

Ueber den Einfluss der Rotation der Erde auf den Lauf der Flüsse.

Taf. VII.

Von

E. Dunker,

Geheimer Bergrath a. D.

Schon vor längerer Zeit habe ich eine Mittheilung über den Einfluss der Rotation der Erde auf den Lauf der Flüsse gelesen. Was darin behauptet wurde, war zwar klar genug ausgedrückt, ich habe aber den Gegenstand, obgleich ich mich schon vorher länger mit dem Studium der Veränderungen im Laufe der Flüsse beschäftigt hatte, nicht alsbald weiter verfolgt, weil mir erst seit einiger Zeit die sich darauf beziehende Originalabhandlung: „Ueber ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung der Flussbetten von K. E. von Baer“¹⁾, zugänglich geworden ist und ich Anstand nehmen musste, mir ohne genaue Kenntniss derselben ein Urtheil zu bilden.

Was in jener Abhandlung bewiesen werden soll, geht aus dem folgenden Anfange derselben hervor:

„Pallas schon machte die Bemerkung, dass in der Regel die Flüsse des Russischen Reichs ein hohes rechtes und ein flaches linkes Ufer haben. Er drückt seine Verwunderung darüber aus, scheint aber den Grund davon sich nicht haben klar machen zu können, weshalb seine Beobachtungen auch nicht allgemein berücksichtigt worden sind, ob-

¹⁾ Bulletin de l'académie impériale des sciences de St. Pétersbourg. 1860. Tome second.

gleich aufmerksame Reisende, wie z. B. Murchison, sie bestätigten und erweiterten. Nachdem ich im Jahr 1853 einen Theil der Wolga hinabgefahren war, wo dieses Verhältniss mit Fracturschrift von Nischnyi-Nowgorod bis zum Kaspischen Meere ausgeprägt ist, und nachdem ich auch einige kleinere Flüsse im beweglichen Boden des mittleren Russlands gesehen hatte, überzeugte ich mich, dass die Rotation der Erde der allgemeine Grund dieser Erscheinung sei.

Das fließende Wasser, wenn es vom Aequator gegen die Pole sich bewegt, bringt eine grössere Rotationsgeschwindigkeit mit, als den höheren Breiten zukommt und drängt deshalb gegen die östlichen Ufer, weil die Rotationsbewegung nach Osten gerichtet ist, also auch dieser kleine Ueberschuss, welchen das fließende Wasser aus niedrigen Breiten in höhere mitbringt. Umgekehrt wird ein fließendes Wasser, das mehr oder weniger von den Polen nach dem Aequator sich bewegt, mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit ankommen und also gegen das westliche Ufer drängen. In der nördlichen Erdhälfte ist aber für die Flüsse, die nach Norden fließen, das östliche Ufer das rechte und für die Flüsse, die nach Süden fließen, das westliche ebenfalls das rechte. In der nördlichen Halbkugel muss also an Flüssen, die mehr oder weniger nach dem Meridian fließen, das rechte Ufer das angegriffene, steilere und höhere, das linke das überschwemmte und deshalb verflachte sein, und zwar in demselben Masse, in welchem sie sich dem Meridiane nähern, so dass bei Flüssen oder Flussabschnitten, welche fast ganz im Meridian verlaufen, die anderweitig bedingenden, für dieses allgemeine Gesetz also störenden Einflüsse, nur wenig, in solchen aber, die mit dem Meridiane einen ansehnlichen Winkel machen, stärker hervortreten müssen. Das ist in der That in den Flüssen des Russischen Reiches sehr allgemein herrschende Regel. Ist die angegebene Erklärung die richtige, so muss auf der

südlichen Halbkugel das linke Ufer das hohe und das rechte das flache, überschwemmte sein, denn hier ist für Flüsse, die nach dem Pole gerichtet sind, das östliche Ufer das linke und für Flüsse, die nach dem Aequator strömen, das westliche ebenfalls das linke.“

Mit Bestimmtheit wird dies nur dann behauptet, wenn der Boden an den Seiten des Flusses weich und nachgiebig ist. Unter hohem Ufer wird ein solches verstanden, welches über den höchsten Wasserstand des Flusses hinausgeht.

Baer glaubte, diese einfache Erklärung sei schon bekannt, fand aber darüber keine Angabe. Bei Vorträgen, die er darüber 1853—1854 in Petersburg hielt, konnte er seine Ansicht nicht zur Geltung bringen, seine Ueberzeugung stand aber unerschütterlich fest, nachdem er im Jahr 1854 die Wolga zur Zeit der stärksten Strömung gesehn, und beobachtet hatte, wie die Seitenkraft — so will er den Ueberschuss oder Mangel an Rotationsgeschwindigkeit nennen, den das Wasser mitbringt — in diesem Flusse auf das rechte Ufer wirkt. Im Jahr 1857 von Astrachan nach Petersburg zurückgekehrt, fand er, dass das La-Plata-System seine Ansicht glänzend bestätige, so weit es durch Steppenland fließt und eben so der Mississippi, der ihm früher nach unvollständigen Nachrichten eine Ausnahme zu machen schien. In der Academie zu Paris wurde im Jahr 1859 dieselbe Frage, jedoch mehr als mathematisches Theorem, sehr lebhaft erörtert, dabei aber vielfach bezweifelt, dass der Druck nach der Seite auf die Gestaltung des Ufers Einfluss habe, weshalb es dem Verfasser um so mehr nothwendig erschienen ist, mit den von ihm in Russland gesammelten Beweisen hervorzutreten.

Es wird nun das an der Wolga Beobachtete eingehend beschrieben, dann auf andere Flüsse übergegangen und, um nachzuweisen, dass das Gesetz auch durch Angaben solcher Beobachter, die an dasselbe nicht gedacht hätten, bestätigt werde, aus einem Verzeichnisse von veränderten Flussläufen, welches in v. Hoff's „Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche“ Bd. III, S. 102—123 vorkommt, geschlossen, dass

unter den in demselben aufgeführten Flüssen, beziehungsweise Flusstheilen in der Nordhälfte der Erde 10 nach rechts gewandert seien, einer nach links, einer theils nach rechts, theils nach links und bei einem das Verhältniss ungewiss geblieben sei.

Bei der Untersuchung darüber, ob die Erdrotation auf den Lauf der Flüsse den behaupteten Einfluss habe, können der Vollständigkeit und Vergleichung wegen auch andre, von der Erdrotation abhängige Erscheinungen, in Betracht gezogen werden. Zu denselben gehört zunächst die Entstehung der Passatwinde, die sich bekanntlich in folgender Weise erklärt.

Die Atmosphäre dreht sich mit der Erde von Westen nach Osten. Wenn einmal auf der ganzen Erde Windstille herrschen könnte, so würde das nur zur Folge haben, dass sich alle Theile der Atmosphäre genau so von Westen nach Osten drehen, wie die Stellen der Meridiane, welche sie berühren. Sie drehen sich dann also auf den Polen um einen Punkt und von da an nach dem Aequator hin mit den Radien, welche durch die Ordinaten von den Stellen der Meridiane auf die Erdachse gebildet werden. Die Geschwindigkeit der Drehung des Erdumfangs wächst also nach dem Aequator hin wie der Drehungsradius, welches der Cosinus der geographischen Breite ist und erreicht auf dem Aequator, wo dieser Cosinus = 1 wird, ihr Maximum. Für gleiche Abstände auf den Meridianen nehmen die Differenzen der Drehungsgeschwindigkeit des Erdumfangs nach dem Aequator hin ab.

Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt nach den Polen ab. Zum Ersatz des dadurch entstehenden Verlustes zieht von den beiden Polen ein Luftstrom nach dem Aequator auf allen Meridianen hin. Jeder dieser beiden Polarströme bringt aus den höheren Breiten eine geringere Drehungsgeschwindigkeit mit, als sie die Theile der Erdoberfläche haben, über die er auf seinem Wege nach dem Aequator gelangt und die deshalb um die jedesmalige Differenz der beiden Drehungsgeschwindigkeiten unter dem Luftstrom

nach Osten voreilen, das heisst, auf die Erde bezogen, gelangt der Luftstrom immer mehr über Theile der Erdoberfläche, die westlich von den Meridianen liegen, auf denen er nach dem Aequator ziehen würde, wenn die Oberfläche der Erde sich gar nicht, oder wie die Seitenfläche eines Cylinders an allen Stellen mit gleicher Geschwindigkeit drehte. In solcher Weise werden der vom Nordpol, sowie der vom Südpol kommende Luftstrom auf ihrem Wege nach dem Aequator hin immer mehr nach Westen umgebogen. Jener bildet im atlantischen Ocean den Nordost-Passat und dieser in der Südsee den Südost-Passat.

Die vom Aequator nach den Polen ziehenden Luftströme haben eine grössere Drehungsgeschwindigkeit, als die Erdtheile, über welche sie gelangen. Sie müssen daher nach Osten von den Meridianen abweichen.

Sowohl die Abweichung nach Westen als die nach Osten ist auf der Nordhälfte der Erde eine nach rechts, und auf der Südhälfte eine nach links gerichtete.

Aus gleichen Gründen weicht eine in meridionaler Richtung nach dem Aequator oder den Polen abgeschossene Kugel auf der Nordhälfte der Erde nach rechts, und auf der Südhälfte nach links vom Ziele ab.

Dadurch, dass die Erdoberfläche unter dem Luftstrom und der Kugel um die jedesmalige Drehungsdifferenz nach Osten voraneilt oder zurückbleibt, entsteht keine tangential Kraft und deshalb auch keine Vermehrung der Geschwindigkeit der Luft und der Kugel.

Nehmen wir nun in der Nordhälfte der Erde eine in der Richtung eines Meridians liegende Eisenbahn und statt des Polarstroms einen von Norden nach Süden fahrenden Eisenbahnzug. Der Zug hat aus gleichem Grunde wie beim Polarstrom das Bestreben, nach Westen über die Schienen auszugleiten. Dies verhindern die Spurkränze der westlich liegenden Wagenräder und es entsteht dadurch ein Druck auf die Seite der rechts liegenden Schienen, aber keine Vermehrung der Geschwindigkeit, weil hierbei der Zug nur verhindert wird, eine Bewegung nach der Seite hin auszuführen, also auch keine tangential Kraft auf ihn wirkt.

Fährt der Zug von Süden nach Norden, so verhindern die Spurkränze der östlich liegenden Räder, dass der Zug vermöge der grösseren Rotationsgeschwindigkeit, die er von Süden mitbringt, nach Osten ausgleitet und es entsteht dadurch Seitendruck gegen die östlichen, das heisst wieder gegen die rechts liegenden Schienen und keine Vermehrung der Geschwindigkeit.

Der Verfasser hat den auf den Eisenbahnen entstehenden Seitendruck nicht unberücksichtigt gelassen und führt darüber (Seite 357) folgende Aeusserung Maury's an:

„Man betrachte eine von Nord nach Süd laufende Eisenbahn. Es ist den Ingenieuren bekannt, dass wenn die Wagen auf einer solchen Bahn nach Norden fahren, sie eine Neigung haben, nach Osten über die Schienen zu springen; fährt aber der Zug nach Süden, so drücken sie vielmehr nach Westen gegen die Schienen, also immer nach der rechten Seite zu. Mag nun die Eisenbahn eine oder 100 Meilen lang sein, sowohl die Wirkung der täglichen Erdrotation, als der einseitige Druck nach einer Seite zu, bleiben dieselben und zwar steht das Bestreben, aus den Schienen zu springen, in Proportion mit der Schnelligkeit der Züge und durchaus nicht mit der Länge der Bahn“¹⁾. „Leider,“ fährt Baer fort, „ist hierbei nicht gesagt, ob vergleichende Zählungen der Unglücksfälle auf den Eisenbahnen verschiedener Richtungen angestellt sind, oder ob die Ingenieure nur die vorherrschende Zahl der ausspringenden Züge nach der rechten Seite auf den Meridiansbahnen beobachteten.“

Einem solchen Mangel möchte wohl durch die seitdem von Herrn Finanzrath A. Hallbauer zu Dresden in einer Abhandlung über den Einfluss der Axendrehung der Erde auf das Entgleisen von Eisenbahnzügen²⁾ gemachten, auf Calcül gestützten Angaben, beseitigt sein. Danach braucht für die gewöhnliche Spurweite von 1,436 Metern selbst bei der Maximalgeschwindigkeit des Eisenbahnzugs von 25 Me-

1) M. F. Maury: Die physische Geographie des Meeres. Deutsch von Böttiger. S. 29.

2) Der Civilingenieur. Leipzig 1869. Band 15. S. 170.

tern in der Secunde die rechts liegende Schienenreihe nur um 0,0004 Meter, also noch nicht einmal um $\frac{1}{2}$ Millimeter überhöht zu werden, um dem aus der Erdrotation sich ergebenden Seitendrucke zu begegnen, das heisst um so wenig, dass ein Entgleisen in Folge der Erdrotation überhaupt nicht zu besorgen ist.

Aus dieser Abhandlung entnehme ich zur näheren Nachweisung der Art und Grösse der Kräfte, welche in Folge der Erdrotation in der Nordhälfte der Erde bei einem in der Richtung eines Meridians in Bewegung gesetzten festen Körper auftreten, Folgendes:

„Die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation ist:

$$\frac{2 \cdot \pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,0000727$$

Ein Punkt auf der Erdoberfläche unter dem Breitengrade α Fig. 3. macht daher vermöge der Erdrotation in der Secunde eine Bewegung $0,0000727 \cdot R \cdot \cos \alpha$ von West nach Ost, wenn R den Erdhalbmesser bezeichnet. Für einen andern Punkt, südlich oder nördlich in der Entfernung s von dem ersteren gelegen, lässt sich in der Voraussetzung, dass s im Verhältniss zu R sehr klein ist, der Rotationshalbmesser $R \cdot \cos \alpha \pm s \sin \alpha$ und die Umschwungsbewegung in der Secunde $0,0000727 (R \cdot \cos \alpha \pm s \sin \alpha)$ setzen. Braucht nun ein Körper die Zeit t , um den Weg von dem ersten Punkte nach dem zweiten zurückzulegen, so macht er in dieser Zeit vermöge der Erdrotation zugleich den Weg

$$u = 0,0000727 \cdot t \cdot R \cdot \cos \alpha - 0,0000727 \cdot t (R \cdot \cos \alpha \pm s \sin \alpha)$$

$$= \mp 0,0000727 \cdot t \cdot s \cdot \sin \alpha$$

von West nach Ost. Ist daher der Körper von Nord nach Süd in Bewegung gesetzt worden, so wird er wegen des — Zeichens westlich vom Zielpunkte, und ist er in entgegengesetzter Richtung in Bewegung gesetzt worden, so wird er östlich vom Zielpunkte anlangen und zwar in beiden Fällen um

$$u = 0,0000727 \cdot t \cdot s \cdot \sin \alpha.$$

Eine Kugel z. B., welche unter 50° Breite genau von Nord nach Süd oder umgekehrt abgeschossen wird und in $t = 10$ Secunden den Weg $s = 4000$ Meter zurücklegt, wird

$$u = 0,0000727 \cdot 10 \cdot 4000 \cdot 0,766 = 2,2275 \text{ Meter}$$

westlich oder östlich vom Zielpunkte einschlagen. Allerdings wird der Luftwiderstand diese Abweichung etwas abmindern, allein bei der verhältnissmässig sehr geringen Geschwindigkeit der seitlichen Bewegung nur sehr wenig.“

„Wird der Körper durch ein Hinderniss, wie z. B. ein Eisenbahnzug durch das Schienengeleis, an der Abweichung verhindert und in der Meridianebene erhalten, so wird er beständig ein Bestreben ausüben, seitlich abzuweichen und der Eisenbahnzug wird vermöge desselben einen Seitendruck gegen die Schienenbahn ausüben, welcher westlich gerichtet ist, wenn der Zug von Nord nach Süd, östlich dagegen, wenn der Zug von Süd nach Nord läuft.

