

Werk

Titel: Tal- und Flußwindungen und die Lehre vom geographischen Zyklus

Autor: Lehmann, Otto

Ort: Berlin

Jahr: 1915

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1915 | LOG_0035

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Tal- und Flußwindungen und die Lehre vom geographischen Zyklus.

Von Dr. Otto Lehmann.

1. Die Wahl der Fachausdrücke.

Ganz gerade Flußstrecken findet man nur auf kurze Entfernungen. Sonst zeigt jeder Fluß mannigfache Richtungsänderungen, unstetige sowohl, also Knickungen in dem Laufe, wie stetige, die als Biegungen, Krümmungen, Windungen und „Mäander“ bezeichnet werden, wobei die Verwendung der letzten beiden Ausdrücke eine engere, wenn auch nicht einheitliche geworden ist. Jedenfalls scheiden sie aus, wo es sich um allgemeine Richtungsänderungen handelt, auf die der Fluß selbst keinen Einfluß gewinnt und die ihn auf große Strecken beherrschen, wie wir dies besonders schön am Main sehen. Diese Ausdrücke pflegen aber auch nicht verwendet zu werden für ganz kleine Krümmungen, die unter dem Maßstabe selbst der genauesten topographischen Kartenaufnahmen bleiben. Sicherlich hat dies oft nur den äußerlichen Grund, daß ein genaueres Studium von Beobachtungsreihen, für welche die Karten keine sichere Unterlage mehr bieten, mit Recht aufgeschoben wurde, aber man darf doch auch sich darauf verlassen, daß die kleinsten Krümmungen der Flüsse und Bäche auch ihrem Wesen nach meist nicht dem entsprechen, was man je als Windung und „Mäander“ bezeichnete, und daß es sich auf jeden Fall um sehr vergängliche Erscheinungen handelt, die sich der herkömmlichen Terminologie noch entziehen.

Es gibt keine Definitionen der Worte „Flußmäander“ oder „Flußwindung“, die allgemein durchgedrungen wäre¹⁾. Das häufigste ist in der älteren Literatur ein synonyme Gebrauch, denn es ist durchaus dasselbe, ob man von „gezwungenen, freien und eingesenkten Windungen oder Mäandern“ spricht. Tatsächlich ist heute der Menderes in Kleinasien ein Fluß, dessen Windungen zu den am wenigsten untersuchten gehören. Man müßte daher die Einführung des Wortes „Mäander“ in die geographische Fachsprache als unnötige Fremdwörterei bezeichnen, wenn man nicht das Gefühl hätte, daß damit seiner Zeit ein Unterschied zwischen „Krümmung“ und „Windung“ stärker betont werden sollte, der

¹⁾ Die Gestalt derselben wird in Pencks Morphologie mit Halb- bis Dreiviertelkreisen, in neuerer Zeit mit sinoiden Kurven verglichen.

allgemein gefühlt ward, aber der Fachwelt zu unbestimmt erschien und jedenfalls jedem Nichtdeutschen verborgen blieb, so daß die Einführung des Ausdruckes international das gegenseitige Verständnis erleichterte. Immerhin genügt das Ansehen, das einen Forscher befähigt, einen fremden Ausdruck einzuführen auch, um das ans Licht zu heben, was die deutsche Sprache für jeden birgt, der sie genug beachtet. Während „Krümmung“ nur den Besitz der Eigenschaft „krumm“ anzeigt, wobei es offen gelassen werden kann, ob es sich um ursprüngliche Krümmung oder einen gekrümmten Zustand handelt, ist das Wort „Windung“ ausschließlich für das Ergebnis einer Arbeit anzusehen, die uns einen Fluß „gewunden“ zeigt. Aus derselben Quelle geht auch das Wort „Gewinde“ hervor, das für eine beabsichtigte Regelmäßigkeit in der Anordnung von Windungen verwendet wird. Das Wort „Windungen“ paßt also für Flußkrümmungen, die der Mitarbeit des Flusses ihre Stetigkeit und Regelmäßigkeit verdanken, wobei man unter Regelmäßigkeit vor genauer Erforschung der Ursachen jener Arbeit kaum mehr als die Zugehörigkeit benachbarter Windungen zur gleichen Größenklasse und Ähnlichkeit mit einfachen geometrischen Kurven verstehen kann. Mehr konnte man lange Zeit auch nicht in den Begriff „Mäander“ hineinlegen. Dieses Wort hat erst neuerlich wieder ein Daseinsrecht in der Fachsprache erworben¹⁾, seitdem man seine Verwendung nur auf solche Windungen beschränkte, die dem Wasserhaushalt eines Flusses entsprechen und die man früher als „freie Mäander“ bezeichnete²⁾. Mit dieser modernen Bedeutung des Wortes „Mäander“ schlechthin verträgt es sich nicht mehr, von gezwungenen Mäandern zu sprechen. Ich schließe mich der neueren Rede-weise an, weil dadurch ein fremder Ausdruck im Gebrauche eingeschränkt wird, zugleich aber eine kurze Bezeichnung eines neuen, eigenen Inhaltes geworden ist³⁾, dessen Gesetze allerdings noch nicht erforscht sind.

¹⁾ In den Werken von Davis-Braun und Davis-Rühl.

²⁾ Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß auch ein frei mäandrierender Fluß noch Unstetigkeiten in seinem Laufe aufweist und sogar immer wieder neue erleidet, sobald sich eine Schlinge abschnürt.

³⁾ Wenn E. Scheu in „Forschungen zur Deutschen Landes- und Volkskunde“ XVIII, 4 S. 396 (36) allerdings nur bei Betrachtung der Talmäander schreibt: „Aus der einfachen Sinuslinie entsteht . . . allmählich eine mäandrierende Flußkurve, welche sich von der ersteren dadurch unterscheidet, daß zwei Kurvenabschnitte einer bestimmten Schlinge des Flusses parallel verlaufen (Fig. 6)“, so mache ich diese Terminologie nicht mit. Denn der Stand der Forschung erlaubt nicht, eine Sinuskurve als eine dem Wasserhaushalt eines Flusses möglicherweise entsprechende abzulehnen. Dann aber gebührt ihr auch die Bezeichnung „Mäander“. Das Auftreten paralleler Laufstücke im Anschluß an eine Windung erscheint mir auch zu selten, um darauf den soviel gebrauchten Ausdruck Mäander zu beschränken, wenn es auch der Ornamentik besser entspräche.

Schwierigkeit macht nur der auch von der Schule Davis' beibehaltene Ausdruck eingesenkte Mäander. Zweifellos ändert sich gewöhnlich mit dem Neueinschneiden der Wasserhaushalt eines Flusses und damit auch die Windungen, die ihm entsprechen. Solange aber beide Änderungen stetig erfolgen, ist es erlaubt, von eingesenkten Mäandern zu sprechen, auch wenn sie nicht mehr die ursprüngliche Form haben.¹⁾ Sobald beim Einschneiden eine sprungweise Änderung in der Form der Flußwindungen eintritt, die seinem Laufe Ecken verursacht, ist streng genommen der Ausdruck eingesenkte Mäander nicht mehr erlaubt und jedenfalls der Ausdruck eingesenkte Flußkrümmungen vorzuziehen. Diese können auch während des Einschneidens, z. B. durch einen seitlichen Bergrutsch, als gezwungene Windungen entstanden sein. Da man in der Natur nie und nirgends volle Stetigkeit aller Richtungsänderungen auch bei einem sehr schön gewundenen Flusse antrifft, muß ein Plural wie „eingesenkte Mäander“, wenn er zur Bezeichnung des Laufes eines längeren Flusses gebraucht wird, ohnehin immer mit Vorbehalt verwendet werden; es wird stets ein Laufstück vorkommen, das kein eingesenkter Mäander ist. Hier ist die Fachsprache der theoretischen Erkenntnis vorausgeeilt, denn wir wissen noch viel zu wenig von den Beziehungen des Wasserhaushaltes zur Laufform, als daß wir in jedem Falle ein Urteil haben, ob eine Windung die Bezeichnung „Mäander“ im neueren Sinne verdient oder nicht. Doppelt schwer wird das, wenn wir die Wahl angesichts eingesenkter Windungen treffen sollen, von deren früherem Aussehen genaueres nicht bekannt ist. Es birgt eben ein zu früh eingeführtes und ohne ganz genaue Definition gelassenes Fremdwort stets neue Verlegenheiten für eine scharfe Erfassung der Erscheinungen.

