

BERICHTE UND KLEINE MITTEILUNGEN

ÜBER ALTER UND BILDUNG
VON TALMÄANDERN

C. Troll

Mit 4 Abbildungen und 1 Kartenbeilage

Age and development of meander valleys

Summary: An analysis of research work, executed over the last two decades, on the problem of meanders shows the great advance made towards an understanding of the formation of "free meanders" (i. e. meanders formed by a river approaching base level). Particularly important in that respect was experimental work, notably that carried out by the U. S. Waterways Experimental Station in Vicksburg. This analysis shows on the other hand that the explanation of entrenched meanders (meander valleys) is still too much under the influence of the cycle theory of *W. M. Davis* according to which entrenched meanders are derived as „inherited meanders“ from free meanders on plateaux. In addition research workers were much concerned to find single factors that were responsible for meander formation and some of these factors were even used for a classification of meander valleys into groups such as "Gesteinsmäander" (lithologically conditioned meanders) or "Kluftmäander" (meanders conditioned by structural weaknesses). In contrast investigations of the geomorphological development of the valley sections where meanders occur were neglected.

The meander valleys which were formed during the Pleistocene period can only be understood when studied in conjunction with the complete climatic and tectonic evolution and Pleistocene landscape development as a whole. Among the items to be considered are: climatic changes, relationship between precipitation, run-off and evaporation, soil formation, fluvial deposition and erosion, and eustatic changes of the sea level. For an illustration of this point the body of the author's own research on meanders of Alpine rivers (Inn, Alz, Lech, Ticino, Rhine) formed after the climax of the Würm glaciation during the stage of dissection of the sheets of outwash material, is drawn upon, as well as the work of *Elisabeth Kremer* who investigated anew the "classic" meanders of the middle Mosel (Moselle) valley. In the Inn valley (Fig. 1) it is shown how, after the formation of the fluvio-glacial gravel sheet, deposited at the height of the Würm glaciation, during the retreat of the ice, dissection took place in a strictly regular sequence whilst the relationship between down-cutting and side erosion was reversed. The first stage was the formation of "Trompetentäler" (trumpet-shaped valleys) whose banks decrease in height downstream and whose flood plains widen and finally grade into more recent gravel fans; as the second stage followed the formation of "Gleitmäander" (slip-off meanders) which, by pronounced down-cutting power, occurred in the upper parts of the gravel sheets of still considerable gradients. The valley section where meanders were found gradually migrated downstream and in each case gradated into a trumpet-shaped valley. The meanders of the Inn are consequently not inherited free meanders, but valley meanders which were formed, while considerable downward cutting and side erosion took place, as a result of adjustment after deposition of the fluvio-glacial gravel sheets with their steep longitudinal profiles. They thus illustrate a climatic, not a tectonic, cycle.

This type of fluvio-glacial meander formation during the Late-glacial period can be shown to have taken place also on the gravel sheets of the Alz, Lech, and Ticino rivers (Fig. 2). The meanders of the Rhine at Mannheim

and Worms (Fig. 3) are also such valley meanders – though their incision is less pronounced – which were formed when the river changed from depositing the *niederterrasse* (low terrace) to the Late-Pleistocene period of erosion.

The meanders of the Mosel belong to the type of meander valleys of the Hercynian massifs of Middle and Western Europe, formed in the course of a longer Pleistocene valley development (Map 6). Of the 6 gravel terraces of the Mosel, 5 are derived from the climatically conditioned depositions in the periglacial climatic zones of glacial periods (Günz, Mindel, Riss I, Riss II, Würm), only one is due to tectonic movements. The wide gravel terrace of the Mosel deposited during the Mindel glacial period shows that meander formation had not yet begun. It commenced with the climatic change after the height of the Mindel glaciation due to combined downward and side erosion, the force of which was increased by the tectonic uplift during the Mindel-Riss interglacial period. The following three glacial periods interrupted the normal development of these erosion meanders by depositions. This change over from periglacial deposition to Late-glacial erosion is of decisive importance also for other meander valleys of Middle and Western Europe.

Die Erscheinung der mäandrierenden Flüsse und Flußtäler ist schon von Männern wie Lionardo da Vinci, Goethe und Kant beachtet worden. In wissenschaftlicher Weise beschäftigen sich mit ihnen seit Jahrzehnten Geomorphologie und Hydrostatik, noch zahlreich im 19. Jahrhundert (*A. C. Ramsay, de Margerie*), systematisch seit der Jahrhundertwende, besonders unter dem Einfluß von *W. M. Davis*. Das Verständnis der Mäander ist durch Geländestudien an speziellen Beispielen und im Überblick größerer Gebiete, durch deduktive Ableitungen, mathematisch-physikalische Interpretation, Auswertung von Karten und auch durch Experimente wertvoll gefördert worden, aber eine befriedigende Erklärung des gesamten Phänomens ist noch nicht erzielt.

1. Fortschritte der Forschung in den letzten 20 Jahren

Vor 20 Jahren haben unabhängig voneinander *H. Flohn*¹⁾ und *K. Masuch*²⁾ in Dissertationsarbeiten versucht, neue Gesichtspunkte für die Entstehung mäandrierender Täler durch einen Überblick über große Teile Mitteleuropas zu gewinnen, was *J. Hol*³⁾ veranlaßte, in Fortführung früherer Arbeiten in den Ardennen das Problem der Talmäander nochmals zur Diskussion zu stellen. *F. Hjulström*⁴⁾ kartierte die Verbreitung der Flußmäander in Schweden und versuchte, aus ihrem Auftreten bzw. Fehlen auf ihre Bildungsbedingungen zu schließen und in einer tiefgründigen Diskussion in die hydromechanischen Voraussetzungen des Mäandrierens einzudringen. *G. Imamura*⁵⁾ ging auf Grund von Kartenstudien den Beziehungen zwischen dem Gefälle, der Breite des Mäandergürtels und der Wasserführung der Flüsse nach. Ohne Kenntnis dieser Arbeit hat ähnliches *S. Morawetz*⁶⁾ durch den Vergleich von Flußgefälle, Wassermenge und Schwingungswerte der Mäander an einigen Flüssen des Donauraumes versucht. *P. Macar*⁷⁾ studierte die Wirkung von Mäanderabschnürungen auf das Längsprofil der Flüsse. *M. Pardé*⁸⁾ machte auf die ganz verschiedenen Vorgänge im Niedrigwasser-

und Hochwasserbett von freien Mäanderflüssen aufmerksam.

Die experimentellen Forschungen gingen von Flußbaulaboratorien aus, die sich mit dem Strombau zur Bekämpfung der Überschwemmungen und zur Schiffbarmachung der Flüsse beschäftigten. Im Flußbaulaboratorium der Technischen Hochschule Karlsruhe, wo im Zusammenhang mit der Flußkorrektur der verwilderten und mäandrierenden Strecken des Oberrheins schon früher grundlegende Forschungen über Erosion und Schotterführung von Flüssen angestellt worden waren, haben *H. Wittmann* und *P. Böß*⁹⁾ die Wasserbewegungen in gekrümmten Flußstrecken weiter untersucht. In viel größerem Umfang wurden dann Mäanderexperimente in der U. S. Waterway Experimental Station in Vicksburg am unteren Mississippi ausgeführt. *J. F. Friedkin*¹⁰⁾ hat darüber ausführlich berichtet. Man legte die Versuche so an, daß man an einem künstlichen Flußbett von 15—45 m Länge Gefälle und Fließgeschwindigkeit, Wassermenge und Zusammensetzung des transportierten Materials beliebig ändern konnte. Man bekam klare Einblicke in die komplexen Zusammenhänge von Gefälle, Wassermasse, Menge und Korngröße der Sedimente, Form des Flußbettes, Strömungsgeschwindigkeit und Erosionskraft — zwar ohne die Möglichkeit, exakte Formeln und Gesetze aufzustellen, aber immerhin ausreichend, um die Wirkungen und Gegenwirkungen der verschiedenen Faktoren qualitativ zu verstehen. Die Experimente sind um so wichtiger, als parallel damit eine großzügige Erforschung des unteren Mississippi durchgeführt wurde, sowohl der heutigen Dynamik des Stromes als der geologischen Verhältnisse der Alluvialebene, die er durchfließt. Diese Untersuchungen sind in zwei reich ausgestatteten Werken von *N. H. Fisk*¹¹⁾ niedergelegt, worüber *H. Baulig*¹²⁾ ausführlich berichtete. Ohne Zweifel sind diese Arbeiten zusammengenommen das Wichtigste, was bisher überhaupt über die Grundlagen des Mäanderproblems induktiv gearbeitet wurde. Allerdings handelt es sich dabei nur um das freie Mäandrieren eines Wasserlaufes in einer aus losen Sedimenten aufgebauten Ebene.

Viel komplizierter ist die Problematik bei den eingesenkten oder Talmäandern, die alle eine gewisse geologische Geschichte durchlaufen haben. Abgesehen von den genannten Arbeiten von *Flohn*, *Masuch* und *Hol* haben sich in den letzten 20 Jahren verschiedene Forscher in Deutschland, Frankreich und den USA mit ihnen beschäftigt, z. B. *J. Blache* in Lothringen¹³⁾, *K. Mathias* im Saartal¹⁴⁾, *E. Kremer* am Beispiel des mittleren Moseltales¹⁵⁾, *J. Leighly* im Colorado-Plateau¹⁶⁾ und *R. J. Wright* in Nordkarolina¹⁷⁾.

Den vollständigsten Überblick über den gegenwärtigen Stand der Mäanderfrage hat zuletzt *H. Baulig*¹⁸⁾ gegeben. Er teilt seinen Bericht in vier Teile, wobei er noch immer von dem Entwicklungsschema des Mäanderzyklus nach *W. M. Davis* ausgeht und dann die Kapitel „Freie Mäander“, „Mathematisch-physikalische Interpretation“ und „Eingesenkte Mäander“ folgen läßt. Ein Punkt, der dabei fast völlig übergangen wird, ist die zeitliche Einordnung der Mäandertäler in die junge Erdgeschichte, die auch für die Frage der Genese von Mäandern entscheidend sein kann.

2. Die Nachwirkung der Davisschen Zyklen- und Vererbungslehre

Bis vor kurzem war die Erforschung der Talmäander hauptsächlich von zwei Fragestellungen beherrscht, die bis zu einem gewissen Grade doch den Blick für die Vielfalt des ganzen Phänomens trübten:

1. die Frage, ob die Talmäander aus freien Talmäandern hervorgegangen sein müssen, also in einem Zyklus vom freien über den eingesenkten wieder zum freien Mäander hineingehören, wie es zuerst *A. C. Ramsay* und dann *W. N. Davis* und seine Schüler angenommen hatten; 2. die Frage, welche einzelnen Faktoren für das Auftreten oder Fehlen von Mäanderstrecken an einem Flußlauf verantwortlich zu machen sind. Was die Vererbung der Mäander anlangt, meinte *W. Behrmann*¹⁹⁾ daß eingesenkte Mäander nur durch Tieferlegung von freien Mäandern der Plateau- und Ebenenflüsse entstehen können, allerdings mit zwei Ausnahmen, nämlich bei „Härtmäandern“, die von einer widerständigen Gesteinsbank in einem sonst nicht mäandrierenden Fluß erzeugt werden, oder bei „aufgezwungenen Mäandern“, die durch Schwemmkegel von Seitenflüssen hervorgerufen sind. *J. Hol* vertrat noch 1938²⁰⁾ die Ansicht, daß alle wirklichen Talmäander in irgendeiner Weise als vererbte Mäander, also zweizyklischer Entstehung aufzufassen sind. Zur Illustrierung dieser Auffassung hat man immer und immer wieder die schematische Blockdiagrammserie wiedergegeben, mit der *W. M. Davis*²¹⁾ die Entwicklung eines solchen Zyklus von freien Talwindungen über eingesenkte Gleitmäander zu freien Talbodenmäandern veranschaulicht hat. Es konnte sich aber schon frühzeitig im Schichtstufenland SW-Deutschlands die Erkenntnis durchsetzen, daß die Talmäander sich auch erst während der Eintiefung des Tales bilden können. *E. Scheu*²²⁾ kam zu dieser Erkenntnis im Gebiet von Kocher und Jagst schon 1909, *J. Schad*²³⁾ bald darauf an der oberen Donau und *G. Wagner*²⁴⁾ für das ganze Stufenland. *Schad* hatte sogar erklärt: „Eingeschnittene Mäander können niemals ihren Grund in freien Mäandern haben. Es fehlt jeder kausale Zusammenhang zwischen ihnen.“ Auch anderwärts wurde die Erfahrung gemacht, daß sich Talmäander erst während des Einschneidens gebildet haben (*J. L. Rich*²⁵⁾, *R. Engelmann*²⁶⁾). In der vorliegenden Arbeit werden eindeutige Belege beigebracht, daß die Mäander, die bei der Zertalung eiszeitlicher Schotterfelder entstehen, keine Voranlage auf diesen Schotterfeldern hatten, sondern sich erst mit dem Einsetzen der Tiefenerosion herausgebildet haben.