Der seitlichen Bewegung, welche der Körper vermöge der Erdrotation zu machen das Bestreben hat, entspricht die Beschleunigung

$$p = \frac{2 \cdot u}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,0000727 \cdot t.s. \sin \alpha}{t^2} = \frac{0,0001454 \cdot s \cdot \sin \alpha}{t}$$

oder, wenn v die Geschwindigkeit pro Secunde ist, d. h.

$$v \cdot t = s \text{ und } v = \frac{s}{t},$$

$$p = 0,0001454 \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Bezeichnet ferner M die Masse des bewegten Körpers und P die bewegende Kraft, so ist auch $p = \frac{P}{M}$ und man erhält den seitlichen Druck

$$P = 0,0001454 \cdot M \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Eine Lokomotive von 600 Ctr. = 30000 Kilogr. Gewicht, welche sich mit 15 Meter Geschwindigkeit von Nord nach Süd bewegt, übt unter dem 50. Breitengrade einen Druck gegen den westlichen Schienenstrang aus, welcher, da

$$M = \frac{30000}{9,8088} = 3058,5 \text{ ist}$$

$P = 0,0001454 \cdot 3058,5 \cdot 15 \cdot 0,766 = 5,055$ Kilogr. beträgt und westlich gerichtet ist.“

Was bei der Eisenbahn je eins der Schienengeleise leistet, das leistet aus gleichem Grunde bei einem meridional liegenden Flusse je eins der Ufer, das heisst, es verhindert in der Nordhälfte der Erde das rechte Ufer die Abweichung des Flusses nach rechts und in der Südhälfte das

linke Ufer die Abweichung nach links. Die Wirkung der Rotation muss bei dem Flusse aber in anderer Gestalt auftreten, wie bei der Eisenbahn, weil mechanische Kräfte auf das Wasser als einen flüssigen Körper nicht ganz so wie auf feste Körper einwirken.

Die Oberfläche des stillstehenden Wassers ist in Folge der Schwerkraft und der Flüssigkeit des Wassers horizontal. Fließt aber das Wasser auf einer geneigten Ebene in Folge der Schwerkraft herunter, so ist seine Oberfläche in der Richtung des Fließens zwar ebenfalls geneigt, aber seine Begrenzungslinie gegen die Luft rechtwinklich gegen die Richtung des Fließens ist noch horizontal, wenn man davon absieht, dass das Wasser eines Flusses da, wo es am schnellsten fließt, im s. g. Stromstriche, etwas höher steht als an den daneben liegenden Stellen.¹⁾

Wenn aber auf das Wasser des Flusses ausser der Schwerkraft, die das Fließen bewirkt, in Folge der Erdrotation noch eine Kraft horizontal und rechtwinklich gegen die Richtung des Fließens wirkt, so wird die obere Begrenzungslinie des Wassers rechtwinklich gegen die Richtung des Fließens nicht mehr horizontal bleiben.

Wird ein prismatisches Gefäß ABC Fig. 4 mit der unveränderlichen Acceleration p horizontal fortbewegt, so bildet die freie Oberfläche des Wassers in demselben eine schiefe Ebene DF²⁾. Es wird nämlich jedes Element E dieser Ebene von seinem Gewichte G abwärts getrieben und in horizontaler Richtung ist, der Bewegungsrichtung entgegengesetzt, seine Trägheit P wirksam. Es ist $P = \frac{p \cdot G}{g}$ weil eine Kraft, durch welche eine Masse M mit der Acceleration p fortgetrieben wird, wie oben $P = Mp$, und die Masse $M = G/g$ ist, wobei g die Beschleunigung der Schwere in Metern, wie oben $= 9,8088$, bedeutet. Die aus beiden rechtwinklich zu einander wirkenden Kräften G und P entstehende Mittelkraft R steht rechtwinklich gegen die schiefe Ebene DF, denn wenn dies nicht der Fall wäre, könnte

¹⁾ J. Weisbach: Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. 1845. Theil I. S. 486.

²⁾ J. Weisbach a. a. O. I. S. 338.

das Element E, sowie jedes andre Element der Ebene DF nicht an seiner Stelle bleiben. Der Winkel REG, welchen die Resultante R mit der Richtung der Schwere bildet, ist gleich dem Winkel DFH = β , um welchen die Fläche des Wassers gegen den Horizont geneigt ist und dieser Winkel ist bestimmt durch $\text{tang. } \beta = \frac{GR}{EG} = \frac{P}{G} = \frac{p \cdot G}{g \cdot G} = \frac{p}{g}$.

Wendet man dies an auf einen meridional liegenden Fluss, auf welchen in Folge der Erdrotation die Acceleration p rechtwinklich gegen die Richtung des Fliessens wirkt, so ist, die Geschwindigkeit des Wassers = v gesetzt, der Winkel β , um welchen die Oberfläche des Wassers in der Nordhälfte der Erde gegen das rechte, und in der Südhälfte gegen das linke Ufer ansteigen würde

$$\text{tang. } \beta = \frac{p}{g} = \frac{0,0001454 \cdot v \cdot \sin \alpha}{9,8088}$$

Ist die Breite eines Flusses Fig. 5 = a, so ist die Grösse b, um welche hiernach das Wasser in der Nordhälfte der Erde am rechten Ufer höher stehn würde, als am linken $b = \text{tang. } \beta \cdot a$. Für dieselbe geographische Breite ist die Grösse b proportional der Geschwindigkeit v, der Breite a und dem Winkel β , das Letztere deshalb, weil die in Betracht kommenden Winkel so klein sind, dass ihre Tangenten noch mit ihren Bogen zusammenfallen.

Nimmt man wieder wie bei der Eisenbahn den 50. Breitengrad, unter dem sich auch ein Theil der Wolga befindet, und für die Geschwindigkeit ihres Wassers die bedeutende von 10 russischen Fussen = 3 Metern, wie sie Baer zur Zeit des höchsten Wasserstands als Maximum nach dem Fortreissen seines Bots (Seite 33) taxirt hat, so ist

$$\text{tang. } \beta = \frac{0,0001454 \cdot 3 \cdot \sin 50^\circ}{9,8088}$$

Hieraus erhält man $\log. \text{tang. } \beta = 5,5323238$ und zu $\log. \text{tang. } 5,5306729$ gehört ein Winkel von 7 Secunden.

Unter diesen Verhältnissen wäre für eine Breite von 1000 Metern, welche die Wolga für gewöhnlich nicht erreichen wird,

$b = \text{tang. } 7'' \cdot 1000 = 0,034066 \text{ Meter} = 3,4 \text{ Centimeter}$, eine Grösse, die schon so klein ist, dass sie kaum in Be-

tracht kommen kann, bei geringerer Breite und Geschwindigkeit eines Flusses aber noch viel kleiner wird.

Eine Auffassung wie im Vorstehenden würde aber nur zulässig sein, wenn

1) der Fluss nicht nur im Allgemeinen, die Richtung des Meridians einhielte, sondern auch vollkommen gerade wäre, denn wenn er, wie ja fast immer, eine Biegung nach rechts oder links macht, kommt, selbst wenn eine solche Biegung nur eine sehr geringe ist, die etwaige Wirkung der Erdrotation auf eins der Ufer in Collision mit dem Gesetze, dass, wie wir noch näher sehn werden, das Wasser mit seiner grössten Geschwindigkeit an das, vom Wasser aus gesehn hohle Ufer, es mag rechts oder links liegen, trifft und dasselbe zerstört.

