 241 und 253—254) trefflich veranschaulicht worden.

²⁾ Die einzige Stelle, wo ich Anzeichen der einsetzenden Untergrabung beobachten konnte, ist der nordwestliche Abfall des schmalen Halses der Halbinsel

so daß sie noch gegenwärtig nur vom Flusse und den ihn begleitenden schmalen Schotterstreifen eingenommen wird. Ob die Umgestaltung eines Canyons durch die Seitenerosion nach erlahmter Tiefenerosion früher oder später erfolgt, hängt *ceteris paribus* zunächst von seiner Tiefe ab. Je höher die Canyongehänge, desto größeren Widerstand bieten sie der Seitenerosion und desto größer ist das Volumen der Abbruchmassen, die der Wasserstrom zu entfernen hat. Auch hat die Gesteinsbeschaffenheit einen gewissen Einfluß auf das Fortschreiten der Seitenerosion. Das Elbtal im Quadersandsteingebiet bietet das beste Beispiel, wie schnell der Canyoncharakter verwischt wird, wenn das Gestein infolge der vertikalen Klüftung zum Abbrechen unter dem Einfluß der untergrabenden Seitenerosion prädisponiert ist.

IV. Die Mündungen der Zuflüsse in den Canyons.

Bei der überwiegenden Mehrzahl der Täler ist es die Regel, daß die Zuflüsse mit einem normalen Gefälle einmünden, indem jeder Nebenfluß den Hauptfluß mit allmählich abnehmendem, an den letzteren angepaßtem Gefälle erreicht. Wenn ein Zufluß unter erheblicher Gefällszunahme oder über eine Stufe mündet, so ist es nur eine lokale Abweichung, die durch verschiedenartige, örtlich wirkende Ursachen hervorgebracht wird¹⁾. Es gibt aber zwei Taltypen, in denen die Mündungen der Zuflüsse durchweg Stufen bilden oder eine bedeutende Gefällszunahme aufweisen. Diese zwei Taltypen sind die Trogtäler und die Canyons.

An jedem Wasserlaufe des podolischen Canyongebietes, von den kleinen Bächen bis zu den großen meridionalen Dniestrzuflüssen kehrt die Erscheinung wieder, daß im Unterlaufe das Gefälle nach abwärts zunimmt²⁾. Wir brauchen nicht erst die Spezialkarte nachzuschlagen, um diesen eigentümlichen Verlauf des Gefalles, welchen ich nach Philippson³⁾ „gebrochenes Gefälle“ nennen werde, festzustellen. In der Regel können wir ihn schon dem Charakter der Erosionsfurchen anmerken. Im Oberlauf sind die Talgehänge sanft geneigt und kommt der träge Abfluß der Gewässer in der Versumpfung des breiten Talbodens zum Ausdruck. Die ebene Talsohle ist ein Schauplatz fortwährender Akkumulation der feinsten Sedimente, deren Ablagerung an den flachen und niedrigen Ufern durch eine typische Sumpflvegetation gefördert wird. Zahllose langge-

von Luka (Bez. Horodenka, Blatt 10—XII der Spezialkarte). Hier wird das Dniestrufer von einer schmalen und kurzen Terrasse überragt, die aus Abbruchmassen besteht. Danach scheint der Dniestr an dieser Stelle schon an das Abschneiden der Halbinsel gegangen zu sein.

¹⁾ Vgl. Russell, Hanging valleys. Ref. in Peterm. Mitteil. 1907, Nr. 391. — Blanckenhorn in Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1909, Monatsber. pag. 134. — Kilian, Sur les „vallées glaciaires“, Comptes rendus Assoc. Franç. pour l'Avanc. des Sciences, Clermont-Ferrand, 1908, pag. 439—440.

²⁾ Vgl. die genauen Zahlenangaben: Łoziński, Doliny rzek, pag. 8. Die Übertiefung der Täler in Podolien, pag. 98.

³⁾ Philippson, Ein Beitrag zur Erosionstheorie. Peterm. Mitteil., Bd. XXXII, 1886, pag. 79.

streckte Teiche sind ein charakteristisches Merkmal der Landschaft. Im Unterlauf dagegen nimmt das Gefälle gegen die Mündung immer mehr zu und springen die Leistungen der Erosion in die Augen. Die Furchen, in denen die Gewässer mit wachsender Geschwindigkeit dahinfließen, nehmen den Charakter von engen und steilen Canyons an.

Ein ähnlicher Gegensatz des Ober- und Unterlaufes kehrt im Wassernetze der Eifel wieder¹⁾. Die Mündungen der Rheinzufüsse im Rheinischen Schiefergebirge befinden sich zwar — wie Philippson hervorhebt — im Niveau der Haupttäler, ohne Stufen zu bilden²⁾, sie zeigen aber eine auffallende Gefällszunahme, wie zum Beispiel die untersten Strecken der Mosel³⁾ oder der Lahn⁴⁾. Ebenfalls ein gebrochenes Gefälle hat Arctowski an einem kleinen Zufusse der Maas in den Ardennen vor die Augen geführt⁵⁾; das Gefälle nimmt ebenso stufenförmig zu, wie ich an einem Dniestrzufluß zeigen konnte⁶⁾.

Das gebrochene Gefälle wiederholt sich auch in anderen Canyongebieten. Einige Beobachtungen von Gilbert⁷⁾ lassen ein Ähnliches im Coloradogebiete vermuten; von Dutton⁸⁾ werden echte Hängetäler erwähnt. Am schärfsten aber ist die Erscheinung in den Canyons von Montenegro ausgeprägt, wo „die Zufüsse in schroffen Felsklammen und unter Zuhilfenahme von Wasserfällen“⁹⁾ in den Hauptstrom münden.

Das gebrochene Gefälle haben die Canyons mit den Trogtälern in ehemals vergletscherten Gebirgen gemeinsam, wo diese Erscheinung von Mc Gee¹⁰⁾ und von Penck¹¹⁾ als Regel gewürdigt wurde. Wenn von dem Standpunkte der reinen Gletschererosion die Analogie des gebrochenen Gefälles bei den Trogtälern und bei den Canyons geleugnet wird¹²⁾, so sei bemerkt, daß kein Geringerer als v. Richthofen diese auffallende Analogie bereits erkannt hat, wobei er als gleichwertige Beispiele einer im Unterlaufe der Nebentäler bedeutend gesteigerten Tiefenerosion das Coloradoplateau, die Täuern und die skandinavischen Fjorde unter einem anführte¹³⁾. Freilich erreicht die Gefällszunahme im Unterlaufe von Canyonzufüssen bei weitem nicht das Maß der alpinen Stufenmündungen mit ihren Klammen und Wasserfällen, indem bei den ersteren zumeist Mündungsstufen fehlen

¹⁾ K. Schneider, l. c. pag. 49. — Allerdings zeigen die Zufüsse der unteren Mosel zum Teil bereits einen normalen Verlauf des Gefälles. Vgl. O. Münch, Erosionstäler im unteren Moselgebiet. Diss. Giessen 1905.

²⁾ Philippson, Zur Morphol. d. Rhein. Schiefergeb. Verhandl. d. 14. Deutsch. Geogr. Tages, 1903, pag. 199.

³⁾ Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse, Berlin 1889, pag. 86.

⁴⁾ Ibid. pag. 99.