An allen Schwierigkeiten der „eingesenkten Flußmäander“ hat auch der Ausdruck Talmäander Anteil, der für regelmäßige Talwindungen gebraucht wird. Mit den gleichen Vorbehalten darf er dort verwendet werden, wo die Talwindungen auf „eingesenkte Flußmäander“ zurückgehen, obgleich dabei noch andere Faktoren als der Fluß selbst, z. B. das angeschnittene Gestein, den Wasserhaushalt beeinflussen. Ich gebe daher für diese Betrachtung lieber den Ausdruck „Talmäander“ ebenso auf, wie früher die Bezeichnung „gezwungene Mäander“ und spreche von Talwindungen.

¹⁾ W. Behrmann nennt eingesenkte Mäander in seiner Harzarbeit (Forsch. z. D. L.- u. V.-K. XX, 2, 3. 192 (48) Zwangsmäander in Fällen, wo die Amplitude der Windungen bei rascherem Einschneiden vom Flusse allmählich verkleinert wird. Obgleich es für diesen Wortgebrauch in der Literatur Analogien gibt, schließe ich mich hier dieser Ausdrucksweise nicht an, weil jene Verkleinerung vielleicht dem veränderten Wasserhaushalt entspricht und leicht Verwechslungen mit den gezwungenen Windungen entstehen, welche Behrmann als „aufgezwungene“ bezeichnet.

2. Die zweifache Erklärung der Talwindungen.

Gewundene Täler sind der Hauptgegenstand dieser Betrachtung. Ihre Gehänge sind dadurch ausgezeichnet, daß auch der obere Talrand die regelmäßigen Bögen der Sohle oder des Flußbettes abgeschwächt nachahmt, um so mehr, je größer die abwechselnde Asymmetrie der Gehänge ist. Solche Täler finden heute eine zweifache Erklärung. Die ältere Theorie, die allein auf der Untersuchung bestimmter Fälle beruht und lange allein herrschte, führte die Talwindungen auf „ingesenkte Mäander“ zurück, wir sagen vorsichtiger „ingesenkte Flußwindungen“¹⁾. Beobachtungen, die diese Theorie stützten, waren das Auftreten von Rumpfflächen über den Tälern und das Vorkommen verarmter Schotter auf der Höhe; dazu kam noch eine Voraussetzung, nämlich: Auf breiten Schottersohlen bzw. Flächen bewegen sich die Flüsse meist in freien Windungen, deren Einsenkung eben dann erfolgte. Zugrunde lag dieser Theorie, wofern sie Gültigkeit beanspruchen darf, die erst durch die Schule von Davis klar und konsequent durchgeführte Annahme, daß jeder Fluß die Erreichung freier Talwindungen auf welcher Grundlage immer anstrebe, ein Ziel, das meist erreicht worden war, wenn die Gegend zu einer Rumpffläche geworden ist.

Neuerdings ist in hervorragenden Hand- und Lehrbüchern der Morphologie²⁾ die von Davis³⁾ zuerst vertretene Ansicht ausgebaut worden, daß Talwindungen auch ohne Einsenkung von ursprünglichen Flußwindungen auftreten können, ja gewöhnlich im normalen Erosionszyklus einmal auftreten müssen. Der Fluß runde ursprüngliche unregelmäßige Richtungsänderungen durch Pendeln des Stromstriches zu und gleiche sie seiner Größe entsprechend immer mehr aus⁴⁾. Hierbei wird deduziert,

¹⁾ Die eingesenkten Flußwindungen, die Scheu l. c. beschreibt, aber als eingesenkte Mäander „im strengen Sinn“ nicht gelten lassen will, liegen in einem Gebiet mannigfachen Gesteinswechsels. Da hier die Bedeutung dieser Erscheinungen für den Zyklus untersucht werden soll, wobei möglichst einfache Voraussetzungen geboten sind, können die Ergebnisse von Scheu nur gelegentlich gestreift werden.

²⁾ a) Grundzüge der Physiogeographie von W. M. Davis und G. Braun, Teubner 1911, zitiert als D.-Braun. b) Die erklärende Beschreibung der Landformen von W. M. Davis, deutsch bearbeitet von A. Rühl, zitiert als D.-Rühl.

³⁾ Physical Geography etc. zit. als Davis.

⁴⁾ Der Vorgang ist mechanisch im einzelnen nicht erforscht. Die Ausbildung kleiner Krümmungen zu Windungen wird durch Vergrößerung derselben gedacht, während andere noch kleinere ganz verschwinden. Unter kleinen Krümmungen werden hier solche mit kleinem Krümmungsradius gemeint, also mit starker Krümmung, und umgekehrt. Ob diese Ansicht über die Ausbildung von Windungen auch gilt, wo zwischen kurzen geraden Laufstücken runde Knicke auftreten, ist eine Frage, die hier zugunsten der ganzen Theorie bejaht werden soll. Unter Krümmungen werden im Folgenden alle wenigstens streckenweise stetigen Richtungsänderungen mit beliebigem Krümmungsradius verstanden.

daß sich die entstehende Zurundung und Ausgleichung jener Krümmungen auch auf die Talrichtung übertrage, weil dadurch das Tal an den Prallstellen schöne Amphitheater der Gehänge erhalte, denen konvexe Sporne gegenüber entsprechen. Durch eine regelmäßig abwechselnde Asymmetrie der Talgehänge erhalte dieses einen gewundenen Lauf. Nach dieser Theorie hat das Streben des Flusses nach Erreichung freier Windungen schon frühzeitig große Erfolge in der Beseitigung der Unstetigkeiten der Richtung, daß er seine Windungen schon beim Einschneiden den Talgehängen aufprägt¹⁾.

Es ist nützlich, die zweifache Theorie der Talwindungen noch einmal in der Sprache der modernen amerikanischen Terminologie vorzuführen und näher zu beleuchten: Danach können Talwindungen im ungestörten Zyklus entweder einzyklisch (auf Grund einer beliebigen Urlandschaft mit regellos gekrümmten Senkungen), oder zweizyklisch (durch eingesenkte Windungen) entstehen.

Im ersten Falle erlangen sie eine ausgezeichnete Rundung, die den Maßen des Flusses mehr entspricht, erst nach Ausgleichung des Gefälles im Reifestadium, wenn die Anfänge einer ebenfalls gewundenen Talsohle angelegt werden. Unregelmäßige Krümmungen des noch sohlenlosen Tales sind im Gegensatz dazu ein Kennzeichen seiner Jugendlichkeit²⁾. Im zweiten Falle gehören wohlgerundete Bögen, die das Tal geerbt hat, bereits der Jugend des neuen Zyklus an, während die Voranlage ihrer Form dem früheren Zyklus entstammt, als der Fluß mindestens bis zur späten Reife gediehen war, d. h. auf breiter Talsohle mit freien Windungen dahinflöß.

