

## II. Besprechungen.

### Die Flußterrassen.

Von Dr. R. Sokol (Pilsen).

(Mit 2 Textfiguren.)

#### Inhalt.

	Seite
I. Einführung . . . . .	194
II. Ursache der Eintiefung . . . . .	195
III. Ursache der Aufschüttung . . . . .	199
IV. Ursache der Periodizität der Eintiefung und der Aufschüttung . . . . .	207
V. Ursache der Stufenform . . . . .	220
VI. Die geologische Zeit der Eintiefungen und Aufschüttungen . . . . .	227

#### Literatur.

1. AHLBURG, JOH., Über das Tertiär und das Diluvium im Flußgebiete der Lahn. Jahrb. d. kgl. preuß. geol. Landes-Anst. Berlin. 1915. S. 269—373.
2. DAVIS, W. M., River Terraces in N.-England. Bull. of the Mus. of Com. Zoology at H. College XXXIII. 1902.
3. DAVIS-RÜHL, Die erklärende Beschreibung der Landflächenformen. 1912.
4. DIETRICH, B., Entstehung und Umbildung von Flußterrassen. Geol. Rundschau 1911. S. 445.
5. DRYGALSKI, E., Über Bewegung der Kontinente zur Eiszeit. Verh. d. VII. geogr. Kongr. Berlin 1889.
6. ENGELMANN, R., Die Terrassen der Moldau—Elbe. Diss. 1911.
7. ENGELMANN, R., Geomorphologische Untersuchungen in Böhmen. Lotos 1913. S. 107—109.
8. GAGEL, C., Die Beweise für eine mehrfache Vereisung Norddeutschlands in dil. Zeit. Geol. Rundschau 1913.
9. GEIKIE, JAMES, Prehistoric Europe. 1881.
10. HENKEL, L., Die Terrassen des Maintals bis zum Eintritt in die oberrheinische Tiefebene. Beitrag zur Entwicklungsgeschichte des fränkischen Flußnetzes. Geol. Rundschau 1919. S. 137—155.
11. HETTNER, A., Die Arbeit des fließenden Wassers. Geogr. Z. 1910.
12. HILBER, V., Taltreppe. Eine geol.-geogr. Darstellung. Graz 1912.
13. HILBER, V., Baustufen, Paläolithikum und Lößstellung. Mitt. d. Geol. Ges. Wien. XI, 1918, 1919. S. 193—230.
14. KAYSER, E., Lehrbuch der Geologie. 1909. I.
15. KEILHACK, K., Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Leipzig 1889.
16. KREUTER, F., Der Flußbau. 1910. S. 12.
17. MILLER, H., River Terracing. Proceedings of the R. Phys. Society. VII. Edinburgh 1883.
18. NANSEN, F., Über seine Durchquerung Grönlands. Verh. Ges. f. Erdk. zu Berlin. XVII. 1890. S. 452.

19. PENCK, A., Morphologie der Erdoberfläche. I. 1894.
20. PRINZ, E., Handbuch der Hydrologie. Berlin 1919.
21. RUDZKI, M. P., Deformation der Erde unter der Last des Inlandeises. Bull. int. de l'Acad. Soc. Cracovie. 1889.
22. SCHÖNE, E., Der Fläming. Wiss. Veröff. d. Ges. f. Erdk. in Leipzig. 1889.
23. SIEBERT, L., Zur Theorie der Talbildung. Monatsber. d. D. geol. Ges. Berlin. 1910. S. 1—30.
24. SIEBERT und WEISSERMEL, Die Gliederung des Diluviums zwischen Halle und Weißenfels. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1906. LVIII.
25. SOKOL, R., Ein Beitrag zur Kenntnis des Untergrundes der Kreide in Böhmen. Verh. Geol. R.-A. Wien. 1912. S. 292.
26. SOKOL, R., Die Terrassen der mittleren Elbe in Böhmen. Verh. d. geol. R.-A. Wien. 1912. S. 272.
27. SOKOL, R., Tarasy středního Labe v Čechách [Die Terrassen der mittleren Elbe in Böhmen]. Verh. d. böhm. Akad. d. Wiss. 1912.
28. SOKOL, R., Über das Sinken der Elbeebene während der Diluvialakkumulation. C. f. M. G. u. P. 1913.
29. SOKOL, R., Příspěvek k výzkumu teras středního Labe v Čechách [Ein Beitrag zur Kenntnis der Terrassen der mittleren Elbe in Böhmen]. Revue der Böhm. geogn. Ges. Prag. 1913.
30. SOKOL, R., Bemerkungen zu geomorphologischen Methoden. Sitzungsber. d. Böhm. Ges. d. Wiss. 1916.
31. SOKOL, R., Zur Beurteilung der Ansichten Puffers über die Böhmerwaldformen. Mitt. d. Geogr. Ges. Wien. 1918. S. 290.
32. SOKOL, R., O érozi [Von der Flußerosion]. Věda přírodní [Die Naturwissenschaft]. Prag. I. 1920 S. 107—119.
33. SOKOL, R., O původu našich terasů diluviálních [Über den Ursprung unserer diluvialen Terrassen]. Sitzungsber. d. Böhm. Ges. d. Wiss. 1920.
34. SÖLCH, L., Eine Frage der Talbildung. Festband A. PENCK. Stuttgart 1918. S. 74.
35. SUPAN, A., Grundzüge der physischen Erdkunde. 1911. S. 560.
36. WAHNSCHAFFE, F., Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. 1909. S. 349.
37. WETTSTEIN, A., Geologie von Zürich und Umgebung. Zürich. 1885.

## I. Einführung.

In der Fülle der Arbeiten über Flußterrassen und der aufgestellten und wieder bestrittenen Behauptungen könnte man nur dann Klarheit schaffen, wenn es möglich wäre, zu scharfen Begriffen zu gelangen. Wenn eine Naturerscheinung, wie die der Flußterrassen von vielen Faktoren abhängig ist, so läßt sich ihre Analyse nicht anders erledigen, als daß man jeden einzelnen Faktor verfolgt und dann erst die Kombination der Faktoren untersucht. Indessen liegt die Sache nicht so einfach, wenn vom Terrassenbau behauptet wird, daß er eine ganzirdische Erscheinung sei und daß einige diesbezügliche Faktoren, wenn sie auch regional wirken, so doch räumlich beschränkt seien. Man strebt einerseits nach einer allgemeinen Erklärung des Terrassenbildes, andererseits sammelt man Belege für die Ungleichheit und zeitliche Verschiedenheit der Baustufen und Grundstufen unserer Flüsse. Auf solche Weise entsteht ein Gemisch von Hypothesen, das im ganzen wohl dem einzigen

bisher sicheren Befunde entsprechen dürfte, daß die Terrassenentwicklung keine einfache Ursache hat.

Studieren wir die Erscheinung nach der oben besagten Methode, dann müssen wir die Fragen nach der Ursache

1. der Eintiefung der Täler,
2. der Aufschüttung derselben,
3. der Periodizität der beiden Vorgänge und
4. des Stufenbaus beantworten. Man muß endlich
5. die geologische Zeit der Eintiefungen und Aufschüttungen feststellen.

Die Folge der Fragen entspricht wohl der Entwicklung. Zuerst schneidet sich der Fluß bis zum Gleichgewichtsprofil ein und fängt dann mit Aufschüttung unter Mäanderbildung an. Sollen sich diese zwei Stadien wiederholen, dann muß sich ein neuer Faktor einstellen, der das Gleichgewicht zwischen dem Flusse und dem Relief vernichtet. Auf die Weise wird der Fluß zur neuen erosiven Arbeit gezwungen. Tatsächlich setzte dieser Faktor periodisch ein. Der sich einschneidende Fluß kann entweder dieselbe Breite des Bodens behalten oder einen breiteren oder auch einen engeren Boden ausarbeiten. Nur in diesem dritten Falle entsteht ein regelmäßiges Stufenbild unserer Flüsse, das nun zu erklären ist. HENKEL [10] hält zwar solche Erklärungen für die Flüsse des deutschen Gebirgslandes für überflüssig, da nach ihm die Verschmälerung der Talböden in Wirklichkeit gar nicht eintritt. Aber er hat die gleiche Breite der Aue in seiner Fig. 3 nur auf die Weise erhalten, daß der Fluß im Prof. 2 seinen Lauf seitlich (um die halbe Breite der Aue) verlegte. Diese »Erklärung« wäre annehmbar, wenn nirgends beiderseitige Terrassenreste vorhanden wären. Da dieselben aber wirklich bestehen, so muß man sich doch mit der Frage beschäftigen. Man darf nicht, wie HILBER [13] es tut, für die Vertiefung und für die Entstehung der Stufenform vorderhand gemeinsame Faktoren voraussetzen.

Die Beantwortung der ersten vier gestellten Fragen läßt sich teilweise aus der Dynamik des Flusses deduzieren. Die letzte (stratigraphische) Frage über die geologische Zeit der Eintiefungen und der Aufschüttungen wird man aber nicht an der Hand der paläontologischen Funde allein, sondern auch an der Hand der Tektonik und der sämtlichen Ergebnisse des deduktiven Verfahrens befriedigend lösen können.

## II. Ursache der Eintiefung.

An der Eintiefung des Talbodens arbeitet die lebendige Kraft der Wassermassen samt dem in denselben sich fortbewegenden Schotter<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Das Tempo der Eintiefung (die Erosion in der Zeiteinheit) hängt wohl von der Gesteinsbeschaffenheit im Untergrunde ab. SUPAN (35, S. 524 Anm.) wendet sich mit Unrecht gegen meine Ausführungen (C. f. M. G. P. 1907, S. 429), worin ich aus dem Betrage der Erosion eines Baches die Zeitdauer derselben Erosion be-

Die Schleppkraft (des Flusses)  $S$  ist mit dem Produkte der Tiefe  $t$  des Flusses und dem Gefälle  $\varphi$  direkt proportional,

$$S = 1000 \times t \times \varphi [16].$$

Auf die Eintiefung des Talbodens haben folglich Einfluß alle die Faktoren, durch welche die Tiefe (Wasserführung) und das Gefälle des Flusses bedingt wird. Die Wasserführung des Flusses ist abhängig

1. von den Niederschlägen, im Allgemeinen von den Klimaschwankungen, die ganzirdisch oder bloß lokal sein können. Der letztere Fall kommt vor bei den tektonischen Bewegungen der Erdkruste (bei der Hebung die Steigerung der Niederschläge), aber auch bei der Abtragung des Reliefs,

2. von dem Abflußkoeffizienten der Niederschläge, welcher besonders von der Pflanzendecke abhängig ist,

3. von dem Verdunstungskoeffizienten,

4. von der Höhe und Ausgiebigkeit des unterirdischen Wassers (beide letzteren Faktoren hängen von den Klimaschwankungen, der letzte auch von dem Relief der Oberfläche ab),

5. von der Zahl und Größe der Zuflüsse. Die Erweiterung des Flußnetzes (Vergrößerung des Flußgebietes) einiger in der Endform der Oberfläche übriggebliebenen Flüsse auf Kosten von vielen kleineren, die die Anfangsform ursprünglich bewässerten, darf als ein gesetzmäßiges Ereignis angenommen werden, welches also ganzirdisch ist.

In der obigen Gleichung ist nur des reinen Wassers gedacht. Es bewegt sich aber in demselben auch der Schotter, welcher einen Teil der Energie verbraucht. Falls sich die dem Flusse von der Quellenregion und von Abhängen gespendete Menge des Schotters vermindert, muß ein Teil der Stromenergie frei werden. Dadurch wächst die Geschwindigkeit des Wassers. Das hat dieselbe Wirkung, wie wenn sich die Wasserführung oder die Geschwindigkeit vergrößerte.

Das Gefälle wird

1. durch die Form der DAVISSchen Uroberfläche, später durch die Erosionsarbeit des Flusses bestimmt, der sowohl weiche als auch harte Gesteine durchschneidet, um in den weichen (lockeren, tiefgründig verwitterten und zersetzten) ein kleines, in den harten ein größeres Gefälle zu erzeugen und dem ausgeglichenen Gefälle von der Quelle bis zur Mündung zuzustreben. Das Gefälle hängt weiter

2. von orogenetischen und epirogenetischen Bodenbewegungen zwischen der Quelle und der Mündung ab. AHLBURG (I, S. 350)

---

rechnete. Er führt einige Beispiele an, die zeigen sollen, daß die Hochwassererosion alle Berechnungen in Frage stellt. Ich muß aber bemerken, daß seine Beispiele aus Gebieten weichen und nachgiebigen Gesteins genommen wurden, der von mir beschriebene Vrchlice-Bach aber im frischen Gneise fließt. Das Leugnen des Wertes von solchen Berechnungen bedeutet fast eine Rückkehr zu der alten Kataklysmenhypothese.

wies nachdrücklich auf diesen Faktor hin. Durch die größere Wasserführung wird der Fluß wohl fähig sein, früher zu dem Gleichgewichtsprofil zu gelangen, aber die Arbeit selbst (nicht die Arbeit in der Zeiteinheit, der Arbeitseffekt) hängt nur von der Entfernung des jeweiligen Profils von dem Gleichgewichtsprofil, also vom Gefälle ab. Das Gefälle wird aber durch tektonische Bewegungen bestimmt. HILBER (13) hat nicht Recht, wenn er den AHLBURGSchen Satz ad absurdum durch die vermutliche Folgerung führen will, daß ein großer Fluß bei gleichem Gefälle keine stärkere Kraft besitze als ein kleiner. AHLBURG spricht von der Tätigkeit des Flusses, nicht von der Intensität der Arbeit desselben<sup>1)</sup>, was von HILBER unwillkürlich in die Folgerung hineingelegt wurde. Auf derselben Seite spricht HILBER polemisch die Meinung aus, daß der Fluß durch Aufschotterung des Bodens sein Gefälle vergrößern könne und daß folglich die AHLBURGSche Behauptung von der alleinigen Abhängigkeit des Gefälles von den Bodenbewegungen unrichtig sei. Dazu muß ich bemerken, daß der Fluß, falls er einmal auf der Uoberfläche sein Gleichgewichtsprofil durch Aufschüttung und Erosion herstellte, infolge seiner Dynamik selbst unmöglich eine Aufschotterung und Erhöhung seines Bodens vornehmen kann. Die Ursache dazu muß außerhalb des Flusses liegen (relative tektonische Senkung, relative — im Verhältnis zur Wasserführung — Vermehrung der von der Umgebung gespendeten Schuttlast). Die Akkumulationsarbeit des Flusses ist aber etwas negatives gegenüber dem positiven Einschneiden desselben. Wenn man den AHLBURGSchen Satz auf solche Weise vervollständigt, so ist er eindeutig richtig. Er lautet dann: »Die jeweilige Tätigkeit eines einschneidenden Flusses ist wohl lediglich eine Funktion seines Gefälles«. Fast auf jedem Punkte in den Alpen läßt sich die Giltigkeit des Satzes beobachten. Z. B. bei Prutz im S. von Landeck (Tirol) mäandert der reichlich wasserführende Inn, auch der Kaunser Bach ist schon fast zum Gleichgewichtsprofil gelangt, aber der Fendler Bach bei Ried und viele von den Abhängen herabrieselnde winzige Wasseradern befinden sich noch hoch oberhalb ihres Gleichgewichtsprofils. Die Tätigkeit der letzteren Wasserläufe ist vorwiegend gegen die Tiefe gerichtet, wogegen der mächtige Inn und der Kaunser Bach schon einen seitlichen Schurf ausüben. Es ist da folglich nicht die Wasserführung für den momentanen Tiefenschurf der genannten Flüsse maßgebend, sondern nur das Gefälle. Vermindert sich das Gefälle bis zu einem von dem Terrain und von Klimaverhältnissen abhängigen Grade,