⁵⁾ Arctowski, L'érosion dans le Plateau Ardennais. Bull. Soc. Géol. de France, 1895, Fig. 1 auf pag. 5.

⁶⁾ Łoziński, Die Übertiefung der Täler in Podolien, pag. 99.

⁷⁾ Teste Davis (Excursion to Gr. Canyon, pag. 170—171).

⁸⁾ Dutton, Tert. Hist. of the Gr. Canyon District, pag. 227.

⁹⁾ Hassert, l. c. pag. 111.

¹⁰⁾ Mc. Gee, Glacial Canyons, Journal of Geology, Bd. II, 1894, pag. 359—360.

¹¹⁾ Penck, Die Übertiefung der Alpentäler, Verhandl. d. VII. Internat. Geogr.-Kongresses, 1899, T. II, pag. 232 ff.

¹²⁾ Davis, Excursion to Gr. Canyon, pag. 169—170.

¹³⁾ v. Richthofen, China, Bd. II, pag. 579—580.

und nur die Gefällskurve des Unterlaufes eine konvexe ist. Dieses bedeutet jedoch nur einen quantitativen Unterschied, das Wesen der Erscheinung bleibt aber dasselbe und besteht darin, daß die Vertiefung der Haupttäler rascher erfolgte als die Tieferlegung der Seitentäler Schritt halten konnte. Sowohl bei den Canyons, wie bei den Trogtälern hängt die mit Rücksicht auf die Zuflüsse zu schnelle Tieferlegung der Haupttäler mit der Erosion durch das Wasser zusammen; bei den Canyons war es die rein fluviatile Erosion, bei den Trogtälern dagegen — wie wir mit Brunhes, Frech und Kilian anzunehmen haben — die Erosion der eiszeitlichen Schmelzwässer und der subglazialen Wasserströme.

Das gebrochene Gefälle der Canyonzuflüsse gehört mithin auch zu den Folgen des bereits gewürdigten Umstandes, daß ihre Vertiefung mit relativ rascher Geschwindigkeit erfolgte. Wie das gebrochene Gefälle dadurch entsteht, daß bei einer raschen Tieferlegung der Erosionsbasis das Einsetzen der Tiefenerosion sich von den Flußmündungen allmählich immer weiter nach aufwärts fortpflanzt, ist von Philippson¹⁾ erörtert worden. In derselben Weise muß auch das gebrochene Gefälle bei den Zuflüssen eines rasch einschneidenden Canyons zustande kommen. Weil aber, wie v. Richthofen mit Recht bemerkt, das Fortschreiten der Tiefenerosion nach rückwärts äußerst langsam erfolgt²⁾, kann das gebrochene Gefälle auf sehr lange Zeit hin bestehen, ohne in ein normales Gefälle ausgeglichen zu werden.

Die Gefällszunahme im Unterlaufe eines Zuflusses tritt selbstverständlich um so stärker hervor, je geringer die Wassermenge des letzteren gegenüber dem Hauptflusse ist. Im podolischen Dniestercanyon zeigen kleine Seitenbäche, welche unmittelbar in denselben münden, die größte Gefällszunahme.

Das gebrochene Gefälle der Zuflüsse trägt zur Eigenart der Canyons bei, indem es eine von den meisten Talbildungen abweichende Gestaltung der Mündungen der Nebenflüsse zur Folge hat. Wenn die Zuflüsse, wie es bei anderen Talbildungen die Regel ist, den Hauptfluß mit einem normalen, nach abwärts immer mehr abnehmenden Gefälle erreichen, so findet an den Mündungen eine reichliche Akkumulation statt. Durch die fortschreitende Ausbreitung der Schotterkegel, welche den Wasserstrom seitwärts drängen und zur ausweitenden Seitenerosion zwingen, werden die Mündungen trompetenförmig erweitert. Infolgedessen wird das Gehänge des Haupttales an Stellen,

¹⁾ Philippson, Ein Beitrag zur Erosionstheorie. Peterm. Mitteil., Bd. XXXII, 1886, pag. 77—79.

²⁾ v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, pag. 162. — Allerdings zieht v. Richthofen nur einen steilen Plateaurand in Betracht. Dasselbe muß aber auch der Fall sein, wenn ein Canyon im raschen Einschneiden begriffen ist. Dann kann man seine beiderseitigen Gehänge als Plateauränder auffassen, von denen die Tiefenerosion an jedem Zuflusse von der Mündung an allmählich nach rückwärts fortschreitet. Ein solches trifft insbesondere in solchen Fällen zu, wenn der Canyon von einem Flusse durchmessen wird, welcher — wie der podolische Dniestr — aus einem außerhalb des Canyongebietes und höher gelegenen Gebiete kommt. Denn in diesem Falle wird der Canyon des Hauptflusses bei einer Hebung in seiner ganzen Länge gleich schnell und tief eingeschnitten, wodurch eine allgemeine Erniedrigung der Erosionsbasis aller Zuflüsse gleichzeitig erfolgt.

wo wasserreichere Zuflüsse einmünden, auf eine längere Strecke hin unterbrochen. Im Bereiche leicht zerstörbarer Gesteine können am Zusammenflusse mit der Zeit geräumige Becken ausgeweitet werden, auf deren Boden der Haupt- und Nebenfluß, durch Schotterabsätze allmählich auseinandergedrängt, manchmal kilometerweit nebeneinander fließen. Dabei treten die Gehänge des Haupttales soweit auseinander, daß sein Erosionscharakter verloren geht. Bei den Canyons dagegen fehlen all diese Vorgänge an den Mündungen der Zuflüsse fast gänzlich. Letztere münden mit zunehmendem Gefälle und steigendem Transportvermögen ein. Infolgedessen kann an den Mündungen eine Akkumulation in größerem Umfange nicht stattfinden. Höchstens wird nur soviel Gesteinsmaterial abgelagert, daß im Hauptflusse veränderliche Sandhänke auftauchen oder — wie im Canyon des Colorado — Schottererhebungen angehäuft werden, welche der Fluß mit Stromschnellen überwindet¹⁾. Der Mangel einer weitergehenden, dauernden Akkumulation an den Mündungen hat zur Folge, daß weder der Haupt- noch der Nebenfluß den Canyonboden durch seitliche Erosion ausweiten. Der Canyon eines Zuflusses ist an seiner Mündung ebenso schmal wie weiter aufwärts. Infolgedessen wird das Gehänge eines Canyons dort, wo ein Zufluß einmündet, nie auf eine längere Strecke hin unterbrochen. Die Mündungen selbst der stärksten Zuflüsse bilden nur enge und steile Breschen im Gehänge des Hauptcanyons. Im podolischen Dniestrcanyon sind die Mündungen der größten Zuflüsse, wie Strypa oder Seret, unten nur etwa 150—200 *m*, oben kaum 500—800 *m* breit.