Wie aber soll man in der Natur einzyklische von zweizyklischen Talwindungen unterscheiden? Hierüber wird in den genannten Werken³⁾ nichts gesagt. Daß in einem Fall die Windungen noch nicht dem Wasser-

¹⁾ Nach dieser Theorie würde sich ein beliebiges Gestein in einem Tale gegenüber dem Pendeln des Stromstriches auf die Dauer ebenso nachgiebig verhalten wie die Schottermassen weiter Akkumulationsflächen, welche das Mittelwasser der Flüsse stets nur um etliche Fuß überragen, und wo die Flüsse Mäander bilden. Hierbei bedeutet aber laterale Erosion bei Ausbildung und Verlagerung freier Windungen nichts anderes als die Umlagerung von Massen, welche die Flüsse selbst herangeführt haben.

²⁾ Die Umbildung der ursprünglichen Krümmungen in Windungen beginnt danach aber schon vor den ersten Spuren einer Talsohle. D.-Rühl nennt die Übergangsformen „Konsequente Windungen“.

³⁾ Umlaufberge werden nirgends ausdrücklich als Kennzeichen eingesenkter Mäander angesehen; es ist aber hervorzuheben, daß nur bei jenen Abschnitten der genannten Werke, die eingesenkten Mäandern gewidmet sind, in den Blockdiagrammen Umlaufberge eingezeichnet, bzw. im Text erwähnt werden. Vgl. Davis, S. 253 f. Abb. 162; Braun l. c. S. 207 ff. Abb. 85. Im Werke von Rühl kommt diese Erscheinung gar nicht zur Sprache.

haushalte des Flusses entsprechen, vorhandene Knickungen jugendliche Reste sind, daß im anderen die Windungen einem beim Einschneiden geänderten Wasserhaushalte entsprechen oder auch nicht, wenn nämlich Störungen neue Laufknicke verursachen, ist eine rein theoretische Verschiedenheit, solange die Beziehungen zwischen Wasserhaushalt und Windungen nicht genau bekannt sind.

Auch die Weiterentwicklung der gewundenen Täler bis zur Ausbildung einer breiten Talsohle ist nach Davis und seinen Mitarbeitern in beiden Fällen gleich: die Talabwärtsbewegung der Windungen und Prallstellen¹⁾ beseitigt die Sporne. Wohl ist theoretisch zu erwarten, daß bei einzyklischen Windungen auch nach Ausbildung der zunächst schmalen, gewundenen Talsohle die Fluß- und Talwindungen sich noch seitlich vergrößern, weil auch die Breite ihres Bandes dem Wasserhaushalte noch nicht ganz entspricht, während eingesenkte Windungen nach Ausgleichung des Gefälles diesem Ziele schon näher sind oder es gar erreicht haben. Aber dieser Unterschied wird in den genannten Werken gar nicht erst gemacht, und mit Recht. So spricht D.-Rühl²⁾ von der Verbreiterung der Moselmäander, welche er und D.-Braun als eingesenkte Windungen anerkennen³⁾. Und wenn gar D.-Braun bei dem Abschnitt über die einzyklische Talerosion als erlaubtes Beispiel für den frühesten Zustand der Talsohle, wo sie in Aufschüttungsstreifen am konvexen Ufer besteht, das Moseltal heranzieht, so ist der Schluß erlaubt, daß wir gegenwärtig und vielleicht immer einen Unterschied zwischen zweizyklisch und angeblich einzyklisch gewundenen Tälern an ihren Formen nicht entdecken können⁴⁾. Ja, es ist der Verdacht nicht von der Hand zu weisen, daß das ganze Beobachtungsmaterial für die Theorie einzyklischer Talwindungen den vielen Tälern entnommen ist, die bisher durch eingesenkte „Mäander“ sehr wahrscheinlich erklärt wurden, ohne daß die genannten Forscher irgend dieser Erklärung entgegengetreten wären.

Mit voller Schärfe erhebt sich vor uns die Frage, wieso neben eingesenkten (zweizyklischen) Talwindungen auch noch die Theorie der einzyklischen aufgebracht und auch noch als eine gewöhnliche Erscheinung des normalen, ungestörten Zyklus gelehrt werden konnte. Die Tatsache, daß „reife“ Gebirge wie der Steigerwald oder der Wiener Wald keine gewundenen Täler aufweisen, hat die Bedenken des Verfassers verstärkt.

¹⁾ Vgl. Davis, S. 241, Fig. 152. D.-Braun, S. 199, Abb. 80.

²⁾ S. 118.

³⁾ S. 158, S. 207.

⁴⁾ Es ist sehr bezeichnend, daß sich Behrmann in der genannten Arbeit, ohne zu Fehlschlüssen zu gelangen, bei Betrachtung eingesenkter Windungen auf jene Stellen im Werke von D.-Braun bezieht, die der einzyklischen Talentwicklung gewidmet sind.

3. Versuch einer erkenntnistheoretischen Begründung der Annahme einzyklischer Talwindungen.

Um die Aufstellung der neuen Theorie über die Talwindungen zu verstehen, muß man sich nun die Schwierigkeiten vor Augen halten, die einem begegnen, wenn man ihr jede Berechtigung absprechen wollte. Wer könnte ohne weiteres behaupten, daß es sich in jedem Falle, wo ein Tal wohlgerundete Windungen besitzt, nur um eingesenkte Mäander handle? Der Begriff und die Erklärung derselben stammen aus Gegenden, wo man sich bemühte, durch hochgelegene Talbodenreste, eventuell mit Schotterablagerungen, und ähnliche Gründe einen früheren akkumulierenden Lauf des Flusses in größerer Höhe nachzuweisen, und wo ein solcher Nachweis in den meisten Fällen auch gelungen ist. Gerade wer auf solche z. T. geologische Beweise großen Wert legt, wird umso weniger geneigt sein, in Gegenden, wo sie nicht erbracht wurden oder nicht erbracht werden können, die Möglichkeit einzyklischer Talwindungen glatt zu leugnen.

Für den Anhänger der modernen Zyklustheorie ergibt sich ein weiterer Grund, diese Haltung anzunehmen. Wie oft sieht man ein Tal mit folgender Anordnung der Formen: Im Oberlauf und an den Quellbächen zeigen sich unregelmäßige Laufkrümmungen und Knickungen der Talrichtung, im Mittellauf herrschen wohlgerundete Windungen, in denen Tal und Fluß übereinstimmen, während sich im Unterlaufe eine breite, mehr gestreckte Talsohle einstellt; mitunter wird der Übergang zu ihr durch zugeschrägte Talsporne eingeleitet, an deren Zerstörung talabwärts drängende Windungen arbeiten¹⁾. Vom Standpunkte der Zyklustheorie ist man angesichts solcher Erscheinungen von vornherein geneigt, die Formen des Unterlaufes als vorgeschrittenes Stadium jener des Mittellaufes anzusehen und — was hier zunächst interessiert — die Windungen des Mittellaufes als eine reifere Ausbildung der unregelmäßigen Krümmungen und Knickungen des Oberlaufes zu betrachten. Niemand aber wird behaupten, daß in allen Gegenden, die der obigen Beschreibung entsprechen, der Nachweis eingesenkter Mäander durch besondere Funde oder Beobachtungen in der Nachbarschaft erbracht werden kann. Der geringste Zweifel daran muß zur Aufstellung der einzyklischen Theorie führen.