---

<sup>1)</sup> Nebenbei sei bemerkt, daß AHLBURG speziell vom Längsprofil der Lahnterrassen spricht und durch seinen Satz die Tatsache erklären will, daß sich die Lahn z. B. im Unterlaufe im Erosions-, talaufwärts aber (zwischen Marburg und Limburger Becken) im Aufschüttungsstadium befindet. Dies läßt sich kaum als Funktion der Klimaschwankung oder Wasserführung erklären. — Weiter unten (S. 356) sagt er ausdrücklich: »Abhängig von der Wassermenge ist wohl nur die Schnelligkeit, mit der die Erosion erfolgt.«

so bleibt der Tiefenschurf aus. Die veränderliche Wasserführung hat folglich auf die gesamte Größe des Tiefenschurfes keinen Einfluß. Wo zwei Wasserläufe von einer recht verschiedenen Wasserführung erodieren, wie etwa der Inn und der Kaunser Bach, bleibt der wasserärmere von ihnen beim steilen Gefälle auch in der Ruhelage. Also nur für das Gefälle des Gleichgewichtsprofils hat die Wasserführung eine Bedeutung. Die Distanz zwischen der momentanen Höhenlage des unausgeglichene Flußbettes und dem Gleichgewichtsprofil ist für die einschneidende Tätigkeit des Flusses maßgebend; diese Tätigkeit ist also eine Funktion der Differenz der beiden Gefälle (des momentanen und des der Erosionsruhelage).

3. Das Gefälle wird durch die Bewegungen der Erosionsbasis bestimmt. Falls sich dieselbe relativ erniedrigt, vergrößert sich das Gefälle bei der Mündung, und die Gefällskurve rückt infolge der rückschreitenden Erosion zur Quellenregion weiter. Wird die Erosionsbasis erhöht, dann muß man unterscheiden, ob der Fluß schon das Gleichgewichtsprofil besitzt oder nicht. Nur im zweiten Fall wirkt die Erhöhung der Erosionsbasis durchgreifend, da die Erosion oberhalb der Mündung sogleich und in höherer Lage bald (nach dem Erlangen des Gleichgewichtsprofils) zum Stillstande gebracht wird. Da die Bewegungen der Erosionsbasis auf den ganzen Fluß wirken und auch eine andere als tektonische Ursache (z. B. die horizontale oder vertikale Verschiebung der Erosionsbasis durch Inlandsgletscher) haben können, wurden sie nicht unter Punkt 2 gestellt.

Aus dem oben Angeführten (Punkt 2) geht hervor, daß das Gefälle des Gleichgewichtsprofils von der Wasserführung abhängig ist. Beim Wasserreichtum senkt sich die Gleichgewichtskurve, und ihr Gefälle wird kleiner. AHLBURG meint, daß für die Tätigkeit des Flusses (Erosion und Aufschüttung), der sich in einzelnen Zonen in der Erosionsphase, in anderen Zonen in Aufschüttungsphase befindet, nicht Klimaschwankungen als allgemeine Ursachen maßgebend gewesen sein können. Dabei muß man bedenken, daß das Nebeneinander von Erosions- und Aufschüttungszonen eine im Laufe des Zyklus notwendige Erscheinung ist, die zuerst von der Gestalt der Uroberfläche, später von der geologischen Ungleichmäßigkeit und tektonischen Mitleidenschaft des Untergrundes bedingt ist und die weniger oder mehr verschwindet, sobald das Gleichgewichtsprofil erreicht wurde. Indem die Klimaveränderungen die Wasserführung bedingen, können sie nur das Tempo der Flußarbeit beeinflussen. Einen von dem Wendepunkte bis zur Mündung akkumulierenden Zustand muß jeder Fluß endlich erreichen, mag die Wasserführung hoch oder niedrig sein. Aus dem Vorhandensein von beiden Phasen (Erosion und Aufschüttung) im Laufe eines und desselben Flusses läßt sich folglich nicht gegen das Vorhandensein von Klimaschwankungen als verzögernden Faktor schließen.

### III. Ursache der Aufschüttung.

Sie liegt in der Insuffizienz der Schleppkraft im Verhältnis zu dem Gleichgewichtszustande. Genügt die Schleppkraft gerade zur Beförderung des Schotters, dann muß es zur Sedimentation in dem Augenblicke kommen, in dem ein Minus der Schleppkraft eintritt. Aus dem Obigen geht hervor, daß dieser Zustand infolge Abnahme der Tiefe (der Wasserführung) oder des Gefälles oder auch infolge der Vergrößerung der Schottermenge verursacht wird. Dieser Zustand ist eine notwendige Folge der Flußentwicklung bei der Mäanderbildung. Maßgebend sind folglich wie bei der Eintiefung:

1. Niederschläge,
2. der Abflußkoeffizient und der Verdunstungskoeffizient derselben,
3. die Zahl und Größe der Zuflüsse,
4. die Form der Uroberfläche und spätere aus derselben entspringende Veränderungen, z. B. Bergstürze, Schutthalden,
5. weiches Gestein im Untergrunde,
6. orogenetische und epirogenetische Bodenbewegungen zwischen der Quelle und der Mündung des Wasserlaufes und desgleichen Bewegungen der unteren Erosionsbasis.

Von diesen Ursachen üben nach SIEGERT (23, S. 5) die Bergstürze, Schutthalden und die Verschiedenheit der Gesteine auf die Terrassenentwicklung einen Einfluß aus, der praktisch gleich Null sein sollte. Demgegenüber muß ich bemerken, daß in wassertechnischen Werken über große Flüsse (z. B. die Elbe), von welchen SIEGERT spricht, Stromkurven angegeben werden, die wohlausgeglichen von der Quelle bis zur Mündung des Wasserlaufes verlaufen, ohne den Einfluß der Gesteine zu zeigen. Daraus aber folgt nicht, daß sich die Anschwemmungen ebenso wie die Stromkurve verhalten, was ihre Beständigkeit, Breite und Mächtigkeit betrifft, vielmehr zeigen dieselben eine recht bunte Veränderlichkeit und Abhängigkeit von den Gesteinen und von den späteren Veränderungen der Oberfläche.

Mit den Ursachen der Aufschüttung hat sich besonders HILBER (13) eingehend beschäftigt. Was den Inn betrifft, so verwirft er die AMPFERERsche tektonische Hypothese (Stauung infolge der Rückneigung des Inntalgebietes), da auch das westlich gerichtete Donautal und ebenso verschieden gerichtete Strecken des Inns mächtige Aufschüttungen aufweisen. Er meint, daß die tektonische Stauungshypothese zur allgemeinen Anwendung ungeeignet sei, da selbst entgegengerichtete benachbarte Täler verschiedener Flußsysteme (z. B. die der Moldau und der March) Aufschüttungserscheinungen zeigen. Auf die HILBERschen Einwendungen muß ich antworten: Es folgt aus ihnen nicht, daß die tektonische Eintiefungshypothese unrichtig wäre. Vielmehr wirkt die tektonische Hebung regional auf alle Ströme, und zwar auf

die im Sinne der Hebung am deutlichsten, auf die entgegengerichteten dagegen antezedent. In den mit der Achse der einseitigen Hebung parallelen Talstrecken arbeitet die rückschreitende Erosion. Am Ende des Zyklus müssen aber alle Flüsse zur Aufschüttung gelangen. Hebungen im Unterlaufe können zu Aufschüttungen im Oberlaufe nur dann durchgehend führen, wenn der Fluß sich im Gleichgewichtsprofile befindet. Die Aufschüttung dauert wohl nur solange, bis die Erosion des gehemmten Talstückes vollendet ist.

Ein Steigen des Meeres verursacht Aufschüttung im Unterlaufe. In der neuen Mündung bleibt nämlich der Schotter liegen und füllt das alte Flußbett bis in die Höhe des Meeresniveaus aus. Infolgedessen staut sich das Wasser, und der Boden wird mit dem vom Flusse mitgebrachten Material zugeschüttet. Wenn sich der Vorgang wiederholt, entstehen Terrassen, die wohl flußabwärts divergieren müssen. Stauungen durch Riegel (Moränen, Bergsturzmassen) können selbstverständlich zu Anschüttungen führen.

Die Sohlenneigung konnte auch durch Gletschererosion hervorgerufen werden. Durch diese erklärt BRÜCKNER (Alpen im Eiszeitalter) die Aufschüttungen in alten Gletscherbetten (übertiefte Täler).

Als allgemein wirkenden Faktor, durch welchen man die auf der ganzen Erdoberfläche verbreiteten Anschüttungserscheinungen erklären dürfte, stellt HILBER (12, S. 33) die Änderung der Wassermenge fest, und zwar die Verminderung derselben, hervorgerufen durch Änderung der Niederschlagsmenge.

HILBER polemisiert gegen UHLIG (siehe NEUMAYRS Erdgeschichte, 2. Aufl. 1895, S. 518), welcher meint, daß die großen Wassermassen der abschmelzenden Gletscher mächtige Aufschüttungen der diluvialen Terrassen in verwilderten Flußbetten bewirkten, worauf in den interglazialen Perioden die tiefere Lagerung der Erosionskanäle erfolgte. HILBER meint, daß die Ansicht UHLIGS im Widerspruche mit den Gesetzen der Flußarbeit sei, daß nämlich Aufschüttung niemals als Folge größerer Transportkraft gelten könne. Ähnliches wirft HILBER der Ansicht BÖHMS vor. BÖHM (J. k. k. geol. R.-A. 1885, S. 485) sagt: »Wo früher abgelagert wurde, wird eine Vermehrung der Wassermenge eine absolute Vermehrung der Ablagerung, und wo ansonst erodiert wurde . . . ebenso eine Verstärkung der Erosion bedingen«. Zu dem Streite muß ich folgendes bemerken: Wenn sich der Fluß oberhalb seines Gleichgewichtsprofils befindet, dann wird eine Vermehrung seiner Wassermassen selbstverständlich keine sofortige Anschüttung hervorbringen, wohl aber beschleunigt sie die Arbeit des Flusses, so daß er die akkumulierende Ruhelage bald erreichen wird. Von diesem Falle spricht aber BÖHM nicht, ebenso wenig gedenkt des Falles UHLIG. Beide Autoren gehen vielmehr in ihrer Betrachtung von einem akkumulierenden Flusse aus. Die vermehrte Wassermenge gräbt sich zuerst ein ein wenig tieferes Bett, welche Arbeit bald fertig sein wird, da die diesbezüglichen Gleichge-



wichtsprofile den Wasserständen entsprechen müssen, und die Wasserstände können unmöglich allzusehr differieren. Darüber belehren uns die jetzigen Hochwasser- und Niederwasserbetten. Es folgt, daß der Tiefenschurf bald zu Ende war, und der Fluß fing an zu akkumulieren. Von dieser Akkumulation wurde die voreiszeitliche weit übertroffen. Ich möchte also die BÖHMISCHE Auffassung aufrecht erhalten, daß eine Vermehrung der Wassermassen eine absolute Vermehrung der Ablagerung bedingt.

Horizontale Verschiebung der Erosionsbasis (durch Inlandeis oder infolge der Deltabildung) kann eine Flußverlängerung im Unterlaufe und dadurch eine Gefällsverminderung hervorbringen, was zur Anschüttung führt. Ähnliches kommt im Gefolge der Talverbreiterung (bei der Mäanderbildung) zustande.

Durch Vermehrung der Schuttlast wird die Anschüttung gefördert, wenn z. B. das Land im Oberlaufe gehoben oder der Flußlauf gestreckt wird oder das Material von den Moränen des schwindenden Gletschers den Flüssen in einer Weise übergeben wird, daß die Schleppkraft den Schutt nicht bewältigen kann. Auch durch Geschiebevergrößerung an Talriegeln und Talspornen und unter der Mündung eines Zuflusses kommt es zur Übergabe von den zu groben Geschieben an die Terrasse.

Die Eisbäche speien auf die Ebenen ausgedehnte Schotterfelder aus, die Wildbäche machen es ebenso und bauen Schotterkegel. Diese Sedimente unterscheiden sich durchgehends durch ihr grobes Korn von sandigen diluvialen Terrassen. Diesen letzteren ähnliche Sedimente findet man nur in Mäanderkernen und Betten der großen mäandrierenden Ströme vor. Nur ein mäandrierender Fluß ist zu einer Akkumulation fähig, welche ein gleichartiges und feines Korn aufweist. SUPAN (35) sagt, daß die Talmäander in der Regel dort anfangen, wo der Fluß aus einem weichen Gestein in ein härteres übertritt, wo sich Hindernisse für den Tiefenschurf einstellen und dadurch sich der Seitenschurf entfalten kann. PENCK (19) ist der Meinung, daß die Seitenerosion in dem Augenblicke anfang, als der Tiefenschurf wegen einer harten Schwelle, die sich nicht erniedrigen läßt, unmöglich wurde. Diesen Worten setzt er den Satz vor, daß der Stand einer Strecke für die flußaufwärts gelegene Strecke maßgebend ist. Es bilden sich also nach PENCK die Mäander oberhalb der härteren Schwelle; die SUPANSCHE Behauptung könnte man auch in dem Sinne deuten, daß die Mäander im härteren Gestein wegen der Unmöglichkeit des Tiefenschurfes entstehen. Gegen diese Deutung muß man einwenden, daß der Fluß ebenso schwer das härtere Gestein seitlich erodiert, wenn er in demselben nicht rasch in die Tiefe einschneiden kann. Es ist nicht denkbar, daß der Fluß in das harte Gestein überhaupt nicht einschneidet; ist er aber in das Gestein eingedrungen, so berührt er dasselbe in Ufern und muß es beim Mäandrieren angreifen. Dann ist aber die Entwicklung von Mäandern im harten Gestein nicht erklärt worden. SUPAN dürfte beobachtet

haben, daß Mäander oft im Bereiche von harten Gesteinen vorkommen; oberhalb dieser Mäanderstrecke hat der Fluß eine beiderseitige und zusammenhängende Aue ausgebildet, in welcher er spät alt geworden ist. Dies geschah dadurch, daß die weichen Gesteine leichter fortgeschafft werden konnten und daß sich durch die Verminderung des Wasserstandes auch die Mäanderschlingen verkleinerten, sodaß sie bei der oberflächlichen Beobachtung verschwinden. Auf Karten von kleinem Maßstabe werden sie weggelassen, in härteren Gesteinen verbleiben sie bis in die Gegenwart (eingesenkte Mäander).