V. Zusammenfassung der charakteristischen Merkmale.

Fassen wir nun die Eigentümlichkeiten der Canyons zusammen, die in den vorhergehenden Abschnitten besprochen wurden, so ergibt sich die folgende Charakteristik:

Die Canyons sind lange und im Verhältnisse zu ihrer Tiefe enge Erosionsfurchen, die in Plateaus mit fast vollkommen verebneter Hochfläche eingeschnitten wurden und alle Merkmale eines jungen Entwicklungsstadiums zur Schau tragen. Die Vertiefung der Canyons erfolgte mit relativ großer Geschwindigkeit, so daß der Wasserstrom in einer vertikalen oder (bei Krümmungen) geneigten Fläche ohne weitergehende Verschiebungen in horizontaler Richtung in das Plateau eingesenkt wurde. Die Gehänge der Canyons sind oben, wo sie mit der Plateaufläche (beziehungsweise einer Esplanade) verschneiden, von einem mehr oder weniger scharfen Rande begrenzt. Von diesem oberen Rande bis zur Sohle hin senken sich die Canyongehänge in einer Flucht ohne größere Änderungen des Böschungswinkels. Die Gestaltung der Gehänge ist hauptsächlich

¹⁾ Davis, Excursion, pag. 168—169.

durch die Erosion bestimmt, wogegen andere Vorgänge der Abtragung in den Hintergrund treten und das Gesamtbild eines Canyons wesentlich nicht beeinflussen. Die Sohle ist schmal, wobei ihre Breite in der ganzen Canyonlänge keine namhaften Änderungen aufweist. Zahlreiche eingesenkte Mäander sind eine sehr häufige Erscheinung, wobei die Neigung des Gehänges auf der konvexen Seite einer Schlinge durch das Verhältnis der Fliehkraft und der Tiefenerosion zueinander bestimmt wird. Die Zuflüsse der Canyons zeigen durchweg ein gebrochenes Gefälle. Die steigende Zunahme des Gefälles und damit auch des Erosionsvermögens im Unterlaufe hat zur Folge, daß die Mündungen der Zuflüsse nicht erweitert sind und eine Akkumulation in größerem Umfange nicht aufweisen.

Nur das Zusammentreffen aller genannten Merkmale ist für den Canyontypus bezeichnend. Einzelne von diesen Merkmalen kommen auch an anderen Taltypen vor, wodurch äußerlich eine größere oder geringere Ähnlichkeit mit den Canyons hervortreten kann. Wenn aber andere Merkmale abgehen, so ist es immerhin nicht schwer, den Canyontypus genau abzugrenzen¹⁾.

Die größte Ähnlichkeit mit den Canyons zeigen die alpinen Trogtäler, welche durch subglaziale Wasserströme (J. Brunhes) und die Schmelzwässer (Frech, Kilian) der eiszeitlichen Gletscher ausgefurcht wurden. Augenscheinlich ist die Ähnlichkeit beider Taltypen so groß, daß die Trogtäler von Mc Gee²⁾ „glaziale Canyons“ genannt wurden. Mit den Canyons haben die Trogtäler den scharfen oberen Rand und die steilen Wände gemeinsam. Ihre Ähnlichkeit wird noch durch den Umstand vergrößert, daß viele Canyons denselben U-förmigen Querschnitt zeigen wie die Trogtäler, wobei auch die Art, wie die Seitentäler einmünden³⁾, an die Trogtäler erinnert. Indes gibt es in anderen Punkten einen wesentlichen Unterschied, welcher vollkommen ausreicht, um die Canyons und die Trogtäler als grundverschiedene Taltypen auseinanderzuhalten. Über den Schultern eines Trogtales erhebt sich eine Mittelgebirgslandschaft mit eingearbeiteten Glazialformen, wobei das Trogtal sich scharf von der darüber liegenden Landschaft abhebt (zum Beispiel Fjord- und Fjeldlandschaft in Norwegen⁴⁾). Nie aber ist dieser Gegensatz so scharf wie bei den Canyons, die in eine eingeebnete Plateaufläche eingesenkt sind. Auch vermissen wir bei den Trogtälern den stark gewundenen Lauf und die eingesenkten Mäander, welche zu den charakteristischen Zügen der Canyons gehören. Überdies ist bei den Trogtälern der Boden im Verhältnis zum Wasserlauf sehr breit.

¹⁾ Ich kann Powell nicht beipflichten, wenn er behauptet, daß es zwischen Canyons und anderen Talbildungen keine scharfe Grenze gibt (l. c. pag. 161).

²⁾ Journal of Geology, Bd. II, 1894, pag. 350.

³⁾ Vgl. den IV. Abschnitt.

⁴⁾ Ed. Richter, Geomorphol. Beob. aus Norwegen. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Bd. CV, Abt. I, pag. 149 und 176 ff.

Es kommt nicht selten vor, daß zwischen Canyons und Klammen kein scharfer Unterschied gemacht wird. Indes bietet schon der Umstand, daß die Klammen — ebenso wie die Trogtäler, an welche sie sich anschließen — in eine Mittelgebirgslandschaft mit eingearbeiteter Glazialskulptur vertieft sind, ein ausreichendes Kennzeichen, um diese beiden Erosionstypen scharf auseinanderzuhalten. Übrigens zeichnen sich die Klammen — wie Ratzel trefflich betont hat — dadurch aus, daß sie „die Spuren des stürzenden, anprallenden und zurückgeworfenen Wassers in ihren langen, gerundeten, schleier- und nischenförmigen Skulpturen tragen“¹⁾. Ein Ähnliches ist bei den Canyons nie der Fall.

Wo immer die Bedingungen einer relativ raschen Vertiefung gegeben waren, konnten Erosionsfurchen entstehen, welche mehr oder weniger gemeinsame Züge mit den Canyons haben²⁾. Zu solchen sind die jugendlichen Abflußrinnen zu rechnen, welche stellenweise in der Umrandung des diluvialen nordischen Inlandeises im Zusammenhang mit seiner Maximalausbreitung eingeschnitten wurden, am häufigsten durch Überfließen von eisgestauten Seen, wie die sogenannten „Overflow channels“ in England³⁾, seltener infolge einer Ablenkung des Wasserlaufes durch Eiszungen, wie der Fürstensteiner und der Salzgrund bei Salzbrunn in den Westsudeten⁴⁾. Von steilen Gehängen eingeschlossen, haben sie je nach den lokalen Umständen eine schmale oder breite Sohle; demgemäß ist auch der Querschnitt V- oder U-förmig. In manchen Fällen sind auch eingesenkte Mäander vorhanden. Derartige, im Zusammenhange mit der Invasion des nordischen Inlandeises entstandene Abflußkanäle unterscheiden sich von den echten Canyons schon dadurch, daß ihre Länge unbedeutend ist und höchstens kaum einige Kilometer beträgt. Soweit sie überhaupt noch von einem Wasserlaufe benützt werden, zeichnen sich solche Abflußkanäle schon auf den ersten Blick dadurch aus, daß sie in das allgemeine Entwässerungssystem des betreffenden Gebietes nicht hineinpassen und als eine hydrographische Anomalie vorkommen.

Nach dem Beispiele von Hettner⁵⁾ werden die Täler des böhmisch-sächsischen Quadersandsteingebietes, insbesondere das Elbtal, von vielen Autoren zu den Canyons gerechnet. In der Wirklichkeit aber kommt dem Elbtal nur eine canyonmäßige Anlage zu, indem es ohne Zweifel mit relativ großer Geschwindigkeit — wie die

¹⁾ Ratzel, Die Erde und das Leben, Bd. I, pag. 587.