2) Wenn bei gerader Richtung des Flusses die Geschwindigkeit seines Wassers an allen Stellen dieselbe wäre. Dies ist aber nicht der Fall, denn es fliesst am schnellsten da, wo es am weitesten von den die Geschwindigkeit durch Reibung verzögernden Ufern liegt, das heisst in der Mitte und weil das Wasser desto weniger Druck ausübt, je schneller es fliesst, so liegt auch zur Herstellung des Gleichgewichts die schon erwähnte geringe Erhöhung des Wasserstands in der Mitte. Der zur grösseren Geschwindigkeit gehörende Winkel β wird daher erst in der Mitte erreicht und würde, wenn die Geschwindigkeit von da an dieselbe bliebe, weil dem andern Ufer, in der nördlichen Halbkugel dem rechten, um die Hälfte näher, auch nur halb so viel, als angenommen wurde, auf Erhöhung des Wasserstands an diesem Ufer wirken können. Weil aber die Geschwindigkeit von der Mitte an nach dem rechten Ufer hin bis zu der am linken Ufer heruntergeht, so nimmt dem entsprechend auch der Winkel β ab. Da nun FH Fig. 4 nicht die Oberfläche des Wassers ist, welche ohne die Acceleration p vorhanden sein würde, vielmehr das Wasser um gleichen Betrag bei F unter und bei D über den durch die Mitte von DF gehenden Horizont treten wird, so könnte man sich vielleicht denken, dass von der hiernach bei F entstehenden Depression des Wasserstands noch etwas übrig bleiben werde. Allein da auch diese Depression voraussetzt,

dass der von F nach D ansteigende Wasserspiegel an DH seinen Halt finde, was nicht der Fall sein kann, wenn auf das bis zur Mitte des Flusses entstandene Ansteigen wieder eine Senkung desselben erfolgt und da es nicht begründet sein kann, gegenüber den sonstigen veränderlichen, nicht geringen Kräften, die auch bei dem geraden Flusse sich geltend machen, weil für ihn ein absolut regelmässiges, spiegelglattes Bett niemals vorhanden ist, noch mit äusserst kleinen, wenn überhaupt noch vorhandenen, Kräften rechnen zu wollen, so muss geschlossen werden, dass das Ganze auf das zurückkommt, was schon ohne die Erdrotation vorhanden ist, nämlich dass bei einem geraden Flusse das Wasser in seiner Mitte, weil es da am schnellsten fliesst, etwas höher steht, als an den Ufern.

Dies gilt auch, wenn der Fluss bei Ueberschwemmungen eine ungewöhnliche Breite erreicht, weil auch dann die grösste Geschwindigkeit des Wassers in der Mitte des eigentlichen Flussbetts eintritt, von da an nach beiden Seiten hin abnimmt und bei der geführten Rechnung schon die grosse Geschwindigkeit angenommen worden ist, die nur bei hohem Wasserstande erreicht wird. Deshalb ist auch die auf Seite 236 der Abhandlung ausgesprochene Vermuthung, dass wenn in einer Meerenge eine Strömung stattfindet, wie in der von Konstantinopel nach Süden, „die Quantität des Wassers ersetzt, was der Schnelligkeit der Bewegung abgeht“ als unbegründet zurückzuweisen, selbst abgesehen davon, dass wegen der wohl stets vorhandenen grösseren Tiefe einer Meerenge, ein Zuwachs von Wasserdruck auf ein Ufer, selbst wenn er nicht unbedeutend wäre, nicht in Betracht kommen kann.

Endlich so wenig wie die Luft und die Kugel, wenn sie sich in meridionaler Richtung bewegen, dadurch dass die Erde unter ihnen fortrollt, oder zurückbleibt, einen Zuwachs an Geschwindigkeit erhalten, eben so wenig ist dies auch bei dem Flusse der Fall.

Es bleibt nun zu untersuchen, welche Wirkung die Erdrotation in der Nordhälfte der Erde, bei welcher wir, wenn nicht das Gegentheil bemerkt wird, von jetzt an stehn bleiben wollen, auf das rechte Flussufer ausüben kann.

Der Druck des stillstehenden Wassers ist nicht im Stande, ein Ufer zu verlegen, weil ein Ufer, auf das nicht gleich wieder eine Vertiefung folgt, das also nicht einen gewöhnlichen Damm bildet, gewissermassen ein Damm von unendlich grosser Dicke ist, der sobald er die ihm zukommende Dossirung angenommen hat, nicht verrückt wird, seine Masse sei sonst wie sie wolle.

Es kommt hier aber die Wirkung fliessenden Wassers in Betracht.

Ein Stoss, den dasselbe bei Aenderung seiner Richtung gegen ein Ufer ausüben kann, erfordert keine Berücksichtigung, weil er unabhängig von der Erdrotation ist.

Es entsteht aber, wenn das Wasser an festen Körpern, und demnach auch, wenn es am Ufer hergleitet, zunächst Reibung, durch deren Arbeit das Ufer zerstört werden kann, wenn nicht sonstige Umstände in Betracht kommen, durch welche diese Zerstörung beseitigt, oder sogar in einen Schutz gegen Zerstörung umgeändert wird.

Gleitet ein fester Körper auf einem andern festen Körper, so hängt die mechanische Arbeit des dabei entstehenden Reibungswiderstandes ab vom Drucke, dem Reibungscoëfficienten und der Geschwindigkeit des Gleitens, mit denen sie zunimmt. Anders verhält sich indess der Reibungswiderstand zwischen festen Körpern und dem fliessenden Wasser. „Vernunftgründen und vielfachen Messungen und Beobachtungen zufolge lässt sich annehmen, dass dieser Reibungswiderstand ganz unabhängig ist vom Drucke. Ausserdem hat sich noch herausgestellt, dass dieses Hinderniss grösser ist bei grösseren und kleiner bei kleineren Geschwindigkeiten des Wassers, und dass es beinahe mit dem Quadrate der Geschwindigkeit des Wassers wächst“¹⁾.

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass zwischen zwei festen Körpern der Reibungswiderstand unabhängig ist von der Grösse der Fläche, bei Wasser und einem festen Körper aber mit der Grösse der Berührungsfläche wächst, weshalb, wenn Wasser von gleichem Umfange seines Querschnittes das eine Mal in einem offenen Kanale und das

1) J. Weisbach a. a. O. I. S. 431.

andere Mal in einem Röhrengange, dessen Querschnitt es ganz ausfüllt, fliesst, im ersten Falle weniger Reibung entsteht, weil der die Luft berührende Theil des Umfangs nicht mit gerechnet zu werden braucht. Im vorliegenden Falle kann dies jedoch unberücksichtigt bleiben, weil alle Flüsse offene Kanäle sind.

Die Vergrösserung des Wasserdrucks am rechten Ufer würde also die Arbeit der Reibung zwischen Wasser und Ufer selbst dann nicht vermehren, wenn durch die Erdrotation eine ansehnliche Zunahme des Drucks nachgewiesen wäre, was nicht der Fall ist und wenn sie nachgewiesen wäre, so würde daraus noch nicht ohne Weiteres eine Zerstörung des Ufers folgen, sondern noch zu untersuchen sein, ob dadurch die Ufermasse so tief durchtränkt und erweicht werden kann, dass sie leichter zerstörbar wird. Da nun auch eine Vergrösserung der Geschwindigkeit des Wassers am rechten Ufer, mit welcher die Arbeit der Reibung wachsen würde, durch die Erdrotation nicht entsteht, so ist die Gültigkeit des Baer'schen Gesetzes zunächst zu verneinen.