Erwähnen wir dazu noch der Meinung DAVIS. Wenn sich oberhalb eines Wasserfalles eine Strecke vom ausgeglichenen Gefälle vorfindet, wird sie durch seitliche Erosion bis zur reifen Breite erweitert; auf ihrem unteren Ende schneidet sich ein enges Schluchtental von jugendlichem Aussehen in den Felsen ein. Die erweiterte Strecke hat ihr Gefälle mit Rücksicht auf die lokale, nur langsam sich erniedrigende Erosionsbasis ausgeglichen und wird dem Abtrage unterliegen. In der vollkommenen Reife schreitet aber die Aue ungestört über weiche und harte Gesteine weiter vor. Soviel DAVIS.

Es ist klar, daß zwischen beiden Stadien, die DAVIS schildert, der Zeitpunkt vermitteln wird, wo der Fluß durch das Mäandrieren auch die harte Strecke verbreitern wird. Dann bekommt man den Eindruck, wie ihn SUPAN schildert.

Ich muß auch die Kritik HETTNER'S (11) über die Anschauung der Hydrotechniker erwähnen, daß nämlich Mäander zu dem Zwecke gebildet werden, daß der Fluß seinen Lauf verlängert. HETTNER weist diese Anschauung zurück, da sie nicht mechanisch ist. Damit sagt er etwas, was allerdings selbstverständlich ist, daß nämlich die Anschauung der Hydrotechniker teleologisch ist; dadurch wird sie aber nicht widerlegt. Es liegt ein ähnlicher Fall vor, wie wenn man sagt, daß die Pflanzen bunte Blüten zu dem Zwecke bilden, damit sie das Insekt sehen und bestäuben könnte. Es ist bisher nicht gelungen, diesen Zusammenhang mechanisch zu erklären, woraus wieder die Teleologie ihre Befugnis schöpft. Solange man nicht eine mechanische Erklärung geben kann, hat die teleologische Interpretation einen großen Wert für den Menschen. Man darf folglich nicht die teleologische Anschauung der Hydrotechniker ohne weiteres verwerfen, sondern man muß ihre Berechtigung im gegebenen Falle prüfen. Machen wir folgenden Versuch (33). In eine Glasröhre (55 cm Länge, lichte Weite 11 mm) stecke man eine stählerne Uhrfeder (2 mm breit), welche vor dem Versuche langsam durch eine Flamme gezogen wurde, so daß sie gerade wird. Wenn man die Feder von beiden Seiten drückt, krümmt sie sich und bildet bei einem bestimmten Druck zwei Wellen. Ähnliches geschieht in einem Flusse. Stellen wir uns vor, daß sich plötzlich das Gefälle in einer Strecke vermindert. Dadurch entsteht eine kleinere Stromgeschwindigkeit; es wird mehr Wasser zufließen, als wegfließt; es vergrößert sich also die Wasser-

führung. Die vergrößerte Wassermenge verhält sich wie die stählerne Feder in der Röhre. Die Stromlinie krümmt sich in Wellen, geht von einem Ufer zum anderen und verstärkt die seitliche Erosion, wodurch endlich Mäanderschlingen entstehen. Dieser Vergleich mit der Stahlfeder scheint also gerechtfertigt zu sein. Die Folge der Krümmung der Stromlinie ist die Verlängerung des Flußlaufes, wodurch das relative Gefälle vermindert wird. Es folgt weiter daraus, daß die Bildung von Mäandern eine im teleologischen Sinne keineswegs vorteilhafte Lösung ist. Wenn der Fluß in seine Ufer gräbt, um einen breiteren Boden zu gewinnen, bereitet er sich unwillkürlich einen längeren Lauf, wodurch sich die Abflußhindernisse nur vergrößern. Wir begreifen das mit Erfolg gekrönte Streben der Hydrotechniker, bei der Regulation die Mäanderschlingen durch mäßig gekrümmte Kunststrecken kühn durchzuschneiden. Wo Mäander gebildet sind, sinkt das relative Gefälle, und der Fluß kann desto mehr Energie zur seitlichen Erosion ausnützen. Und so dürfte es scheinen, wie wenn die Mäanderbildung durch die Unmöglichkeit des Tiefenschurfes bedingt wäre oder — teleologisch ausgedrückt — wie wenn der Fluß zu dem Zwecke mäandrierte, um den Tiefenschurf nicht ausüben zu müssen. Die Verminderung des Gefälles unter eine bestimmte von der Wasserführung des Flusses bedingte Grenze stellt tatsächlich die Ursache der Erscheinung dar, daß das Bett zeitweise für den Fluß zu eng wird. Die Erscheinung stellt sich notwendig bei der Entwicklung des Gleichgewichtsprofils eines jeden Flusses ein. Beachten wir noch den Vorgang, wie der mäandrierende Fluß von einem Terrassenniveau auf das andere übergeht. DIETRICH (4) zeichnet fünf Bilder. Das erste und zweite Bild stellt eine relativ enge Aue dar, wo sich der Fluß in eigene Anschwemmungen nicht mäandrierend einschneidet. Auf solche Weise bildet er teils eine beiderseitige Terasse, teils läßt er eine einseitige Terasse entstehen, indem er in die Tiefe seitlich eingedrungen ist. Weitere drei Bilder zeigen das Querprofil eines mäandrierenden Flusses. Derselbe schnitt die Aufschüttung in der Mitte, seitlich und im dritten Falle so ein, daß aus einer seitlichen Terasse nur ein winziger Rest auf dem Prallhange übrig geblieben ist. Da sich bei einer Hebung der Fluß kaum genau senkrecht in seinen ursprünglichen Boden einschneiden kann, stellt nach meiner Meinung das letzte Bild einen allgemeinen Fall vor. Es fehlt aber der DIETRICHschen Analyse ein Bild, wo der mäandrierende Fluß, indem er sich einschneidet, die frühere Terasse ganz und gar beseitigt. DIETRICH diskutiert in der Kürze, wie sich der mäandrierende Fluß in dem Falle verhält, wenn das Flußgebiet gehoben würde. Der Fluß schneidet sich schief in die neue Unterlage ein und zwar unter einem desto kleineren Winkel, je langsamer sich das Gebiet emporhob. DIETRICH behauptet, daß dieser Winkel bei einer vollen Ruhelage sehr klein sein wird, aber niemals bis auf Null sinken könne. Diese DIETRICHsche Folgerung darf man nicht streng nehmen, da sonst der Fluß in seinem Unterlaufe

unter die Erosionsbasis gelangen würde. Höchstens kann man diesen Satz DIETRICHs als einen idealen Grenzfall voraussetzen. Der zweite, wohl auch seltene Grenzfall, ist ein gänzlicher Abgang von seitlicher Erosion (unter Ausnützung der gesamten freien lebendigen Wasserkraft) zum Tiefenschurf, wie man es bei Cañons und Klammen vorfindet. Zwischen diesen Grenzfällen spielt sich die Entwicklung unserer Flüsse ab.

Nur in vollständigen Ebenen können die Flüsse willkürlich ihr Bett verlegen. Beim Hochwasserstande brechen sie ihre dammartig über ihre Umgebung erhobenen und von ihnen selbst erbauten Ufer durch und bilden ein neues Flußbett. Anderswo sind diese Erscheinungen kaum möglich. SÖLCH (34) beruft sich auf PENCK und meint, daß man die Talbreite nicht bloß aus den Mäandern ableiten könne, weil die Ufer der Länge nach viel mehr aus anderen Ursachen erodiert werden können, und weil die Schlingen sich aus verschiedenen Gründen verlegen. Ich (33) habe eingewendet, daß man unter Voraussetzung allgemeiner Gültigkeit dieser Anschauung erklären müßte, warum sich diesbezügliche Folgen bei uns nur während der Ablagerung der höchsten diluvialen Terrasse (ihre Breite sucht nämlich SÖLCH auf diese Weise zu erklären), nicht aber der niederen Terrassen äußerten. Der Erklärungsversuch SÖLCHs führt folglich zu einer neuen Schwierigkeit. HETTNER (11) spricht die Vermutung aus, daß die große Breite der höchsten Terrasse nur scheinbar sei. Die erhaltenen Terrassen, die nur selten einander paarig gegenüberstehen, verbindet HETTNER mit einer Tallinie, welche mehr als das jetzige von glazialen Faktoren umgebildete Tal schlangentartig gekrümmt ist. Dazu bemerke ich, daß ein stark und weitschweifig gekrümmter Flußlauf auch eine erhöhte Niederschlagsmenge, also eine größere Wasserführung voraussetzt.

LUDWIG<sup>1)</sup> ist der Meinung, daß die Terrassen Reste von Baustufen nicht eines Flusses, sondern einiger parallelen Flüsse darstellen, von denen der mächtigste die anderen verschlungen hat. SÖLCH (34) wendet dagegen richtig ein, daß diese Anschauung eine überaus verschiedene Erosionsfähigkeit von unseren Flüssen voraussetzt. Dieselbe erklärt aber nicht, warum sich die oberen Stockwerke bis in die Gegenwart erhielten und nicht »durch die Bildung von Maximalböschungen tieferer Niveaus ausgelöscht wurden«. Nach alledem bleibt nach meiner Meinung nichts übrig als zu bekennen, daß vor dem ersten Einschneiden der Diluvialflüsse in Mitteldeutschland und Böhmen schwache Ströme im eingeebneten Terrain flossen und den pliozänen Zyklus zu Ende führten. Früher als der erste tektonische Anlaß zum Einschneiden der Flüsse entstand, nahm die Feuchtigkeit in dem Maße zu, daß auch aus winzigen Bächen sehr breite seichte Ströme entstanden sind, die leicht ihre Anschüttungsarbeit im ausgedehnten Terrain vollbringen konnten. Es scheint, daß dazu auch die tektonische Hebung Norddeutschlands viel

<sup>1)</sup> LUDWIG, A., Zur Lehre von der Talbildung. J.-B. St. Gall. nat. Ges. (1911) 1912. S. 124, 127.

beigetragen hat. Diese Hebung ging der Hebung von Mitteldeutschland und Böhmen wahrscheinlich voraus. Die durchgreifende pliozäne Erosion Norddeutschlands dürfte auf solche Weise (durch Hebung) erklärt werden.

Bei der Erklärung von Terrassenbildungen stößt man oft auf örtliche Terrassen. DIETRICH (4) erklärt sie durch dreierlei Ursachen:

1. durch unregelmäßige Hebung der Erdscholle, so daß eine örtliche Ruhelage entstand,

2. durch die ungleiche Zusammensetzung von Gesteinshorizonten, besonders wenn ein weiches Gestein vorliegt,

3. durch Verhältnisse, welche beim Einschnneiden von Mäandern vorkommen. Diese letzte Ursache stellt sich am häufigsten ein.

Eine vierte Ursache hat SIEGERT (23) angeführt. Ein Teil der Strecke steht senkrecht auf die Hebungsrichtung der Scholle. In dem Teile ist der Hebungsimpuls wirkungslos, die Erosion wird nicht verjüngt. Zu dieser Anschauung SIEGERTS muß ich bemerken, daß die Ursache nur momentan wirkt, später aber wird die Strecke durch rückschreitende Erosion gründlich wie die anderen bearbeitet.

Was die erste Ursache anbelangt, so denkt DIETRICH wohl an die rapide relative Senkung eines Teiles der Flußkurve. Dadurch hört in dem Teile der Tiefenschurf auf, wächst die seitliche Erosion, und es entsteht eine Aue, in welcher sich eine Akkumulationsterrasse festlagert. Nach der Bildung der Aue in der Senkung mußte die ganze Gegend gehoben werden, somit auch die gesunkene Strecke, die jetzt vom Flusse durchschnitten ist. Auf solche Weise erscheint auf den Talabhängen des Flusses eine Terrasse, die weder talaufwärts noch talabwärts vorkommt. Wo sehr weiche Gesteine (die zweite Ursache DIETRICHS) zu Tage treten, wird der Tiefenschurf sehr bald durchgeführt und die Aue ausgestaltet, während der Fluß talaufwärts und talabwärts noch nicht mit der seitlichen Erosion angefangen hat. Wenn aus einer solchen Aue eine örtliche Terrasse entstehen soll, dann muß auch hier die ganze Gegend gehoben werden, bevor der Tiefenschurf talabwärts und talaufwärts beendet wird. In den beschriebenen Fällen muß die örtliche Terrasse eine mit ihren Entwicklungsbedingungen übereinstimmende Fallrichtung haben. Dieselbe ist von einem Flusse aufgeschüttet worden, welcher zu erodieren aufhörte. Infolgedessen kann das Gefälle nur klein sein. Die Terrasse muß mit dem Talboden des unten fließenden Stromes in beiden Fällen divergieren.

Damit Lokalterrassen einer Terrassentreppe aus eingeschnürten Mäandern entstehen können, muß die Mäanderschlinge von neuem zurückkehren. Zugleich muß sich die Talachse seitlich verlegen, wenn nicht alle Mäanderkernreste verschwinden sollen (33, Fig. 4A). Die Treppe ist dann teils aus Spornteilen, teils aus Amphitheaterteilen zusammengesetzt. Bleibt die Talachse stets in einer und derselben vertikalen Ebene, dann bilden sich beiderseitige Mäanderterrassen (33, Fig. 4B). Die Erscheinung

wird durch eine allmähliche Hebung bedingt, bei welcher der wasserreiche Fluß tektonische Veränderungen mit einem Teile seiner Energie zu beantworten imstande ist, während er mit dem Reste derselben lateral erodiert. Auf die verlassene Grundstufe wird sandige und kiesige Anschüttung niedergelegt. In dem Falle A hat sich die Wasserführung nicht verändert, im Falle B verminderte sie sich; infolgedessen wird auch der Durchmesser der Mäanderschlingen kleiner. Die Bilder sind nur schematisch, da sie voraussetzen, daß sich jede Mäanderschlinge hin und her bewegt, was der Wirklichkeit nur in dem Falle entsprechen würde, wenn die Wirkung der lateralen Erosion senkrecht auf das Ufer gerichtet wäre. Tatsächlich wirkt aber noch eine flußabwärts gerichtete Komponente, durch welche die Mäanderschlinge bewegt wird. Der Fluß erodiert lateral am intensivsten nicht in dem von der Wagramachse am meisten entfernten Punkt, sondern um ein Stück weiter flußabwärts. Auf diese Weise werden die Mäander stromabwärts bewegt, oft eingeschnürt und durchgeschnitten. Auf der betreffenden Stelle bildet sich ein neuer Mäanderkern, und der Strom kehrt nicht von dem entferntesten Punkte, sondern von einem bedeutend näheren und auf der anderen Seite liegenden Punkt zurück. Auf diese Weise entsteht bei einer regelmäßigen Entwicklung (falls die Schlinge immer auf einer und derselben Seite abgeschnürt wird, von welcher hin sich der Fluß verlegte) eine doppelte (als in Fig. 4 A) Anzahl der Terrassen. Im Falle B entstehen nur einseitige Terrassen in doppelter Anzahl. Eine regelmäßige Ausbildung der Terrassen ist wohl eine Ausnahme, vielmehr werden die Schlingen bald rechts, bald links abgeschnürt, und infolgedessen weist die Mäandertreppe gewöhnlich keine Regelmäßigkeit auf (vgl. 23, S. 6, Fig. 4), wie man sich beim Studium der Querprofile leicht überzeugen kann).