²⁾ Es sei an den „embryonalen“ (wie sich B. Doss ausdrückt), aber ganz typischen Canyon erinnert, welcher im Frühjahr 1900 durch das Stauhochwasser eines kleinen Baches in Kurland binnen 34 Stunden ausgefurcht wurde. Vgl. Doss, Über einen bemerkenswerten Fall von Erosion. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LIV, 1902, pag. 5 ff.

³⁾ Kendall A., System of Glacier Lakes in the Cleveland Hills. Quart. Journ. of the Geol. Soc., Bd. LVIII, 1902, pag. 480—484. Harmer, Origin of certain canyonlike valleys. Dasselbst, Bd. LXIII, 1907, pag. 470 ff.

⁴⁾ v. Łoziński, Glazialerscheinungen am Rande der nord. Vereisung. Mitteil. d. Geol. Ges. in Wien, Bd. II, 1909, pag. 199—200.

⁵⁾ Hettner, Gebirgsbau und Oberflächengestaltung der Sächs. Schweiz. Forsch. z. deutsch. Landes- u. Volkskunde, Bd. II, pag. 328—329.

Canyons — vertieft wurde; darauf deutet hin die von Hettner¹⁾ gewürdigte Gefällszunahme der Elbzufüsse gegen ihre Mündungen zu²⁾. Mag auch die Elbschlinge bei Königstein gewisse Anklänge an die Canyons erkennen lassen, so muß dennoch ein weitergehender Vergleich mit den Canyons zurückgewiesen werden, weil eine der Grundbedingungen, daß die Gehänge hauptsächlich durch die Erosion ausgestaltet seien, nicht erfüllt ist. Im Gegenteil ist die Gestalt der Gehänge im Elbsandsteingebiet nicht durch die primäre Erosion, sondern durch das nachträgliche Abstürzen des Quadersandsteines an vertikalen Klüften bestimmt (oben senkrechte Felswände, unten schief zum Talboden abfallende Trümmernmassen). Selbst bei den engsten „Gründen“ werden die senkrechten Wände durch Kluftflächen bestimmt, an denen die Tiefenerosion einsetzte. Eine der wenigen Ausnahmen, wo wir im Elbsandsteingebiete auf kurzen Strecken dem ausgesprochenen Canyoncharakter begegnen, ist die tiefe und enge Laubeschlucht bei Tetschen, deren steile Gehänge vornehmlich durch die Tiefenerosion ausgestaltet wurden.

Ebensowenig dürfen die Schluchten der Lößgebiete zum Canyontypus gerechnet werden, wie auch der Gegensatz ihrer steilen Wände und der fast ebenen Oberfläche, in diesem Falle einer Aufschüttungsfläche, an die Canyonlandschaft erinnern mag. Denn die steilen Wände der Lößschluchten sind — ebenso wie die Talgehänge in Quadersandsteingebieten — durch das vertikale Abbrechen bedingt. Übrigens sind die meisten Lößschluchten trocken und werden nur nach atmosphärischen Niederschlägen von vorübergehenden Wasserströmen benützt, wogegen mit einem Canyon der Begriff einer beständigen Entwässerungsrinne verknüpft ist.

VI. Die Abhängigkeit der Canyonbildung vom geologischen Bau.

Seitdem die Erosionsfurchen des Elbsandsteingebietes mit Unrecht als Vertreter des Canyontypus bezeichnet wurden, hat sich auch die irrthümliche Ansicht eingebürgert, die Canyonbildung sei nur in einem permeablen Schichtenkomplex möglich. Wenn von dem Zusammenhange der Canyonbildung mit dem geologischen Aufbau die Rede ist, so kehrt am häufigsten die Meinung wieder, daß die Durchlässigkeit der Schichten zu den Bedingungen der Canyonbildung gehört. Freilich sind viele Canyons in wasserdurchlässigen Schichtenkomplexen eingeschnitten. Andererseits aber kann man mindestens ebensoviele Beispiele von Canyons vorführen, deren Gehänge aus undurchlässigen Schichten aufgebaut sind. Die podolischen

¹⁾ A. a. O., pag. 318 ff.

²⁾ Sehr plastisch tritt dieses auf dem geologischen Relief (1:25.000) des Königreiches Sachsen von Dr. Otto Barth hervor, welches im kgl. Mineralogisch-geologischen Museum im Dresdener Zwinger aufgestellt ist. — Eine ähnliche Gefällszunahme weisen auch die Mündungen der Elbzufüsse im böhmischen Mittelgebirge auf. Vgl. Hibsich, Geolog. Karte d. böhm. Mittelgebirges, Blatt IV, Tschermaks Mineralog. u. petrograph. Mitteil., Bd. XXIII, pag. 306—307.

Canyons sind mindestens zu zwei Dritteln ihrer Tiefe in die hauptsächlich tonigen und vollkommen impermeablen paläozoischen Ablagerungen eingesenkt, welche nur im obersten Teil der Gehänge von durchlässigem Kreidesandstein oder Lithothamnienkalk überlagert werden¹⁾. Es muß somit die Ansicht, daß die Durchlässigkeit allein für die Canyonbildung maßgebend sei, in Abrede gestellt werden. Die Grundwasserführung der Schichtenkomplexe, in welche eine Erosionsfurche versenkt ist, kann für die Gestaltung der Gehänge nur insoweit in Betracht kommen, als sie unter Umständen deren Umbildung durch Massenbewegungen bedingt.

Ebensowenig kann ich beipflichten, wenn Diener die vertikale Gesteinszerklüftung für eine Hauptbedingung der Canyonbildung betrachtet²⁾. Im Gegenteil wird der Canyoncharakter durch die vertikale Abklüftung verwischt, weil die Gestaltung der Gehänge nicht mehr durch die Erosion, sondern durch das Abstürzen und Zerfallen von Gesteinsmassen an vertikalen Klüften bestimmt ist. Das Elbtal im Quadersandsteingebiete bietet das beste Beispiel, wie eine Erosionsfurche trotz ihrer canyonmäßigen Anlage dennoch infolge der vertikalen Abklüftung keinen echten Canyoncharakter zur Schau trägt³⁾.

Indem Hassert für die Canyons der montenegrinischen Kalkgebiete die Möglichkeit einer Entstehung aus unterirdischen Wasserläufen durch Deckeneinstürze zugibt⁴⁾, wird dadurch die prinzipielle Frage aufgerollt, inwieweit überhaupt offene Talfurchen aus unterirdischen Höhlungen hervorgegangen sein können. Daß in Kalkgebieten durch Einsturz von unterirdischen Wasserläufen sich offene Talfurchen⁵⁾ herausbilden können, unterliegt keinem Zweifel. Es scheint jedoch, daß eine solche Entstehungsweise immer nur für kurze, vereinzelte Talstrecken, nie aber für eine längere, oberflächliche Entwässerungsrinne in ihrer ganzen Ausdehnung zutrifft. An dem Beispiele des überaus höhlenreichen Krakauer Jurakalkgebietes konnte ich zeigen, daß nur ein einziges kurzes Nebentälchen durch den Einbruch unterirdischer Hohlräume prädisponiert ist, während sonst im ganzen Gebiete die steilwandigen Täler, welche nur durch ihre im Verhältnis zur Tiefe breiten Sohlen sich vom Canyontypus abheben, durch oberflächliche, rein mechanische Erosion in die höchstwahrscheinlich zur älteren Tertiärzeit verebnete Oberfläche des Jurakalkes eingesenkt wurden; die häufigen Höhlen, deren Öffnungen man in den Talwänden sieht, haben die mechanische Erosion nicht im geringsten beeinflußt, sie sind nur durch die

¹⁾ v. Łoziński, Hydrogeol. Unters. im Bez. Horodenka. Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. 1905, pag. 90.