Umgekehrt steht der ausschließliche Verfechter der zweizyklischen Theorie der Talmäander angesichts eines solchen Beobachtungsmaterials vor großen Schwierigkeiten, sobald er an der modernen Zyklustheorie festhalten will. Er muß die Talwindungen des Mittellaufes auf solche

¹⁾ Verfasser kennt solche Beispiele allerdings nur aus Gebieten, wo es sich wahr scheinlich nur um eingesenkte Mäander bzw. Windungen handelt.

des Flusses im früheren Zyklus zurückführen. Waren es freie Flußmäander auf breiter Talsohle, so stieß damals ein durchaus reifes Talstück hart an den ziemlich jugendlichen Oberlauf, in welchem es noch keine Talwindungen gab, wie aus den unregelmäßigen Knickungen nach der Neubelebung der Erosion im heutigen Zyklus hervorgeht. Wird aber angenommen, daß die heutigen Talwindungen im älteren Zyklus auf solche des Flusses zurückgehen, die, ohne eine Talsohle, selbst noch von regelmäßigen Windungen des Tales begleitet wurden, so ist die Entstehung von Talwindungen im älteren Zyklus zugegeben und damit die einzyklische Theorie derselben überhaupt. Denn es würde zu keinem Ziele führen, endlos auf noch ältere Zyklen zurückzugreifen, um diesem Schlusse aus dem Wege zu gehen. Auch wenn sich der hier angenommene Vertreter der zweizyklischen Theorie der Talwindungen deshalb für eine breite Talsohle des Mittellaufes im älteren Zyklus entscheidet, entgeht er diesem Dilemma nicht; er muß nämlich diese breite Talsohle anders erklären als die heutige im Unterlaufe, die ja offenbar aus einer gewundenen Talstrecke hervorgegangen ist, denn sonst gäbe er die Möglichkeit der gewundenen Talstrecke im älteren Zyklus zu, was ja wieder zur Anerkennung der einzyklischen Theorie der Talwindungen führt. Es gäbe da nur einen Ausweg, nämlich weit verbreitete moderne Gesichtspunkte aufzugeben, d. h. eine breite Talsohle nicht ohne weiteres als Kennzeichen für irgend ein Stadium des Zyklus anzusehen und sie anders zu erklären. Wohin diese Haltung in ihren Folgen führen muß, wird später erörtert werden. Jedenfalls ist die Aufstellung der einzyklischen Theorie der Talwindungen bei dem heutigen Stande der Morphologie etwas ungemein Verständliches.

Ihre Begründung in den Lehrbüchern stützt sich natürlich nicht auf den hier vorgeführten Versuch einer erkenntnistheoretischen Rechtfertigung, sondern auf die eingangs grob umrissene Ableitung des normalen Erosionszyklus im Sinne der Davis'schen Auffassung, die ja zugleich Voraussetzung der eben beendeten Ausführungen war. Die Meinung, daß es unter einfachen Voraussetzungen einzyklische Talwindungen gibt, geht nicht auf sichere Beobachtungen solcher in einzelnen Fällen zurück, deren genaueres Studium nur noch aussteht, sondern sie ist eine Folgerung daraus, daß solche in einem normalen Zyklus auftreten müssen, wenn es zu einer breiten Talsohle, dem Zeichen der Reife, kommen soll. Damit hat die oben aufgeworfene Frage eine allseitige Antwort erhalten. Bis nicht neue Beobachtungen ein Machtwort sprechen, läßt sich also die Theorie einzyklischer Talwindungen schon mit der Begründung bekämpfen, daß die gegenwärtig verbreitete Ableitung des normalen und ungestörten geographischen Zyklus mangelhaft ist, in dem Sinne, daß dabei weder Talsohlen als Zeichen der Reife zu entstehen brauchen, und wenn solche

vorkommen, daß dies oft nicht in der Weise erfolgt, wie es die erwähnten Werke lehren. Ein solcher Widerlegungsversuch bleibt theoretisch, auch wenn er sich auf Beobachtungen stützt, genau so, wie auch die Theorie von Davis auf Beobachtungen sich berufen kann, über deren Verwendbarkeit hier eben Zweifel aufgetaucht sind. Dies möge man sich bei den folgenden Ausführungen vor Augen halten. Es kann sich also zunächst nicht darum handeln, zu zeigen, daß einzyklische Talwindungen unmöglich sind, sondern nur, daß gegenwärtig zu ihrer Annahme im ungestörten Zyklus kein Anlaß vorliegt¹⁾. In jedem Falle können diese Überlegungen aber zur Überprüfung der Lehre von der Entwicklung der Täler dienen, die solche Windungen als Regel hinstellt. Die Art des Beobachtungsmaterials, das den Anstoß zu diesen Betrachtungen gab, zwingt mich, mit der zweiten Hälfte des Erosionszyklus zu beginnen von der Zeit an, da die Anfänge einer Talsohle sich zeigen. Weil ferner die völlige Ausbildung und Streckung einer Talsohle nach den hier zu prüfenden Theorien sowohl bei einzyklischen wie bei zweizyklischen Talwindungen keine Unterschiede aufweist, so ist damit eine Basis für Rückschlüsse auf die erste Hälfte des Zyklus gewonnen, die in jedem Falle brauchbar gemacht werden kann.

4. Die losen Flußwindungen und die Davis'sche Ableitung des Erosionszyklus.

Betrachtet man die Blockdiagramme und den Text in den Werken von Davis²⁾ und seiner Mitarbeiter, so findet man, daß die Flußwindungen an den Prallstellen fast bis zum Schluß in Fühlung mit den Gehängen bleiben, bis endlich nach Beseitigung des letzten Spornes eine breite und gestreckte Talsohle vorliegt, und diese regelmäßige Unterspülung der Gehängepartien nicht mehr stattfindet³⁾. Jedenfalls darf es nicht häufig oder dauernd zu einer Loslösung der Flüsse vom Gehänge kommen, wenn die Weiterbildung der vorerst noch schmalen Talsohle

¹⁾ Damit ist natürlich, wie schon erwähnt, nicht die Entstehung einzyklischer Flußmäander gelegnet, was ja widersinnig wäre, nachdem ihrer Ausbildung oft genug breite Talsohlen auch im einfachen Zyklus sich zur Verfügung stellen.

²⁾ Davis, S. 241, Fig. 152, übernommen in D.-Braun, S. 197, Abb. 79.

³⁾ Die Blockdiagramme von D.-Rühl (S. 54) berücksichtigen nach Ausbildung dieser Talsohle die Möglichkeit ungleicher Hoch- und Niederwasserrinnen. Davis, (S. 243) faßt auch den Fall der Flußverwilderung ins Auge, wenn der Fluß mit groben Schottern überladen] wird und auf der breiten Talsohle weiter aufschüttet. Der Hinweis von D.-Braun (S. 201) auf den Tagliamento scheint aber nicht dafür zu sprechen, daß die Autoren hier an eine normale Erscheinung denken, denn die Südalpenflüsse akkumulieren in einem Senkungsgebiet, wo sie vorher nicht im Anstehenden erodiert haben.

und ihrer Windungen nicht gefährdet werden und andere in dieser Theorie nicht vorgesehene Wege gehen soll. Wo eine Nichtübereinstimmung zwischen Fluß- und Talwindungen vorkommt, muß daher im Sinne der Davis'schen Theorie an eine Störung des Zyklus, z. B. durch abnorme Verminderung der Wassermasse, gedacht werden. Ich habe auf Exkursionen mit Davis häufig diese Argumentation gehört, die an sich durchaus folgerichtig ist. Es gibt nun zwei Grenzfälle von Flußwindungen, die ihr „festes“ Verhältnis zu den noch vorhandenen Talwindungen verloren haben und für die ich daher den Ausdruck „lose“³⁾ Windungen bzw. Mäander vorschlage. Der eine Hauptfall betrifft Gewässer, denen man ein „Schlottern“ in ihrem Tale nachsagt. Die Anzahl ihrer Windungen übertrifft um ein Mehrfaches jene des Tales. Manchmal erscheinen die kleinen Mäander im Grundrisse wie aufgereiht auf Windungen größeren Umfanges. In allen näher studierten Beispielen dieser Art konnte eine Störung des Zyklus durch plötzliche Herabminderung der Wassermasse wirklich nachgewiesen werden⁴⁾. Der Fluß, der in seinem Tale schlottert, hat wenig Aussicht, die vorhandenen Talwindungen umzubilden, was ja nur durch eine stellenweise Verbreiterung der für den Fluß ohnehin schon viel zu breiten Talsohle möglich wäre. Da sich der geschwächte Fluß dabei ganz frei bewegen kann, ist es angebracht, hier von losen Mäandern im neueren Sinne zu reden.