3. Die bedingenden Faktoren

Der größte Teil der bisherigen Literatur über eingesenkte Mäander geht den Einzelfaktoren nach, die für das Auftreten mäandrierender Talstrecken verantwortlich sind. Dabei müssen wir aber heute erkennen, daß die Feststellung, daß ein bestimmter Zustand oder ein bestimmter Faktor an einer bestimmten Stelle oder in einem bestimmten Flußabschnitt ausschlaggebend ist, keine Verallgemeinerung für das Mäandrieren an sich oder für die Bildung

von Talmäandern zuläßt. Selbst die Feststellung *A. Hettners*²⁷⁾, daß reißende Flüsse der Mäander entbehren, oder die *Hjulströms*²⁸⁾, daß Mäander nur bei Flüssen von Ebenen mit geringem Gefälle vorkommen, haben keine allgemeine Gültigkeit. Man braucht nur an die einwandfreien Mäander von Flüssen des Alpenvorlandes zu denken. Auch so allgemeine Vorstellungen wie die, daß „die Mäander in der Hauptsache ein Gleichgewicht zwischen Erosion und Akkumulation darstellen“ (*W. Wundt*²⁹⁾, oder daß beim Mäandrieren ein bestimmtes Verhältnis von Seiten- und Tiefenerosion herrsche, können gegenüber der Vielfalt der Naturwirklichkeit nicht standhalten. Die erste Feststellung mag für die freien Mäander gelten, die zweite für die Gleitmäander. Wenn *O. Lehmann*³⁰⁾ als entscheidende Voraussetzung für die Bildung von Talmäandern ein gewisses Verhältnis von Tiefen- und Seitenerosion fordert, wobei die Tiefenerosion verzögert werde, so ist das wohl eine richtige Wiedergabe der in den meisten Gleitmäandertälern herrschenden Verhältnisse. Wir werden aber am Inn einen Fall kennenlernen, wo gerade umgekehrt mit dem Erlahmen der Tiefenerosion (räumlich und zeitlich gesehen) auch die Mäandrierung verschwindet. Die reinen Zwangsmäander sollen gerade durch den Mangel an Seitenerosion ausgezeichnet sein. Doch ist mir persönlich ein solcher Fall bisher nicht begegnet; die Seitenerosion ist nur gelegentlich durch Gesteinswiderstand stark vermindert. Sehr viel ist über den Zusammenhang der Mäanderbildung mit dem Gesteinsuntergrund geforscht worden. *E. Scheu* (a. a. O.) und *A. Vacher*³¹⁾ erkannten den Einfluß abwechselnder harter und weicher Schichten von horizontaler Lagerung im Schichtstufenlande und *Flohn* hat sich systematisch mit der Unterscheidung „mäanderbildender Gesteine“ beschäftigt. Weiter gehören hierher die Wirkung von Klüftung, Streichen und Fallen der Gesteine auf die Formung von Mäandertälern, schließlich auch von tektonischen Krustenbewegungen auf dem Wege über die Veränderung des Gefälles und des Belastungsverhältnisses. Es ist aber wohl eine Verwechslung von causa und conditio, wenn *Flohn* schreibt, daß manche „Gesteine imstande sind, Talmäander zu erzeugen“, oder auch, daß Kluftrichtungen Talmäander erzeugen, die er „Klüftungsmäander“ nennt. Es handelt sich dabei doch nur um modifizierende Faktoren.

Dies wirft die Frage nach dem Wesen der Mäander auf. *H. Flohn* definiert sie als „mehrfach wiederkehrende, anscheinend gesetzmäßige Windungen eines Flusses oder Tales“. Dabei ist der Standpunkt verlassen, daß die Ursache des Mäanderphänomens beim fließenden Wasser selbst zu suchen ist, worauf *F. Hjulström*³²⁾ mit Recht hinweist. Die beste Definition der Mäander erscheint mir daher mit *Baulig* die von *R. H. Mahard*³³⁾: „Windungen, die in ihrem Wesen auf die Tätigkeit des Flusses zurückgehen.“ Solche Windungen können ausnahmsweise auch einzeln auftreten, z. B. als Härtemäander an einem das Tal querenden Felsriegel, während nicht jede Folge von Flußkrümmungen Mäander darstellen muß, wie z. B. Krümmungen, die ein Flußtal in Anpassung an wechselnde Kluftrichtungen annimmt.

4. Terminologie und Klassifikation

Die noch herrschenden Unklarheiten über die Voraussetzungen der Mäanderbildung wirken sich auch in einer noch unvollkommenen Klassifikation aus. Allgemein anerkannt ist die Unterscheidung von freien Mäandern und Talmäandern. Für freie Mäander (*Méandre libre*, M. de rivière, M. de plaine alluviale) werden auch Ausdrücke wie Flußmäander, bewegliche Mäander, Wiesenmäander und Auemäander gebraucht. Der Begriff Aufschüttungsmäander ist abzulehnen, ebenso wie *Méandre divagant*. *M. Pardé* will auch den Begriff *Méandre libre* durch „M. à uebordement“ ersetzt wissen. Das Wort Talmäander (*Méandre de vallée*) scheint der einzige allgemein anerkannte Ausdruck für Mäander zu sein, die derart in ein Tal eingeschnitten sind, daß das Tal die Krümmungen des Flusses mitmacht. *A. Philippson*³⁴⁾ setzt ihm den Begriff „Eingesenkter Mäander“ (*M. encaissé, enclosed Meanders*) gleich und unterscheidet davon zwei Typen, die Zwangsmäander mit symmetrischen, auf beiden Seiten gleich steilen Talhängen und Gleitmäander mit dem Wechsel von Prall- und Gleithängen. Dabei ist bei *Philippson* der Zwangsmäander gleichbedeutend mit „vererbtem Mäander“ (*Méandre hérité*; soll heißen: durch Tiefenerosion aus einem freien Mäander hervorgegangen), während die Gleitmäander sich erst während des Einschneidens herausgebildet hätten. *J. Hol* beschränkt den Begriff eingesenkter Mäander auf die als vererbt angenommenen Zwangsmäander *Philippsons*. Diese Auffassung geht zurück auf *J. L. Rich*, der zwischen „*Intrrenched meander valley*“ (= Zwangsmäandertal) und „*Ingrown meander valley*“ (= Gleitmäandertal) unterschied. Ein Sonderfall liegt vor, wenn ein Mäandertal ein asymmetrisches Gefälle hat, aber umgekehrt mit steilem Hang an den Innenseiten der Windungen. Dieser von *Behrmann* ursprünglich (1912) als Zwangsmäander bezeichnete Fall wird heute, auch von ihm selbst, mit dem Namen „*Streckmäander*“ belegt³⁵⁾. Von den Talmäandern zu unterscheiden sind die „*Talbodenmäander*“ *Philippsons*. Es handelt sich dabei um breite, nicht gewundene Talböden, auf deren Boden sich freie Mäander winden. Sie wurden von *Davis* als das Endglied der Entwicklung von Talmäandern aufgefaßt, doch wissen wir heute, daß sie auch auf andere Weise entstehen können. Es gibt auch Mäandertäler, die von mehr oder weniger breiten Terrassen begleitet sind, in die hinein erst die Talmäander sich eingesenkt haben. Sie werden von *J. Hol*³⁶⁾ als „*Terrassenmäander*“ bezeichnet und neben die eingesenkten, vererbten und die Gleitmäander gestellt. *Flohn* schließlich glaubt, bei der Einteilung der Talmäander von vornherein auch den Einfluß des Gesteins als genetisch bestimmend in den Vordergrund stellen zu müssen, und unterscheidet „*Vererbte Mäander*“ (mit Gleitform, Zwangsform und Streckform), „*Gesteinsmäander*“ und „*Strukturmäander*“ (z. B. Klüftungsmäander).

5. Genetische Mäanderforschung — Talmäander und Quartärgeschichte

Über der Frage nach den die Mäander bedingenden Einzelfaktoren hat die Forschung lange Zeit die Ent-

wicklungsgeschichte dieser Talstrecken vernachlässigt. Die Geschichte unserer Mäandertäler ist ein Stück junger Erdgeschichte, im wesentlichen der Quartärzeit. Es muß daher Aufgabe der Mäanderforschung sein, die Talmäander im Rahmen der gesamten Dynamik des Quartärs, im Wechsel von Klima, Wasserhaushalt, Tektonik, Bodenbildung, fluvialer Aufschotterung und Erosion zu betrachten, sie in die Landschaftsgeschichte einzuordnen. Als *Flobn* und *Masuch* ihre Arbeiten schrieben, standen die tektonische Struktur und die Krustenbewegungen im Vordergrund, aber für die Heranziehung der quartären Klimaschwankungen für die Flußerosion außerhalb des Vergletscherungsbereichs war die Zeit noch nicht ganz reif, obwohl damals die Arbeiten *Soergels* über die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion schon längst vorlagen.

Ich selbst wurde bei meinen Quartärstudien im Alpenvorland bereits in den Jahren 1922/26 auf Voraussetzungen der Mäanderbildung aufmerksam, die in die damaligen, noch ganz von der Lehre *Davis'* beherrschten Auffassungen über die Mäander sehr schlecht paßten. Sie haben auch seither in die Diskussion über die Mäander nicht Eingang gefunden. Man befaßte sich in Mitteleuropa bisher vor allem mit zwei Typen, den Mäandertälern in den Rumpfschollengebirgen der Herzynischen Massive (Harz, Rheinisches Schiefergebirge, Ardennen, Böhmisches Massiv) und in den Tälern der Schichtstufenlandschaften von Schwaben und Lothringen. Im Umkreis der Alpen aber handelt es sich um die Bildung von Talmäanderstrecken bei der Zerschneidung der fluvioglazialen Schotterfelder.

Später wurde ich in der deutschen Mittelgebirgsschwelle, an Elbe, Saale, Weser, Rhein und Donau mit den Terrassenverhältnissen im periglazialen Bereich Mitteleuropas vertraut. Die Terrassenmäander in den Tälern der Mittelgebirgsflüsse und an deren Austritt in die Ebenen erinnern in manchem an die Verhältnisse im voralpinen, fluvioglazialen Bereich, nur haben sie sich über einen längeren Zeitraum des Quartärs entwickeln können. Die im Rahmen der Periglazialforschung reifenden Gedanken und Arbeitshypothesen waren schließlich die Veranlassung, eine Neubearbeitung des klassischen Mäandertales der Mittelmosel und der Heranziehung der gesamten Erfahrungen der Periglazialforschung anzuregen. Diese Arbeit wurde von *Elisabeth Kremer*³⁷⁾ ausgeführt und vor kurzem veröffentlicht. Die vorstehenden Ausführungen sollen die Diskussion über die Frage der Talmäander um die Erfahrungen der Glazial- und Periglazialmorphologie bereichern. Der Arbeit *Kremer* ist auch die diesem Aufsatz beigegebene Karte der Terrassen der Mittelmosel (Beilage 6) mit Erlaubnis der Verfasserin entnommen.

6. Die spätwürmzeitlichen Mäander des Inntales in Oberbayern

Eines der schönsten und durch die reiche Folge klar angeordneter Terrassen lehrreichsten Mäandertäler stellt das Innthal in Oberbayern von seinem Austritt aus der Jungmoränenlandschaft bei Gars bis Mühldorf dar. In meiner Monographie des diluvialen Inn-Chiem-

see-Gletschers³⁸⁾ und in der beigegebenen geomorphologischen Karte habe ich diese Terrassen im Maßstab 1:100 000 wiedergegeben. Zwei Jahre später bin ich in einer weiter ausgreifenden Studie über die Schotterfelder im Umkreis der Alpen nochmals auf die voralpinen Mäandertäler zu sprechen gekommen³⁹⁾. Durch die Fortsetzung der Terrassen in die Moränenlandschaft und ihre Verknüpfung mit dem sich zurückziehenden Eisrand ließ sich auch eine genaue zeitliche Einordnung der Terrassen und damit der Mäanderentwicklung vornehmen. Wie ich am Inn und an anderen alpinen Vorlandgletschern nachgewiesen habe, ist die ganze Zertalung der würmzeitlichen Niederterrassenfelder bis fast auf die Sohle der heutigen Täler nicht gleichmäßig in der Postglazialzeit erfolgt, sondern schon sehr frühzeitig während des Eisrückzuges der großen Vorlandgletscher zum Alpenrand. Die Mäandertäler haben sich also im Verhältnis zu denen der Mosel und anderer Täler des Mittelgebirges, deren Ausgestaltung sich über mehrere Eiszeiten erstreckte, in sehr kurzer Zeit herausgebildet. Entscheidend für die Theorie der Mäander ist der Zeitpunkt der beginnenden Mäandrierung und die damit erfolgte völlige Veränderung im morphologischen Verhalten des Flusses. Beides läßt sich an den hinterlassenen Formen und Ablagerungen mit großer Klarheit festlegen.

Das Niederterrassenfeld am Inn, das sog. Wurzelfeld von Gars, ist nach dem Vorbild rezenter Sander von einem dichten Netz verwilderter, sich ständig verzweigender und seitlich verlagernder, schuttüberlasteter Wassergerinne vor den Moränen des würmzeitlichen Eisrandes aufgeschottert worden. Es zeigt alle Eigenschaften der Niederterrassenfelder und der Übergangskegel in klassischer Weise. Die Aufschotterung von der Sohle des Riß-Würm-interglazialzeitlichen Inntales bis zur Oberfläche der Niederterrasse betrug mindestens 90 m. Die Niederterrasse setzt mit einem Gefälle von 8—12 ‰ an den Jungmoränen an und flacht sich bis in die Gegend von Mühldorf auf etwa 3 ‰ aus. Entsprechend der Entstehung aus verwilderten, aufschotternden Wasserläufen sind die Steilhänge, mit denen die Niederterrassenfelder an das höhere Gelände grenzen, nicht von Mäanderbögen unterschritten, sondern relativ geradlinig, im Falle des Niederterrassenrandes gegen die Hochterrasse südlich Mühldorf und Neuötting sogar auffallend geradlinig. Wie an allen derartigen Schotterfeldern begann die Zertalung sofort mit dem Einsetzen des Eisrückzuges und zwar in der Form, daß von dem hinter die äußerste Moräne zurückgegangenen Eisrand aus an einzelnen Stellen die Schmelzwasser durch die Endmoränen hindurch ihren Ausweg fanden. Auf dem Schotterfeld von Gars geschah das an zwei Stellen, über dem heutigen Innaltaustritt bei Gars und 6 km südöstlich davon südlich Kirchreit. In dem vorher übersteil aufgeschotterten Niederterrassenfeld konnten diese nunmehr in feste Bahnen gesammelten Schmelzwasser sofort ihre Erosion beginnen. Das geschah in Form der sog. Trompetentälchen, d. h. Tälchen, deren Talboden sich abwärts trichterförmig erweitert, während die Talränder niedriger werden und schließlich ganz ausklingen. Das Trompetentälchen von Kirchreit ist in allen Einzelheiten erhalten. Unmittelbar am Moränen-