²⁾ Diener, l. c. pag. 138 und 142.

³⁾ Vergl. den V. Abschnitt.

⁴⁾ Hassert, l. c. pag. 114. — Oestreich (Makedonien. Geograph. Zeitschr. Bd. X, pag. 515 und 520) hat ebenfalls die Entstehung aus Höhlenflüssen, aber in etwas beschränkterem Umfange angenommen.

⁵⁾ „Subimposed“ nach der Bezeichnung von Russell, Rivers of N. America, pag. 246.

letztere angeschnitten und ans Tageslicht gelegt worden¹⁾. Auch im allgemeinen darf man annehmen, daß nur kurze Schluchten oder kleine vereinzelte Strecken längerer Täler durch das Zusammenbrechen von Hohlräumen entstehen können. Wenn eine längere Entwässerungsrinne in einem Kalkgebiete stellenweise von Naturbrücken überspannt ist, die als Deckenreste des ehemaligen unterirdischen Wasserlaufes aufzufassen sind, so sollte man eher nur lokale, durch spätere Vertiefung bloßgelegte Flußschwinden als die Entstehung des ganzen Talzuges durch Einsturz voraussetzen. Die Versuche, ganze Talzüge oder Talsysteme in Kalkgebieten durch Höhlen-einsturz entstehen zu lassen, sind nicht begründet. Im Gegensatz zu Hassert würde ich am allerwenigsten für die Canyons in Montenegro eine derartige Entstehung voraussetzen.

Es wurde schon eingangs im Gegensatze zu Dutton betont, daß die Canyonbildung nicht allein bei flacher Schichtenlagerung, sondern ebensogut auch in einem gefalteten Gebiete möglich ist. Die Canyons der Maas in den Ardennen oder der Mosel im Rheinischen Schiefergebirge sind gerade in diejenigen Teile des variszischen Bogens eingesenkt worden, wo die Faltung am intensivsten war. Ein weiteres, ungemein lehrreiches Beispiel tritt uns im südwestlichen Böhmen, und zwar im Gebiete der präkambrischen, sehr steil oder senkrecht aufgerichteten Phyllite²⁾ zwischen Tuschkau und Mies (westlich von Pilsen) entgegen. In ihre weit und breit mit seltener Vollkommenheit eingeebnete Oberfläche ist die Erosionsfurche des Miesflusses eingeschnitten. Trotz der geringen Tiefe, die kaum etwa 30—40 m beträgt, bietet die Erosionsfurche der Mies gleichsam eine Miniaturausgabe des echten Canyonstypus mit allen charakteristischen Eigenschaften, so daß man ein Modell des podolischen Dniestr-canyons zu sehen glaubt.

Aus den angeführten Beispielen darf jedoch noch nicht ohne weiteres gefolgert werden, daß die Canyonbildung auch bei gefaltetem Schichtenbau unbedingt möglich sei: denn es fehlt anderseits nicht an Beispielen, wonach der gefaltete Schichtenbau die Herausbildung von Canyons ausschließt. Vergleicht man zum Beispiel die Canyons des paläozoischen Gebietes von Galizisch-Podolien mit den Tälern des benachbarten Mittelgebirges der Karpathen, so sieht man sofort ein, daß in diesem Falle die Bildung von Canyons durch die im großen und ganzen fast horizontale Schichtenlagerung des podolischen Plateaus begünstigt war. Insbesondere lassen dieses die eingesenkten Mäander erkennen. Wo in den Karpathen eingesenkte Mäander herausgebildet wurden, wie zum Beispiel in einzelnen Strecken des Santales, kommt bei weitem keine solche Regelmäßigkeit der Gehängegestaltung vor wie auf der konvexen und konkaven Seite der podolischen Dniestr-schlingen.

Der obige Vergleich der Karpathen und Podoliens ist besonders lehrreich, weil er uns am deutlichsten vor die Augen führt, unter

¹⁾ Łoziński in Sprawozd. Kom. Fizyograf, Bd. XLIII, Abt. III, pag. 51—54. Autoreferat im Geolog. Zentralblatt, Bd. XI, Nr. 1379.

²⁾ Herzynische Phyllitformation v. Gumbel's.

welchen Umständen in einem gefalteten Gebiete echte Canyons nicht herausgebildet werden können. Der Gebirgsbau der Flyschkarpathen zeichnet sich durch einen überaus häufigen Wechsel von undurchlässigen, tonigen Ablagerungen und permeablen Sandsteinbänken aus, wodurch die Möglichkeit von gleitenden und rutschenden Massenverschiebungen gegeben ist, sobald die Kontinuität eines Schichtenkomplexes durch die Erosion durchschnitten wird. Infolgedessen werden durch jede Tieferlegung einer Erosionsfurche auch Gleit- und Rutschbewegungen angeregt, welche die Talgehänge derart verunstalten, daß reine Erosionsgehänge, die wir als einen charakteristischen Zug der Canyons erkannt haben ¹⁾, nie vorhanden sind. Das paläozoische Gebiet Podoliens ist zum nicht geringen Teil aus unterdevonischen Ablagerungen aufgebaut, die einen ganz ähnlichen Wechsel von tonigen Bildungen und eingelagerten Sandsteinlinsen zur Schau tragen. Da aber die Schichtgrenzen mit Ausnahme der schmalen Randgebiete horizontal verlaufen und infolgedessen keine Neigung zu gleitenden oder rutschenden Bewegungen besteht, konnten typische Canyons ausgefurcht und ihre Erosionsgehänge in unverletzter Gestalt auf die Dauer erhalten werden.

Im allgemeinen darf man sagen, daß in einem gefalteten Gebiete die Bildung von Canyons nur dann möglich ist, wenn die Beschaffenheit der Schichtenkomplexe keine ausgesprochene Neigung zu gleitenden oder rutschenden Bewegungen im Zusammenhange mit der unterirdischen Wasserführung zur Folge hat. Bei flacher Schichtenlagerung dagegen ist die Bildung von Canyons immer möglich, wie auch die Beschaffenheit und die Wasserführung der Schichtenkomplexe sein mögen, da die Grenzflächen der durchlässigen und undurchlässigen Komplexe horizontal verlaufen und demgemäß selbst nach dem Durchschneiden durch die Erosion auf lange Zeit hin stabil bleiben können.

Wenn wir als den wichtigsten morphologischen Zug der Canyons bezeichnet haben, daß ihre Gehänge die reine Erosionsgestaltung bewahren und oben von einem scharfen Rande begrenzt sind ²⁾, so ist dazu eine weitgehende Stabilität der Gehänge erforderlich. Die Bildung von Canyons ist somit nur bei einem solchen Schichtenbau möglich, welcher die Stabilität der Gehänge auf längere Zeit hin gewährleistet. Trifft letzteres für ein gefaltetes Gebiet zu, so können auch in diesem Fall bei einer relativ schnell vor sich gehenden Hebung echte Canyons ausgefurcht werden. Ein weiteres Merkmal der Canyons, die schmale Sohle, kann ebenfalls nur bei stabilen Gehängen bestehen, da sonst die Massenverschiebungen auf den Gehängen den Wasserstrom verlegen und dadurch die ausweitende Seitenerosion einleiten würden.