Der andere Hauptfall loser Windungen bedingt keine durchschnittliche Vermehrung der Flußwindungen gegenüber jenen des Tales. Die ersten übertreffen die zweiten auf kurzen Strecken höchstens um das Doppelte; dafür treten dann wieder Talstrecken auf, die so viele gerade und spitzwinklig zusammenstoßende Flußstücke enthalten, daß das Tal mehr Windungen aufweist als der Fluß, sobald man mit dem Ausdruck Windung die Vorstellung einer einigermaßen vollendeten Rundung verbindet. Wie diese Erscheinungen schon äußerlich von dem eigentlichen Schlottern eines Gewässers verschieden sind, so kann auch von Anfang an eine Erklärung durch Verminderung der Wassermenge nur als unwahrscheinlich bezeichnet werden. Direkte Beobachtung lehrt vielmehr, daß fast in allen solchen Fällen Aufschüttungen, besonders von der Seite her, die Windungen des Flusses außer Beziehung zu jenen der Talsohle bzw. der Gehänge gebracht haben.

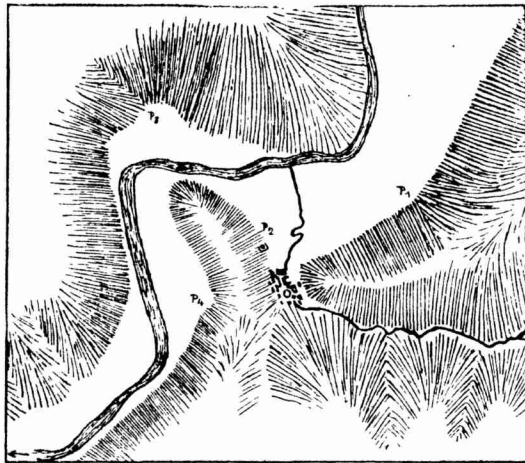
Einige Beispiele, die beliebig vermehrt werden könnten, sollen die Vorgänge klar machen, um die es sich hierbei eigentlich handelt. Sie sind

³⁾ „Lose“ sei eine Wiedergabe des Ausdruckes „misfit“ von Davis.

⁴⁾ Beispiele: Die Maas unterhalb Toul, der die Mosel durch Anzapfung verloren ging, oder die Altmühl, die unterhalb Dollnstein durch ein früheres Donautal hin-schlottert.

Tälern entnommen, wo sich nicht weit von den abgebildeten Erscheinungen „loser“ Flußläufe eine sehr schöne Übereinstimmung von Fluß- und Talwindung vorfindet, so daß allgemeine Ursachen, wie Verminderung

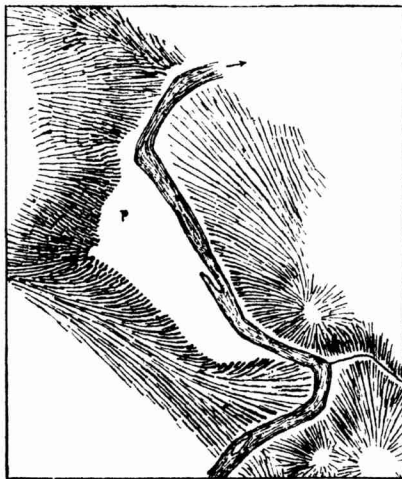
Abbild. 5



Marne bei Chézy.

P 1—4 = verlassene Prallstellen.

Abbild. 6



Zwickauer Mulde nördl. Wechselburg.

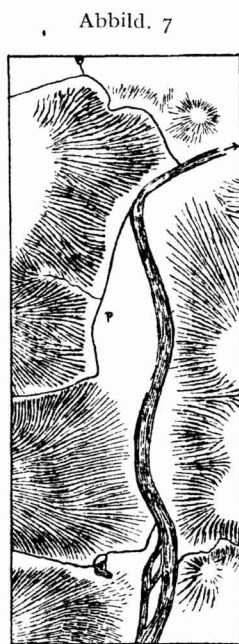
P = verlassene Prallstelle.

Ablagerungen, die mit Wiesen und Kulturen bedeckt sind. Es muß daher die Möglichkeit im Auge behalten werden, daß ein Fluß auch

der Wassermasse durch Klimaänderung usw. diesen lokalen Erscheinungen gegenüber ausgeschlossen sind. Das abgebildete Laufstück der Marne (Abb. 5) ist überdies durch die Anzapfung des Petit Morin in später Zeit verstärkt worden. Abb. 6 zeigt die Mulde zwischen Rochlitz und Wechselburg, deren Windung am Rochlitzer Berg durch die Aufschüttung eines kleinen Wildbaches eingedrückt wurde, so daß sie heute größtenteils durch eine gerade Laufstrecke ersetzt ist. Etwas

Ähnliches ist sicherlich an der Marne bei der Ortschaft Chézy selbst geschehen (Abb. 5). Nicht immer sind es aber seitliche Aufschüttungen, die den Boden vom Flusse verlassener Prallnischen bedecken. Solche Stellen zeigt z. B. die Marne bei P₁ und P₄ (vgl. Abb. 5). Hier fehlen seitliche Bäche, aber auch Gehängeutschungen kommen nicht als Ursache der Flußverdrängung in Betracht. Bei P₃ bilden dem steilen Prallhang entstammende grobe Kalkblöcke nur einen schmalen Saum am Gehängefuß und sind in größerer Entfernung bloß in einzelnen Stücken verstreut; ihre Unterlage sind dort feinere Ablagerungen, die mit Wiesen und Kulturen bedeckt sind. Es muß daher die Möglichkeit im Auge behalten werden, daß ein Fluß auch

ohne Einwirkungen seitlicher Rutschungen oder Bachaufschüttungen eine Prallstelle verläßt. Ohne weiteres verständlich ist dies bei einem Fluß, der akkumuliert. Er wird schließlich in der Nische des Prallhanges die Talsohle höher aufschütten als gegenüber. In einem solchen Falle genügt bereits eine geringe seitliche Schuttbewegung oder eine Bifurkation bei Hochwasser, um den Fluß aus seiner Bahn zu bringen, so daß er dem tieferen Teile der Talsohle gegenüber dem Prallhange zuströmt. Etwas Derartiges hat sich offenbar bei Penig an der Mulde vollzogen (Abb. 7). Der Fluß fließt heute mit entgegengesetzter Krümmung als zur Zeit, da er die westliche Erosionsnische am linken Abhang ausbildete, und hat bereits wieder den entsprechenden Vorsprung des Ostgehänges beseitigt. Daß ihn nicht der Seitenbach bei P durch seine Aufschüttungen verdrängte, ergibt ein Vergleich mit einem andern unterhalb mündenden Bache, der ohne Einwirkung auf die Richtung des Hauptflusses ist, ergibt vor allem die Tatsache, daß der Bach, der sich am Prallhange findet, gar nicht direkt zur Mulde fließt, sondern auf einem Umwege, indem er ein altes verlassenes Bett derselben benützt. Sowohl die Verdrängung des Flusses durch seitliche Massenbewegungen wie auch das Ausbrechen zur niedrigsten Stelle der Talsohle bei Hochwasser können also bewirken, daß er nun den gegenüberliegenden Gleichhang unterschneidet, besonders wenn er eine der früheren entgegengesetzte Konkavität erhalten hat. Auch dieses führt zu einer Verbreiterung der Talsohle, aber in anderer Weise, als es durch ungestörte schöne Mäanderbildung geschehen würde.



Zwickauer Mulde südwestlich Penig.
P = verlassene Prallstelle.