Zu den genannten lokale Terrassen erzeugenden vier Ursachen füge ich noch eine fünfte hinzu. Die Lokalterrasse kann auch infolge Vergrößerung der Wasserführung durch Ablenken eines benachbarten Flusses entstehen. Die vergrößerte Wassermasse gelangt nämlich bald zu einem Gleichgewichtsprofil und wird eine Aue bilden. Hebt sich dann das Flußgebiet, so wird die Aue durchgeschnitten und bleibt als Lokalterrasse hoch oberhalb des eingeschnittenen Flusses festgelegt. Wird umgekehrt durch Ablenkung der Zuflüsse der Wasserstand eines Flusses vermindert, so fängt der Fluß zu akkumulieren an, falls er nicht die ganze Schuttlast fortzuschleppen imstande ist. Dadurch wird aber das Flußbett nur erhöht. Da wir von einem erodierenden Flusse ausgehen, der in einem V-Tale dahinfließt, kann die Anschüttung keine größere Amplitude, als die des Talbodens erreichen. So wird es selten vorkommen, daß sich diese Anschüttung als eine Terrasse erhält. HILBER (13) sieht in der mit der Entwicklung und Verbreiterung des Flußgebietes stattfindenden Vermehrung der Wassermassen einen Faktor der allgemeinen diluvialen Eintiefung der Flüsse. Ich bemerke, daß dieser

Faktor bei der Bildung der diluvialen Taltreppe nur eine örtliche Wirkung ausübte. Die Reste von verlassenen angepfropften Terrassentälern kommen nur spärlich vor.

#### IV. Ursache von der Periodizität der Eintiefung und der Aufschüttung der Täler.

Ursache der Periodizität beider Vorgänge muß in der Periodizität der Wasserführung oder des Gefälles oder der Schottermenge oder aber in der Kombination derselben Faktoren gesucht werden. Nun fragt es sich, welche von den genannten Ursachen zur Erklärung des großen Terrassenbildes am besten geeignet ist.

Durch die periodischen vom glazialen Phänomen abhängigen Klimaänderungen sucht SIEGERT (23) die periodische Eintiefung und Aufschüttung der deutschen Flüsse zu erklären. Er zeichnet eine ursprüngliche durch Lokalverhältnisse gegebene Bodenkurve, dann eine Endkurve, die von der Wasserführung bedingt wird, und dazwischen noch zwei Terrassen. Er ist der Meinung, daß sich der Fluß an eine bestimmte Nullkurve je nach seiner Wasserführung einstellen müsse. Vermehren sich die Niederschläge, muß sich der Fluß zu einer neuen Nullkurve durcharbeiten. Im Falle der Niederschlagsverminderung bewegt sich die Kurve nach oben, das Tal wird vom Schotter erfüllt, den der schwache Strom nicht fortschaffen kann. Gegen die Behauptung SIEGERTS läßt sich wohl bei flüchtiger Besichtigung nichts einwenden. Im kleinen spielen sich ähnliche Vorgänge jährlich während des niedrigen, des gewöhnlichen und des Hochwasserstandes ab. Der Boden wird beim Niederwasser erhöht, beim Hochwasser vertieft, so daß jeder Fluß zweierlei Nullkurven besitzt, welche von diesbezüglicher Wasserführung abhängig sind. Diese beiden Nullkurven oszillieren um eine ideale durchschnittliche Nullkurve. Je größer der Unterschied zwischen dem gewöhnlichen und dem Hochwasserstande ist, desto größer wird der vertikale Abstand der beiden Böden sein. Ich (33) machte darauf aufmerksam, daß der vertikale Abstand beider Nullkurven nicht groß sein könne. Bei der Nähe der Erosionsbasis darf der Boden nicht unter dieselbe vertieft werden, durch Lotungen während des Niederwassers wird gewöhnlich keine beträchtliche Bodenerhöhung festgestellt. Das gilt annähernd auch für die mittlere Strecke, wenn sie sich schon im Gleichgewichte mit dem Terrain befindet. Falls die Niederschläge bis auf Null versiegen (Eintagsflüsse der Wüste), hört auch die Schutttzufuhr durch Wasserströme auf, und es ist kein Grund für übermäßige Erhöhung des Flußbettes vorhanden. Die kiesbeladenen Schotterkegel beim Fuße der Talabhänge haben mit den Flußterrassen nichts zu tun. Was auf dem Flußboden liegen bleibt, ist nur die vom letzten Hochwasser gebrachte Schuttlast, welche in einem bestimmten Verhältnisse zur Wassermenge steht. Ob sie sich als Flußterasse bei der künftigen Flußanschwellung erhalten kann, ist mehr als fraglich. Ich (33) habe deswegen

eingewendet, daß es doch kaum möglich sein wird, dadurch die enormen diluvialen Differenzen von einigen 10 m zu erklären. Was für Wasserstände müßten damals bestanden haben? Um Terrassen zu bilden, muß wohl der Fluß im Gleichgewichte sein, er muß also mäandrieren und akkumulieren. Während des niedrigen Wasserstandes ist die Kurve eines solchen Flusses absolut höher gelegt, die Mäander desselben haben einen kleineren Durchmesser, der Boden und die Flur sind enger, die Terrasse weniger mächtig. Während des Hochwassers wird alles verändert. Was sieht man aber an den Baustufen unserer Flüsse? Die Breite der oberen Terrasse ist bedeutend größer als die der unteren, und doch sollten nach SIEGERT die letzteren von einem mächtigeren Strome abgesetzt worden sein. Dieser allein ist fähig, die Nullkurve tiefer einzusenken. Da die unteren Terrassen sukzessive jünger sind (die Kreuzung der Terrassen ausgenommen), so würde dies bedeuten, daß sich der Niederschlagszustand im gleichen Sinne veränderte und zwar, daß er sich vergrößerte. Danach sollten wir jetzt die meisten Niederschläge haben. Die Mäander der Flüsse sollten heute am ausge dehntesten, die Breite der Terrassen am größten sein. Nur ausnahmsweise (dort, wo der Fluß seinen Lauf verlegte) dürften wir demnach die Spur von ehemaligen Terrassen finden, da sonst durchgehends die alten Auen von den jüngeren und breiteren weggeräumt worden sein müßten. Tatsächlich ist jedoch das Entgegengesetzte der Fall. Reste der älteren Terrassen kommen recht häufig vor. Wohl könnte man noch folgende Einwendung im Sinne SIEGERTS machen. Aus einem ursprünglichen bunten Relief entsteht durch Denudation und Erosion eine niedrige gleichförmige Peneplain. Dabei sinkt allmählich das Gleichgewichtsprofil des Flusses bis zum Endprofil (HETTNER, 11). Beim Gleichgewichtsprofil halten Wegnahme und Ablagerung einander die Wage, beim Endprofil wird überhaupt kein Schutt mehr dem Flusse zugeführt. Wie verhalten sich bei diesem Vorgange die Terrassen, wenn Klimaänderungen stattfinden? Vermindern sich die Niederschläge, dann verlangsamt sich der Vorgang, bei der Vermehrung derselben wird der Vorgang beschleunigt; die Breite der Flur zeigt dabei harmonische Veränderungen. Nehmen wir an, daß der Stufenbau des ausgeglichenen Flusses dem Relief ein wenig voraneilt. Falls die Klimaschwankungen periodisch einsetzen und der breiten Flur eine enge folgt, die wiederum von einer breiten (aber doch nicht so breiten, wie die erstere war) ausgewechselt wird usw., so könnte dadurch ein aus den nacheinanderfolgenden in den Zeiten der stärkeren Niederschläge erzeugten Terrassen zusammengesetztes Stufenbild entstehen. Die Terrassen der an Niederschlägen ärmeren Stadien dürften dabei von den darauffolgenden, an Niederschläge reichen und die breiteren Terrassen schaffenden Epoche verwischt werden. Aber diese ganze Erklärung ist wohl gezwungen. Der Stufenbau der Flüsse kann unmöglich dem Denudationsvorgange rasch voraneilen. Wenn einmal der Fluß sein Gleich-



gewichtprofil erreicht, dann sinkt sein Boden nur harmonisch mit dem Relief, mit welchem er eben im Gleichgewichte steht. Dabei ist hauptsächlich die lösende Wirkung des unterirdischen Stromes unter dem Flußboden im Spiele.

Somit verliert die SIEGERTSche Annahme der Klimaschwankungen an Bedeutung für die Erklärung der diluvialen Eintiefung. Diesen Folgerungen wich SIEGERT ein wenig aus, da er zugleich andere Faktoren annimmt, und zwar die säkularen Bodenbewegungen (in erster Linie) und die Wirkungen der Eisinvasionen (in dritter Linie). Er nimmt (S. 25) für das Diluvium Parallelität zwischen Klimaschwankungen und den periodischen Strandverschiebungen an, doch wurde nach ihm die Wirkung der Niederschlagsschwankung durch die Veränderung der Schollenneigung bald im günstigen bald im ungünstigen Sinne beeinflußt. Auch hält er eine Parallelität zwischen den Schwankungen des Inlandeises und den Niederschlägen für wohl begründet; er gibt aber zu, daß die Periodizität der Schollenbewegungen durch die Oszillationen des Inlandeises verschleiert wurde. Infolgedessen hält er Norddeutschland für nicht geeignet, die Frage zu entscheiden, welchen Anteil jede Ursache an der Herausbildung der diluvialen Terrassentreppe hat.

In Mitteldeutschland und Böhmen versuchte man schon längst die genannte Periodizität der Erosion und Akkumulation durch die inlandeiseige Stauung der Flüsse zu erklären. SIEGERT will an zwei Figuren (23, Fig. 7 u. 8, S. 12 u. 13; Fig. 7 stellt nur einen Teil von Fig. 8 dar) veranschaulichen, welchen Einfluß das Inlandeis auf die Entwicklung der Terrassen eines Flusses, etwa der Elbe, ausgeübt hat. Das Wesen des Vorganges sieht er in einer horizontalen Verschiebung der unteren Erosionsbasis. Durch die SIEGERTschen Stauseen wird die fragile Erosionsbasis zugleich vertikal verschoben, und auch bei der von SIEGERT beschriebenen horizontalen Verschiebung wird die alte Erosionsbasis ein wenig erhöht. SIEGERT meint, daß fünf Terrassen entstehen müssen. Die erste ist präglazial. Die zweite entsteht, falls das bis zur Flußmündung gelangte Inlandeis bei längerer Stillstandslage den Fluß nötigt, nach Westen abzulenken und auf solche Weise seinen Lauf zu verlängern. Der Oberlauf dieser Akkumulationsterrasse kreuzt sich nach SIEGERT mit der ersten Terrasse, welche also von ihr eingeschnitten wird. Als das Inlandeis in die Täler des Mittelgebirges einmarschierte, war dem Flusse ein seitliches Ausweichen unmöglich. Es entstanden Staubecken (Nullkurve N. 3) mit Deltas. Den ganzen Lauf dieser dritten Terrasse, Deltas ausgenommen, zeichnet SIEGERT unter der zweiten Terrasse ein. Macht das Eis beim Rückzuge bei der ursprünglichen präglazialen Mündung des Flusses halt, dann entwickelt sich das vierte Tal, welches den Schuttkegel des Stausees und auch die zweite Terrasse vollständig, die erste (vorglaziale) Terrasse jedoch nur teilweise durchschneidet. Gelingt es dem Flusse, die alte vorglaziale Mündung zu finden, dann baut er die letzte (fünfte) Kurve, welche

nach SIEGERT die vierte Terrasse durchschneidet und somit am tiefsten liegt. Die erste Terrasse ist zugleich im Oberlaufe die höchste und wird von der zweiten und der vierten Terrasse gekreuzt. Die dritte Terrasse kreuzt die zweite.

Auf die Weise dürfte nach SIEGERT eine einzige Eisinvasion während dreier Stillstandslagen drei Terrassen erzeugen. Die größere Anzahl derselben erklärt sich leicht, da man in Norddeutschland mindestens drei solche Invasionen annehmen muß, von denen jede eine noch größere Anzahl von Stillstandslagen des Eises aufweisen konnte, als es oben geschildert wurde. Zu seinen Folgerungen fügt SIEGERT nachträglich hinzu: »Nebenbei sei hier bemerkt, daß die Verschiebung der oberen Erosionsbasis in den schematischen Figuren stark übertrieben ist . . ., es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Bewegung so gering ist, daß im weiteren Quellgebiet die Terrassen talaufwärts konvergieren. Die im Vorstehenden geschilderten Eigenschaften der verschiedenen Terrassensysteme treten dann also erst nach einer gewissen Strecke unterhalb des Quellgebietes auf«.

Dazu muß ich folgendes bemerken. Die vorglaziale Kurve wird nach SIEGERT von einer Terrasse begleitet, folglich hat der Fluß seine Nullkurve erreicht und seinen Tiefenschurf zu Ende gebracht. Trotzdem hält aber SIEGERT eine weitere Erosionsarbeit im Oberlaufe der zweiten und jeder folgenden Nullkurve für möglich. Als Ursache führt er nicht eine tektonische Hebung an, sondern er spricht nur von Stauungen des Schottermaterials durch die Stirnfläche des Eises, mögen diese Stauungen direkt am Rande des Eises, wie bei fast reinen Horizontalverschiebungen, oder in Stauseen entstanden sein.