Die Bedeutung der Schichtenaufrichtung ist nicht darauf beschränkt, daß die Schichtflächen, auf welchen Massenverschiebungen erfolgen können, in eine geneigte Lage versetzt werden. Durchlässige Schichten inmitten eines gefalteten und darauf durch die Abtragung

¹⁾ Vergl. den II. Abschnitt.

²⁾ Vergl. den II. Abschnitt.

schräg abgeschnittenen Komplexes verschneiden mit der Erdoberfläche viel häufiger und werden infolgedessen auch viel reichlicher mit Wasser gespeist, als in solchen Fällen, wo sie in einem flachgelagerten Komplex eingeschaltet sind. Die devonischen Sandsteinbänke, die auf den Gehängen der podolischen Canyons ans Tageslicht treten, sind oft ganz wasserlos oder weisen höchstens eine spärliche Wasserführung auf¹⁾, weil sie von wasserdichten Tonen umhüllt werden und infolge der flachen Lagerung die Plateaufläche nicht erreichen. Auf diese Weise wird bei einer flachen Schichtenlagerung die Stabilität der Gehänge auf lange Zeit hin noch mehr gesichert.

VII. Die Anfänge der Canyonbildung.

Die erste Bedingung der Canyonbildung ist ein eingeebnetes Gebiet, welches durch Emporhebung zu einem Plateau wird. Wie schon früher hervorgehoben wurde, erfolgte das rasche Einschneiden der Canyonflüsse ohne horizontale Verschiebungen, so daß ihr gegen wärtiger, tief eingesenkter Lauf alle Details des ursprünglichen Laufes auf der nunmehr gehobenen Plateaufläche treu bewahrt. Es ist daher für das Verständnis der Canyongestalt unerlässlich, den ursprünglichen Lauf eines Canyonflusses auf der jetzt gehobenen Plateaufläche rekonstruieren zu können. Zum Schlusse meiner Ausführungen über die Charakteristik der Canyons möchte ich ein solches an dem schönen Beispiele des podolischen Dniestr-canyons versuchen.

Die Hochfläche des paläozoischen Gebietes von Galizisch-Podolien stellt einen westlichen Ausläufer der südrussischen Destruktionsfläche dar, deren Erkenntnis ein Verdienst von Philippson²⁾ ist. Wie bereits Philippson³⁾ angedeutet und unlängst Romer⁴⁾ ausgeführt hat, fand eine Hebung und ein gleichzeitiges Einschneiden zur älteren Diluvialzeit statt. Angesichts der Tatsache, daß der jungdiluviale, echt äolische Löß die flacheren Canyongehänge im Innern der Dniestr-schlingen bis zur Sohle hinab überzieht, ist irgendeine

¹⁾ Łoziński in Kosmos, Bd. XXX, Lemberg 1905, pag. 347—349.

²⁾ Philippson, Geogr. Reiseskizzen aus Rußland. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Bd. XXXIII, 1898, pag. 40 ff. — Zur Morphol. d. europ. Rußland. Peterm. Mitteil., Bd. XLV, 1899, pag. 270.

³⁾ Die diesbezügliche sehr wichtige Äußerung von Philippson lautet: „Der Hauptpunkt, auf den ich hinweisen wollte, war, . . . daß der größte Teil von Rußland, sagen wir kurz: ungefähr die Stromgebiete des Kaspischen und Schwarzen Meeres, von einer großen, fast ebenen Hochfläche von 200—300 m Meereshöhe eingenommen wird . . . In diese große Fläche haben die Flüsse ihre Täler eingeschnitten . . . ihre Eingrabung muß durch ein Neuerwachen der Tiefenerosion, also durch eine Hebung der Fläche über das Endgefälle der Flüsse eingeleitet worden sein . . . Tatsachen führen mich zu dem Schluß, daß die ganze Plateaufläche in ihrer heutigen Gestalt nicht älter als die ältere Vereisung Rußlands, die Täler und Strombecken aber jünger als diese seien“ (Peterm. Mitteil., Bd. XLV, 1899, pag. 270). In ähnlichem Sinne hat sich Philippson auch in seinen Reiseskizzen geäußert und dabei die Hebungs-, beziehungsweise Erosionsphase noch bestimmter in die „Glacialperiode“ versetzt (Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Bd. XXXIII, 1898, pag. 42).

⁴⁾ Mitteil. d. Geograph. Ges. in Wien, Bd. L, 1907, pag. 282 ff.

Vertiefung seit der älteren Diluvialzeit ausgeschlossen. Höchstwahrscheinlich war die Intensität der paläodiluvialen Tiefenerosion durch den größeren Wasserreichtum im damaligen niederschlagsreicheren Klima erheblich gefördert¹⁾.

Längs des Randes des Dniestrcanyons ist die Hochfläche von einem breiten Streifen einer Kiesablagerung bedeckt, die unter der Lößdecke oft zutage tritt. Ihr Alter läßt sich nicht genau fixieren, ich glaube aber, daß sie größtenteils pliocänen, zum Teil vielleicht noch altdiluvialen Alters ist. Prüft man die Verbreitung dieser Kiesablagerung, so fallen folgende Tatsachen auf²⁾:

1. Sie tritt hauptsächlich auf der linken Seite des Dniestrcanyons auf, wo gegenwärtig die meisten und bedeutendsten Zuflüsse einmünden. Auf der rechten Seite dagegen, wo der Dniestrcanyon nur spärliche und geringfügige Zuflüsse empfängt, kommt auch die Kiesablagerung in sehr beschränktem Umfange vor.

2. In einigen Fällen enthalten die Kiese Rollstücke von solchen Gesteinen, die keinesfalls vom Dniestr herbeigetragen wurden, da die betreffenden Horizonte des Paläozoikums sich im Dniestrcanyon nach aufwärts senken und schließlich unter seiner Sohle verschwinden. Man kann ihre Herkunft nur in nördlicher gelegenen Teilen des paläozoischen Gebietes vermuten, wo die betreffenden Gesteinsarten in einer höheren Lage anstehen³⁾.

3. Die hypsometrische Lage der Kiesablagerung über der gegenwärtigen Sohle des Dniestrcanyons — auch wenn man nur die sicher primären Vorkommnisse in Betracht zieht — ist einem derartigen Wechsel unterworfen, daß sich daraus kein normales Längsprofil des Urdniestr rekonstruieren läßt.