Die mitgeteilten Beobachtungen liefern folgendes Ergebnis: In gewundenen Tälern, welche eine Talsohle besitzen, die oft noch recht schmal ist, jedenfalls aber die Windungen des Tales mitmacht und noch weit entfernt ist von der Streckung und Breite des freien Mäanderbandes, sind also vom Flusse verlassene Amphitheater an der Stelle ehemaliger Unterschneidung und die Untergrabung von sanften konvexen Vorsprüngen an Stelle der Akkumulation an ihrem Fuß eine häufige Erscheinung¹⁾, häufiger vor allem als die Beispiele zugeschärfter

¹⁾ Beispiele liefern die Mosel, der Main, die Thaya und der Kamp in Niederösterreich, die Seine.

Sporne, die talabwärts rückende Mäander bedrohen. Dabei ist hervorzuheben, daß in allen solchen Fällen die schöne Ausbildung des konkaven Erosionsgehanges und die ausgeprägte wechselseitige Talasymmetrie den Beweis erbringen, daß die betreffenden Flüsse lange Zeit, vielleicht von Anfang an, imstande waren, ihre Windungen in Anschmiegun an die unterwaschenen Gehänge aufrecht zu erhalten, und daß sie währenddem aller seitlichen Anschwemmungen und Aufschüttungen Herr wurden, auch als es zur ersten Anlage einer Talsohle kam. Die überall nur streckenweise Ablösung der Flußwindungen von jenen des Tales erfolgte meist sehr spät. Wie weit es berechtigt ist, auf Grund solcher Erscheinungen die Ableitung des Erosionszyklus nach Davis und seinen Mitarbeitern zu bezweifeln, wird sich bald zeigen.

5. Grundzüge einer geänderten Ableitung des Erosionszyklus.

a) Nach Ausgleichung des Gefälles bei gewundenen Tälern.

Eine deduktive, aber auf vielen Beobachtungen beruhende Darstellung kann nie zwingend durch Beobachtungen widerlegt werden, die nicht dazu passen, sondern nur durch solche, die erlauben, eine andere Deduktion aufzustellen. Dies soll nun aus praktischen Gründen zunächst für die Weiterentwicklung eines Tales versucht werden, das nach Ausgleichung des Gefälles recht schöne, aber noch vergrößerungsfähige Windungen aus welchem Grunde immer erlangt hat. Es muß also beachtet werden, daß die nächsten Ausführungen vielleicht nur für Täler gelten, welche durch eingesenkte Flußwindungen entstanden sind. Aus der Fülle der stillschweigenden Voraussetzungen, die bei der Talentwicklung nach Davis gemacht wurden²⁾, soll hierbei auf diejenigen verzichtet werden, welche die erstaunliche, dauernde Harmonie zwischen Schutttzufuhr und Abtransport zur Folge haben, ohne welche die ganze Deduktion nicht möglich ist. Diese Harmonie kommt zeit- und stellenweise vor, wie die Beobachtungen lehren, denen die allbekanntesten Blockdiagramme entsprechen. Aber mindestens gleich häufig sind die im letzten Abschnitt hervorgehobenen Erscheinungen, und da sie weniger regelmäßig sind und weniger besondere Voraussetzungen haben, ist man im Recht, in ihnen das Gewöhnliche zu vermuten und zur Konstruktion eines Zyklus zu benutzen. Dafür wird eine andere Voraussetzung gemacht, daß es nämlich gewöhnlich keine Klimaänderungen und gleichwirkende Störungen des Zyklus sind, die das Losewerden der Fluß-

²⁾ Man betrachte nur genau die Blockdiagramme bei Davis (S. 241), bei D.-Braun (S. 197) und bei D.-Rühl (S. 45 u. 54). Ich finde im Gegensatz zu Passarge, daß solche Zeichnungen die Schwächen der vorgetragenen Theorie offener verraten als der Text.

windungen verursacht haben¹⁾. Diese Voraussetzung enthält nichts Gewagtes. Wenige Lebensjahre eines Menschen belehren ihn, daß bei gleichbleibendem Klima in den Tälern weder die seitliche, oft gewaltsame Schuttzufuhr noch der Wechsel zwischen Hoch- und Niederwasser ausbleiben. Wir lassen diese um mit Davis zu reden, „in das Schema des Zyklus eintreten“²⁾.

In einem bereits ziemlich gleichmäßig gewundenen Tale sei die Tiefenerosion vor kurzem erlahmt. Die laterale ist dann an den Prallstellen weiter tätig und erzielt zunächst lokale Verbreiterung der Talsohle, die am gegenüberliegenden Ufer liegt. Da der nicht einfache Fall eines bei langsamer Hebung „reif geborenen“ Tales hier außer acht bleibt, so haben im selben Zeitraum, der das Erlahmen der vertikalen Erosion und die Ausgleichung des Gefälles brachte, die Gehänge ihre größte relative Höhe über den Fluß erlangt, ein Umstand, der diesem die seitliche Schuttzufuhr von besonders großen Flächen sichert. In den Prallstellen unterwäscht er aber diese Gehänge und verleiht ihnen eine jugendliche Steilheit, die mindestens lokal eine beschleunigte Zufuhr der bedeutenden Schuttmassen vorbereitet, wenn es nicht geradezu zu kleinen Bergstürzen kommt. Es geht also an vielen Stellen eine jedesmal wachsende Gefahr seitlicher Belastung mit einer durch die Vergrößerung der Windungen bedingten Abnahme der Transportkraft des ausgeglichenen und noch weiter an Gefälle verlierenden Flusses Hand in Hand. Eine mäßige Rutschung kann aber bei weiterer Abnahme der Transportkraft des Flusses bereits zu einer Eindrückung seiner Windungen führen. Wohl noch gefährlicher können ihnen die Gerölle seitlicher Bäche werden. Ihre Tiefenerosion dauert ja länger als die des Hauptflusses. Dieser wird aber von der seitlichen Einmündung abwärts nur durch die Wassermasse, nicht aber auch durch das Gefälle des Seitenbaches verstärkt, daher kann er dessen Gerölle mindestens nicht so rasch, als sie kommen, beseitigen. Dazu kommt nun an Prallstellen der Umstand, daß der lateral erodierende Hauptfluß ständig daran arbeitet, den Lauf des Seitenbaches zu verkürzen, d. h. dessen mittleres Gefälle zu vergrößern. Wirkt dem nicht die Erniedrigung oder Verlängerung des Seitenbaches in seinem Quellgebiet entgegen, so steht hier der erlahmenden Transportkraft des

¹⁾ Damit ist nicht gesagt, daß die Täler, denen das Beobachtungsmaterial entstammt, nicht wirklich eine Klimaänderung erlebt haben, es ist nur angenommen, daß dieser Umstand ebensowenig den Ausschlag für die Formen gab, wie bei den Tälern, welchen die Beobachtungen entstammen, auf die sich die Davis'sche Ableitung stützt.

²⁾ In den eingangs genannten Hand- und Lehrbüchern werden Bergstürze und lokale Schuttanhäufungen bei der Talbildung nur gelegentlich erwähnt, aber ein Einfluß derselben auf den Zyklus wird nicht in Betracht gezogen.

Hauptflusses eine wachsende, mindestens aber eine gleichbleibende Belastung mit Geröllen gegenüber. Nun kann er, solange ihm eigene Schotter vom Oberlauf her nicht fehlen, der Gefahr, die seine Windungen in den Prallstellen bedroht, entgehen, indem er oberhalb der Störung durch seitliche Belastung aufschüttet, sein lokales Gefälle vermehrt und so noch manchmal die Hindernisse beseitigt. Dadurch erhöht er jedoch die Talsohle in den Prallnischen über ihr ursprüngliches Niveau an dem konvexen Gehängefuß. Ein Hochwasser entführt ihn dann leicht zu jenen tieferen Teilen des Talgrundes, während die verlassene Prallstelle feine Aufschüttungen zeigt, die den Flußspiegel nun überragen. Die Folge aller dieser Vorgänge wird eine streckenweise Geradlegung des Flusses, an anderen Stellen eine der früheren entgegengesetzte Konkavität sein. Bildet sich diese zur Windung aus, dann wird der Sporn gegenüber der ursprünglichen Prallstelle unterschritten und so lange verkürzt, bis sein steil gewordener Abfall die neue Windung ebenso bedroht, wie früher der steile Prallhang. Dabei hat die Talsohle eine lokale Verbreiterung gewonnen.