Mit dieser Ansicht, auch wenn man auf den Nachtrag SIEGERTS gerechte Rücksicht nimmt, kann man nicht einverstanden sein. Im engeren Quellgebiete ist vielleicht die Verschiebung der oberen Erosionsbasis in den schematischen Figuren stark übertrieben; die Figuren zeigen den anfänglichen absoluten Zustand der Kurve im Raume, nicht aber zugleich das relative Verhältnis der jetzigen Spuren von Terrassen. Der Punkt 1 (Anfang der ersten Kurve) soll fast mit dem Punkt 5 (Anfang der fünften Kurve) zusammenfallen. Die eigentliche Quellenregion leidet hauptsächlich durch Denudation, die Wirkung der Erosion ist nebensächlich. Infolge der Denudation sinkt das ganze Flußgebiet. Wenn einmal der Fluß zum Gleichgewichtsprofil gelangte, so kann er unter dem Wendepunkte infolge der Stauung wohl seine Akkumulation vergrößern, aber nach dem Rücktritte des Eises muß er wieder seine frühere Nullkurve vom Wendepunkte bis zur Mündung aufsuchen, nicht aber unter derselben ein neues Bett einschneiden. Oberhalb des Wendepunktes in seinem V-Tale hält wohl die Tiefennagung sehr lange an, es kann also von einer Terrasse kaum die Rede sein, höchstens von einer Geschiebe- und Block-Anschüttung (vgl. SÖLCH, 34, S. 89, Anm. 30). Auch die mit der Terrasse erfüllte Aue des Unterlaufes sinkt

mit derselben allmählich infolge der Denudation. Dadurch kann unmöglich ein Terrassenbild unserer Flüsse entstehen. Es fragt sich, ob dieses »Nachsinken« des Flußbodens der totalen Terrainendenudation in einer Weise vorangeht, daß der Fluß zu einer Terrassentreppe infolge der Eisstauung gelangen könnte. Ich glaube kaum. Wenn die Erosion durch Stauung erlahmt, kann die Denudation wohl genug leisten. Das neue Gleichgewichtsprofil, welches zu dem neuen nach dem Rücktritte des Inlandeises vorhandenen Terrainformen paßt, wird sich von dem alten nur wenig unterscheiden. Der durch die erfolgte Denudation belebte Erosionsvorgang schreitet wohl so langsam vor, daß sich das Flußbett nach dem relativ raschen Durchschneiden der Stauterrasse auf das alte Gleichgewichtsprofil so lange einstellen wird, bis der Fluß zum mächtigen Mäandrieren fähig ist. Die Mäanderterrassen haben aber mit unserem Terrassenbilde wenig gemeinsames. SIEGERT sagt recht: »Wenn die Mäanderbildung bei der Erosion auch mancherlei Einzelheiten in der Entwicklung der Terrassen bedingt, zur Erklärung der großen Züge des Terrassenbildes der ganz verschiedenen Perioden angehörigen Terrassen bietet sie uns kein Mittel«.

Gegen die Ansicht, daß das Inlandeis die Flüsse stauen könnte, hat sich HENKEL ausgesprochen. Er stellt in Abrede, daß schlagende Beweise vom Flußstau in Deutschland vorliegen, da sich Konchylientone auch in abgeschnittenen Mäanderschlingen bilden können. Der Elbesees würde einen großen Teil Böhmens erfüllen müssen. Die Flüsse Thüringens und des Vogtlandes müßten von Osten gegen Westen abströmen, aber es findet sich jetzt keine Spur davon. HENKEL führt zahlenmäßig aus, daß die Elbe so viel an Zustandswärme führt, daß sie auch während der niedrigsten Glazialtemperatur in einem mit der Geschwindigkeit von 1 m täglich vorschreitenden Inlandeise ein Tunnel von 400 m<sup>2</sup> durchschmelzen konnte. HENKEL bemerkt, daß man in dem Malaspinagletscher (Alaska) Tunnel bis 8 km Länge beobachten kann.

Auch in Grönland (18) strömen sogar im Winter die Flüsse unter dem Gletscher in Kanälen. JENTZSCH (Z. d. D. geol. Ges. 1884, S. 699ff.) faßt die jetzt in Deutschland mit Seen erfüllten Kesselformen als von solchen Strömen erzeugte Gebilde auf.

Noch etwas muß ich hinzufügen. Bei dem Unterlaufe der Ems, der Weser, der Elbe, der Oder, der Weichsel und der Memel sehen wir heute ausgedehnte diluviale Täler bei der Mündung in die Nord- und Ostsee. Die Talbreite beträgt sukzessive 5, 40, 17, 80, 50, 50 km. Diese Täler sind senkrecht auf den ehemaligen Gletscherrand gerichtet und sind breiter als ihre Fortsetzung im Oberlaufe. Ihren Ursprung dürfte man folglich in den Strömen suchen, welche von S. gegen N. senkrecht zum Gletscherrand und unter demselben flossen, veränderliche Betten aushöhlend. Da die Orte, wo sie fließen, am längsten von dem Gletscher bedeckt waren, hatten die außerhalb des Gletschers fließenden und vom

S. gegen N. gerichteten Ströme wenig Zeit, sie auszuhöhlen. Die interglazialen Flüsse führten wenig Wasser zu einer solchen Arbeit. Daraus kann ich eher schließen, daß diese breiten Täler von unter dem Eise fließenden Strömen ausgewühlt wurden.

Endlich muß man den Begriff der Gletscherstauung selbst in Erwägung ziehen. Man setzt voraus, daß in dem Orte, wo das Inlandeis eingedrungen ist, eine neue Erosionsbasis entsteht, die sich nicht erniedrigen läßt, daß also das Flußbett am Rande des Gletschers (Punkt A) stets in gleicher Höhe bleibt, sonst aber zu einem niedrigen Punkt B sich einschneidet. Man meint, die Tiefenerosion sei geschwächt, ja annulliert und anstatt derselben wirke die Seitenerosion allein.

Demgegenüber muß man einwenden, daß das Inlandeis sein Bett aushöhlt, besonders wenn es, wie im vorliegenden Falle, auf ein Plateau steigen muß (3). Der Punkt A bleibt nicht auf der ursprünglichen Stelle, wiewohl sein Sinken in einem langsameren Tempo begriffen ist, da die Erosion nicht linear, sondern flächenhaft wirkt. Auch muß man beachten, daß die Ströme nicht vor dem Inlandeis halt machen, sondern längs des Gletscherrandes und senkrecht zu demselben abfließen und zugleich erodieren. Nun fragt sich, ob diese Erosion hinter der freien Flußerosion zurückbleibt, die in der unvergletscherten Gegend ein fließender Strom ausüben kann. Auch wenn wir es bejahen, müssen wir zweifeln, ob sich durch diese Verminderung der Tiefennagung die plötzliche Akkumulation weit talaufwärts bis z. B. in Mittelböhmen auch bei wenig mächtigen Eisinvasionen (Polandian, Meklenburgian) erklären ließe. Durch Hebung der Erosionsbasis wurde der Mittellauf der Elbe zum Oberlauf. Die Elbe in Mitteldeutschland konnte wohl durch die Gletscherwirkung zur Akkumulation bewegt werden, aber der Oberlauf in Böhmen mußte damals noch erodieren. Das Einstellen der Erosion und ihre Neubelebung dürfte daselbst also kaum in der Eisstauung und der nachfolgenden Eisregression ihre Ursache haben. Immer mehr dringt die Anschauung durch, daß Norddeutschland nicht von einer, sondern von mehreren durch relativ weit längere Interglaziale getrennten Eisinvasionen heimgesucht wurde. Während der Interglaziale hatten die Flüsse Zeit genug, die Anschwemmungen der vorhergehenden Glazialperiode abzuräumen und nach dem Erlangen des Vorglazialprofils neue Sedimente abzulagern. Demgegenüber steht fest, daß die Flüsse ihre Amplitude verkleinerten und zugleich die alten Terrassen liegen ließen. Diese Erscheinung kann man nicht befriedigend durch die Oszillation des Inlandeises erklären.

Als Ursache der periodischen Eintiefung und Aufschüttung der Täler bleibt also nur die periodische Bewegung des Flußgebietes<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Einen induktiven aber mißlungenen Schluß versucht AHLBURG (I, S. 355). Er weist auf den Gegensatz zwischen der Hauptterrasse und den übrigen niederen Terrassen der Lahn hin. Nur die Hauptterrasse besitzt eine allgemeine Verbreitung und gleichmäßige Entwicklung im mittelhheinischen Stromgebiet. Alle übrigen

Bei der Wichtigkeit des Schlusses muß man auf den Einfluß der tektonischen (Strand- und sekundären) Bewegungen näher eingehen. SIEGERT versuchte die Frage durch ein Diagramm (23, S. 3, Fig. 2) näher zu beleuchten, bei dem er eine untere (z. B. die See) und eine obere Erosionsbasis (die Quelle) einzeichnete. Beide Punkte können sich bewegen (aus der Ruhelage nach oben, d. h. positiv, nach unten d. h. negativ), die Bewegung nach oben hat Aufschüttung, die entgegengesetzte Erosion zur Folge. Fügen wir zu den drei möglichen Zuständen der Mündung (Ruhelage, Hebung, Senkung) kombinatorisch die drei möglichen Zustände der Quelle hinzu, so erhalten wir — da der Fall von der beiderseitigen Ruhelage nichts Neues bringt — acht Fälle, welche SIEGERT auch abgebildet hat. Bei der entgegengesetzten Verschiebung entsteht eine Kreuzung der Terrassen, sonst aber eine angenäherte Parallelität derselben, bei der Ruhelage der Mündung die Konvergenz, bei der Ruhelage der Quelle die Divergenz der Terrassen. Die negative Strandverschiebung wird z. B. durch eine negative Bewegung der unteren Erosionsbasis bewirkt, die sich senkt. Infolgedessen belebt sich die Erosionskraft des Flusses, der ein divergentes von der Quelle ausgehendes Terrassensystem erzeugt. SIEGERT läßt zu, daß dies nur ein theoretischer Grenzfall ist, weil immer zugleich eine sekundäre (durch Erosion erzeugte) Bewegung der oberen Erosionsbasis stattfindet. Mag ja die Quelle bei ihrer Rückwärtsbewegung (Horizontalverschiebung) die gleiche Höhe beibehalten oder sogar in ein höheres Niveau rücken, so senkt sich der Punkt, in welchem sich die Quelle im Augenblicke der Strandverschiebung befand. Infolgedessen kann aus dem ursprünglich divergierenden ein paralleles oder sogar konvergierendes Kurvensystem (23, S. 9, Fig. B, C) je nach dem Größenverhältnis der Bewegungen bei der Erosionsbasis entstehen.

Eine ähnliche Folgerung spricht weiter SIEGERT von der positiven Strandverschiebung aus. Er meint, daß die Voraussetzung von der

---

zeigen eine Abhängigkeit von regionalen, nicht für das ganze Stromgebiet gültigen Ursachen (also nicht etwa Klimaschwankungen). Nach dieser Beschreibung könnte man erwarten, daß AHLBURG für die Hauptterrasse eine allgemeine Ursache, für die unteren aber lokale Ursachen (auf S. 354 ff. führt er Mechanismus der Flußtätigkeit, lokale Gesteinsbeschaffenheit, lokale Bodenbewegung an) annehmen wird. Tatsächlich leugnet er (S. 356) den Zusammenhang der Terrassenphasen (Erosion und Aufschüttung) mit Klimaschwankungen der Diluvialzeit und setzt eine allgemeine Hebung des ganzen Gebietes voraus, die die Einsenkung in das pliozäne Flußtal bewirkte. Eine lang anhaltende Ruhepause in der Hebung dürfte die gewaltige Seitenerosion und Aufschüttung verursachen. Des weiteren nimmt AHLBURG für die Entstehung der übrigen Terrassen Bodenbewegungen zweierlei Art an: allgemeine Erhöhung seit der Hauptterrassenzzeit (für die allgemeine Vertiefung des Tales), andererseits lokale, auf einzelne Gebiete beschränkte (für die Verschiedenheiten des Terrassenbildes). Es ist klar, daß sich mit der Annahme einer nur modifizierten Ursache der beschriebene Gegensatz schwer begreifen läßt und daß man daher noch zu einem anderen Faktor greifen muß, der den Gegensatz und die daraus entstehende Stufenform zu erklären gestattet. Darüber unten im 5. Kap.

Unbeweglichkeit der oberen Erosionsbasis in Wirklichkeit niemals zutreffen, sondern daß sich letztere, wie im vorigen Falle, auch nach unten bewege. Die Folge davon ist eine Terrassenkreuzung (die Terrassen konvergieren im Oberlaufe und divergieren im Unterlaufe). Aus diesen Sätzen SIEGERTS ergibt sich, daß Abbildungen 1 und 5 (S. 3, Fig. 2) nur als Ausgangsstadien, Abbildung 1 als ein Teilstadium für Abbildung 8, Abbildung 5 als ein Teilstadium für Abbildung 6 Geltung haben. Parallele Terrassensysteme (Abb. 2 und 6) sind nur Ausnahmefälle, wogegen divergierende und konvergierende Terrassen einen regulären Fall darstellen.

Die Ansichten und schematischen Zeichnungen SIEGERTS habe ich einer Kritik unterzogen (33) und besonders hervorgehoben, daß man von dem Kurvensystem und keineswegs von dem Terrassensystem sprechen dürfe, da sich die eigentlichen Terrassen erst talabwärts von dem Wendepunkte bilden können. Talaufwärts von dem Wendepunkte aus findet hauptsächlich nur Erosion statt. Der Wendepunkt schreitet bei der Hebung der Quellenregion nur langsam talabwärts. Die Kurvensysteme SIEGERTS können folglich höchstens für die Strecke zwischen der Mündung und dem Wendepunkte Bedeutung haben; SIEGERT gibt es selbst zu, aber nur für Fig. 6—8 (Hebung der oberen Erosionsbasis), von welchen er sagt, daß mächtige Schotteranhäufungen im Quellengebiete unmöglich sind, und führt als Beispiel die Oberrheinische Tiefebene an, in welcher die obere und untere Erosionsbasis mit den das Tal durchquerenden Störungen zusammenfallen. Aus dem Beispiele sieht man, wie sich SIEGERT die Bewegungen in der oberen Erosionsbasis denkt. Tatsächlich blieb beim Rhein die obere Erosionsbasis unbeweglich (der talaufwärts von der oberen Dislokation gelegene Oberlauf), der Strom setzte in dem abgesunkenen (negativ bewegten) Bette eine mächtige Terrasse auf der älteren Terrasse ab; die jüngere Terrasse liegt also höher, sie wurde im relativen Sinne positiv bewegt, folglich reiht sie SIEGERT in die Fälle der Hebung der oberen Erosionsbasis ein. Dieser Standpunkt ist wohl gekünstelt, weil diese Erscheinung zu jenen der partiellen unteren Erosionsbasis (positive Strandverschiebung) gehört. Wenn die Quelle infolge einer Dislokation sinkt, kann sie nicht den Fluß speisen. Im obigen Falle wurde tatsächlich der Flußlauf in einer Versenkung solange unterbrochen, bis dieselbe ausgefüllt wurde.