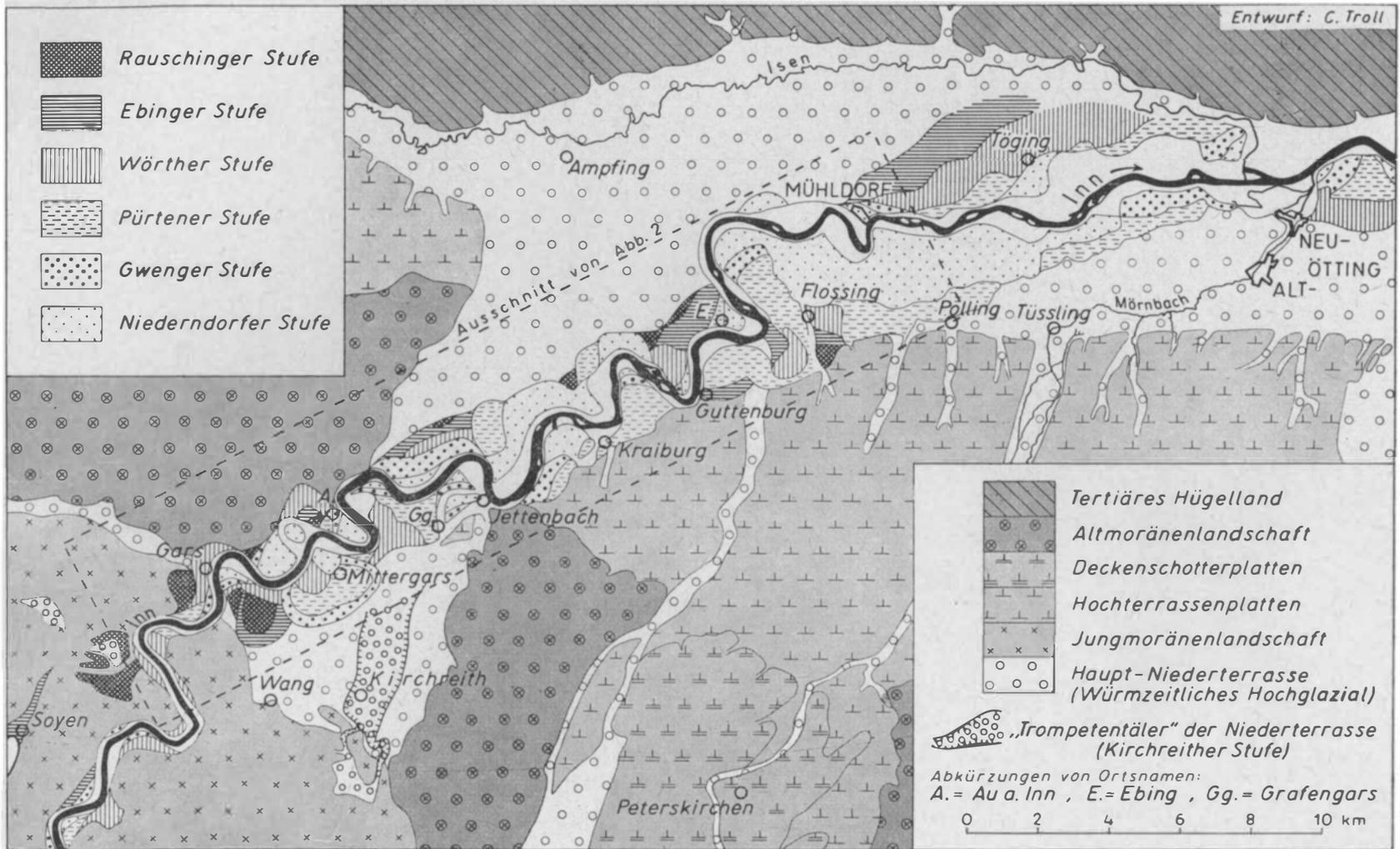


Abb. 1

Die Mäander und Schotterterrassen des Inn zwischen Gars und Neuötting

rand nach seinem Durchbruch ist es 16 m tief in die Niederterrassenebene eingeschnitten und 350 m breit, 4 km weiter nördlich südöstlich Mittergars verläuft es in einer Breite von etwa 1600 m völlig in der Niederterrassenebene (vgl. Abb. 1). Wie ich 1926 dargestellt habe, geht an diesen Stellen die Hohlform der Trompetentälchen in die Vollform von Schwemmkegeln über, die sich über das Hauptniederterrassenfeld gelegt haben (Terrassenüberkreuzung). Ein ähnliches Trompetental muß in der Gegend von Gars bestanden haben, wo es durch die Seitenerosion des Inn bei der Bildung der jüngeren Terrassen entfernt wurde. Z. Z. der Kirchreiter Stufe lag also das Hauptniederterrassenfeld bereits trocken, und die in den Trompetentälern gesammelten Wasser schnitten sich darin unter gleichzeitig starker Seitenerosion ein — ein Vorgang, den man heute als „Tieferschalten“ bezeichnet (H. v. Wißmann⁴⁰), und schufen ein neues Gleichgewichtsprofil, das flacher ist als das der Niederterrasse. Bei genauer Betrachtung erkennen wir übrigens, daß das Kirchreiter Trompetentälchen in seinem steilsten Teil unmittelbar nach seinem Austritt aus den Moränen bei Furth und Herbstham südlich Kirchreit bereits Mäander einzuschneiden begann. Hier hatten die Wasser — in ein festes Bett gezwungen — genügend lebendige Kraft, um bei einem Gefälle von 8—10 ‰ die Schotterlast zu transportieren und gleichzeitig in die Tiefe und in Mäanderprallhängen nach der Seite zu erodieren. Diese Kraft erlosch etwas weiter abwärts bei dem geringer werdenden Gefälle. Die Folge war eine geringere Tiefenerosion, aber stärkere Seitenerosion und Unterschneidung, wodurch nicht mehr einzelne Prallhänge entstanden, sondern die geradlinigen Uferhänge, die trichterförmig auseinander-treten, bei einem Gefälle der Sohle von 4—5 ‰. 4 km weiter nördlich war das Gefälle soweit verringert, daß die Schmelzwasser zur reinen Aufschotterung übergehen mußten, um in verwildertem Lauf den zugehörigen Schotterkegel aufzubauen.

Die jüngeren Schotterkegel auf der Niederterrasse sind auch dafür verantwortlich zu machen, daß der Rand des Niederterrassenfeldes, der Steilhang, mit dem das tertiäre Hügelland entlang der Isen zwischen Ampfing und Neuötting gegen die Niederterrassenebene abfällt, zu einer einzigen, über 20 km langen Uferkonkave umgestaltet ist. Auch andere Niederterrassenfelder (Münchener Ebene, Ledfeld, Welscherheide, Oberrheinebene u. a.) zeigen dasselbe und erheben die Erscheinung in den Rang der Gesetzmäßigkeit. Erst durch diese Schotterkegel sind die Saumflüsse dieser Ebenen an den Fuß der Steilhänge gedrängt worden, in unserem Fall die Isen auf der Strecke von Ampfing bis zu ihrer Mündung. Wir wollen diese weitgeschwungenen Steilhänge, die nicht mit den Prallhängen von in die Tiefe und nach der Seite erodierenden Mäandern verwechselt werden dürfen, sondern genetisch auf die Seitenerosion der die großen Schotterkegel aufschüttenden Wasser zurückgehen, als „Talrandbogen“, in diesem Fall als fluvio-glaziale Talrandbogen bezeichnen.

Das Kirchreiter Tälchen wurde trockengelegt, als mit dem Rückzug des Eises hinter die zweite Endmoräne seine Wasserzufuhr erlosch. Von diesem Moment an sammelte der Inn die gesamten Schmelzwasser der

Moränenlandschaft, um sie über Gars auf das Schotterfeld zu leiten. Die weitere Entwicklung zeigt uns in allen Einzelheiten das Inntal von Gars bis Mühlendorf. Es folgen darin untereinander die sechs Schotterterrassen, die in die Literatur als Rauschinger, Ebinger, Wörther, Pürtener, Gwenger und Niederndorfer Stufe eingeführt sind. Als Ergänzung zu dem Kartenbild Abb. 1 sind in Abb. 2 durch Rekonstruktion des jeweiligen Innlaufes die Stadien wiedergegeben, die der Inn in dieser Zeit durchlaufen hat. An der Isar bei München hat sich zur gleichen Zeit das System der Trompetentäler und der ihnen entsprechenden Schotterkegel erhalten⁴¹). Jede jüngere Talstufe bildet ein Trompetental, das geringeres Gefälle hat und weiter abwärts endet, so daß ein System ineinandergeschachtelter Trompetentäler entsteht. Am Inn mit seiner viel größeren Wasserführung hat sich diese Form der Zertalung abgewandelt und unter starker Bildung von Talmäandern (Gleitmäandern) vollzogen. Die Mäanderstrecke reicht flußabwärts heute bis Mühlendorf, wo der Inn ziemlich plötzlich einen gestreckten Lauf annimmt^{*)}. Die Rauschinger Stufe bildete oberhalb und unterhalb von Gars drei scharf geschwungene Talmäander, deren Prallhänge teilweise erhalten sind und die Rekonstruktion (Abb. 2) ermöglichen, dann aber von Au am Inn abwärts ein Trompetental mit ziemlich gerade verlaufenden Rändern, das südlich von Mühlendorf auf die Hauptniederterrasse ausläuft. Zur Zeit der Ebinger Stufe hatten sich diese Mäander von Gars soweit entwickelt, daß an der Stelle, wo heute der Bahnhof Gars liegt, die erste Mäanderabschnürung erfolgte, wodurch in der Eichenau ein Umlaufberg entstand, der von den Schottern der Rauschinger Stufe gekrönt ist. Das Trompetental der Ebinger Stufe reicht weiter flußabwärts. Sein nördlicher Talrand läuft nördlich Mühlendorf in Richtung auf Erharting am Isenbach auf das Niveau der Hauptniederterrasse aus. Für die nächst tiefere Wörther Stufe erhalten wir ein Inntal mit Gleitmäandern bis in die Gegend zwischen Au und Grafengars. Zu dieser Zeit fand eine zweite Mäanderabschnürung statt, durch die der Umlaufberg von Reischleiten bei Au mit seiner nach außen abfallenden Terrassentreppe entstand. Das nicht gewundene Trompetental begann jetzt etwas weiter abwärts bei Grafengars. Es läuft auf die Hauptniederterrasse erst bei Töging unterhalb Mühlendorf aus. In der folgenden Pürtener Stufe gab es offenbar eine Mäanderabschnürung unterhalb Jettenbach, zur Zeit der Gwenger Stufe wurde der große herrliche Mäanderbogen südlich Grafengars abgeschnitten und der Terrassen-Umlaufberg westlich dieses Ortes geschaffen, der von der Wörther Stufe über die Pürtener Stufe in das Määndertälchen von Meilham herabführt. Zur Zeit der Niederndorfer Stufe gab es noch zwei letzte Abschnürungen oberhalb Au und bei Jettenbach.

*) Einen stark gekrümmten Lauf hat auch das Inntal oberhalb Gars. Es handelt sich dabei aber nicht mehr um echte Mäander, die auf die Aktivität des Flusses selbst zurückgehen, sondern um Krümmungen, die dem Inn bei seinem Durchbruch durch die Endmoränen aufgezwungen wurden. Nach Flohns Klassifizierung wären sie den Kluftmäandern vergleichbar und als Endmoränen-Durchbruchsmäander zu bezeichnen. Nur die isolierte Innschleife von Wasserburg am Inn ist wieder ein echter Mäander.

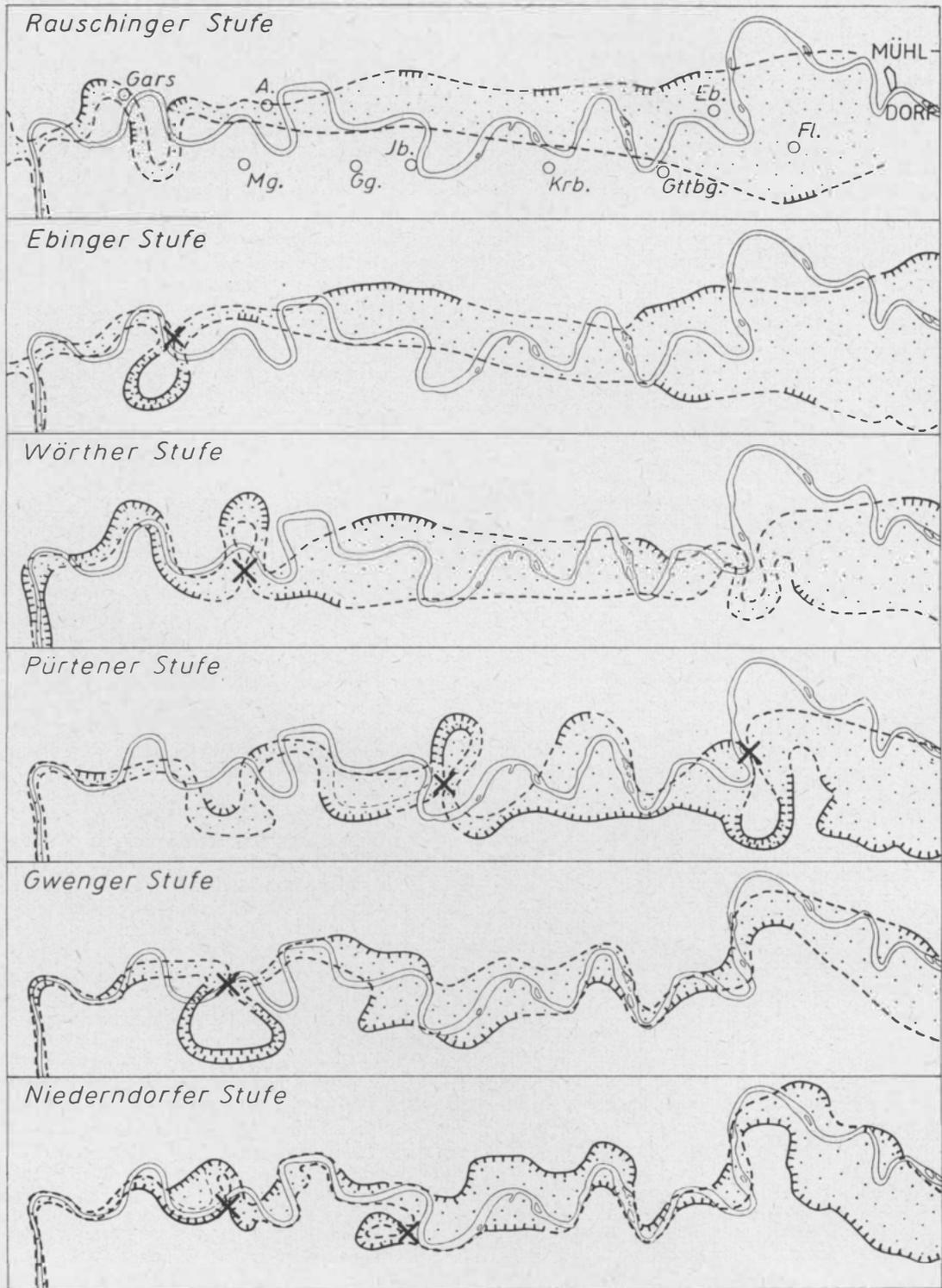


Abb. 2 Rekonstruktion der spätquartären Talentwicklung des Inn
zwischen Gars und Mühdorf