Um sich aber davon zu überzeugen, ob nicht sonstige Erscheinungen an den Flüssen zu beobachten sind, die für oder gegen jenes Gesetz sprechen, ist es zunächst erforderlich, sich die Gesetze klar zu machen, nach denen die Flüsse gestaltend auf die Erdoberfläche einwirken. Das Resultat der hierüber von mir angestellten Beobachtungen ist das folgende, zu dessen Begründung ich auch bereits früher Mitgetheiltes¹⁾ so weit als nöthig mit aufnehmen werde.

Denken wir uns ein Thal. Es kommt nichts darauf an, durch welche Kräfte es gebildet, und ob es gross oder klein ist, nur soll es im Wesentlichen in seiner Bildung bereits vollendet sein. Es ist hierbei unter Thal nicht etwa eine engere oder weitere Felsspalte, oder ein Thal wie das unter dem Niagara-Falle, das von senkrechten Wänden begrenzt, und dessen Boden ganz oder doch zum grössten Theile von einem Flusse eingenommen wird, zu verstehen, sondern

¹⁾ XIV. Bericht des Vereins für Naturkunde zu Cassel. 1864. S. 3 u. w.

ein Thal, das, wie es fast stets der Fall ist, von mehr oder weniger sanft ansteigenden Seitenwänden begrenzt wird.

Befindet sich nun in einem solchen Thale, es sei klein oder gross, ein ständig fliessendes Wasser, so tritt, wenn es nicht durch besondere Umstände, die sich aber jedesmal genau nachweisen lassen, verhindert wird, beim kleinsten Bache wie beim grössten Strome und besonders dann, wenn das Wasser zeitweise anschwillt, unfehlbar folgende Erscheinung ein, zu deren Erläuterung das Weserthal in der Grafschaft Schaumburg dienen mag.

Ich wähle dieses Thal, weil ich lange Zeit Gelegenheit gehabt habe, es zu beobachten und weil in ihm die zu beschreibende Erscheinung, durch besondere Umstände begünstigt, in grossartiger Weise auftritt.

Es erstreckt sich von Osten nach Westen. Ein Querschnitt desselben hat, wenn man für die Höhen einen grösseren Masstab, als für die horizontalen Längen anwendet, die in Fig. 1 angegebene Gestalt.

Geht man von der Weser a nach Norden, so überschreitet man zuerst eine Ebene ohne irgend eine wesentliche Erhöhung. Diese fast horizontale Ebene geht dann plötzlich in einen, meist sehr steilen Bergabhang b, über und von da an erhebt sich das Terrain noch eine Strecke sanft bis an den Fuss der Bergkette, die an der Südseite sehr steil, an der Nordseite aber in der Regel flach abfällt und deren Massen zur Juraformation gehören. Nach der Südseite des Thales hin findet dieselbe Erscheinung statt, das heisst, man geht auch hier von der Weser ab zuerst über eine ebene Fläche und trifft dann plötzlich auf einen Bergabhang c, der in die südliche, aus der Formation des Keupers bestehende Bergkette, übergeht. Unmittelbar am Fusse der beiden Bergketten ist an den meisten Stellen die Diluvialformation abgelagert, bald aus Geröllen, bald aus feinerer Erde oder Sand bestehend und hin und wieder erratische Blöcke von Granit, Grünstein, Gneis und ähnlichen, aus Schweden und Norwegen stammenden Felsarten, führend. Der Thalboden zwischen den Abstürzen b und c ist im Allgemeinen so sanft geneigt, wie der Fluss in der Richtung seines Laufs, aber im Querschnitt nicht allenthalben gleich hoch, denn

es kommen in ihm Höhendifferenzen bis zu 4,4 Metern vor. Solche Differenzen sind aber für die Grösse der Fläche doch noch so unbedeutend, dass sie das Auge nicht wahrnimmt und deshalb der Eindruck einer völligen Horizontalität entsteht.

Der so gestaltete Thalboden zwischen den Abstürzen b und c besteht aus zarter Erde ohne Steine und ist wohl immer auch ohne erratische Blöcke. Sollten sich darin einmal ausnahmsweise Steine befinden, die nicht durch Menschen hingbracht wurden, so sind sie zufällig hingekommen, wie z. B. durch Eisschollen, in denen Flussgerölle steckten und die bei grossem Wasser auf dem Uferlande liegen blieben.

Das Lager von Sand und Geröllen, das die Weser, wie alle Flüsse, die durch felsiges Terrain geflossen sind, führt, erstreckt sich unter der erwähnten Schicht zarter Erde bis an die Abstürze b und c.

Es bleibt nun zu erklären, wodurch diese Gestalt des unteren Theils des Thals entstanden ist.

Man könnte auf den Gedanken kommen, die Weser habe, wie dies schon anderwärts von Flüssen behauptet worden ist, in weit zurückliegender Vorzeit, den ganzen Raum zwischen den Abstürzen b und c ausfüllend, das Thal durchströmt, diese Abstürze seien die unmittelbaren Ufer der früheren Weser, die ebene Thalsohle dazwischen sei nichts als das ehemalige Flussbett, sei dadurch eben geworden und die jetzige viel kleinere Weser hätte in dieser Ebene ihr jetziges tiefer liegendes Bett eingeschnitten. Verhielte sich dies wirklich so, dann wäre, da die Breite der Thalsohle zwischen b und c bis zu einer halben geographischen Meile steigt, die Weser früher dem Maranon ähnlich gewesen. Eine solche Ansicht ist aber unbedingt zu verwerfen.

Zunächst stehen nämlich die Radien der Krümmungen der Flüsse im Verhältniss zur Grösse der Flüsse. Ein grosser Fluss zieht, wenn er nicht durch zu feste Massen daran gehindert wird, seine Krümmungen nach grösseren Radien, als der kleinere, weil bei jenem kleine Krümmungen schon in seiner Breite verschwinden und seine Wassermasse sich

mit zu grosser Wucht fortbewegt, als dass sie sich nach kleinen Krümmungsradien umwenden könnte. Deuteten also die weit von einander entfernten Abhänge b und c auf einen früheren grösseren Fluss, so müssten sie auch nach grösseren Radien, als der betreffende Fluss gekrümmt sein. Das ist aber nicht der Fall, denn diese Krümmungen sind da, wo sie ihre ursprüngliche Gestalt haben behalten können, was z. B. bei dem Theile von a bis b Fig. 2 der Fall ist, eben so wie noch jetzt bei der Weser.

Dann sind bekanntlich die beiden Ufer eines Flusses nahezu einander parallel. Die alten Ufer müssten also auch nahezu unter einander parallel sein, wenn der Fluss ihre Entfernung von einander zur Breite gehabt hätte, aber auch dies ist nicht der Fall; sie sind gar nicht, oder nur ausnahmsweise einander parallel.

Wäre die ebene Fläche des Thals nichts als das Bette des früheren grösseren Flusses, so müsste der Thalboden mit dem Grand- und Gerölllager des Flusses bedeckt sein. Nun besteht aber der Thalboden zunächst nicht hieraus, sondern aus der erwähnten zarten Erde ohne Steine. Es müsste also erst nachgewiesen werden, woher diese Erde gekommen sei.

Es ist daher eine andre Erklärung erforderlich.

Jedes fliessende Wasser setzt selbstverständlich eine geneigte Fläche voraus, auf der es herunterfällt. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, hängt ab von der Neigung dieser Fläche, denn je grösser diese ist, desto schneller fliesst das Wasser.