Eine für die Strandlinie geltende Bewegung ist man nicht berechtigt für die Quellenregion anzunehmen. Es herrscht hier eine entfernte Analogie zwischen der Meeresoberfläche und dem Horizonte der unterirdischen Gewässer einerseits, der Mündung in das Meer und der Quelle als dem Abfluß der unterirdischen Gewässer andererseits. Die Strandlinie hängt hauptsächlich von Schollenbewegungen ab, der unterirdische Quellenwasserhorizont bewegt sich aber nur langsam mit der Scholle, die er durchnäßt. Vertikale Bewegungen desselben hängen am meisten vom Klima und vom Relief ab, es können folglich kaum

ähnliche Terrassensysteme im Quellengebiete entstehen, wie es SIEGERT abbildet. Bei der Hebung des Gebietes muß sich der Quellenhorizont relativ erniedrigen, bei der Senkung umgekehrt, aber diese Folgewirkungen sind durch gleichzeitige Niederschlagsveränderung ein wenig parallelisiert. Im ersten Falle nehmen die Niederschläge zu, in anderen ab. Von dem von der Mündung auseinanderlaufenden und bei der Quelle am meisten ausgebreiteten Kurvendiagramme SIEGERTS gilt dasselbe, was ich oben (S. 211) von dem für die Eisstauung angegebenen Kurvendiagramme gesagt habe. Die bei der Quelle am meisten ausgebreiteten Kurven deuten nur die im Raume fest verzeichnete Lage der Flußkurve an, wie sie sich im Laufe der Zeit entwickelte. Gleichzeitig erniedrigte sich die ganze Gegend und damit das Flußbett samt Terrassen, am meisten das Quellengebiet. Sollten die Kurven die relative Lage der Reste von Flußterrassen andeuten, so ist ihre Abbildung nicht richtig, da sich ihre gegenseitige Entfernung infolge der Denudation veränderte, und zwar wieder am meisten in der Quellenregion. Wenn die Quelle infolge der rückwärtigen Erosion ihre Stelle verläßt, bewegt sie sich flußabwärts und gewöhnlich etwas höher, da die Niveaufläche der unterirdischen Wässer gewölbt ist. Wenn das Relief verarmt und Niederschläge karg werden, macht die Quelle eine entgegengesetzte Bewegung nach unten und flußabwärts. Diese Bewegungen sind aber sehr langsam, so daß durch dieselben ein Terrassenbild nicht entstehen kann.

Die Veränderungen des Quellengebietes wurden von HETNER (11) behandelt. Der Fluß dringt nach hinten erobernd und sein Gebiet erweiternd vor. Er kann die Quelle einem anderen Flusse abspenstig machen, wenn die tiefere Erosionsbasis, die größere Regenmenge und infolgedessen die größere Wasserführung ihn dazu befähigt. Es sind lokale Erscheinungen, die für uns Bedeutung haben, wenn der Fluß z. B. infolge der Anzapfung seinen ganzen Oberlauf verlor. Am Anfange des Unterlaufes (bei der neuen Quelle und oberhalb derselben) kann sich die alte konvergente Terrasse aus der Zeit erhalten, in welcher der Fluß reichliches Wasser führte und seine Quelle weit höher lag. Die ursprüngliche Quelle hat also eine Senkung und eine durchgreifende horizontale Verschiebung erlitten. In demselben Oberlaufe weiter talaufwärts fließt der abgelenkte Strom, schließlich eine neue Terrasse bildend, die mit der alten höher liegenden und bis zum ehemaligen Wendepunkte sich erstreckenden Terrasse divergiert. Wie die Beobachtung im Lande zeigt, sind die beschriebenen Erscheinungen ziemlich selten; vielmehr sieht man im zerschnittenen Gebirge gewöhnlich nur ein Netz von terrassenlosen V-Tälern oder ein solches mit Anfängen einer Aue. Aus dem Grunde halte ich (33) für richtiger eine Abbildung, in der die Quellenstellung eine unveränderte Lage beibehält. Dabei sind folgende Fälle zu behandeln: 1. die ganze Oberfläche steigt oder sinkt gleichmäßig, 2. es geschehen die Bewegungen einseitig, 3. bei der Ruhelage beider Endpunkte hebt sich oder sinkt das Gebiet zwischen ihnen, 4. es wird

gewellt (verbogen), so daß zwischen der Mündung und der Quelle eine ganze Welle vorkommt, oder endlich 5. haben die beiden Erosionsbasen eine (zu den Nullpunkten der tektonischen Welle) allgemeine Lage. Der letztere Fall kann sich bei sehr langen Flüssen auch derart verändern, daß mehrere Wellen zwischen der Quelle und der Mündung entstehen. Es lassen sich dann leicht die Fälle erklären, die zur Terrassenkreuzung oder ihrer Divergenz führen und durch einfache Erosion oder Antezedenz und Akkumulation verursacht werden.

Was die Qualität der tektonischen Bewegung anbelangt, so lehnt SIEGERT die regelmäßige Bewegung ab und erklärt, daß nur die periodische Bewegung, bei welcher Klimaveränderungen und (an zweiter Stelle) Inlandeisstauung mitwirkt, anzunehmen sei. Durch Inlandeis gestaute Flüsse stellen die Erosion ein und können erst nach seinem Verschwinden wieder erodieren. Während mächtiger Niederschläge kommt der Fluß bald zu seinem Gleichgewichtsprofil, so daß er Zeit genug hat, eine Aue zu bilden. In einer Trockenperiode aber vermag ein schwacher, auf einer in tektonischer Hebung begriffenen Scholle fließender Strom nicht bis zum Gleichgewichtsprofil zu gelangen, so daß er mit seitlicher Erosion gar nicht zu beginnen imstande ist. Dann kann nur eine günstige Veränderung des Klimas helfen.

Eine regelmäßige tektonische Hebung, bei welcher zugleich die Flußenergie auch den aus derselben entspringenden Tiefenschurf übertrifft, kann nur zu einer Serie von Mäanderterrassen, aber nicht zu den weit von einander abstehenden und gleichmäßig im ganzen Tal hinziehenden Terrassen unserer Flüsse führen.

Es ist noch der Satz SIEGERTS zu prüfen: »Bei gleichmäßiger Strandverschiebung bedingen Klimaschwankungen und Eisinvasion allein die Periodizität der Terrassenentwicklung«. Durch Klimaschwankung könnte das geschilderte Bild wohl entstehen, doch muß sich die Niederschlagsmenge so sehr vermindern, daß die seitliche Erosion ausbleibt. Ob sich diese mathematische von der Geschwindigkeit der Hebung abhängige Bedingung periodisch einstellen konnte, ist mehr als fraglich. Auch im günstigen Falle wird das Terrassenbild nicht aus einzelnen scharf getrennten Terrassen, sondern aus Serienstufen bestehen. Durch periodische Inlandeisstauung könnte wohl der Fluß zum absoluten Einstellen der Tiefenerosion und zur mächtigen Akkumulation geführt werden, so daß ein idealer Stufenbau entstehen könnte, aber die Stauung der Flüsse in Deutschland konnte — wie ich oben gezeigt habe — unmöglich durchgreifend bewirkt worden sein.

Es bleibt folglich nur übrig, eine unregelmäßige periodische Schollenbewegung in Betracht zu ziehen, die ihre mutmaßliche Ursache in der Inlandeisinvasion in Deutschland habe. Das Inlandeis bewegte sich langsam, und infolgedessen war das Tempo der isostatischen (?) vertikalen Bewegungen der Scholle im allgemeinen auch langsam.



Aus den bereits bekannten und neu festgestellten tektonischen Bewegungen in Deutschland und Böhmen habe ich (33) auf die Wahrscheinlichkeit der epirogenetischen Bewegungen im jüngsten Tertiär und im Diluvium geschlossen. Epirogenetische Bewegungen haben nach meiner Meinung eine viel intensivere Wirkung auf die Entwicklung des Flußnetzes als tektonische Senkungen, welche sich gewöhnlich sofort mit Seen ausfüllen und nur eine lokale Verminderung des erosiven Tempos verursachen. Die Eisinvasion war eine ganzirdische Erscheinung, und folglich mußte sich auch die epirogenetische Funktion derselben überall zeigen. Daraus erklärt sich, daß die Flußterrassen allgemein verbreitet sind. Gegen die Einwendungen, daß entgegengesetzte Nachbarströme bei der tektonischen einseitigen Hebung nicht gleichzeitig erodieren konnten, sondern der eine erodieren und der andere aber akkumulieren mußte, und weiter daß die Talstrecken eines und desselben Flusses dabei ganz verschieden und zwar je nach dem Winkel der Talstrecke zu dem Fallen der Aufrichtungsebene beeinflußt werden, muß ich bemerken, daß die Größe der gesamten Erosion nur von der vertikalen und horizontalen Entfernung des Ortes von der gemeinsamen Erosionsbasis (Meeresniveau) abhängt. Hebt sich das Land, dann wird im gesamten Flußnetze die Erosion belebt. Wer diese Einwendungen ausspricht, verkennt die Wirkung der rückwärtigen Erosion und ebenso die Antezedenz (vgl. S. 200). Viele Fälle der Antezedenz wurden z. B. in Böhmen irrtümlich als epigenetische Erscheinungen behandelt (30, 31). Es scheint auch, daß die epirogenetische Verbiegung der Erdoberfläche viel wahrscheinlicher ist als die ungleich gerichteten regionalen tektonischen Bewegungen<sup>1)</sup>. Mit beiden allerdings lassen sich ungleiche Terrassenstufen in benachbarten Flußgebieten erklären.

Ich leite also epirogenetische Bewegungen im Diluvium von den periodischen Inlandeisinvasionen ab. Das Inlandeis hatte bis 1000 m Mächtigkeit, und seine Wirkungen waren nach RUDZKI (21) folgende:

1. Verringerung des Volumens des Meerwassers um so viel, als durch Eis gebunden ist.

2. Verschiebung der Belastung, die auch in dem Fall, daß die Erde nahezu so starr wie Stahl wäre, Deformationen der Oberfläche erzeugen würde.

3. Deformationen der Niveaufläche, einerseits durch die Krustendeformationen, andererseits durch die Anziehung des Inlandeises bewirkt.

Wenn die Eisdecke schwindet, hebt sich das Land, aber infolge mangelhafter Elastizität nicht sogleich (näheres in F. E. SUESS, Geol. Rundsch. XI, S. 161 ff.).

Dazu beachte man noch die von E. VON DRYGALSKI (5) ausgesprochene Folgerung: Die Oberfläche eines vereisten Landes muß die konstante

<sup>1)</sup> SÖLCH (34, S. 83) sagt: »Gewichtige Stimmen weisen aus guten Gründen auf die Rolle weiträumiger Verkrümmungen hin, die außerordentlich langsam, sozusagen Schritt für Schritt, vor sich gehen.«

Temperatur  $0^{\circ}$  annehmen, die Erkaltung bewirkt Zusammenziehung des Bodens, der sich infolgedessen senkt. Nach dem Verschwinden des Eises muß der umgekehrte Vorgang eintreten.

Der isostatischen Theorie gemäß mußte sich die Deformation des Geoids außerhalb des Inlandeises als eine Hebung äußern, die Hebungen entsprechen folglich den Eiszeiten, doch setzten sie stets ein wenig später ein. Der Boden kehrte nach dem Rückzuge des Inlandeises nicht genau in seine frühere Lage zurück, sondern er blieb ziemlich hoch gelegen. Die folgenden Eisinvasionen hoben das Land wiederholt. Da in jeder Eiszeit mutmaßlich Zeit genug zum Ausarbeiten des Gleichgewichtsprofils vorhanden war, waren die Flüsse imstande, endlich eine mächtige Aue zu bilden, die sich in dem nächstfolgenden trockenen Interglazial, wo das Land ein wenig sank, noch etwas vergrößerte.

Einige rätselhafte Tatsachen harren noch der Erklärung. Aus der Parallelität der glazialen Eisränder mit den jetzigen in den Alpen folgert man, daß die Niederschläge im Glazial nicht größer als jetzt waren, doch mußte die mittlere Jehrstemperatur niedriger sein. Das Terrassenstudium zeigt, daß die Flüsse im Diluvium wasserreicher waren als jetzt. Die Erklärung, daß durch enorme Schmelzwässer die Flußbetten überfüllt würden, läßt sich nicht halten, falls man bedenkt, daß große Eluviumreste noch jetzt unangetastet auch in der Nähe der Flüsse hie und da vorliegen (33) und daß mit den breiten diluvialen Tälern der größeren Bäche und Flüsse enge Schluchten an den Ufern und V-Täler der Nebenbäche kontrastieren. Allem Anscheine nach waren die letzteren im glazialen Diluvium noch nicht da; es scheint, daß das Gewässernetz damals trotz der reicheren Wasserführung eine kargere Gliederung aufwies. Dazu reihen sich andere strittige Tatsachen, z. B. die bisher rätselhafte Entstehung der Gehängelehme und das fast gänzliche Verschwinden von Pflanzenspuren in den diluvialen Ablagerungen. Die Schmelzwässererklärung hält noch HENKEL (10) aufrecht und weist auf die mutmaßliche austrocknende Antizyklone über dem Inlandeise hin, wodurch die Niederschlagsmenge aber eher vermindert wird. Trotzdem führen jetzt nordische Flüsse viel Wasser, da die Verdunstung wegen der niedrigen Temperatur gering ist, so daß bis 86% der Niederschläge in den Strömen abfließt. Gegen die Beweisführung HENKELS möchte ich folgendes bemerken: Fließen heute in einem Flusse  $\frac{1}{3}$  der Niederschläge (im Main 28%) also  $\frac{a}{3}$  ab, und verminderte sich die Niederschlagsmenge im Glazial bis auf etwa  $\frac{1}{3}$ , flossen endlich  $\frac{9}{10}$  der Niederschläge — wie in den heutigen nordischen Strömen — ab, dann mußten die Flüsse  $\frac{a}{3} \cdot \frac{9}{10} = \frac{a}{3}$  der Niederschläge enthalten, also soviel wie gegenwärtig. HENKEL stellt sich vor, daß das Land einen großen Teil des Jahres hindurch verschneit war, im Sommer aber monatelang von hochgeschwollenen Flüssen durchrauscht wurde. In dem Falle müßte nach meiner Meinung alles Eluvium gänzlich verschwunden und der klaffende Kontrast zwischen den engen Schluchten und den breiten

Haupttälern müßte längst verwischt worden sein, was tatsächlich nicht zutrifft.