Eine Komplikation erfährt dieses Bild nur dadurch, daß der Inn auf der Trompetentalstrecke zwischen Kraiburg und Mühldorf seit der Zeit der Wörther Stufe ein Engtal zu passieren hatte. Der sich dort nach rechts verlagernde Fluß drängte gegen die aus widerständiger Nagelfluh gebildete rißzeitliche Hochterrasse von Malseneck (oberhalb Guttenburg), die er nicht so leicht untergraben konnte, wie die lockeren Niederterrassenschotter. Den nur 400 m breiten Durchlaß passieren alle Terrassen von der Wörther Stufe abwärts. Diese Talenge von Malseneck, auf die bereits *W. Koehne*⁴²⁾ hingewiesen hat, ist anscheinend dafür verantwortlich zu machen, daß sich talabwärts ein Mäandertal ausbildete, das zur Zeit der Pürtener Stufe zu einer weiteren Abschnürung eines Mäanderhalses führte (Terrassen-Umlaufberg des Spitzbrand zwischen Ebing und Flossing). Die Bildung dieser Mäander erklärt sich wohl daraus, daß durch die Behinderung der Seitenerosion bei Malseneck das normale Belastungsverhältnis in dem sich tiefer schaltenden Innbett verändert wurde und zwar zugunsten einer verstärkten Tiefenerosion mit Prallhangbildung. Daraus ist in der Folgezeit auch der Innmäander unterhalb Ebing mit der größten Amplitude von 4 km entstanden. Die Zunahme der Schwingungswerte der heutigen Innmäander von Gars bis Mühldorf von 1,2 auf 3,4 km ist gesetzmäßig und hängt mit der Abnahme der Tiefe und der folglich leichteren Erodierbarkeit der seitlichen Talhänge zusammen. Die Tiefe des Inntales, von der Niederterrasse aus gerechnet, verringert sich von Gars, wo sie 90 m beträgt, auf 25 m bei Neuötting. Unterhalb Mühldorf erreichen die Innmäander ihr Ende. Die Terrassen, soweit noch weiterlaufend, ziehen mit gestreckten Rändern über Neuötting in Richtung Braunau, wobei von Süden die mit stärkerem Gefälle ausgezeichneten Flüsse und Niederterrassen der Alz und Salzach einmünden, die das Bild komplizieren. Der zu diesem jüngeren Trompetental des Inn gehörende Aufschotterungskegel ist die Pockinger Heide, in der großen Talweitung des Inn vor seinem Eintritt in das Urgebirge beim „Schärddinger Trichter“ gelegen. Im Gegensatz zu den Talmäandern des Inn enthält die Karte Abb. 1 auch ein schönes Beispiel von freien Flußmäandern. Es ist der Lauf der Isen, der dem Nordrand des Niederterrassenfeldes gegen den Steilhang des tertiären Hügellandes von Ampfing ab folgt. Den Schottern des Ampfing Feldes sind dort die aus Abschlämmprodukten des Hügellandes gebildeten Lehm- und Tonböden aufgelagert. In ihnen fließt die Isen gleichsohlig mit schönen Wiesenmäandern, begleitet von verlassenen Flußschlingen.

Für das Mäanderproblem hat uns das spätglaziale Innthal eine Reihe von wichtigen Tatsachen geliefert. Die Talmäander des Inn sind Gleitmäander (im Sinne von *J. Hol* auch als Terrassenmäander zu bezeichnen), die in das lockere und durchlässige, wenn auch standfeste Schottermaterial eingeschnitten sind. Die Mäander sind nicht vererbte Flußmäander, denn die Mäanderbildung setzte erst in dem Moment ein, wo die Aufschotterung des Niederterrassenfeldes durch verwilderte Flußläufe abgelöst wurde von der sehr energien-

schen Tiefenerosion der gesammelten Schmelzwasserrinne des Inn. Sie begann zunächst im allersteilsten oberen Teil, wo die Tiefenerosion am größten war, breitete sich von dort schnell flußabwärts aus und erreichte ihr Ende mit der Ausflachung des Tales bei Mühldorf. An die Zone der Mäanderbildung mit starker Tiefen- und Seitenerosion schloß sich jeweils ein breiteres Schotterbett mit sich trompetenartig erweiternden und dabei niedriger werdenden Talrändern an. In der Trompetentalstrecke erfolgte bei geringer Tiefen-, aber größerer Seitenerosion das Tiefschalten der Talsohle. Wo die Tiefenerosion der Trompetentalstrecke zu Ende ging, begann der Fluß seine Schotter weiterhin auf der Niederterrasse in Schwemmkegeln aufzuschütten. Diese spätglazialen Schotterkegel auf der Niederterrasse schufen durch ihre starke Seitenerosion weit geschwungene fluvioglaziale Talrandbogen. Das ganze System verschob sich vom Rand der Moränen aus abwärts, bis das steile Aufschotterungsprofil der eiszeitlichen Niederterrasse wieder ausgeglichen war. Man könnte von einem klimamorphologischen Zyklus sprechen. Aus allem geht klar hervor, daß das Mäandrieren im Tal ein Vorgang ist, der von dem gegenseitigen Verhältnis von Gefälle, Wassermenge und Schuttbelastung abhängt, wozu modifizierend und, zum Teil davon bedingt, auch die Form und Zusammensetzung des Flußbettes, die Fließgeschwindigkeit und die Schutzzusammensetzung kommen. Eine zahlenmäßige Berechnung dürfte unmöglich sein, da sich mit dem Gefälle nicht nur die Strömungsgeschwindigkeit, sondern auch die Korngröße der beförderten Sedimente und die Form des Flußbettes ändern, und da sich die Wirkung auf Tiefen- und Seitenerosion gleichzeitig erstreckt.

7. Weitere Beispiele fluvioglazialer Talmäander

Wenn auch längst nicht alle Alpenflüsse bei der Zerschneidung ihrer glazialen Schotterfelder Mäander ausgebildet haben, so ist doch der am Inn beschriebene Fall ein öfters wiederkehrender Typus.

a) Die Mäander der Alz

Das Niederterrassenschotterfeld des Chiemsee-Gletschers oberhalb Altenmarkt wird von der Alz in prinzipiell gleicher Weise zerschnitten wie das Schotterfeld von Gars durch den Inn. Nur die Zahl der Terrassen ist geringer, und zu Mäanderabschnürungen ist es nicht gekommen. Die Verhältnisse habe ich früher geschildert⁴³⁾. Auch dort bildeten sich zunächst zwei Trompetentäler aus, von denen das eine, das bei Seeon wurzelt, ganz ähnlich wie das Kirchreiter Tal bei Gars als Trockental voll erhalten ist, das andere an der Alz vom Fluß weiter zerschnitten wurde. Unmittelbar danach begann die Alz sich in regelmäßigen Gleitmäandern einzuschneiden, die die Appertinger und Niesgauer Stufe enthalten und heute noch weiter gebildet werden, aber bei Altenmarkt in einen gestreckten Flußlauf mit jüngeren Trompetentalterrassen übergehen.

b) Die Mäander des Lechtales

Eines der schönsten Beispiele spätglazialer Mäander bietet der Lech zwischen Shongau und Landsberg, wo

das Phänomen auch mit einer interessanten Veränderung des Talnetzes verbunden ist (Abb. 3). Der Lech entströmt der Jungmoränenlandschaft genau an der Stelle, wo der kleinere Endmoränenkranz des Lechgletschers an den viel weiter nördlich ausladenden Endmoränenkranz des Ammerseegletschers stößt. Das Niederterrassenfeld wurde in der Hauptsache von der Stirne des Lechgletschers aus und nicht vom hohen westlichen Seitenrand des Ammerseegletschers aufgebaut, dessen Schmelzwasser in der Hauptsache über seine Stirn zur Münchener Ebene gerichtet waren. Das Niederterrassenfeld, das an den maximalen würmzeitlichen Endmoränen des Lechgletschers nördlich Schongau (Moränenkranz von Schwabsoien-Kinsau) ansetzt und sich dann durch das Lechfeld gegen Augsburg zieht, wird vom Lech im Süden 70 m tief, bei Landsberg noch 30 m tief in Terrassen zerschnitten; schon oberhalb Augsburg fließt der Lech noch heute in dessen Niveau. Die erste, auf die Hauptniederterrasse folgende Stufe von Römerau bildet ein Trompetental, dessen glatter Westrand infolge des Rechtsdrängens des Lech voll erhalten ist. Es beginnt im Süden mit einem Sohlenunterschied von 15 m und verschmilzt 14 km nördlich der Endmoränen beim Bahnhof Unterdießen mit der Hauptniederterrasse. Die nächsttiefere Stufe von Kinsau markiert das erste tiefe Einschnitten des Lech in seine Niederterrasse. Der scharfe Prallhang, mit dem sie bei Kinsau in die Römerau-Stufe einschneidet, zeigt an, daß mit dieser Erosionsverstärkung auch die Mäandrierung eingesetzt hat. Die noch jüngeren Lechterrassen legen von der Verlagerung der Mäanderbogen seither Zeugnis ab. Die Kinsauer Mäanderterrasse geht bei Epfach in ein Trompetental über, das man bis über Landsberg verfolgen kann, die jüngeren Terrassen (vereinfacht als Apfeldorfer Stufen bezeichnet) lassen sich bis in das Lechfeld verfolgen, wo sie gleichfalls in der Ebene ausklingen. Die Mäanderstrecke hat sich im Zuge dieser Entwicklung wie am Inn abwärts ausgedehnt und reicht am heutigen Lech 10 km weit bis Mundraching. Dasselbe taten die Trompetentalstrecke und die jüngeren Schotterkegel. Den Trompetentälern der Römerau- und Kinsauer Stufe entsprechen jüngere Aufschotterungen auf der Niederterrasse westlich Landsberg (Landsberger Feld) bzw. auf dem Lechfeld. Sie geben sich im Kartenbild am Verlauf des westlichen Steilrandes in dem 13 km langen Talrandbogen von Ellighofen bis Hurlach und dem dort ansetzenden 18 km langen Talrandbogen bis Augsburg zu erkennen. Dem Trompetental der Apfeldorfer Stufen entspricht der heutige Aufschotterungskegel des Lech in der Meringer Au südlich Augsburg, der infolgedessen eine starke Aufspaltung und Verwilderung zeigt.

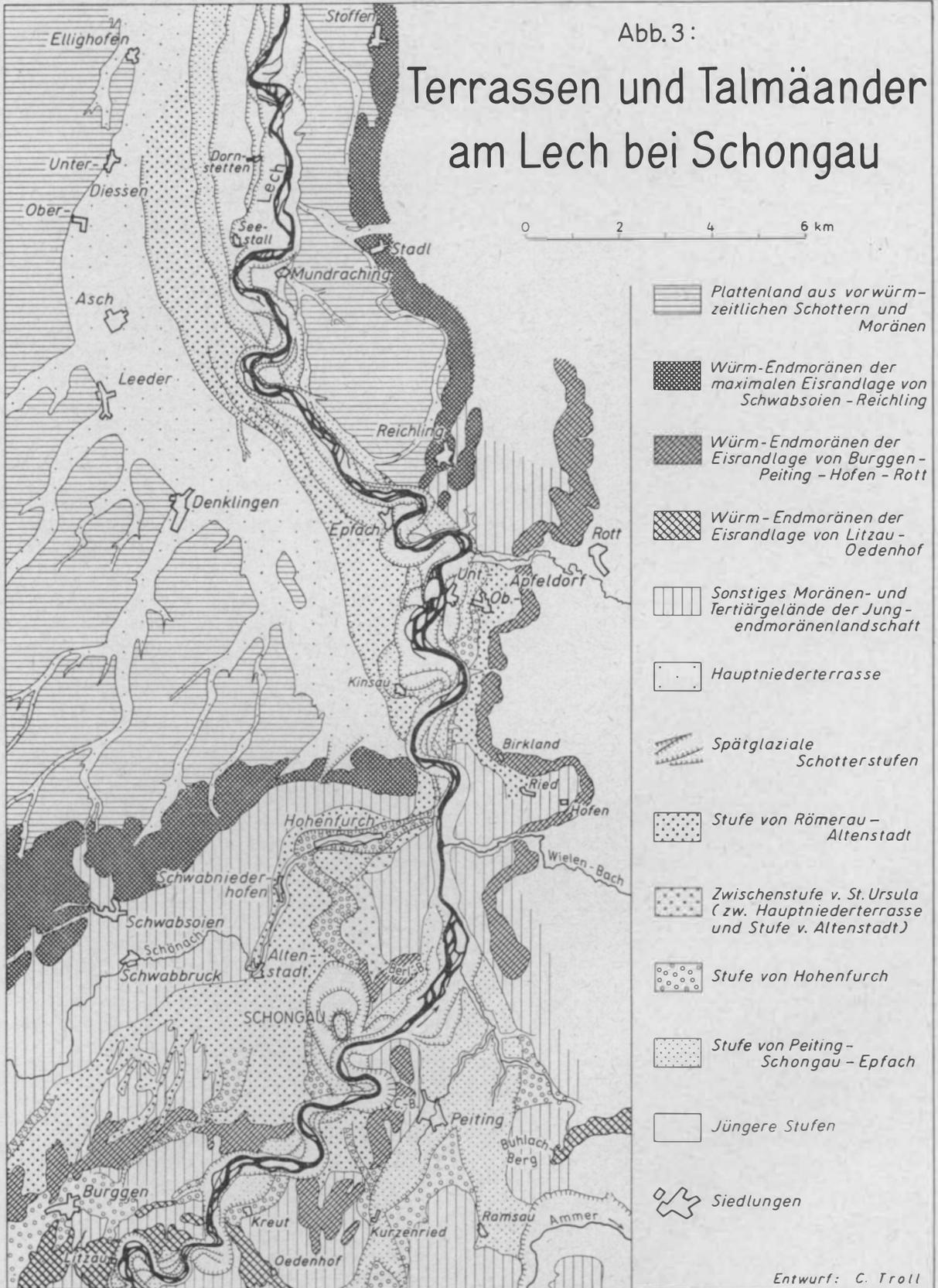
Besonders schön und lehrreich ist am Lechgletscher die Fortsetzung der spätglazialen Terrassen in die Moränenlandschaft hinein⁴⁴). Die Römerau-Stufe folgt dem Lech durch sein Durchbruchstal durch die äußeren Endmoränen, begleitet dann aber nicht das heutige Lechtal, sondern zieht westwärts entlang der Schönach über Hohenfurch und Altenstadt und verbreitert sich westlich Schongau zu einem ausgedehnten Teilschotterfeld, das mit einem Übergangskegel an dem zweiten Endmoränenkranz nördlich Burggen ansetzt. Ich habe dieses Schotterfeld als Altenstädter Stufe be-