Unter solchen Umständen ist es nicht möglich, die Kiese als einen unmittelbaren Absatz des Urdniestr anzusprechen⁴⁾. Die hervorgehobenen Eigentümlichkeiten ihrer Verbreitung kann man nur durch die Annahme erklären, daß sie von den damaligen Dniestrzufüssen aus dem übrigen Gebiete Podoliens herbeigetragen wurden. Freilich muß es befremden, wie bei dem geringen Gefälle der Flüsse auf der verebneten und damals tiefer gelegenen Oberfläche Podoliens noch Kiese verfrachtet und abgelagert werden konnten. Wie aber Teissyre gezeigt hat, wurde gegen das Ende der Miocänzeit der den Nordrand Podoliens krönende Höhenzug emporgehoben und im Zusammenhange damit erhielt das podolische Plateau seine gegenwärtige, nach SO gerichtete Neigung⁵⁾. Höchstwahrscheinlich wurde infolgedessen das Gefälle der südwärts zum Urdniestr fließenden Gewässer vergrößert, so daß sie auch Kiese fortführen und ablagern konnten. Daß die Ausfurchung der Täler im Kreidegebiete des nördlichen Podolien mit jener jungtertiären Hebungsphase zusammenhängt, dafür spricht

¹⁾ Łoziński, Doliny rzek, pag. 26—27.

²⁾ Ibidem, pag. 46—49.

³⁾ Vgl. meine Bemerkungen in Bull. Soc. Polon. pour l'avancement des sciences, V, 1905, pag. 73, Anm. 1.

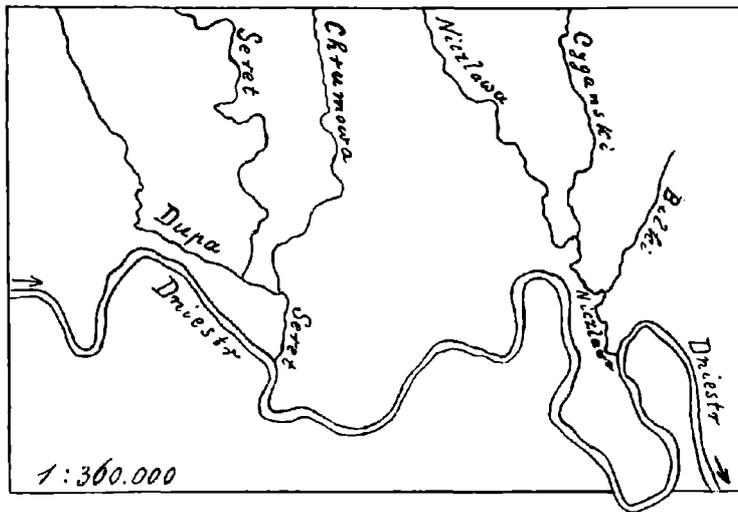
⁴⁾ Die ältere Ansicht, diese Kiese seien karpathischen Ursprungs, ist petrographisch nicht begründet.

⁵⁾ Atlas geolog. Galicyi, Heft VIII, pag. 284.

ihr gegenüber den Canyons des südwärts anstoßenden paläozoischen Gebietes weit vorgeschrittenes Entwicklungsstadium, welches in den muldenförmigen, breiten und zumeist versumpften Talböden zum Ausdruck kommt.

Die vorstehende Betrachtung der Kiesablagerung wirft einiges Licht auf den ursprünglichen Dniestrlauf auf der jetzt gehobenen Hochfläche Podoliens. Der träge Dniestrlauf wurde durch die Kiesablagerungen der von Norden her einmündenden Gewässer immer weiter in südlicher Richtung gedrängt. Infolgedessen breiten sich die Kiesablagerungen zum größten Teil auf der linken (nördlichen) Seite des Dniestr aus, wogegen auf der rechten (südlichen) Seite die Zuflüsse bis auf wenige und kurze Wasserläufe reduziert wurden. Ein

Fig. 4.



überraschend analoges Bild bietet gegenwärtig die Theiß in der Großen Alföld, welche in derselben Weise durch die Schuttablagerungen ihrer ostkarpathischen Zuflüsse allmählich nach Westen verschoben wird und ein einseitiges Einzugsgebiet besitzt. Unter dem Einflusse der einseitigen Ablagerung von Kiesen wurde der ursprüngliche Dniestrlauf ein immer mehr gewundener. Damit stimmt auch die merkwürdige Tatsache überein, daß die Mündungen der meisten Zuflüsse des Dniestr mit den stärksten Windungen seines Laufes zusammenfallen. Außerdem wurden die Zuflüsse durch ihre fortschreitende Kiesablagerung allmählich auseinandergedrängt und vom Urdniestr abgelenkt.

Während der darauffolgenden Hebungsphase, die wir — wie bereits bemerkt — mit Philippson und Romer annehmen dürfen, hat der Dniestr mit relativ großer Geschwindigkeit und ohne beträchtliche horizontale Verschiebungen seinen tiefen Canyon eingeschnitten.

Infolgedessen bewahrt der Dniestrcanyon alle Eigentümlichkeiten seines ursprünglichen Laufes auf der Hochfläche, und zwar die zahllosen Windungen, die Verbreitung der Kiesablagerung hauptsächlich auf der linken Seite und den auffallenden Mangel von größeren Zuflüssen auf der rechten Seite. Ebenfalls rühren von dem ursprünglichen Dniestrlauf her die hydrographischen Anomalien, welche an den Mündungen mancher Dniestrzufüsse ins Auge springen (Fig. 4). Oft erreichen die Zuflüsse den Dniestrcanyon nicht auf kürzestem und natürlichstem Wege, sondern auf unmöglichsten Umwegen. So zum Beispiel mündet die Dupa nicht direkt in den Dniestr ein, sondern wendet sich von ihm in der Entfernung von kaum $\frac{1}{2}$ km ostwärts ab und fließt, durch eine hohe und schmale Scheidewand von dem parallelen Dniestrcanyon getrennt, dem Seret zu. Solche Anomalien können nur als eine Folge von allmählichen Mündungsverlagerungen gedeutet werden, die sich unter dem Einflusse der fortschreitenden Ablagerung von Kiesen noch zu jener Zeit vollzogen, als der Urdniestr auf der jetzt gehobenen Plateaufläche Podoliens floß.

Nachdem wir an dem Beispiele des Dniestr den ursprünglichen Zustand eines Canyonflusses durchblickt haben, drängt sich zum Schluß die Frage auf, welche von den heutigen Wasserläufen bestimmt wären, bei einer eventuellen raschen Hebung einen Canyon auszufurchen. In dieser Hinsicht muß an erster Stelle auf das bereits erwähnte Beispiel der Theiß in der Großen Alföld hingewiesen werden. Wenn man sich diesen Teil der Ebene der Großen Alföld um den vertikalen Betrag von etwa 200 m rasch gehoben denkt, so würde der Lauf der Theiß mit dem Unterlaufe ihrer ostkarpathischen Zuflüsse in ein vollkommen ähnliches Canyongebiet verwandelt werden, wie das paläozoische Gebiet von Podolien.

Anhang.

Über Gehängefurchen und Gehängerippen.

Im Anschlusse an meine Ausführungen über die Gestalt der Canyons (im II. Abschnitte) möchte ich noch eine besondere Art von Gehängeskulptur würdigen, welche zwar nicht zum Wesen der Canyons gehört, aber auf ihren Gehängen stellenweise sehr schön ausgebildet ist.