Eine Lösung der Frage versuchte ich (33) durch die Annahme, daß in den Glazialzeiten die meisten Niederschläge auf dem Wege der Verdichtung des Wasserdampfes im Boden dem Grundwasserhorizonte zugeführt wurden. Die von VOLGER begründete Verdichtungstheorie (vgl. KEILHACK 15; PRINZ 20) ist zwar nicht allgemein anerkannt worden, doch erklärt sie am besten die strittigen Erscheinungen. Sie ist im Einklange mit dem ozeanischen Klima, das man nach HANN (Handbuch der Klimatologie, I, 1908, S. 379) für die Glazialzeiten voraussetzen muß. Die gesteigerte Bodenfeuchtigkeit beschleunigte Zersetzungs Vorgänge, durch welche Pflanzenreste verschwanden, und verursachte eine reiche Bildung der Diluvialtone. Die Hauptströme wurden von mächtigen Grundwasserquellen gespeist, und die oberflächliche Abspülung war wegen Mangels an Schmelzwässern und flüssigen Niederschlägen lahmgelegt. Erst nach der Klimaveränderung, besonders in der Postglazialzeit während der vergrößerten festen und flüssigen Niederschläge, setzte eine intensive Tiefenerosion der Nebenflüsse und Seitenadern ein, wodurch die engen mit breiten Tälern der Hauptflüsse kontrastierenden Schluchten entstanden. Damit stimmen auch WAHNSCHAFFE (36, S. 349) und E. SCHÖNE (22) überein. Ich führe (26) als Beleg eine postdiluviale Molluskenfauna aus einem Lehmlager bei Klučov (im S. der Nimburger Ebene in Böhmen) an, das vom Všeměra-Bache angeschnitten wurde und 14 m oberhalb desselben an seinem rechten steilen Ufer liegt.

In langen Interglazialen konnten kaum durchgreifende Veränderungen des Reliefs entstehen, da die Wasserführung allem Anscheine nach unbedeutend war. Aus der großen Amplitude der älteren Terrassen darf man schließen, daß der Seitenschurf ein Werk der hohen Wasserführung war und daß auch die epirogenetische Hebung hauptsächlich in der das ozeanische Klima führenden Eiszeit stattfand und ihre Retardation gegenüber der Inlandeisinvasion nicht bedeutend war. Damit ist die Frage entschieden, ob die Terrassen der Glazial- oder Interglazialzeit angehören. Die Hauptarbeit wurde in Glazialen geleistet und in den Interglazialen zu Ende gebracht. Zugleich erklärt sich die Inkongruenz des Terrassenphänomens in verschiedenen Gebieten Mitteldeutschlands und in den Alpen. Die epirogenetischen Bewegungen waren wohl weder gleichzeitig noch gleichsinnig, noch von gleicher Intensität, auch konnten sie periodisch in Kraft gesetzt werden, um mehrere Terrassen aufzubauen.

Die Vergrößerung der Niederschlagsmenge, welche man für die Glaziale annahm (vgl. KAYSER, 14, I, S. 384), ist nicht im Einklange mit der Parallelität der Grenzen von diluvialen und alluvialen Gletschern in den Alpen, aus welcher die Autoren, wie oben bemerkt, richtig die annähernd gleiche Niederschlagsmenge mit der Jetztzeit erschlossen.

Wurde aber die Kondensation der Luftfeuchtigkeit mittels des Nebels und nur teilweise als Regen und Schnee vollzogen, dann ist auch dem Eisgebiete wenig Schnee zuteil geworden. Wird die Luftfeuchtigkeit bei dem ozeanischen Klima nahe bei der Erdoberfläche als Nebel kondensiert und vom Boden eingesaugt, so kann nicht viel davon auf hohe Berge oberhalb der Schneegrenze gelangen.

### V. Ursache der Stufenform.

Schon längst wurde die Frage gestellt, warum der Fluß, indem er sich einschneidet, seinen bisherigen Boden nicht gänzlich fortträgt, vielmehr ansehnliche Reste desselben abgelagert, wodurch eben die Stufenform entsteht. Man dachte an die Verminderung des Wasserreichtums oder an die Verkürzung der Zeit zwischen zwei Hebungen. Diese Anschauungen wies SUPAN (35) als nicht begründet ab. Im Einvernehmen mit GEIKIE, MÜLLER, DAVIS und WETTSTEIN erklärt er die verminderte Breite des Flußbodens dadurch, daß mit der Tiefe die Menge der Schottermasse auf eine solche Weise wächst, daß der Fluß auf das Fortschaffen derselben sehr viel Energie verwenden muß. Zur seitlichen Erosion bleibt je tiefer, desto weniger Energie übrig.

Ich bin der Meinung, daß SUPAN und die eben genannten Autoren nur teilweise recht haben. Was die mit der Tiefe wachsende Schottermenge anbelangt, so habe ich (33) gezeigt, daß sie sich sogar mit dem Quadrate der Tiefe (aber nur im idealen Fall, als der Flußboden bis auf eine geometrische Linie schwindet), gewöhnlich aber mit einer Zahl, die zwischen der ersten und der zweiten Potenz der Tiefe liegt, vergrößert. Wenn der Fluß einschneidet, vermindert sich sein Gefälle und er wird dadurch desto fähiger, die seitliche Erosion auszuüben. In der Geologie braucht man nicht auf die Zeit Rücksicht zu nehmen. Wir sind nicht berechtigt, ohne einen zwingenden Grund die Tätigkeit des Flusses zeitlich zu begrenzen. Gar nicht behindert dann dieselbe die Höhe der Talabhänge und die von denselben gespendete Schotterlast. Das alles kann nur die zum Erlangen des Gleichgewichts gerichtete Arbeit des Flusses verlangsamen, vermag aber auf die räumlichen Dimensionen (die Breite des Talbodens) derselben keinen wesentlichen Einfluß ausüben. Mit dem Größerwerden der Schuttlast vermindert sich die seitliche Erosion nur relativ, das heißt in der Einheit der Zeit. Die vergrößerte Schottermenge, welche von den Abhängen des tiefen Tales sich in den Fluß schiebt und fällt, kann folglich nicht die verminderte Breite der jüngeren Terrassen erklären. Als Hauptursachen dürfen nur die Faktoren gedeutet werden, von welchen die seitliche Erosion abhängt. Es sind die Wasserführung und die zum Ausbauen des Tales nötige Zeitdauer. Welche von den beiden als wahrscheinlichere gelten könne, läßt sich indirekt aus der Tatsache schließen, daß es bei der vorausgesetzten zu kurzen Zeitdauer des Erosionsvorganges keineswegs

zu einem einheitlichen auf große Gebiete sich erstreckenden Terrassenbilde gekommen wäre. Alle Flüsse eines großen Gebietes können unmöglich in demselben Zeitpunkte zum Gleichgewichtsprofil gelangen und mit der lateralen Erosion gleichzeitig anfangen. Sehen wir aber heute, daß diese laterale erosive Arbeit im späteren Diluvium weniger als früher die Täler verbreiterte und können wir nicht den gleichen Zeitpunkt für den Anfang der seitlichen Erosion allerorten voraussetzen, so dürfen wir ebenso wenig in der Zeitdauer der lateralen Erosion die eigentliche Ursache der verminderten Amplitude suchen. Sonst müßten einige von den Flüssen in der Talausbildung mehr, andere weniger vorgeschritten sein, wir müßten hie und da eine sehr breite Terrasse, bei anderen Flüssen aber gar keine Terrasse finden können. Mit jeder neuen Hebung wächst die Kraft des Flusses, jedes neue Gleichgewichtsprofil ist ein wenig höher, als das vorhergehende war. Die Wassermasse nimmt zu, da das gehobene Land zu einem tüchtigeren Luftfeuchtigkeitskondensator wird. Beide Faktoren beschleunigen die Arbeit des Flusses, verkürzen den notwendigen Zeitraum.

Ein Symptom einer für die seitliche Erosion zu kurzen Zeitdauer ist eine unterbrochene Aue. Reste der diluvialen Terrassen sind aber gewöhnlich so ausgedehnt, daß sie als Teile einer unterbrochenen Aue nicht gelten können. Weil also eine zusammenhängende Aue gebildet wurde, mußte Zeit genug dazu vorhanden sein, und als Ursache der Einengung der jüngeren Profile bleibt nur die verminderte Wasserführung der Flüsse.

Nach B. DIETRICH (4) hängt die horizontale Ausdehnung der Terrassen ab:

1. von der Wasserführung, d. h. von der zerstörenden Kraft des Flusses,
2. von der Dauer der lateralen Erosion, d. h. von der Erosion zur Zeit der Ruhelage der Scholle,
3. von den Differenzen im Gestein.

Die Ansicht DIETRICHs stimmt mit der oben angeführten überein, daß nämlich nicht die Menge der Gesteinsmasse, die abzuräumen ist, entscheidet, sondern nur die Zeitdauer. Lokal dürfte auch die Mäanderbildung einen Einfluß ausüben, da die Aue bei der Schlingenabschnürung oft einseitig verbreitert wird.

HILBER (12, S. 48) will den Stufenbau durch den Gegensatz zwischen dem alten Reife- und dem heutigen jugendlichen Stadium erklären. Tatsächlich stellen aber alle zusammenhängende Terrassen stets ein altes Reifestadium der Flüsse dar, man könnte höchstens an das Alter des Reliefs denken. Die höchste und breiteste Terrasse liegt in einer peneplainisierten Gegend, sie hat sich eben deswegen erhalten, daß die Peneplain von keiner niedrigeren Peneplain ausgewechselt wurde. Hier figurierte die Zeit als Ursache. Diese Erwägung kann aber höchstens

die Frage beantworten, warum sich die Reste der höheren Terrassen überhaupt erhielten, nicht aber jene nach der Ursache der Ineinander-schachtelung von Talleisten.

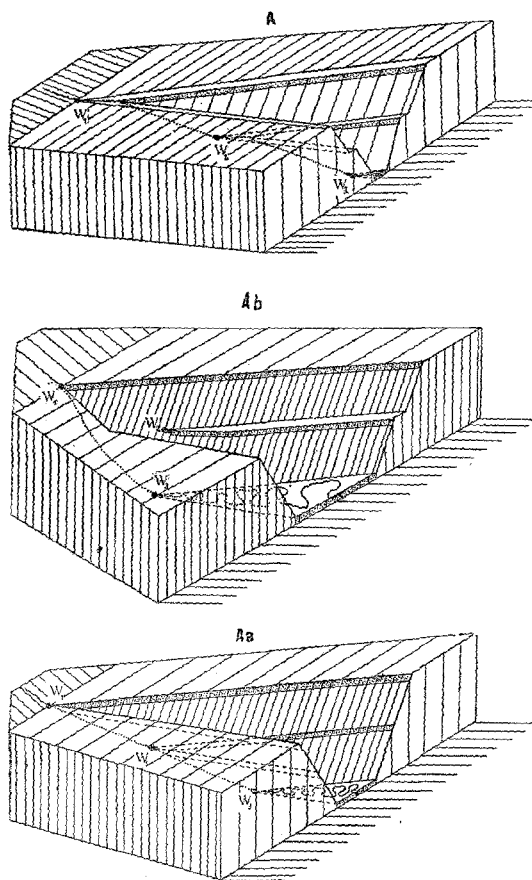


Fig. 1.

Schematische Lage des Normalwendepunktes  $W$  bei wiederholten tektonischen Hebungen (idealisiert, die Nullkurve als eine Gerade, die Terrassen als horizontale Ebenen gedacht),  $A$  bei gleichmäßiger,  $B$  bei einseitiger Bewegung der oberen,  $C$  der unteren Erosionsbasis. Während in  $A$  ein allgemeiner Fall von Terrassen als Relikten der ehemaligen Auen und mit Riegelfuren (im Scheitel des Terrassenwinkels) dargestellt sind, werden in  $Aa$  und  $Ab$  Einzelfälle abgebildet: in  $Aa$  im Augenblicke, als die Terrassen ganz verschwunden sind, so daß nur ihre Ansatzflächen an den Abhängen sich zeigen, in  $Ab$  Verlegung des Laufes gegen das rechte Ufer hin seit der Ablagerung der mittleren Terrasse.

Ebenso wenig kann ich die Ansicht HILBERS teilen, daß man die große Breite der höchsten Terrasse durch Abschwemmung der Talwände erklären sollte. An der Basis der Talwände bilden sich nur Schuttkegel und Schutthalden, die mit den eigentlichen fluviatilen Terrassen wenig gemeinsam haben, da sie eine andere Struktur und andere Genesis aufweisen.

Auf eine interessante, wenn auch nicht einwandfreie, Weise will SÖLCH (34) unsere Frage lösen. Anschließend an die Beobachtung HEIMS, daß sich die Terrassen sehr oft an Querriegel der Täler anschließen, macht SÖLCH auf die Tatsache aufmerksam, daß die unteren Terrassen niemals so weit flußaufwärts reichen, wie die oberen. Der Wendepunkt, wo sie anfangen, liegt sukzessive weiter von der fast unbeweglichen Quelle. Es dünkt mir aber, daß dieses Vorwärtsrücken des Wendepunktes beim Eintiefen des Tales eine notwendige Eigenschaft der Einschachtelung der Terrassen ist. Man darf dasselbe nicht als Ursache gelten lassen, wenn man nicht einen logischen Fehler (*Petitio principii*) begehen will.

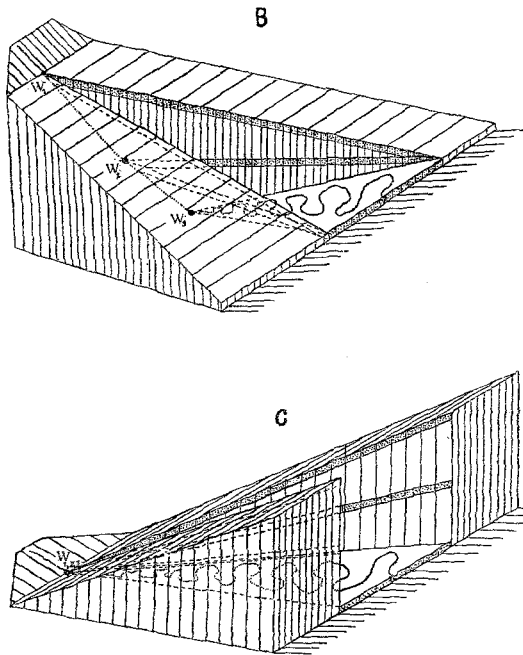


Fig. 1. Fortsetzung. (Erklärung vorhergehende Seite.)