zeichnet⁴⁴). Als der Gletscher sich von dieser Eisrandlage zurückzog, durchbrachen seine Schmelzwasser von Burggen aus die Endmoränen in dem heute trocken liegenden Hofener Tal, das im Altenstädter Feld als typisches Trompetentälchen ausklingt. Auch am Lech oberhalb Schongau sind Terrassen in entsprechender Höhe vorhanden. Aber hier, wo die Hauptmasse der Schmelzwasser ihren Weg nahm, bildete sich bereits eine mäandrierende Schotterrinne aus, die mit einer Breite von etwa 500 m in die Altenstädter Stufe 10 m tief eingeschnitten ist und sich von Schongau aus in mehreren Windungen nach Hohenfurch zieht, um östlich dieses Dorfes gegen das heutige Lechtal auszumünden (Hohenfurcher Stufe). Der Urlech folgte also in dieser Zeit der Linie Schongau—Hohenfurch. Sein scharf begrenztes, schön gewundenes Tal zeigt mit aller Klarheit, daß die Sammlung der Wasser und die damit beginnende Tiefenerosion die Mäandrierung ausgelöst haben.

Das Schongau-Hohenfurcher Trockental ist so vollständig erhalten geblieben, weil der Lech bei seinem weiteren kräftigen Einschneiden plötzlich den Weg von Schongau ostwärts in Richtung auf das Peitinger Feld nahm. Diese spätglaziale Ablenkung des Lech, die schon in meiner morphologischen Skizze 1925 niedergelegt wurde⁴⁴), hat bisher noch keine wirkliche Erklärung gefunden, auch nicht in den beiden Arbeiten, die sich seither kritisch mit der Gliederung der Moränenlandschaft in der Gegend von Schongau beschäftigt haben⁴⁵). Der Schlüssel der Lösung liegt darin, daß sich östlich Schongau in der Gegend von Peiting tieferes Land erstreckt, durch das offenbar einmal in altdiluvialer Zeit die Ammer von Oberammerbau über Rottenbuch und Peiting zum heutigen Lechtal floß. Zur Zeit der Altenstädter Stufe war dieses Gebiet aber noch vom Eis des Ammerseegletschers bedeckt und dadurch für die Schmelzwasser des Lechgletschers verbaut. Das ergibt sich aus der Verknüpfung der Endmoränen und Schotterstufen am Lech- und Ammerseegletscher (Abb. 3). Dem zum Teil gedoppelten Endmoränenwall von Schwabsoien-Kinsau entspricht am Ammerseegletscher der gedoppelte Endmoränenwall von Reichling. Mit dem Endmoränenkranz von Burggen kann man am Ammerseegletscher nur den Moränenwall parallelisieren, der von Rott über Birkland und Hofen nach Oberobland zieht, denn mit beiden Moränen läßt sich die Schotterstufe von Römerau-Altenstadt einwandfrei verbinden. Ein Verbindungsglied müssen die hohen Endmoränen darstellen, die im Kalvarienberg westlich Peiting aufragen. *J. Knauer*⁴⁶) hat hier zur Stützung seiner Hypothese der überfahrenen WI-Moränen („Vorrückungsphase“) eine Verknüpfung zwischen Lech- und Ammerseegletscher konstruiert, die zu der Terrassengliederung von Schongau, die er aus meiner früheren Arbeit ohne Änderung übernahm, in keiner Weise paßt. *C. Rathjens*⁴⁷) hat dies in seiner neueren Arbeit bereits richtiggestellt. Nach ihm gab es sogar zwischen dem maximalen Eisstand von Schwabsoien-Kinsau und von Burggen-Rott noch eine lokale vorgeschobene Eisrandlage. Sie hat nordöstlich Schongau auf dem Berlachberg eine Moräne hinterlassen, an der eine lokale Schotterstufe zwischen der Altenstädter und der Hohenfurcher Stufe, die Stufe von St. Ursula, ansetzt.

Abb. 3:

Terrassen und Talmäander am Lech bei Schongau



Entwurf: C. Troll

Die Hohenfurcher Stufe ihrerseits führt durch das Hofener Tal und am Lech bereits zur nächsten Eisrandlage, dem Endmoränenkranz von Litzau-Odenhof, was auch *Knauer* anerkennt. Der Ammerseegletscher hatte zu dieser Zeit bereits die Gegend von Peiting freigegeben, wo sich östlich und südlich des Dorfes in entsprechender Höhe Terrassen finden, die sich über Kurzenried bis Kellerhof erstrecken, wo sie an der Moräne von Odenhof wurzeln, ebenso wie am Buhlachberg östlich Peiting mit den dort nördlich des Ammerknies verlaufenden Moränen des Ammerseegletschers. Erst beim weiteren Rückzug auf die nächst jüngere Eisrandlage teilten sich Lech- und Ammerseegletscher vollständig und zwischen ihnen kam viel weiter südlich in der Gegend von Bayersoien der kleine Ammergletscher zur freien Entfaltung. Die Eisränder lagen dann am Lechgletscher bei Butzau, am Ammerseegletscher bei Böbing. In dem großen eisfrei gewordenen Raum sammelten sich Schmelzwasser der drei Gletscher in einem Netz von Urstromtälern: das Ammertal von Rottenbuch-Peiting, das alte Illachtal von Kirchberg nach Peiting und das Kellerhofer Tal (vgl. meine Karte von 1925). Sie liefen alle bei Peiting zusammen und führten von dort über dem heutigen Lechtal gegen Kinsau. Diese gesammelten Schmelzwasser hatten die Kraft, bei Peiting durch Tieferschalten in die Hohenfurcher Terrasse eine breite Schotterrinne auszufurken (Stufe von Peiting-Kinsau). Beim Zerschneiden des steilen Übergangskegels von Kinsau bildeten sie ein Mäandertal, um sich bei Epfach wieder zu einem Trompetental zu öffnen.

In dieser Zeit wurde der Lech von Schongau ab nach Osten zum tieferen Peitinger Schotterfeld abgelenkt, offenbar durch seitliche Unterscheidung. Die Peitinger Terrasse führt am Hang des Berlachberges lückenlos durch das Durchbruchstal zwischen diesem Berg und dem Peitinger Kalvarienberg hindurch. Dabei wurde die Tiefenerosion des Lechbettes beträchtlich verstärkt und er bildete in dem seit der Hohenfurcher Stufe angelegten Mäandertal bei Schongau eine stark ausladende Mäanderschleife aus, deren Hals schließlich abgeschnürt wurde. So entstand der prachtvolle Terrassen-Umlaufberg von Schongau, auf dem die Altstadt Schongau in einzigartiger Schutzlage erbaut werden konnte. Der Lech zeigt mit diesem Beispiel erneut, daß es gerade die starke Tiefenerosion war, die die Mäanderbildung förderte. Die Umgebung von Schongau ist, wie man sieht, ein Kabinettstück fluvioglazialer Formengestaltung.

c) Die Mäander des Tessintales in der Lombardei

Das schönste Beispiel von Mäanderzertalung eines fluvioglazialen Schotterfeldes südlich der Alpen bietet wohl der Ticino in der Lombardei. Nachdem er den Lago Maggiore verlassen, die Jungmoränenlandschaft gequert und die in der Linie Borgo Ticino—Somma Lombardo gelegene äußerste Jungmoräne durchschnitten hat, bildet er plötzlich eine Reihe weit ausladender Terrassenmäander. Auf kurzer Strecke vollzieht sich die uns bekannte Entwicklung. Das Niederterrassenfeld senkt sich in einer Breite von 8 bis 9 km beiderseits des Flusses zur Po-Niederung hinab. Von den darin eingeschnittenen Terrassen bilden die höch-

sten ein Trompetental, das sich in der Höhe von Bellinzago Novarese in der Niederterrasse verliert. Der vorgelagerte jüngere Schotterkegel trägt eine trockene Heidelandschaft, die Baraggia di Cameri. Auch die jüngeren Terrassen, die in dieser Breite bereits wieder glatte Ränder haben, verlieren sich weiter südlich, wo der Ticino bei Abiatograsso durch seinen verwilderten Lauf den Charakter eines noch jetzt aufschotternden Flusses zu erkennen gibt.

d) Die Oberrheinebene

Bei der vergleichenden Ausschau auf das Tal des Rheins denkt man zunächst an den Rheinlauf unterhalb Basel, wo sich der Strom zur Zeit des Gletscherrückzuges mit mehreren ineinandergeschachtelten Trompetentälern in die Niederterrassenebene eingeschnitten hat⁴⁸⁾. Der Rhein ist dort heute noch in Erosion begriffen, aber sein Lauf ist nicht genügend gewunden, um als mäandriert zu gelten. Die Mäanderstrecke liegt weiter oberhalb in der Gegend von Schaffhausen-Eglisau, aber durch den Lauf im Tafeljura stark behindert. Im übrigen sind die am Schotterfeld des Inn aufgezeigten Merkmale unterhalb Basel voll entwickelt: die auf die Trompetentäler folgenden Schotterkegel, der von ihnen an den Rand der Ebene gedrängte Lauf der Ill, schließlich die mit dem Aufhören der Zertalung beginnende Verwilderung des Stroms auf der Strecke Breisach—Straßburg—Rastatt. Dort fließt der Rhein zuletzt im Niveau der Ebene und die moorigen Riede bedecken den größten Teil der Niederterrasse.

Von der Murgmündung abwärts beginnt ein neuer morphologischer Stromabschnitt. Die Niederterrasse hebt sich wieder über den Rheinspiegel empor und wird vom Strom in einer ununterbrochenen Folge von Mäanderprallhängen, dem sogenannten „Hochgestade“, unterbrochen. Es ist die berühmte Mäanderstrecke, die über Speyer, Mannheim und Worms bis Oppenheim reicht (Abb. 4). Die bis in die Neuzeit hinein erfolgte Abschnürung der Mäanderbogen ist erst durch die Stromregulierung und -begradigung im letzten Jahrhundert unterbunden worden. Wenn auch der Höhenunterschied zur Niederterrasse hier nur 5—10 m beträgt, so handelt es sich doch nicht um freie Mäanderbildung, sondern um Talmäander. Die Tiefenerosion und Mäanderbildung ist hier im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen nicht mehr mit dem Ablauf der Aufschotterung und Zertalung vom Moränenrand her in Verbindung zu bringen. Nur zeitlich fallen die Vorgänge mit denen im fluvioglazialen Bereich zusammen. Von Rastatt abwärts erfüllt die Niederterrasse die breite Ebene zwischen dem Rand des Schwarzwaldes und Kraichgaues und den höheren lößbedeckten Terrassen im Unterelsaß und in der Vorderpfalz. Vom Westen her münden auf sie die sandigen Talböden aus, die sich längs der vom Pfälzer Wald kommenden Flüssen Moder, Sauer, Lauter, Klingbach, Queich und Speyerbach in die Lößplatten eingesenkt haben und gegen den Rhein hin schwemmkegelartig verbreitern. Sie sind als Niederterrassen nicht mehr lößbedeckt, haben hochliegendes Grundwasser, und ihre Sandböden sind größtenteils von Wald bedeckt: Hagenauer Forst, Bienwald, Herxheimer Wald, Queichwald, Nonnwald