Faßt man die Entwicklung bis hierher knapp zusammen, so ergibt sich also das folgende: Seitliche Belastung des Flusses wird nach Ausgleich des Gefälles immer mehr dazu führen, daß die Vergrößerung der Windungen ins Stocken gerät. Dieser Gleichgewichtszustand zwischen lateraler Erosion und dem seitlichen Druck wird aber nicht dauernd stabil bleiben. Und zwar wird die neuerliche Vergrößerung der Windungen immer seltener, ihre Eindrückung und Ablenkung immer häufiger werden.

Die Weiterentwicklung des Tales, das dabei über eine schwach gewundene Talsohle von mäßiger, aber wechselnder Breite nicht hinausgekommen ist, kann nun in zweifacher Weise erfolgen, je nachdem der Fluß größer oder kleiner ist, mehr oder weniger Gerölle führt. Bleibt er stark genug, so daß er in den verschiedensten Teilen der Talsohle bald rechts bald links seitliche Behinderung durch eigene Aufschüttungen überwindet, Gehängeschutt und seitliche Bachgerölle vertragen und ausbreiten kann, so wird eine Schottersohle entstehen, die vor Amphitheatern der Gehänge nicht höher liegt als am Fuße verkürzter Sporne. Dadurch gewinnt der Fluß immer mehr Raum zu freieren Windungen, die schließlich auch eine breite, gestreckte Talsohle mit echten Mäandern ausarbeiten. In diesem Falle wird sich dieses Davis'sche Merkmal später Reife also wirklich einstellen, wenn auch auf viel weniger regelmäßige Weise wie in den Blockdiagrammen seiner Werke. Es kann aber auch geschehen, daß der Fluß, der ja einen Teil seiner Masse an das in den Aufschüttungen sich sammelnde Grundwasser verliert, dadurch zu schwach wird — ein bisher nicht beachteter Umstand — und sich schließlich infolge der Anhäufungen von beiden Seiten nicht mehr weit von der

schwach gewundenen Talmitte entfernen kann. Dann wird die Talsohle immer schmaler, die Asymmetrie der Gehänge gleicht sich langsam aus und ihr Fuß schiebt sich mit sanften Schuttböschungen immer näher an den Fluß. Ein Muldental¹⁾ mit sanft gewundenem Verlauf wird als Endergebnis der Flußerosion der Verflachung des Alters übergeben; und wenn sich hinreichend feine Anschwemmungen einstellen, so bleibt der Flußlauf wenigstens in der Form schlotternder Wiesenmäander in der Mitte des Tales gewunden. Der Begriff der „späten Reife“ ist also zweideutig.

Es war möglich zu zeigen, daß sogar aus einem gewundenen Sohlental auf ganz normale und ungestörte Weise ein weniger gewundenes Muldental werden kann, weil die Flußwindungen, obgleich schon deutlich vorhanden, verändert oder wieder zerstört wurden. Es war auch möglich zu zeigen, daß trotz dieses Umstandes in anderen Fällen ein breites gestrecktes Sohlental entstehen kann, selbst wenn sich der Fluß mehr durch unregelmäßiges Hin- und Herstoßen Ellenbogenfreiheit schafft, als durch die Vergrößerung und Talabwärtsverschiebung der mäanderähnlichen Windungen.

In der hier vorgebrachten Ableitung besaß das Tal bereits vor der Entstehung der Talsohle Windungen, die sich während ihrer Ausbildung noch vergrößerten. Angesichts des späteren Schicksales dieser Windungen drängt sich die Frage auf, ob ein Tal, das aus irgendwelchen Gründen an Stelle solcher Windungen, wie sie hier abgebildet werden, nur unregelmäßige Krümmungen besitzt, die Fortbildung derselben durch den Fluß noch erlangen könne während der Zeit zwischen der Ausgleichung des Gefälles und der Anlage einer durchlaufenden Talsohle. Ist nicht vielmehr zu erwarten, daß dies durch Massenbewegungen ebenso verhindert wird, wie die vorhandenen Windungen der besprochenen Täler vorzeitig zerstört werden? Die Ableitung des Zyklus nach Davis nimmt dies nicht an. Soweit sich aus ihr eine Antwort entnehmen läßt, ist es müßig, diese Fragen aufzuwerfen. Denn jedes normale Tal hat danach eben schon vor Ausgleichung des Gefälles an Stelle der regellosen Urkrümmungen regelmäßiger Windungen erlangt²⁾, mindestens haben jene eine Annäherung an die spätere Form freier Windungen erreicht. Daher ist im Sinne dieser Anschauung zur Zeit der Gefällsausgleichung die Bildung von Talwindungen schon eingeleitet gewesen und braucht während der Anlage der Talsohle nur vollendet zu werden, was auch gewöhnlich eintrete.

¹⁾ Ich halte die von Passarge zur Bezeichnung einer morphologischen Reihe im Sinne der Entwicklung der Täler eingeführten Ausdrücke „Kerbtal, Sohlental, Muldental“ für sehr glücklich gewählt. Ihr Wert wird sich im Laufe dieser Untersuchung noch öfter zeigen.

²⁾ Nach D.-Rühl (S. 56) scheint es, als ob dies nur für den Fall angenommen wird, daß die seitliche Erosion während des Einschneidens die Tiefenerosion stark übertrifft.

b. Ableitung eines Erosionszyklus bis zur Gefällsausgleichung.

Wir gehen daher zu einer Gesamtableitung des Zyklus über, in der die Wichtigkeit der Massenbewegungen weder für die Zeit kräftiger Tiefenerosion, noch für den fraglichen Zeitraum bis zur Ausbildung einer schmalen Talsohle vernachlässigt wird: Ein einschneidender Fluß erodiert an den Prallstellen seiner ursprünglichen Krümmungen nicht senkrecht in die Tiefe, sondern schräg abwärts in der Richtung, die aus dem gleichzeitigen Betrage der seitlichen und Tiefenerosion hervorgeht. Nehmen wir zunächst ein festes Gestein an, so werden an den Prallstellen Überhänge entstehen, und sich längere Zeit halten¹⁾. Häufig sieht man sie in den Klammern der Alpenflüsse. Erfahrungsgemäß halten sich diese Formen nur, wo die Tiefenerosion die seitliche gewaltig überwiegt. Größere Überhänge von 135° Neigung, d. h. 45° im Lichten, wie sie bei gleich rascher Erosion seitwärts und in die Tiefe auftreten könnten, sind nicht bekannt geworden. Alle Überhänge sind aber vergängliche Gebilde. Jeder plötzliche Einsturz auch nur größerer Teile derselben, wie er nicht ausbleiben kann, vernichtet nicht nur die erreichte Vergrößerung der jugendlichen Krümmung, er verstopft auch einen großen Teil des Kanons, und da die unterwaschenen Massen auch seitwärts fallen, verlegen sie oft genug das gegenüberliegende nicht überhängende Schluchtgehänge in der Form, daß der Fluß eine der früheren entgegengesetzte Krümmung erhält, die er sofort seitwärts in die Tiefe schneidet. So entsteht ein umgekehrter Überhang am anderen Ufer, während gegenüber auch das alte Sturzmaterial beim Tiefereinschneiden langsam beseitigt wird. Die häufige Erscheinung bauchiger Vorsprünge eines Schluchtgehänges, dem eine Höhlung des anderen im Aufriß entspricht, bezeugt diese Untereinanderschaltung von erst nach der einen, dann nach der anderen Seite ausgebildeten Überhängen im selben Talquerschnitt. Die Ausbildung unregelmäßiger Krümmungen zu Windungen wird aber auch bei einem weniger festen Gestein stets wieder unterbrochen oder zerstört, das nur mäßige Überhänge verträgt, die rascher einstürzen. Die Krümmung hat dann eben erst eine geringere Vergrößerung erfahren, zu deren Zerstörung bzw. Verschüttung auch geringere Massen genügen. In jedem Falle spielt die Verlegung der seitlichen Erosion von einem Flußufer auf das andere eine wichtige Rolle, die den Fluß zwingt, anstatt die Vergrößerung einer Krümmung fortzusetzen, im tieferen Niveau gegenüber von vorne anzufangen, bis dort sich