Wenn ein fliessendes Wasser in eine Gegend gelangt, so hat ihm die Natur wohl niemals eine geneigte, vollkommen ebene Fläche vorbereitet, auf der es in gerader Richtung fließen könnte. Da die Geschwindigkeit des Wassers mit der Neigung der Fläche, auf der es fliesst, wächst, so wird sich das Wasser von zwei neben einander liegenden Flächen, die stärker geneigte für seinen Lauf aussuchen. Dies ist zunächst der Grund, aus welchem die Flüsse nur ausnahmsweise und nur auf kurze Strecken in gerader Richtung fließen, warum sie, wie ein Blick auf jede Landkarte zeigt, in den vielfachsten Krümmungen sich bewegen.

Selbst wenn ihr Lauf auf eine lange Strecke im Allgemeinen ein gerader ist, wie beim Rheine von Breisach bis Strassburg, so ergehn sie sich doch innerhalb dieser Richtung in den vielfachsten Krümmungen.

Es entsteht da, wo der Fluss gekrümmt ist, ein in seinen Wirkungen bedeutsamer Gegensatz zwischen den beiden Ufern. Das eine Ufer, dessen Krümmungshalbmesser $a b$ Fig. 6 das Wasser durchschneidet, ist, vom Wasser aus gesehen, hohl, das andre, dessen Krümmungshalbmesser $a c$ ganz auf dem Lande liegt, gewölbt. Das Wasser wird in seiner Fortbewegung gehemmt durch die Reibung, die es an den Wänden des Flussbetts erleidet. Seine Geschwindigkeit ist daher im Allgemeinen am kleinsten an den Ufern und dem Boden. Weil die Mitte des Flusses am weitesten von den Ufern entfernt ist, fliesst daselbst, wenn die Richtung des Flusses eine gerade ist, das Wasser am schnellsten, so weit nicht eine kleine Abweichung der grössten Geschwindigkeit von der Mitte dadurch hervorgerufen wird, dass der Boden nicht ganz regelmässig gestaltet ist. Das Wasser drückt desto weniger, je schneller es fliesst und es tritt deshalb, um das Gleichgewicht herzustellen, nach der Mitte des geraden Flusses hin die schon erwähnte geringe Erhöhung des Wasserspiegels ein. Dieser Theil des Wassers wird, weil er in Folge seines Beharrungsvermögens seine Richtung nicht plötzlich ändern kann, nach dem Hohlufer getrieben. Der Stromstrich $d d$ Fig. 6 zieht daher von dem einem Hohlufer quer über den Strom zu dem nächst tiefer liegenden Hohlufer. Weil der Fluss dahin seine grösste Geschwindigkeit mitbringt und mit der Geschwindigkeit des Wassers der Widerstand der Reibung am Ufer, und demnach auch die mechanische Arbeit dieser Reibung nahezu im quadratischen Verhältnisse wächst, wird das Hohlufer zerstört und steil gemacht, das Bett an dieser in den Stromstrich fallenden Stelle, wie an den übrigen Stellen des Stromstrichs durch die in demselben vorhandene grösste Geschwindigkeit des Wassers vertieft und am wenigsten eine Anhäufung von Steinen in ihm geduldet. Es muss indess angenommen werden, dass nicht allein hiervon die Zerstörung des Hohlufers abhängt. Indem nämlich der sich

am schnellsten bewegende Theil des Flusswassers nach dem Hohlufer getrieben wird und dabei, der Kurve des Ufers folgend, die Richtung seiner Bewegung fortwährend ändern muss, können wegen ihrer Verschiebbarkeit nicht alle seine Theile so zusammenhängend die Richtung ihrer Bewegung ändern, wie die eines festen Körpers. Viele Theile des Wassers können daher, wenn sie auch von andern stromabwärts abgelenkt werden, ihre Bahn doch so weit beibehalten, dass sie noch stossend auf das Ufer treffen und erst dann ihm parallel gleiten¹⁾. Dieser Stoss und die dadurch hervorgerufenen inneren Bewegungen des Wassers scheinen auf die Zerstörung des Hohlufers, und die Vertiefung des Flussbodens an demselben noch mehr zu wirken, als die mit der grösseren Geschwindigkeit des Wassers verstärkte Arbeit der Reibung²⁾.

Liegt der Fluss in einem Klima, bei welchem er im Winter zufriert, so trägt zur Zerstörung der Hohlufer auch der Umstand bei, dass wenn sich das Eis in Bewegung setzt, seine Schollen nach dem Hohlufer getrieben werden und an diesem mit grosser, an dem gegenüberliegenden gewölbten Ufer aber mit geringerer Reibung gleiten, oder es gar nicht berühren. Die Wirkung des bewegten Eises würde eine noch grössere sein, wenn sie nicht eine, nur kurze Zeit dauernde, wäre.

Bei der Zerstörung der Hohlufer wirken so viele, sich fortwährend ändernde Kräfte mit, dass es bis jetzt nicht möglich war und sehr wahrscheinlich auch künftig nicht möglich sein wird, dafür einen exacten Ausdruck zu entwickeln. Dass aber das fliessende Wasser unausgesetzt, bei weichen Massen schneller, bei festen Gesteinen langsamer, die Hohlufer zerstört, ist durch die Beobachtung so sicher begründet, dass ein Zweifel dagegen nicht erhoben werden kann. Diese Zerstörung tritt schon ein, wenn der Fluss nur wenig von der geraden Richtung abweicht. Es ist daher auch eine Hauptaufgabe der Wasserbaukunst, die Hohlufer gegen Zerstörung zu schützen.

1) G. Hagen. Handbuch der Wasserbaukunst. Zweiter Theil: Die Ströme. Erster Band. 1844. S. 378.

2) Daselbst S. 359.

Lehm und Thon brechen meist in senkrechten, der letztere sogar zuweilen in etwas überhängenden Flächen herunter.

Auf das dem hohlen gegenüber liegende gewölbte Ufer wirkt der Strom nicht zerstörend, sondern erhaltend und vermehrend und deshalb ist auch dieses Ufer meistens flach. Da hier das Wasser eine geringere Geschwindigkeit hat, als an dem Hohlufer, so entsteht eine Art von Ruheplatz. Der Flussboden ist von dem gewölbten nach dem Hohlufer hin geneigt, weil die Geschwindigkeit des Wassers in dieser Richtung, und damit auch die Fähigkeit schwere Stoffe zu bewegen, zunimmt. Auf dem an das gewölbte Ufer stossende Theile des Flussbodens werden daher zunächst die vom Flusse herbeigeführten schweren Massen, wie Gerölle, Kies und Sand, von denen ein Theil bei kleinem Wasser am Ufer sichtbar wird, in einer Dicke abgelagert, die von der Menge des zugeführten Materials, und der Geschwindigkeit des Wassers mit abhängt. Die Bewegung des feineren Theils dieses Materials, wie z. B. des Sandes, ist interessant. Wenn nämlich die Geschwindigkeit des Wassers nicht mehr gross genug ist, um den Sand schwebend zu erhalten, aber noch gross genug, um ihn auf dem Grunde fortzuschieben, so bildet nach Dubuat der Sand quer gegen die Stromrichtung hinter einander liegende unregelmässige Rücken, die stromaufwärts sehr flach, und nach der andern Seite hin sehr steil abfallen. Die Sandkörnechen rollen gleichzeitig bei allen gebildeten Rücken an der flachen Seite herauf und an der steilen wieder herunter. Der Sand bewegt sich aber auf diese Weise nur sehr langsam vorwärts.¹⁾

Von den feineren im Wasser suspendirten Stoffen, die der Fluss an den aufwärts liegenden Hohlufeln abgerissen hat, oder die ihm sonst in der Form trüben Wassers zugeführt worden sind, gelangt ein Theil an den gewölbten Ufern wieder zum Absatze. Dieser mit seiner Dicke nach dem Flusse hin das Grandlager bedeckende Absatz erreicht eine vom Wasserstande des Flusses bei Ueberschwemmungen und der Menge der von ihm fortgeführten Substanzen mit abhängende Höhe. Meist in demselben Masse, in welchem