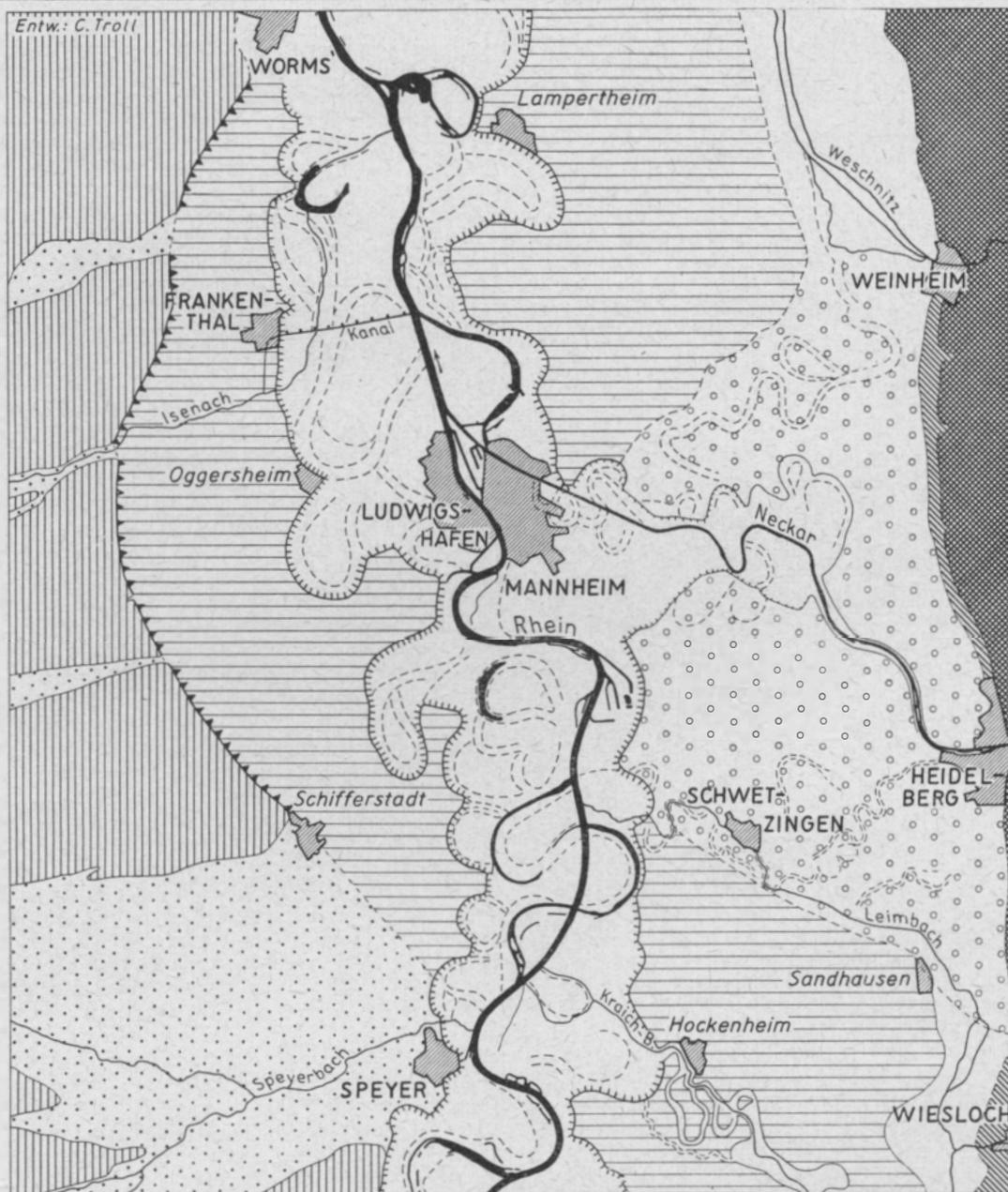


Abb.4: Die Terrassen und Mäander des Rheins von Speyer bis Worms

0 2 4 6 8 10 km

- | | | |
|---|--|--|
|  Odenwald und Vorhügelzone |  Lößplatten der Vorderpfalz auf vorwürmzeitlicher quartärer und tertiärer Unterlage |  Niederterrassenfelder des Rheins |
|  Sandige Niederterrassenkegel der Pfälzerwald-Bäche |  Talrandbogen der rheinischen Niederterrasse (Schnecken-sand-Terrasse) gegen die vorderpfälzer Lößplatten |  Würmzeitlicher Neckar-Schwemmkegel |
|  Abfall der Niederterrassen gegen die alluviale Rheinebene („Hochgestade“) | |  verlassene Mäanderbetten von Rhein, Neckar und Kraichgaubach |

und Gäuwald. Rechts des Stromes wird die Niederterrassenfläche beiderseits des Neckaraustrittes aus dem Odenwald bei Heidelberg auf 25 km vom Neckarschwemmkegel eingenommen, der als Abschlämmprodukte des Gäulandes eine Decke von fruchtbarem Lehm über die Niederterrasse ausgebreitet hat, an Stelle der Sande der Rheinniederterrasse weiter südlich und nördlich, die in spätglazialer Zeit zu Binnendünen aufgeweht wurden. In gleicher Breite wie der Neckarschwemmkegel verläuft linksrheinisch der Rand der Niederterrasse — von den Geologen als Schneckensandterrasse bezeichnet — in einem 37 km langen, einheitlich geschwungenen Bogen von Speyer bis Worms. Dieses würmzeitliche Hochufer ist ein großartiges Beispiel eines Talrandbogens, der nicht durch einen im festen Bett fließenden Rhein nach Art eines Mäanderprallhanges, sondern durch die Seitenerosion eines flachen, aufschüttenden Schwemmkegels gebildet wurde. Die auf dieser Strecke zwischen den Lößplatten austretenden Bäche werden in der Richtung dieses Talrandes abgedrängt. Man geht wohl nicht fehl, wenn man die Ursache für dieses großzügige Westdrängen der Rheinniederterrasse in dem von Osten andrängenden Neckarschwemmkegel erblickt. Die Mäanderbildung am Rhein, Neckar und Kraichbach (vgl. Abb. 4) fällt auch hier ursächlich und zeitlich mit dem Übergang von der Aufschotterung (mit Seitenerosion) in die Tiefen- und Seitenerosion der festen Flußrinnen zusammen. Ob man zur Erklärung dieses Wechsels eine schwache Krustenbewegung heranziehen muß, oder ob der Wechsel vom hochwürmzeitlichen zum spätglazialen Klima dafür ausreichend ist, bleibe dahingestellt. Eine Besonderheit bietet der Neckar, indem er bei der beginnenden Zertalung und Mäanderbildung seinen Weg vom Schwemmkegel aus zunächst nach Norden entlang der Bergstraße über Weinheim zum Hessischen Ried fand. Erst nachträglich hat er wieder den Weg direkt zum Rhein bei Mannheim gefunden, vielleicht im Zuge einer vorübergehenden Aufschotterungsphase, worauf die Trichteröffnung der Neckar- aue gegen Mannheim-Neckarau hindeuten könnte.

8. Mäanderbildung und Klimaablauf in den Tälern der Mittelgebirge

Es hat sich heute die Erkenntnis durchgesetzt, daß sich der Wechsel quartärer Kalt- und Warmzeiten (Eiszeiten und Zwischeneiszeiten) auch außerhalb des fluvioglazialen Bereiches im periglazialen Europa normalerweise in einem Wechsel von Aufschotterung und Talbildung der Flüsse geäußert hat (*W. Soergel, J. Büdel* u. a.). Die unter der Wirkung des kalten Klimas und der Bodengefrorenis vor sich gehende starke mechanische Verwitterung und der flächenhafte Bodenabtrag der Solifluktion führte normalerweise zu einer Schuttbelastung der Gewässer und zur Ablagerung von Kies, Sand und Schlamm. Aus den weit ausgebreiteten, trocken liegenden Kies- und Sandbänken konnte dann in den Kaltzeiten auch die Ausblasung von Sand- und Lößstaub erfolgen.

Allerdings treten zu diesem klimatischen Rhythmus der Quartärzeit auch tektonische Vorgänge, die ihrer-

seits das Verhalten der Flüsse beeinflussen. Dazu gehören vor allem lokal wirksame orogenetische und epirogenetische Bewegungen. Es ist der genauen Analyse einzelner Talstrecken vorbehalten, die Wirkung dieses Zusammenspiels glazialklimatischer und tektonischer Dynamik klarzustellen. Von vornherein ist aber zu erwarten, daß im Gesamtbild über weite Strecken hin die einheitlich wirkende klimatische Dynamik in den Vordergrund tritt. In der Nähe des Meeresspiegels kommt ein dritter Ursachenkomplex hinzu, die Senkung und Hebung des Meeresspiegels im Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten (eustatische Schwankungen), die sich durch die Veränderung der Erosionsbasis auch auf die Aufschotterung bzw. Erosion der Flüsse auswirken mußte. Es war eine große Erschwernis für derartige Untersuchungen, daß gerade in der Zeit, in der die periglazialen klimatischen Ursachen der diluvialen Aufschotterung erkannt wurden, die Auffassungen über den Klimaablauf des Eiszeitalters durch die Hypothese eines vielmaligen Wechsels von Eiszeiten und Warmzeiten (*Milankowitsch, Soergel, Eberl*) getrübt wurden. Es hat drei Jahrzehnte gedauert, bis die breite Wirkung dieser Hypothese in der Glazialforschung wieder rückgängig gemacht werden konnte, wofür auch die Erforschung der eustatischen Meeresspiegelschwankungen sehr wichtig war.

Für das Mäanderphänomen in den Rumpfgebirgen und Stufenländern Mittel- und Westeuropas handelt es sich darum, die Gesamtheit der in Frage kommenden Ursachen und Komplexe in die Untersuchung einzubeziehen, was weitgehend eine Neubearbeitung notwendig macht. Eine erste derartige Studie ist die Neubearbeitung der Terrassenlandschaft an der mittleren Mosel durch *E. Kremer*⁴⁹). Sie war seit der ersten Deutung der Mäander durch *A. C. Ramsay* immer wieder Gegenstand morphologischer Betrachtungen (vgl. Beilage 6). Die Verfasserin konnte 5 Aufschotterungsperioden als mit Eiszeiten zusammenfallend und periglazial-klimatisch bedingt erweisen, die Höhenterrasse (= Günzeiszeit), die mittlere Hauptterrasse (= Mindeleiszeit), die obere Mittelterrasse (= Riß-I-Eiszeit), die untere Mittelterrasse (= Riß-II-Eiszeit) und die Niederterrasse (= Würmeiszeit). Nur die Aufschotterung der unteren Hauptterrasse hat tektonische Ursachen. Tektonik war zwar auch sonst wirksam. So geht die 90 m betragende Zertalung der Hauptterrasse fast ganz auf die Hebung des Gebirges in der großen Mindel-Riß-Interglazialzeit zurück. Die Aufschotterung der mittleren Hauptterrasse hat zur Bildung eines breiten Hochtalbodens („Flurterrasse“) von im Mittel 2 km, maximal 8 km Breite geführt, dessen Ränder einen leicht geschwungenen Verlauf aufweisen. Erst die am Ende der Mindeleiszeit einsetzende Tiefenerosion hat zur Anlage des Mäandertales geführt. Der Vorgang war derselbe wie in den fluvioglazialen Tälern: in der Kaltzeit Aufschotterung durch einen verwilderten Fluß mit Seitenerosion, mit Beginn der Klimaschwankung Aufhören der Schuttbelastung, Sammlung des Flusses in einem festen Bett und Übergang zur Tiefenerosion. Sie schuf aus den vorhandenen Krümmungen durch die gleichzeitige Seiten- und Tiefenerosion das Gleitmäandertal. Es handelt sich nach *E. Kremer* also

auch hier im klassischen Gebiet der in die Rumpfgebirge eingeschnittenen Teilmäander nicht um die Vererbung von Hochflächen- und Flußmäandern, sondern um Terrassenmäander. Die Mäanderbildung begann nicht in einer Periode ausgeglichener Gefälle und geringer Transportlast, sondern gerade im Augenblick des stärksten Einschneidens des Flusses. Wir haben es mit einem klimamorphologischen, nicht mit einem tektonischen Zyklus zu tun, wenn auch die Tektonik als Ursache der starken Tiefenerosion mit im Spiele ist. Bei der Ausgestaltung des Mäandertales, vor allem bei der Abschnürung der Tal-schlingen und der Bildung der Umlaufberge war auch die Vermehrung der Wassermenge von Bedeutung, die die Mosel durch die Anzapfung der Maamosel bei Toul erfuhr, wie schon *W. M. Davis* erkannt hatte. Im übrigen aber ist nach *E. Kremer* auch die Form der Moselgleitmäander in erster Linie ein Werk der Klimaschwankungen, insofern als die ruhige Entwicklung der Mäander durch die Aufschotterung in den drei jüngeren Kaltzeiten unterbrochen wurde. Zu einer Rückbildung der Talmäander konnte es aber nach der starken Tiefenerosion der Mindel-Riß-Interglazialzeit nicht mehr kommen.

Es muß an dieser Stelle darauf verzichtet werden, den Beginn der Mäanderbildung auch in anderen Tälern der Mittelgebirgsschwelle zu untersuchen. Prinzipiell ist mit der Möglichkeit nach jeder eiszeitlichen Aufschotterung zu rechnen. Doch muß in jedem Falle der bis dahin erreichte Zustand des Tales und das tektonische Verhalten in Rechnung gesetzt werden. Auch an der Mittelmosel hatte sich möglicherweise schon einmal nach der Aufschotterung der Höhenterrasse (Günzeiszeit) ein Mäandertal gebildet, das von den Schottern der Hauptterrasse wieder verschüttet wurde, doch ist dies nicht mehr nachweisbar (*E. Kremer*). Sicher gilt dies aber für den Mosellauf oberhalb Trier an der Mündung der Saar, auf Grund der Terrassenkartierung durch *K. Mathias*⁵⁰). Der große, abgeschnürte Mäander der Mosel bei Kommelingen mit seiner Amplitude von 7 km hat sich bereits nach der Aufschotterung der Terrasse T 7 (älteste Diluvialterrasse, die der Höhenterrasse der Mittelmosel und der Günzeiszeit entspricht) zu bilden begonnen. Zur Zeit der T-5-Terrasse vollzog sich in diesem Mäandertal eine starke Aufschotterung, und erst bei der weiteren Eintiefung kam es zur Abschnürung des Kommlinger Umlaufberges. Auch bei Trier hatte sich bereits zur Zeit der Mittleren Hauptterrasse ein großer Mäanderbogen der Mosel (mit einer Schwingungsweite von etwa 5 km) ausgebildet (Terrasse von Irsh). An der unteren Saar bildet die Terrasse T 5 weite, ebene Flächen hoch über dem Saartal, als Krönung der verschiedenen Umlaufberge unterhalb Saarbürg, aber auch zu beiden Seiten des Mäandertales. Sie ist also wie die m. Hauptterrasse der Mosel eine Flurterrasse. Sie ergibt eine Talbreite von 4—5 km. *Mathias* sucht auch diese breiten Flächen durch die Konstruktion eines mäandrierenden Saarlaufes zu erklären. Ich bin jedoch bei mehrmaligen Begehungen des Gebietes zu der Auffassung gekom-

men, daß es sich bei der T-5-Terrasse um die Aufschotterung eines breiten Tales durch einen eiszeitlich schuttüberlasteten Fluß handelt, zumal die Terrasse auch nach *Mathias* aus besonders groben Schottern besteht. Die Bildung der schönen Gleitmäander und der Terrassenumlaufberge (Fröhn, Ayler Kupp, Sonnenberg) hätte dann erst bei der Zerschneidung dieser Schotterflur begonnen. Eine Unklarheit aber bleibt noch bestehen, insofern diese breite Flurterrasse der unteren Saar sich in ihrer Höhenlage nicht in die Flurterrasse der Mosel (m. H.-Terr.), sondern in die Untere Hauptterrasse fortsetzt. Es muß dabei allerdings auch mit Krustenbewegungen gerechnet werden. Die m. Hauptterrasse hat heute an der Mittelmosel kein Gefälle und gegen Trier sogar ein rückläufiges Gefälle. Sie liegt bei Schweich unterhalb Trier auf 260—290 m, ihre Basis bei Trier nur auf 250 m, die T-5-Terrasse an der Saarmündung bei Filzen auf 240—243 m.