An der Hand der beigelegten Abbildungen kann man sich verge-  
wissern, daß die unter Erosion stehende Strecke des Gleichgewichts-  
profils bei stets gleicher Wasserführung in einer neu und aber neu ge-  
hobenen Landschaft stets länger sein wird als in einer niedrigen Land-  
schaft (siehe Fig. 1, *A* Taltreppe, *Aa* die Taltreppe im Augenblicke des  
Schwindens der Talleisten, *B* im ähnlichen Augenblicke, aber einseitig  
in der Quellenregion gehoben). Das kann aber keineswegs für immer  
gelten, wenn man als Ziel der Erosion und Denudation eine Rumpfebene  
voraussetzt. Der Wendepunkt rückt so lange stromaufwärts vor (vgl.  
Fig. *Ab*, wo zugleich eine seitliche Verlegung stattgefunden hat), bis

die Rumpfebene erreicht ist. Dabei verschwinden selbstverständlich die Reste von älteren Terrassen, und es bleibt von einer Ineinanderschachtelung der Talleisten keine Spur. Solange aber verschiedenalterige Terrassen im Tale vorhanden sind, kann man annehmen, daß der dem neuen Zyklus zugefallene Zeitraum nicht allzu lang war, und infolgedessen konnte der Wendepunkt nicht weit stromaufwärts gelangen, er mußte näher der Mündung als die vorhergehenden geblieben sein.

Das alles scheint die Anschauung SÖLCHS zu bekräftigen. Man muß aber bedenken, daß die Lage des Wendepunktes auch von der Wasserführung abhängt und daß bei unveränderter Wasserführung, die wohl SÖLCH stillschweigend voraussetzt, bei genügender Zeitdauer ein Bild wie etwa Fig. *Aa* entstehen muß, die Amplitude der Aue muß gleich bleiben, und jede niedere Aue muß alle Spuren entweder gänzlich oder (bei der Verlegung des Flußlaufes) einseitig (*Ab*) vertilgen. Die Seitennagung kann sich unmöglich mit der Tiefe vermindern, da der mäandrierende Fluß aus einer gehobenen Scholle stets die maximale Menge des Schotters fortträgt. Wenn er eine stets gleiche Wassermasse besitzt, muß er mit einem stets gleichen Rest seiner Energie den Seitenschurf ausüben. Ist mehr Schotter vorhanden, so bleibt er liegen.

Tatsächlich darf man aber nicht die stets gleiche Wasserführung voraussetzen, da sie sich mit der Hebung vergrößert. Es wird folglich der Fluß zu einer Talverbreiterung fähig gemacht (Fig. *Ab*). Da in der Wirklichkeit eine Ineinanderlagerung der Terrassen vorkommt (Fig. *A*) und wir zu einer zeitlichen Erklärung (zu kurze Zeitdauer) nicht Zuflucht nehmen mögen, so bleibt nichts übrig als eine klimatische verkleinerte Wasserführung voraussetzen.

Bei einer einseitigen Hebung der Quelle (Fig. *B*) oder der Mündung (Fig. *C*) können analoge Fälle unterschieden werden; es wurden nur diejenigen der Fig. *Aa* entsprechenden abgebildet. Bei der Hebung der Mündung (Fig. *C*) gelangt der antezedente Fluß stets zu dem bisherigen Wendepunkte *W*.

Während SÖLCH unsere Frage als das größte Rätsel der Talbildung behandelt, will HENKEL (10), wie schon oben erwähnt wurde, die Existenz der Ineinanderschachtelung der Talterrassen sogar in Abrede stellen. HENKEL nimmt eine regionale Verlegung der Flußläufe an und versinnlicht dieselbe in einem Bilde (10, S. 144, Fig. 3). Er hat überall (zwei von ihm angegebene Stellen ausgenommen) nur an einem Ufer Reste von Terrassen gefunden. Doch leiden seine Angaben dadurch, daß er nur mächtige und aufgeschlossene Terrassenreste und Kiesfelder angibt; vereinzelte Gerölle besagen nach ihm nichts. Seine in den Kartenskizzen verzeichneten Funde sind besonders im Unterlaufe so spärlich, daß man keinen zwingenden Schluß ziehen darf. Von Hitzman bis Bamberg und im Quellengebiet sind die Funde schon zahlreicher, und besonders in der Strecke Hochstadt—Bamberg lassen sie die Vermutung von der Verlegung des Flußlaufes gegen Westen nahe; doch beweisen



läßt sich diese Bewegung nicht, da die problematische westliche Terrasse durch Abtrag zufälligerweise ganz und gar verschwinden konnte. HENKEL will die Verlegung des Flußlaufes als Gesetz, seine Beibehaltung als Ausnahme gelten lassen. Das steht aber nach meiner Meinung im Widerspruch mit der Arbeit eines Flusses auf einer allseitig gleich gehobenen Scholle. Denken wir uns einen Fluß, der in einem breiten Tale mit dem Gleichgewichtsprofil mäandriert. Setzt eine relative Hebung ein, so schneidet sich der Fluß ein, indem er den letzten Lauf beibehält. Erst nach dem Erlangen eines neuen Gleichgewichtsprofils fängt der Fluß an, im Niveau dieses Profils mit kräftiger seitlicher Erosion eine neue Aue mäandrierend herzustellen. In welcher Richtung ist aber die größte laterale erosive Kraft wirkend? Nicht streng seitlich, sondern ein wenig vorwärts, wodurch eben der Verlegung der Flüsse ein Riegel gestellt wird, weiter die Schlingen eingeschnürt und aus dem eingeschnittenen Terrain Inselberge gebildet werden, welche oben mit der Terrasse bedeckt sind. Zwischen den Inselbergen fließt im gekrümmten Laufe der Fluß und schafft je nach seiner Wassermenge eine breite oder enge Aue. War die alte Terrasse zusammenhängend ausgebildet, so werden auch ihre Reste an beiden Ufern vorhanden sein. War sie nur in den Mäanderkernen vorhanden, dann wird man sie nur auf den Inselbergen finden, dies aber nur in dem Falle, wenn die neue Aue bedeutend enger ist, als die frühere; denn sonst verschwindet jede Spur der Inselberge. Das letztere scheint beim Main der Fall zu sein. Eine Verlegung des in einem tiefen Tale fließenden Flusses halte ich für Ausnahme. Es müßte zu dem Zwecke z. B. die Richtung der maximalen lateralen Erosion verändert werden, was wohl erst durch eine einseitige tektonische Bewegung verursacht werden könnte.

Eine andere Ursache und zwar einseitige Schottervermehrung habe ich (30) beschrieben. Ein im Vorgebirge fließender und mit dem Gebirge paralleler subsequenter Fluß schiebt allmählich seinen Lauf von dem Gebirgskamme weiter und zwar im Unterlaufe mehr, da sich mit jedem neuen Zuflusse die Wirkung steigert. Auf die Weise wird aus einem mit dem Gebirgskamme parallelen Flußlauf ein solcher ausgebildet, der mit dem Gebirgskamme einen scharfen Winkel einschließt. Auch dort, wo sich keine Vorbedingungen für einen subsequenter Hauptfluß im Gesteine vorfinden, kann sich ein solcher durch fortschreitende Ablenkung der konsequenten Flüsse entwickeln, wenn der Anfang dazu von einem subsequenter Zufluß gemacht worden ist. Infolge der nach der Ablenkung des Flusses *B* (Fig. 2) durch den Fluß *A* vergrößerten Wasserführung gräbt sich der Fluß *A* tiefer ein, so daß bei der Mündung des *A'* in *A* eine erniedrigte Erosionsbasis entsteht, welche dann auf den Fluß *B* und seine Zuflüsse z. B. *B'* einwirkt, wodurch zur Anzapfung des Flusses *C* durch *B'* Gelegenheit gegeben wird usw. Der aus den Teilstrecken *A* bis *D* zusammengesetzte Hauptfluß wird also schon vom Anfange an einen schiefen Winkel mit dem Gebirgskamme einschließen.

Da sich aber in jeder Teilstrecke die einseitige, vom Gebirgskamme ausgehende Schottervermehrung geltend macht, so schiebt sich allmählich auch dieser zusammengesetzte Hauptfluß vom Gebirge weiter. Im Einklange damit bildet sich der gegen das vom Gebirge entferntere Ufer gerichtete Druck auch deutlich im Relief des Hauptflusses ab, soweit der Fluß nicht mäandriert. Das genannte Ufer ist steiler als das andere. Die Erscheinung kann durch schiefe Hebung beeinflusst werden. Wenn das Land im S. gehoben wird (siehe Fig. 2), vermindert sich das Gefälle der nordwestlichen, verstärkt sich dasjenige der vom SO. rieselnden Zuflüsse, welche letztere zum Ablenken der nächsten konsequenten Flüsse dadurch fähiger werden. Man muß wohl zugeben, daß der Boden eines ausgeglichenen Flusses sich in einem vollkommenen Gleichgewichte mit dem Relief befindet und daß folglich eine tektonische einseitige

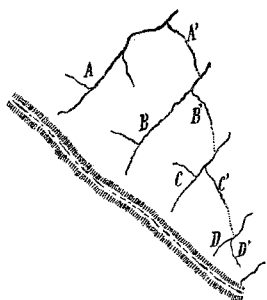


Fig. 2.

Die Entstehung eines mit dem Gebirgskamme einen schiefen Winkel einschließenden Hauptflusses durch sukzessive Ablenkung.

Veränderung der Höhenlage des Bodens einen Einfluß auf die Arbeit des Flusses ausüben muß. Falls wir aber katastrophale Bodenbewegungen, bei welchen die alten Flußnetze ganz und gar vernichtet werden, ausschließen (da sie ohnehin für unsere Frage des Terrassenbildes bedeutungslos sind) und hauptsächlich nur der epirogenetischen langsam sich vollziehenden Bodenbewegungen gedenken, dann werden wir kaum durchgreifendere momentane Wirkungen derselben im Talboden feststellen können. Bei einer seitlichen Hebung z. B. je 1 m für 1 km wird in einem 10 m breiten Flußboden die eine Seite nur um

1 cm höher gelegt als die andere, was wohl kaum wirken wird. Erst in größeren Mäandern wird sich das Spiel wiederholen, das ich bei den Zuflüssen beschrieben habe. Die Teilstrecken der Mäanderschlingen, in welchen der Strom im Sinne der Hebung rascher fließt, werden infolge der vergrößerten seitlichen Erosion verlängert, und dadurch muß der Fluß allmählich verlegt werden. Da eine allseitige und gleichmäßige Hebung in der Natur als Ausnahme, eine einseitige als Regel angenommen werden muß, so folgt, daß die Flüsse bei den tektonischen Bodenbewegungen ihren Lauf regelmäßig verlegen und daß also dann nur einseitige Terrassen verbleiben können, falls der tiefere Talboden dieselbe Breite behält. Wo sich dieser Fluß zufälligerweise genau vertikal eingeschnitten hat, müssen notwendig die alten Terrassen verschwinden. Es folgt also weiter, daß bei einem solchen Flusse sich nirgends beiderseitige alte Terrassen vorfinden können, was als Kriterium gelten kann.

In beiden Fällen (vergrößerte einseitige Schotterlast, tektonische einseitige Hebung) verlegt nämlich der Fluß seinen Lauf regional in einer

und derselben Richtung. Die Reste der Terrassen müßten also auch stets auf einem und demselben Ufer liegen. Das trifft kaum bei deutschen Flüssen zu<sup>1)</sup>, was auch gegen die von HENKEL angenommene gleiche Breite der neueren Talböden spricht. Diese Talböden büßten an Breite ein.

Einen extremen Standpunkt nahm SÖLCH (34, S. 84) an, indem er sogar die Bildung von Rumpfebenen durch Vereinigung von Ver-ebnungen erklären will, welche durch die nach der Seite auch schräg zur Schichtneigung erodierenden Flüsse ausgearbeitet wurden. Die Seitenverlegung der Flußläufe ist aber durch zwei relativ unbewegliche Punkte (die Quelle und die Mündung) gebunden, so daß sie sich nicht beliebig weit fortsetzen kann, sondern bald durch Anzapfungen verschleiert wird. Es müssen folglich für die Bildung von Rumpfebenen alle bisher angenommenen Faktoren der Erosion und der Denudation mit Recht auch weiter anerkannt werden. Die Wirkung der einseitigen Winde und des bei der Umdrehung der Erde entstehenden einseitigen Druckes kann des unbedeutenden Erfolges wegen unberücksichtigt bleiben. Über äolische Einebnung siehe F. E. SUSS, l. c. S. 372ff.

## VI. Die geologische Zeit der Eintiefungen und Aufschüttungen.

Es ist merkwürdig, daß in den Terrassen das paläontologische Material oft fehlt und nur in der Talaufschüttung d. h. in der unteren Terrasse sich vorfindet. Deswegen hat HENKEL (10, S. 155) die zeitliche Einordnung der Terrassen des Maintales als unsicher bezeichnet. Auch in Böhmen werden fast keine paläontologischen Funde aus den oberen Terrassen, wohl aber solche aus den dieselben bedeckenden Gehängelehmen angegeben (26, 27, 29). Jüngst habe ich (Revue des hist. Museums von Pilsen, 1919, im Drucke) einen Fund von dil. Nashorn in der 30 m hohen Terrasse des Miesflusses bei Sedlecko unweit von Pilsen beschrieben. Die Mehrheit der Schnecken scheint den Interglazialen anzugehören. Das stimmt mit den Aufschüttungsbedingungen der Einbettungsschichten überein. Konchylien konnten sich hauptsächlich nur in feinen Einlagerungen erhalten, die eher in wasserarmen Interglazialen als in wasserreichen Eiszeiten entstehen konnten. Eigenartige Kondensationsverhältnisse in den Eiszeiten haben so viel feines Material im verwitterten Boden vorbereitet, daß in der nächstfolgenden Zwischeneiszeit, in der die Einspülung wieder einsetzte, jede Erniedrigung mit Gehängelehm erfüllt wurde. Damals flossen schlammige Flächenströme und begruben besonders im Anfange viele Tierreste. Auf diese Weise läßt sich auch der Reichtum an diluvialen Petrefakten in der Basis der Lehmager erklären.

Schon im 4. Kapitel habe ich die diluvialen Terrassen mit Eiszeiten in eine genetische Verbindung gebracht, die das Dilemma glazial-inter-

<sup>1)</sup> Vgl. die Karte AHLBURGS (1).

glazial befriedigend löst und die schreienden Kontraste der Anschauungen über die Faunen (siehe das eingehende paläontologische Verzeichnis HILBERS (13)) und die Niederschlagsverhältnisse der Eiszeiten und Zwischeneiszeiten beseitigt. Die schon im Tertiär einsetzenden und Flüsse zur Erosion zwingenden epirogenetischen Bodenbewegungen wurden vom Inlandeise modifiziert und periodisch gemacht. Da zugleich die meisten Niederschläge in den Glazialzeiten während des ozeanischen Klimas nicht vermittels des Regens und des Schnees, sondern auf dem Wege der direkten Verdichtung des Wasserdampfes im Boden dem Grundwasserhorizonte zugeführt wurden, setzte in wasserreichen Flüssen ein intensiver Tiefenschurf ein, der bald zum Gleichgewichtsprofil und mithin zur Seitenerosion und Aufschüttung gelangte. Die folgende Zwischeneiszeit bildete die Taltreppe weiter aus, vermochte aber keine durchgreifende Veränderung im Terrassenbilde zu verursachen.

---