¹⁾ In den Blockdiagrammen von Davis bleiben sie sogar bis zum Ende der Tiefenerosion bestehen und werden dann beseitigt, ohne daß dies die Laufrichtung des Flusses ändert.

dasselbe noch einmal ereignet. Aber selbst in diesem bescheidenen Maße ist gewöhnlich die Entstehung von Talwindungen, die noch weit von der Form freier Mäander entfernt sind, unterbunden. Wo Überhänge auch nur zeitweise auftresen, fallen grobe Blöcke in den Fluß auch schon vor dem allgemeinen Einsturz an der Prallstelle. Wilde Wirbel und Unstetigkeiten des Fließens bestimmen den Stromstrich, wenn überhaupt von einem solchen geredet werden kann, wo das Wasser noch über die Blöcke schäumt, die in seinem Bette liegen oder seitlich daran vorbeischießt. Mag eine vorhandene Laufkrümmung noch viel kleiner sein als die freie Windung, welcher der Fluß zustrebt, sie ist sehr oft noch zu groß für die scharfen Kurven der Wasserwirbel. Wenn diese lateral erodieren, so entstehen die oft stark überhängenden Kolke, die als seitliche Höhlen den Fluß begleiten. Ein Block rollt einige Meter fort und dies genügt, um den Kolk auf der Konkavseite der Gehänge außer Bearbeitung zu setzen, während ein neuer die Konvexität der Gegenwand unterbricht. Solche Erscheinungen finden sich auch bei Flüssen mit fast ausgeglichenem Gefälle, wenn es sich um ein festes Gestein handelt¹⁾. Und von einem gewundenen Tal ist noch keine Rede, wenn schon dieses ein Merkmal der „Reife“ erreicht ist.

Bevor wir aber weiterschreiten, betrachten wir die jugendliche Talentwicklung unter der Annahme eines viel weniger festen Gesteins, das beim Zusammenwirken der seitlichen und Tiefenerosion an Prallstellen ursprünglicher Krümmungen überhaupt keine Überhänge erträgt. Sollen wir annehmen, daß die ununterbrochene Massenzufuhr, die an Stelle der Überhänge nur die Ausbildung steiler Neigungen von etwa 45° bis 90° erlaubt, stets hinter der allerdings noch großen Transportkraft des jugendlichen Flusses zurückbleibe? Gewiß nicht. Rutschungen und kleine Bergstürze sind auch hier öfter zu erwarten, die zu zeitweiser Verbauung solcher jugendlicher Täler und Akkumulation oberhalb führen. Eine solche Verbauung drängt dem Flusse fast immer eine der früheren entgegengesetzte Krümmung auf, deren Fortbildung beim Neueinschneiden dieselben Gefahren läuft, wie die von der Rutschung bedeckte. Da solche Täler ohne Überhänge in der Jugend bei Prallstellen einen steil V-förmigen, wenn auch asymmetrischen Querschnitt haben, so entsteht oberhalb der zeitweisen Barre eine Aufschüttungsfläche, die breiter als das Flußbett

¹⁾ Ich denke an den Bach des Eggentales in Tirol und an den Loup in den Meeralpen, auch die Salzach darf erwähnt werden; obwohl eigentlich nur noch ein kleiner Teil der Tiefenerosion seit der Eiszeit nötig ist, damit das Gefälle sich ausgleiche, herrschen im Paß Lueg die berühmten Erscheinungen jugendlicher Erosion allein. Dabei waren durch eine glaziale Stufe die idealen Bedingungen des Zyklus: rasche Hebung und dann feste Erosionsbasis ganz gut vertreten.

ist, und solange sie nicht beseitigt ist, hat der Fluß eine gewisse Bewegungsfreiheit, sodaß beim augenblicklich verminderten Gefälle auch eine kleinere seitliche Schutt- und Geröllzufuhr ausreicht, vorhandene Krümmungen des Laufes zu ändern bzw. ihre Weiterbildung zu Windungen auszuschalten; denn der Fluß schneidet nach Beseitigung aller Aufschüttungen vielleicht auf eine längere Strecke nicht in der alten Form ein. Jede Rutschung verändert natürlich die Gehängeböschungen. Diese sind zunächst bei einem Gestein, das keine Überhänge aushält, an Prallstellen bis zum oberen Talrand hinauf asymmetrisch, so daß auch dieser Krümmungen erlangt, welche jenen des Flusses entsprechen. Ihre Ausbildung zu Talwindungen ist aber auch dann bedroht, wenn es dem Fluß nach einer Rutschung gelingt, an der alten Prallstelle weiter schräg in die Tiefe zu arbeiten¹⁾. Der Steilhang, der hier durch die laterale Unterschneidung entsteht, nimmt im Gegensatz zu den ganz ursprünglichen Verhältnissen nur die unterste Gehängepartie ein, darüber folgt das abgeböschte Rutschungsgehänge. Wenn der Fluß durch die Massenbewegung an die von Haus aus flachere Konvexeite des Gehänges gedrängt worden wäre, würde der dort entstehende Steilabbruch in ähnlicher Weise von einem flacheren Gehänge überragt. Unter ungünstigeren Umständen als das erstmal setzt nach jeder Rutschung die Erosion seitwärts in die Tiefe an den Prallstellen der Krümmungen ihr Werk fort. Jede seitliche Unterschneidung beraubt viel größere Massen des Widerlagers als früher. Auch bevor daraus eine neue Massenbewegung wird, gelangen von den vergrößerten Gehängen Schuttmassen in den Fluß, der zugleich wegen der Tieferlegung seines Bettes an Gefälle verliert. Es erhebt sich nun die Frage, wie seine Kraft noch mit der Schuttfuhr Schritt halten kann. Die Gefahr, daß ihn Rutschungen von Prallstellen abdrängen und zu zeitweiser Akkumulation in dem nun schon offeneren V-förmigen Tal zwingen, wächst mit allen ihren Folgen. Als früher der Steilhang der Prallstellen, ein durch fortgesetzte Zerstörung im Keim erstickter Überhang, bis zur flachen Uoberfläche reichte, ahmte das ganze Tal die Krümmungen des Flußlaufes nach, die freilich noch keinen Windungen glichen. Nun nach zahlreichen Rutschungen ist dies nicht mehr der Fall, bevor nicht jede neu erodierte Steilböschung das flachere Gehänge darüber durch Rückwärtsverlegung aufgezehrt hat. Der größeren Arbeit, die hierzu zu leisten ist, steht aber die größer gewordene Gefahr neuerlicher Massenbewegungen gegenüber. Jedenfalls ist es unwahrscheinlich, daß diese Verteilung des ganzen Gehänges an der Prallseite gelingt. Und selbst in den Fällen, wo es vorkommt, wird die dem Tale vom Fluß aufgezwungene Krümmung weiter Zeit brauchen, um sich zur regelmäßigen Windung zu

¹⁾ Nur bei sehr kleinen Rutschungen, die das Bett des Flusses verengen, nicht aber die Lage des konvexen Ufers ändern, ist dies denkbar.