Von der Mosel lassen sich die Verhältnisse nach dem Mittelrheintal fortsetzen. Die mittlere Hauptterrasse bildet auch am Rhein eine breite Flurterrasse, die z. B. im Linzer Becken 8 km, im Neuwieder Becken noch größere Breite erreicht. Sie kann nur als Folge einer kaltzeitlichen Aufschotterung (Mindel) verstanden werden. In sie hinein ist das nur schwach gewundene, nirgends wirklich mäandrierende Engtal eingeschnitten.

Aber viele kleine Täler des Rheinischen Schiefergebirges haben ihr Engtal in der gleichen Zeit zu schönen Mäandertälern ausgebildet, z. B. das Ahrtal bei Schuld und zwischen Kreuzberg und Ahrweiler oder das Siegtal unterhalb Rosbach. Im cañonartig engen Tal der Ahr unterhalb Altenahr bilden die Hauptterrassen (besonders die Obere Hauptterrasse nach *G. Lafrenz*⁵¹)) eine breite Flurterrasse hoch über dem mäandrierenden Tal. Die Rekonstruktion zeigt wieder ein nicht mäandrierendes Schotterband, in das hinein die Gleitmäander und Umlaufberge eingesenkt sind. Ähnlich, nur weniger steil sind die Formen im Bereich der Mäander und Umlaufberge an der mittleren Sieg zwischen Rosbach und Herchen⁵²), und vom Siegtal bei Merten schreibt *K. Masuch*⁵³), daß die Hauptterrasse über der Mäanderstrecke noch als breites, flächenhaftes Tal ausgebildet war und daß sich beim Einschneiden in diesen Talboden die Mäander ausgebildet hätten.

Daß wir in den Tälern des Rheinischen Schiefergebirges so häufig das Einsetzen der Mäandrierung nach der mindelzeitlichen Aufschotterung der Hauptterrasse feststellen, ist darin begründet, daß auf sie die stärkste tektonische Heraushebung des ganzen Gebirges folgte, so daß die einmal angelegten Mäander sich durch Tiefen- und Seitenerosion weiterbilden mußten und keine Möglichkeit für eine neue Zuschüttung des Tales bestand. Das schließt aber nicht aus, daß es auch durch Klimawechsel ausgelöste Mäanderbildung in älteren und jüngeren Abschnitten des Quartär gegeben hat.

9. Würmzeitliche Mäanderbildung im periglazialen Bereich Mitteleuropas

Am besten faßbar sind auch im periglazialen Bereich die Mäander, die sich im Anschluß an die würm-

zeitliche Aufschotterung der Flußtäler gebildet haben. An der Mäanderstrecke des Oberrheins unterhalb Karlsruhe haben wir bereits einen solchen Fall kennengelernt. Flüsse, die aus dem Gebirge in die Ebene austreten, haben gewöhnlich im Höhepunkt der letzten Eiszeit einen Niederterrassenkegel aufgeschüttet und sich unmittelbar danach ein flaches Mäandertal eingeschnitten. So ist es z. B. der Fall am Austritt des Rheins in die Kölner Tieflandsbucht bei Bonn, ebenso an der Elbe bei Riesa und an der Donau unterhalb Regensburg. Am Rhein, wo wir eine jüngere Terrasse haben, die Bimssande des in der Alleröd-Zeit erfolgten Ausbruches des Laacher-See-Vulkans führt, kann man den Beginn der Mäanderbildung genau zwischen die Hochwürmzeit und die Allerödschwankung datieren. Auch die kleinen Flüsse am Nordrand von Riesengebirge und Harz haben eiszeitliche, nichtglazigene, also periglaziale Schotterkegel gebildet, wie *J. Büdel*⁵⁴⁾ schon 1937 am Beispiel des Steinseiffener Schotterfeldes am Nordrand des Riesengebirges gezeigt hat.

Schöne Beispiele solcher periglazialer Aufschotterung und Erosion, auch in Verbindung mit spätglazialer Mäanderbildung, bietet auch der von eiszeitlichen Gletschern freie Rand der östlichen Alpen in Niederösterreich. Für den Rand des Wiener Beckens hat *J. Büdel*⁵⁴⁾ gezeigt, daß sich dort vier nichtglazigene Terrassenaufschüttungen finden, die zeitlich den fluvioglazialen im Vorland alpiner Gletscher völlig entsprechen und wie diese durch zwischeneiszeitliche Talbildung ineinandergeschachtelt sind. Die Exkursion der 3. Internationalen Quartärkonferenz 1936 bot mir dann die Gelegenheit, die spätglaziale Zertalung der nichtglazigenen Schotterfelder von Ybbs und Enns zu beobachten⁵⁶⁾. Die vom Alpenrand in die voralpinen Täler geschütteten Niederterrassen beider Flüsse, deren steiles Profil auf periglaziale Aufschüttung der Würmzeit zurückgeht, unterscheiden sich in nichts von den fluvioglazialen Würmschotterfeldern. Nur liegt der Scheitel der Schotterkegel am Gebirgsrand statt am Eisrand. Sie sind in der Form der Trompetentäler zerschnitten, die sich gegen die Donau hinabziehen. Die zugehörige jüngere Aufschotterung liegt an der Ybbs zwischen Amstetten und Ybbs an der Donau, die der Enns zieht sich noch weiter in das Donautal hinein und füllt die Talweitung des Stromes zwischen Enns und Grein, in der der Strom völlig verwildert über seine Schotterflächen strömt und der Naarnbach ganz an den Nordrand gedrängt ist.

An der Enns unterhalb Steyr kann man eine gleiche trompetenartige Zertalung auch noch auf der rißzeitlichen Hochterrasse feststellen. Außerdem hat die Enns unterhalb Steyr eine schöne spätwürmzeitliche Mäandertalstrecke geschaffen, wobei die Tieferlegung des Tales ähnlich wie am Lech bei Schongau mit einer Ablenkung des Flusses in ein benachbartes Schottertal verbunden war (vgl. im einzelnen a. a. O. 1937, Abb. 3). Die Talmäander folgen im übrigen der gleichen Gesetzmäßigkeit und gehen talabwärts in die Trompetentalstrecke über. Der Unterschied zum Innental bei Gars oder zum Schongauer Lechtal besteht lediglich darin, daß die Talmäander dort auf die

Zerschneidung eines fluvioglazialen, hier eines periglazialen Schotterkegels zurückgehen.

10. Schluß

Ein Rückblick auf die Mäanderforschung der letzten 20 Jahre hat uns den großen Fortschritt gezeigt, der für das Verständnis der freien Flußmäander durch die experimentellen Untersuchungen der U. S. Waterways Experimental Station in Vicksburg erzielt wurde. Die Forschungen über die Talmäander (eingesenkte Mäander) aber standen in der gleichen Zeit noch zu einseitig unter dem Einfluß der deduktiven schematisierenden Vorstellungen von *W. M. Davis*. Auch wo man ihm nicht folgte, suchte man vorwiegend nach einzelnen, die Mäander verursachenden Faktoren mit starker Vorkehrung tektonischer Vorgänge und tektonischer Strukturen. Dagegen wurde die Frage nach der Entwicklungsgeschichte der mäandrierenden Talstrecken vernachlässigt.

Die Bildung der Talmäander muß im Gesamtbild der klimatischen, tektonischen und morphologischen Dynamik und der quartären Landschaftsgeschichte (Schwankungen von Klima, Wasserhaushalt, Bodenbildung, fluviatiler Sedimentation und Erosion, Meeresspiegelschwankungen) gesehen werden.

Die Bedeutung der Klimaschwankungen konnte am besten an den Mäanderstrecken der Alpenflüsse aufgezeigt werden, die sich während des Eisrückzugs in der Spätwürmzeit in die Niederterrassen eingeschnitten haben. Hierfür dienten eigene Untersuchungen an Inn, Alz, Lech, Tessin und Rhein. Auf die kräftige Aufschotterung der Niederterrassen bis zum Maximalstand der Würmendoränen folgte sofort mit dem Beginn des Eisrückzuges eine Zertalung, die zunächst in einer Kombination von Tiefen- und Seitenerosion („Tieferschalten“) zur Bildung von „Trompetentälern“ führte, die nach abwärts unter Verbreiterung ausklingen und in jüngere Schotterkegel (Aufschotterung mit Seitenerosion) übergingen. An vielen solchen Tälern setzte aber sogleich im obersten steilsten Teil bei energischer Tiefenerosion auch die Bildung von Gleitmäandern ein, die häufig Mäanderabschnürungen und Bildung von Umlaufbergen zur Folge hatte. Gleitmäandertal, Trompetental und Schotterkegel stellen ein zusammengehöriges System von Flußstrecken verschiedener morphologischer Gebarung dar. Die Grenzen der drei Abschnitte wandern gesetzmäßig talabwärts. Der ganze Vorgang hat den „Sinn“, die übersteilte Aufschotterung der fluvioglazialen Schotterfelder wieder in ein normales Längsprofil zurückzuführen. Es läßt sich dabei nicht sagen, welcher Faktor die Mäanderbildung bedingt. Es ist ein bestimmtes Verhältnis zwischen Wasserführung, Gefälle, Sedimentführung, Form des Flußbetts und Korngröße der Sedimente dafür verantwortlich. Ausgelöst wird der ganze Vorgang durch die Sammlung der verwilderten Schmelzwasser in einem festen Gerinne, womit sich alle genannten Faktoren gleichzeitig ändern. Auf keinen Fall handelt es sich um vererbte

Mäander, sondern gerade umgekehrt um das Einsetzen der Gleitmäanderbildung im Stadium der stärksten Tiefenerosion und um ihr Ausklingen mit abnehmendem Gefälle. Die Mäanderbildung ist eher die Folge eines klimatischen Zyklus als eines tektonischen im Sinne von *Davis*.

Der für den fluvioglazialen Bereich analysierte Vorgang konnte sich ebenso und gleichzeitig auch im periglazialen Bereich abspielen, wofür die Rheinmäander zwischen Karlsruhe und Oppenheim und des Ennstales unterhalb Steyr die schönsten Beispiele liefern. Daß die für die Würmzeit aufgezeigten klimatischen Ursachen auch bei den viel älteren Talmäandern der Mittelgebirgsflüsse entscheidend sein können, hat die Neubearbeitung der Mäandertalstrecke der mittleren Mosel mit den Erfahrungen der Periglazialmorphologie durch *E. Kremer* gezeigt. Der Beginn der Mäanderbildung fällt dort mit dem Aufhören der mindeleiszeitlichen periglazialen Aufschotterung der Mosel zusammen, ebenso wie bei anderen Tälern des Rheinischen Schiefergebirges. In diesem Gebirge haben sich die damals angelegten Mäander bis heute fortbilden können, weil sie durch die in der folgenden großen Interglazialzeit erfolgte starke Gebirgshhebung in tiefen Tälern festgelegt wurden. Bei entsprechenden tektonischen Voraussetzungen dürften sich ähnliche Vorgänge der Talbildung auch in den Günz- und Riß-Eiszeiten abgespielt haben, wofür bis jetzt nur Andeutungen an der Mosel oberhalb Trier und im Alpenvorland im Ennstal gefunden werden konnten.