Während die flächenhaft wirkenden Abtragungsvorgänge, die auf rutschenden oder gleitenden Massenverschiebungen beruhen, auf den Canyongehängen keine umgestaltende Rolle spielen, werden die Gehänge der podolischen Canyons stellenweise durch die linear tätige Abspülung in eigentümlicher Weise modelliert. Das abfließende Regenwasser gräbt parallele Rillen dicht nebeneinander ein, wodurch manches steile Gehänge ein kanneliertes Aussehen bekommt. Derartige Erosionsfurchen, wenn sie gesellig auftreten, zerteilen die glatte Gehängefläche in eine Reihe von breiteren oder manchmal ganz schmalen Rippen. Im podolischen Canyongebiete konnte ich eine solche Zerfurchung von Gehängen insbesondere im Paläozoikum am Seret¹⁾ und am

¹⁾ Vergl. die Abbildung in Łoziński, Doliny rzek. Taf. I B.

Dzuryn zwischen Czerwonogrod und Uscieczko beobachten. Da diese Art der Gehängeskulptur am großartigsten in Trockengebieten, wie in den Bad Lands¹⁾ (hier die ganze Landschaft beherrschend) oder im Coloradogebiete²⁾, ferner auch im mediterranen Klima, und zwar im Apennin³⁾ und in Istrien⁴⁾ ausgebildet ist, erwuchs die Annahme, es wäre diese Erscheinung nur an bestimmte klimatische Verhältnisse gebunden. Indessen habe ich dieselbe Art der Gehängeskulptur auch noch außerhalb der eigentlichen Canyonregion, im Kreidegebiete des nördlichen Podolien⁵⁾ und neuerdings an einigen Stellen des Sandomierz-Opatower Lößplateaus⁶⁾ gefunden. Es ist danach die Herausbildung von dichten Gehängefurchen unter allen klimatischen Verhältnissen möglich, soweit nur das Gehänge genug steil ist und das Gestein entweder ganz nackt zutage tritt oder höchstens mit einer zwar zusammenhängenden, aber relativ dünnen Rasendecke bedeckt ist. Auch gehört eine petrographische Veranlagung dazu, indem die Gehängefurchen mit besonderer Vorliebe in sandig-tonigen, schiefrigen Gebilden auftreten. Nicht an letzter Stelle kommen die orographischen Bedingungen in Betracht. Wenn das Regenwasser im Gehänge eine Furche einkerben soll, so muß sich letzteres in einer Flucht senken und keine weitergehenden Abstufungen aufweisen, welche die herabrieselnden Wasserfäden ablenken würden. Die günstigste orographische Vorbedingung liegt vor, wenn das Gehänge — wie es nicht selten auch bei den Canyons der Fall ist — im Querschnitt schwach konvex ist (Fig. 1, I), weil dann die Wasserfäden in schnurgerader Richtung, mit nach unten zunehmender Geschwindigkeit und Erosionsfähigkeit hinabschießen. Die Tatsache, daß auf steilen Gehängen im podolischen Canyongebiete die Erosionsfurchen schon am obersten Rande einsetzen und demselben ein schartiges Aussehen verleihen, führt zum Schlusse, daß Erosionsfurchen nicht allein durch das auf ein Gehänge fallende Regenwasser, sondern zunächst durch das von der Hochfläche her zuströmende atmosphärische Wasser herausmodelliert werden. Infolgedessen muß auch die Gestaltung der Hochfläche über dem oberen Rande des Gehänges eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Wenn — wie es bei Canyongehängen am genauesten zutrifft — die Hochfläche über denselben fast eben ist, so kann das atmosphärische Wasser in zahllosen getrennten Fäden den oberen Rand eines steilen Gehänges erreichen und nachher beim plötzlichen Hinabschießen Furchen dicht nebeneinander einkerben. Im Gegenteil, wenn die Hochfläche nicht eben ist, wird der Abfluß des atmosphärischen Wassers gegen den oberen Rand eines Hanges zu in vereinzelte stärkere Wasserstränge konzentriert, welche hie und da eine steile und rückschreitende Schlucht

¹⁾ Darton, Geology of Nebraska. Prof. Papers Un. St. Geol. Survey, Nr. 17, Washington 1903, Taf. XXIX ff.

²⁾ Davis, Excursion to the Grand Canyon, pag. 134—135.

³⁾ G. Braun, Erosionsfiguren aus dem nördlichen Apennin. Schriften d. Phys.-ökon. Ges. zu Königsberg i. Pr., Bd. XLVIII, 1907, pag. 43.

⁴⁾ Göttinger, l. c. pag. 161 ff.

⁵⁾ In Olchowiec bei Brzeżany, am linken Steilgehänge des gleichnamigen Baches, welches durch einige großartige Furchen zerrissen ist.

⁶⁾ v. Łoziński, Das Sandomierz-Opatower Lößplateau, Globus, Bd. XCVI, 1909.

im Gehänge einschneiden, aber nie eine feinere, dichte Zerfurchung erzeugen können.

Es ist wohl denkbar und manchmal auch tatsächlich der Fall, daß aus der Erweiterung und Vereinigung von Gehängefurchen mit der Zeit eine tiefe, rückschreitende Bresche entsteht. In der Regel aber möchte ich einen anderen Entwicklungsgang der Gehängefurchen voraussetzen. Jede Erosionsfurchen für sich ist im Vertiefen begriffen, wobei auch die trennenden Rippen — in derselben Weise wie ein wasserscheidender Rücken zwischen zwei Tälern — abgetragen und allmählich zugerundet¹⁾, seltener (im Apennin) in messerscharfe Grate zugespitzt werden. Die fortschreitende Vertiefung von Erosionsfurchen und gleichzeitige Abtragung der Rippen stellt einen von denjenigen Abtragungsvorgängen dar, welche beim Zurücktreten von Canyongehängen, beziehungsweise Plateaurändern in Betracht kommen. Das Endergebnis ist in den meisten Fällen nicht die Herausbildung einer oder mehrerer größerer Erosionsbreschen, vielmehr aber ein allmähliches, gleichmäßiges Zurücktreten des von der Zerfurchung betroffenen Gehänges. Tatsächlich kommt im podolischen Canyongebiete die dichte Zerfurchung nur an solchen steilen Gehängen vor, die nicht unmittelbar zu einem Wasserlaufe abfallen, sondern von ihm durch einen Streifen niedriger Alluvialterrasse getrennt, somit im gleichmäßigen Zurücktreten begriffen sind.

Ein weiteres Eingehen auf diese Erscheinungen muß ich hier unterlassen, zumal die Gehängerippen durch Übergänge mit Erdpyramiden auf das innigste verbunden sind²⁾, deren Entstehung aber nicht mehr im Rahmen einer Betrachtung der Canyongestalt liegt.

Lemberg, Anfang Oktober 1909.

Inhalt.

	Seite
I. Der Begriff eines Canyons	639
II. Die Gestaltung der Canyons	643
III. Die eingesenkten Maander	649
IV. Die Mündungen der Zuflüsse in den Canyons	653
V. Zusammenfassung der charakteristischen Merkmale	656
VI. Die Abhängigkeit der Canyonbildung vom geologischen Bau	659
VII. Die Anfänge der Canyonbildung	663
Anhang: Über Gehängefurchen und Gehängerippen	666

¹⁾ Vergl. auch die Bemerkungen von Gilbert, *The convexity of hilltops*. *Journal of Geology*, Bd. XVII, 1909, pag. 346 ff.

²⁾ Vergl. Günther, *Erdpyramiden*. *Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. Bayer. Akad. d. Wiss.*, Bd. XXXIV, 1904, pag. 399 ff.