¹⁾ G. Hagen a. a. O. S. 162.

das der zerstörenden Wirkung des Wassers ausgesetzte Hohlufer zurückgewichen ist, hat sich, zumal da der Fluss für die Menge seines Wassers und dessen Geschwindigkeit nur eine bestimmte Breite bedarf, an dem gewölbten Ufer Land gebildet. Es ist also z. B. die Linie des Hohlufers $r s t$ Fig. 7 übergegangen in $r s' t$ und die des gewölbten Ufers $a b c$ in $a b' c$. Diese Wirkung dauert fort. Es findet wieder eine Zerstörung des Hohlufers, und ein Ansatz von Land am gewölbten Ufer statt. Mit unter dem Einflusse der jährlichen Ueberschwemmungen und weil das Wasser in der Nähe der Ufer mehr suspendirte Stoffe mit sich führt, als entfernter vom Ufer, wohin es nur bei Ueberschwemmungen, und nachdem es einen Theil seiner Trübe hat fallen lassen, gelangt, sowie, weil die an den Hohlufnern zerstörenden und an den gewölbten Ufern Land bildenden Ursachen im Wesentlichen sich gleich bleiben, erreicht der neue Landansatz am gewölbten Ufer ungefähr dieselbe Höhe wie der frühere. Zuweilen erfolgt der Absatz an und auf dem gewölbten Ufer so schnell, dass sich auf diesem Ufer ein kleiner Damm bildet. Es geschieht sogar nicht selten, dass man gezwungen ist, zur Minderung des Wasserstosses gegen das Hohlufer, der Zunahme des gewölbten Ufers Einhalt zu thun und die Pflanzungen, welche sie befördern, zu zerstören¹⁾.

In Fig. 9 sind diese Wirkungen im Profil dargestellt. Es sei $a b c d e$ die ursprüngliche Gestalt der Erdoberfläche und $a f g d$ das erste Flussbett, demnach $a f$ das erste gewölbte Ufer, $f g$ der nach dem Hohlufer geneigte Boden des Flusses und $g d$ das erste Hohlufer. Ein Einschneiden des Flusses in senkrechter Richtung finde nicht statt. Durch Zerstörung rückt das Hohlufer von $g d$ nach $h i$ und am gewölbten Ufer entsteht der Landansatz $f k l m$. Das dann folgende Hohlufer ist $n e$ und der neue Landansatz am gewölbten Ufer $k o p l$, der ungefähr ebenso hoch wird, wie der frühere.

Indem so der gekrümmte Fluss das Bestreben hat, seine Richtung, so weit es ihm die entgegen stehenden Hindernisse gestatten, zu ändern, müssen alle Theile des Thalbodens, die erst Flussbett waren und dann durch Ansatz an den gewölbten Ufern zu Land wurden,

¹⁾ G. Hagen a. a. O. S. 378.

nahezu eben werden und in diesem einfachen Gesetze liegt die gestaltende Wirkung der Flüsse auf die Bildung des ebenen Thalbodens.

Da bei dieser Bildung der Thalebene durch den Fluss nur die zarten, im Wasser suspendirten Erdtheile, an den gewölbten Ufern zum Absatz gelangen, so sondert der Fluss die feine Erde von den unfruchtbaren Steinen besser als das feinste Sieb des Gärtners. Es ist also nicht zu verwundern, dass unter sonst gleichen Umständen in dem ebenen Theile des Thalbodens die fruchtbarste, und von Steinen freie Erde liegt. Führt aber der Fluss zwar feinertheilte, aber für die Vegetation nachtheilige Stoffe herbei, so kann er auch das fruchtbarste Thal in eine Wüste verwandeln.

Da ferner die auf dem, an das gewölbte Ufer stossenden Theile des Flussbodens, zum Absatz gekommenen größeren Theile, welche das Wasser zwar fortrollen, aber nicht heben kann, durch den Landansatz am gewölbten Ufer bedeckt werden, so ist klar, dass wenn der Fluss ein Grand- und Geröllelager führt, es sich unter der Lage zarter Erde so weit erstrecken muss, wie diese selbst.

Gelangt der Fluss mit einem seiner Hohlufer nach den Seiten des Thals hin an Massen, deren Höhe über das Niveau des höchsten Wasserstands hinausgeht, so wird der Fuss derselben durch die auf die Hohlufer wirkende zerstörende Kraft des Wassers unterhöhlt. Dadurch verlieren die darüber liegenden Massen ihren Stützpunkt, brechen herunter und werden vom Flusse fortgeführt. So bildet sich am Berg- oder Hügelabhänge ein je nach der Beschaffenheit der heruntergebrochenen Massen mehr oder weniger steiler, unter Umständen sehr hoher Absturz oder Uferrand. Verweilt ein nicht zu schwacher Fluss mit seinem Hohlufer längere Zeit am Fusse eines Berges, so kann der durch das Nachstürzen der Gebirgsmassen entstehende Uferrand mehrere hundert Fuss hoch werden, wie es unter andern ausgezeichnet an der Weser zwischen Herstelle und Beverungen zu beobachten ist. Auch hierzu ist keine über die jetzige weit hinausgehende Kraft und Wassermasse erforderlich, nur muss man den Flüssen die gehörige Zeit von Jahrtausenden lassen, um ihre Wirkungen auszuführen.

Entweder fließen die Flüsse noch jetzt an den so gebildeten Abstürzen, oder sie haben sich wieder von ihnen entfernt, und sie als alte Uferländer, deren über den höchsten Wasserstand des Flusses hinausgehenden Theile, Sturzländer sind, zurückgelassen.

In dieser Weise sind auch die in Fig. 1 bei b und c im Profil und ausserdem in Fig. 2 im Grundrisse angegebenen alten Uferländer der Wasser entstanden. Sie erstrecken sich in Fig. 2 von a bis b, c bis d, d bis e, e bis f, f bis g, h bis i, i bis k, o bis p, q bis r, s bis t.

Hat der Fluss seinen äussersten Uferland erreicht und berührt er ihn mit einem Hohlufer, so könnte man versucht sein, anzunehmen, er sei nicht im Stande, sich wieder von ihm zu entfernen, weil er das Bestreben hat, mit seinem Hohlufer immer tiefer in die daneben liegende Anhöhe zu dringen und den gebildeten Sturzrand zu vergrössern. Aber auch diese Wiederentfernung erfolgt ganz nach dem schon entwickelten Gesetze. Die Weser z. B. berührt jetzt bei Saarbeck (Fig. 2 und 13) mit ihrem Hohlufer den Sturzrand. An dem gewölbten Ufer abc Fig. 13 setzt sich Land an und das gegenüber liegende Hohlufer wird zerstört. Dadurch können die Ufer zunächst die durch punktirte Linien angedeutete Gestalt erhalten. Durch weiteres Einschneiden des stromaufwärts liegenden Hohlufers cde wird aber der Landansatz von c nach b hin wieder zerstört, während er fast parallel ba nach links noch wächst, wodurch dann die Ufer eine Lage annehmen, wie sie durch länglich punktirte Linien angegeben ist¹⁾. In dieser Weise schiebt sich der Uferland fabe von rechts nach links stromabwärts und wenn auf diese Weise b über b' gekommen ist, kann sich die Weser von dem äussersten Uferlande, der bei i Fig. 2 südlicher liegt, als bei Saarbeck, wieder entfernt haben. Ist das Einschneiden bei edc und der Landansatz bei bc

¹⁾ Wenn die Ufer einander parallel sind und bleiben, so muss die untere länglich punktirte Linie von da an, wo sie zwischen b und c auf die ausgezogene Linie trifft, links über b hinaus der oberen länglich punktirten Linie parallel sein, so weit sie es nicht schon ist. Sie fällt dann über b, sowie etwas rechts und links davon, mit der ausgezogenen Linie zusammen, und ihr von b nach links bis an die ausgezogene Linie reichender Theil fort.

anfänglich sehr stark, so wird bc mehr nach h hinrücken und dadurch ein weiteres Element zur Umänderung des Flussufers in der Art entstehen, dass der Bogen abc sich nach Nordost hin bewegt. Hierzu kommt aber als wesentlich noch, dass selbst gerade Flussdurchstiche allmählig leicht wieder Krümmungen annehmen¹⁾, weil da, wo durch nicht völlige Regelmässigkeit des Ufers oder Bodens die Geschwindigkeit des Wassers abnimmt, auch im geraden Flusse leicht Sand- oder Grandbänke entstehen. Dies oder Sonstiges treibt das Wasser nach einem Ufer, es beginnt dessen Zerstörung und die Bildung einer Krümmung.