Schriftenverzeichnis

- Flohn, H.*: Beiträge zur Problematik der Talmäander. Frankfurter Geogr. Hefte, IX/1. Frankfurt 1935. 96 S.
- Masuch, K.*: Zur Frage der Talmäander. Berliner Geogr. Arbeiten, H. 9. Stuttgart 1935, 48 S.
- Hol, J.*: Das Problem der Talmäander. Ztsch. f. Geomorphologie, X, 4/5, Berlin 1938, S. 169—195. — Meanders, hun betekenis en ontstaan. Tijdschr. van het Kon. Nederlandsch Aardrijksk. Genootschap, LVI, 2. Leiden 1939, S. 161—177.
- Hjulström, F.*: Studien über das Mäander-Problem. Geografiska Annaler, 1942, H. 3—4, Stockholm. S. 233 bis 269.
- Imamura, G.*: Free Meanders of Rivers. Japanese Journ. of Geol. a. Geogr. XII, Tokyo 1935.
- Morawetz, S.*: Zur Mäanderfrage. Peterm. Geogr. Mitt., 1941, 7/8. Gotha. S. 263—267.
- Macar, P.*: Méandres recoupés et ressauts correspondants du profil longitudinal des rivières. Bull. Soc. Belge Et. Geogr. 7, 1937. S. 36—54. — Effects of cut-off meanders on the longitudinal profiles of rivers. Journ. of Geol., 42, 1934. S. 523—536.
- Pardé, M.*: Cours de Potamologie. Institut Polytechn. Univers. de Grenoble. Polygraphie. Grenoble 1943. Bd. II. — Les méandres des rivières. Revue Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest. 16—17, Toulouse 1947. S. 67—88.
- Wittmann, H.* u. *Böß, P.*: Wasser- und Geschiebebewegung in gekrümmten Flußstrecken. Untersuchungen aus dem Flußbaulaboratorium der T. H. Karlsruhe. Berlin 1938.
- Friedkin, J. F.*: A Laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers. U. S. Waterways Experimental Station, Vicksburg, Miss. 1945. 40 S.
- Fisk, N. H.*: Geological Investigation of the Alluvial Valley of the Lower Mississippi. Miss. River Commission. Vicksburg, Miss. 1944. 78 S. — Fine-grained Alluvial Deposits and their Effects on Mississippi River Activity. Miss. River Comm., Vicksburg Miss. 1947. 82 S.
- Baulig, H.*: La vallée et le delta du Mississippi. Annales de Géogr., LVIII, Paris 1949. S. 220—232 u. 325—334.
- Blache, J.*: Le problème de méandres encaissés et les rivières lorraines. Journ. of Geomorphology, 2, 1939, S. 201—212 u. 3, 1940, S. 311—331. — Sur l'origine des méandres encaissés. Bull. Assoc. Géogr. Français, No. 140—41, Paris 1941. S. 91—95.
- Mathias, K.*: Morphologie des Saartales zwischen Saarbrücken und der Saarmündung. Decheniana. Verh. Naturk. Ver. d. Rheinl. u. Westf., 93, Bonn 1936. S. 1 bis 112. — Die Entwicklung der Talmäander im Bereiche der unteren Saar. Annales Univers. Saraviensis, Naturwiss. I/4. Saarbrücken 1952. S. 355—369.
- Kremer, E.*: Die Terrassenlandschaft der mittleren Mosel. Ein Beitrag zur Quartärgeschichte. Arbeit z. Rhein. Landeskunde, 6, Bonn 1954. 100 S.
- Leighly, J.*: Meandering Arroyos of the dry Southwest. Geogr. Rev., 26, New York 1936. S. 270—282.
- Wright, R. J.*: Underfit Meanders of the French Broad River, North Carolina. Journ. Geomorph., 5, 1942. S. 183—190.
- Baulig, H.*: Le problème des méandres. Bull. d. l. Soc. Belge Etud. Géogr., XVII, 2, Louvain, 1948. S. 103 bis 143.
- Behrmann, W.*: Die Oberflächengestaltung des Harzes. Forsch. z. Deutsch. Landes- u. Volkskunde, XX, 1913. S. 193.
- Hol, J.*: a. a. O. 1938. S. 176.
- Davis, W. M.*: Physical Geography. Boston 1898.
- Scheu, E.*: Zur Morphologie der Schwäbisch-Fränkischen Stufenlandschaft. Forsch. z. Dt. Landes- u. Volkskunde, XVIII, 4. Stuttgart 1909.
- Schad, J.*: Zur Entstehungsgeschichte des oberen Donautales von Tuttlingen bis Scheer. Oberrhein. 1912/13.
- Wagner, G.*: Die Landschaftsformen von Württemberg Franken. Erdgesch. u. Landesk. Abh. aus Franken u. Schwaben., I, Öhringen 1919. — Junge Krustenbewegungen im Landschaftsbild Süddeutschlands. Ebenda X, 1929.
- Rich, J. L.*: Certain Types of Stream Valleys and their Meaning. Journ. of Geology, 22, Chicago 1914.
- Engelmann, R.*: Die Entstehung des Egertales. Abhandl. Geogr. Ges. Wien, XII, Wien 1922. 80 S.
- Hettner, A.*: Die Oberflächenformen des Festlandes. Leipzig u. Berlin 1921. S. 38.
- Hjulström, F.*: a. a. O., S. 240.
- Wundt, W.*: Die Flußmäander als Gleichgewichtsform der Erosion. Experientia, V/8, 1949. S. 301—307.
- Lehmann, O.*: Tal- und Flußwindungen und die Lehre vom geographischen Zyklus. Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin, 1915. S. 92—111 u. 171—179.
- Vacher, A.*: Rivières à méandres encaissés. Annales de Géogr. XVIII, 1909.
- Hjulström, F.*: a. a. O., S. 249.
- Mahard, R. H.*: The Origin and Significance of entrenched Meanders. Journ. of Geomorph., 5, 1942. S. 32 bis 44.
- Philippson, A.*: Grundzüge der Allgemeinen Geographie. Bd. II/2. Leipzig 1924. S. 97—105.
- Behrmann, W.*: Morphologie der Erdoberfläche. In: Handbuch d. Geographischen Wissenschaft, hrsg. von *F. Klute*, Bd. I, Wildpark. Potsdam 1953. S. 462 ff.
- Hol, J.*: a. a. O. 1938.
- Kremer, E.*: a. a. O. 1954.
- Troll, K.*: Der diluviale Inn-Chiemsee-Gletscher. Forsch. z. Dt. Landes- u. Volkskunde, XXIII/1. Stuttgart 1924. S. 53 ff.
- Troll, K.*: Die jungglazialen Schotterfluren im Umkreis der deutschen Alpen. Forsch. z. Dt. Landes- u. Volkskunde, XXIV/1. Stuttgart 1926.

40. v. *Wißmann, H.*: Über seitliche Erosion. Colloquium Geographicum, I, Bonn 1951. 71 S.
41. *Troll, K.*: a. a. O. 1926.
42. *Koehne, W. u. Niklas, H.*: Erläuterungen zur Geol. Karte d. Kgr. Bayern 1 : 25 000, Bl. Ampfing, Nr. 675. München 1916. S. 26.
43. *Troll, K.*: a. a. O. 1924. S. 80—82.
44. *Troll, K.*: Die Rückzugsstadien der Würmeiszeit im nördlichen Vorland der Alpen. Mitt. Geogr. Ges. München, XVIII, 1/2. München 1925. S. 281—292.
45. *Knauer, J.*: Widerlegung der Einwendungen *K. Trolls* gegen die Vorrückungsphase der Würm-Eiszeit. Mitt. Geogr. Ges. München, XXXIII, 1937. — *Rathjens, C.*: Über die Zweiteilung der Würmeiszeit im nördlichen Alpenvorlande. Peterm. Geogr. Mitt., 95, 1951. S. 89—97.
46. *Knauer, J.*: a. a. O. 1937.
47. *Rathjens, C.*: a. a. O. 1951.
48. *Troll, K.*: a. a. O. 1926. S. 226—236 u. Taf. V.
49. *Kremer, E.*: a. a. O. 1954.
50. *Mathias, K.*: a. a. O. 1936 u. 1952.
51. *Lafrenz, G.*: Das Ahrtal und seine Terrassen. Beiträge zur Landeskunde d. Rheinlande Reihe 2, Heft 2. Bonn 1933.
52. *Knuth, H.*: Die Terrassen der Sieg von Siegen bis zur Mündung. Beitr. z. Landesk. d. Rheinl., 1. Reihe, Heft 4. Bonn 1923.
53. *Masuch, K.*: a. a. O., S. 19.
54. *Büdel, J.*: Eiszeitliche und rezente Verwitterung und Abtragung im ehemals nicht vereisten Teil Mitteleuropas. Pet. Geogr. Mitt., Erg.-Heft Nr. 229. Gotha 1937. 71 S.
55. *Büdel, J.*: Die morphologische Entwicklung des südlichen Wiener Beckens und seiner Umrandung. Berliner Geogr. Arb., H. 4, Stuttgart 1953.
56. *Troll, C.*: Die dritte Internationale Quartärkonferenz (Inqua) und ihre Belehrungsreisen in Österreich, III. Zeitschr. f. Gletscherkunde, XXV, 1937. S. 252—270.

ZUR WÜSTUNGS- UND KULTURLANDSCHAFTSFORSCHUNG*)

Helmut Jäger

Mit 4 Bildern

*Contributions to the study of deserted settlements
and the cultural landscape*

Summary: This paper communicates results of investigations which were carried out by the author recent years in the field of settlement desertion and cultural landscape study. The paper deals particularly with "Wüstungsfluren", deserted fields, according to their type and layout, and their significance for geographical and historical research. The stages reached in various countries in research on deserted fields is reviewed in a short section. The question of the origin of "Hochäcker" (ridges and furrows) and "Hochrainen" (cultivation terraces, lynchets) is answered. Ridge and furrow are the result of a special type of tillage, primarily conditioned by humidity and type of soil; this method of tillage was particularly advantageous when a plough with unre-

versible mouldboard was used. Certain circumstances indicate that ridge and furrow widely distributed over North Germany and Jutland even before 500 A.D. As regards the origin of lynchets, the author agrees with O. G. S. *Crawford* and *Kuhn*; as a type of tillage, lynchets are older than ridge and furrow.

To the geographer the dating of deserted fields is not an end in itself, but by using them as "guiding fossils", a means to a genetic approach to the study of the cultural landscape. Both Medieval ridges and furrows as well as lynchets under a forest cover are widely found in Middle Europe. The investigation of such deserted fields showed that in the Middle Ages there were in various German regions certain place and field types which could no longer be found in the same areas during the modern period. The rural cultural landscape has in many cases changed to a much greater degree than was formerly believed. The study of but temporarily deserted settlements proved in this respect most rewarding.

The author has begun to try and establish regions and periods of a uniform type of landscape development. The desertion period started in parts of Hesse and adjoining regions at the beginning of the 14th century and lasted until the middle of the 15th century. This dating takes much weight off the theory that there are connexions between climatic changes and the desertion of settlements, at least as far as this region is concerned. The concept of the "Altlandschaft" (historic landscape) is put forward anew for discussion. Very early and continuously settled regions may, if they suffered a desertion period, possess very youthful features in their landscape, whereas in contrast, late settled regions, where no desertion of settlements occurred, may exhibit settlements, places and fields, of a much older type. Finally it is stated, that when dealing with the late Medieval desertion period, the changes in the political and sociological structure should be considered more than has been done hitherto.

Die Untersuchungen begannen mit der Sammlung und Bearbeitung des Beobachtungsmaterials über Wüstungsfluren in Deutschland und seinen Nachbarländern. Außerdem wurden die verschiedenen Formen des Ackerbaus in älterer Zeit berücksichtigt, da sie bedeutungsvoll für die Datierung der Wüstungsfluren sind. Zu den zahlreichen Veröffentlichungen über Vorzeitäcker kann leichter Stellung genommen werden, wenn persönliche Begehungen von Wüstungsfluren vorliegen. Daher habe ich zur Ergänzung der Literaturstudien aufgelassene Fluren in verschiedenen Gebieten besucht. Eine zeitlich richtige Einordnung der Wüstungsfluren in die Kulturlandschaftsentwicklung ist vielfach nur durch historisch-geographische Studien möglich. Es wurde Material in den Staatsarchiven Marburg, Wolfenbüttel und Würzburg eingesehen.

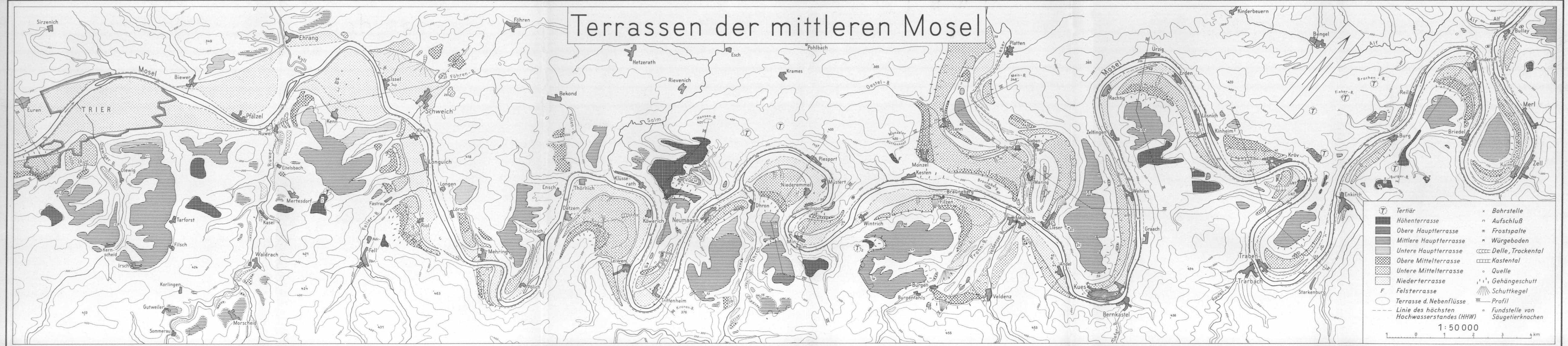
Im Vordergrund der Untersuchungen über Wüstungsfluren stehen vier Typen fossiler Äcker:

1. Sich rechtwinklig kreuzende niedrige Wälle und Raine (Banks, balks, lynchets), die mehr oder weniger rechteckige Grundstücke einschließen.

Diese Gebilde wurden bisher in England, Dänemark und Holland gefunden. Näher untersucht sind sie durch *Crawford*, *Hatt* und *van Griffen*. Sie entstammen der Eisenzeit. Ob die formal in diese Gruppe gehörenden isländischen fossilen Äcker mit den Systemen des Kontinents in Beziehung zu bringen sind, ist nicht entschieden. Auch in Irland wurden prähistorische Äcker entdeckt (s. *Kirbis* 1952 S. 10 ff. und *Crawford* 1953 S. 87 ff.).

*) Der Verfasser hat sich 1952 und 1953 als Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft am Geographischen Institut der Universität Göttingen mit Wüstungsfluren beschäftigt. Probleme und Fragen, die bei Abschluß des Stipendiums noch nicht gelöst waren, bearbeitet er nach seiner Übersiedlung zum Geographischen Institut Würzburg von dort aus. Am Geographischen Institut der Universität Göttingen wird weiterhin Beobachtungsmaterial über Wüstungsfluren systematisch gesammelt.

Terrassen der mittleren Mosel



⊙	Tertiär	×	Bohrstelle
■	Höhenterrasse	⊓	Aufschluß
▨	Obere Hauptterrasse	⊓	Frostspalte
▩	Mittlere Hauptterrasse	⊓	Würgeboden
▪	Untere Hauptterrasse	⊓	Delle, Trockental
▫	Obere Mittelterrasse	⊓	Kastental
▬	Untere Mittelterrasse	○	Quelle
▭	Niederterrasse	⊓	Gehängeschutt
F	Felsterasse	⊓	Schuttkegel
○	Terrasse d. Nebenflüsse	⊓	Profil
---	Linie des höchsten Hochwasserstandes (HHW)	⊓	Fundstelle von Säugetierknochen

1 : 50 000

1 0 1 2 3 4 km