In dem erwähnten Fortschieben der Hohlufer cde und f Fig. 13 nach links längst des äussersten Flussrandes liegt eine der Veranlassungen, durch welche die äussersten Flussränder auch schon bei ihrer ersten Entstehung gerade Linien bilden, also gar keine Aehnlichkeit mit den jetzigen Krümmungen des Flusses haben können. Die zweite wichtigere und häufigere liegt darin, dass der Fluss in einer späteren Periode nochmals an einen schon gebildeten äussersten Fluss- (Sturz) rand tritt und ihn durch weiteres Einschneiden gerade macht. Hätte z. B. die Weser in einer späteren Periode das Terrain zwischen b und c Fig. 2 angegriffen, wozu nur nöthig gewesen wäre, dass der Bogen bei Engern Fig. 2 nach Nord vorrückte, so würde der Rand von a bis c, der jetzt von a bis b wie die Weser gekrümmt ist, ziemlich gerade geworden sein. Wenn also, wie es die aus Baer's Abhandlung entnommene Fig. angiebt, 19 die Ebene eines nicht grossen, in vielen Krümmungen fließenden Wassers von geraden Sturzrändern ab und cd eingefasst wird, so folgt daraus noch nicht, dass diese Ränder früher von einem sehr grossen, das ganze Thal ausfüllenden rasch fließenden Flusse gebildet worden seien, wie es auf Seite 223 der Abhandlung behauptet wird. Ob man, wenn solche Ränder im Verhältniss zu dem jetzt vorhandenen Flusse oder Bache sehr bedeutend sind, zur Erklärung ihrer Entstehung eine sehr lange Zeit oder andere Ursachen zu Hülfe zu nehmen hat, muss von den jedesmaligen Verhältnissen abhängig gemacht werden.

¹⁾ G. Hagen, a. a. O. S. 346.

War ein Thal vor dem Auftreten des Flusses an einzelnen Stellen nicht höher, als es durch die Ablagerung von Erde an den gewölbten Ufern des Flusses wird, so werden alle hier vorhanden gewesenen Theile des Flussufers keine über die Ebene neben dem Flusse hervorragenden Ränder hinterlassen. So ist z. B. in Fig. 2 von i bis k und bei o der alte Flussrand deutlich vorhanden, während er zwischen k und n theils nicht deutlich, theils gar nicht zu sehen ist. Das alte Ufer hat hier wahrscheinlich die durch die Linie klmn angedeutete Lage und zwischen b und c wird das alte Ufer so liegen, wie der untere Rand der Bergschraffur. Schärfer lässt sich eine solche Linie oft dadurch bestimmen, dass die zur Flussebene gehörende Erde von anderer Beschaffenheit ist, als die daneben befindliche und ganz scharf, wenn man sich die Mühe geben wollte, das unter jener liegende Grandlager aufzudecken.

Verändert also der Fluss, nachdem die Thalsole bereits gebildet ist, innerhalb derselben in der beschriebenen Weise seinen Lauf, so entstehn dadurch keine sichtbar bleibenden Ränder und es würden dieselben also auch beim grössten Flusse nicht entstehn, wenn eine Fläche schon vorher so eben und so stromabwärts geneigt gewesen wäre, wie sie es durch den Fluss wird.

Erstreckt sich, wie in Fig. 2 zwischen den sichtbar gebliebenen alten Uferrändern eine nahezu ebene Fläche, so ist anzunehmen, dass jede Stelle des Thalbodens wenigstens einmal Flussbett gewesen, und durch Landbildung an den gewölbten Ufern eben geworden ist. Dass eine nicht an den Rändern des vom Flusse gebildeten Thalbodens, sondern in ihm selbst liegende Stelle kein Flussbett gewesen wäre und sich in der Form von den neben ihr liegenden Stellen deshalb nicht unterschiede, weil sie schon vorher die Gestalt gehabt hätte, die ihr der Fluss durch Landbildung gegeben haben würde, ist zwar nicht unmöglich, wird aber nicht leicht eintreten.

Je schneller sich das Wasser eines Flusses fortbewegt, desto mehr Kraft hat es, die angenommene Richtung beizubehalten und deshalb nehmen in der Regel die Radien der Flusskrümmungen mit der Geschwindigkeit des Wassers

zu. Die Krümmungen sind deshalb auch meist im Flachlande am verwickeltsten, und liegen, wie z. B. die in Fig. 8 dargestellten, von der Saale nicht weit von Halle entnommenen, mitunter einander so nahe, dass der Fluss durch Zerstörung seiner Hohlufer das dazwischen liegende Land durchbrechen kann, wodurch entweder eine Insel gebildet ¹⁾, oder ein Theil des Flusses bei gewöhnlichem Wasserstande trocken gelegt wird. Die Vertiefungen, welche auf diese Weise trocken gelegte Flussbette hinterlassen, bleiben in der Regel sehr lange sichtbar und werden erst nach und nach durch den bei Ueberschwemmungen in ihnen entstehenden Absatz ausgefüllt, was mitunter aber auch nie geschieht, wenn sie das Hochwasser in gerader Richtung mit nicht zu geringer Geschwindigkeit durchströmt. Baer vermuthet (S. 219), die erste Veranlassung zu solchen verwickelten Krümmungen hätten wohl gestrandete Baumstämme gegeben. Es ist dies zwar möglich, im Allgemeinen aber reicht zur Erklärung der Entstehung auch solcher Krümmungen die durch Zerstörung der Hohlufer herbeigeführte Veränderung des Flusslaufs aus.

Flüsse mit sehr starkem Falle können unter Umständen gar keine Ebene bilden, weil sie zu beharrlich in der einmal angenommenen Richtung fortfließen.

Da die Erdmasse der Ebene neben dem Flusse von diesem selbst abgesetzt ist, so wird sie auch bei Anschwellen des Flusses leicht unter Wasser gesetzt. Hiermit scheint im Widerspruche zu stehn, dass es auch in der Flussebene nicht selten Stellen giebt, die ohne künstlich erhöht zu sein, selten oder niemals von den Ueberschwemmungen erreicht werden und zwar nicht nur am Fusse der sichtbar gebliebenen äussersten Flussränder, wo die höhere Lage von der Anhöhe heruntergeschlämmter Erde zugeschrieben werden könnte, sondern auch an andern Stellen. Diese höher liegenden Stellen gehören Zeiten an, in denen der Fluss

¹⁾ Sonst bildet sich eine Insel erfahrungsmässig dadurch, dass eine Landzunge, die vom Ufer aus stromabwärts vortritt, durch späteren Abbruch ihres oberen Theils zu einer Insel wird. Aus von den Ufern entfernten Kies- oder Sandbänken entstehn Inseln gewiss nur sehr selten. (G. Hagen a. a. O. S. 170.)

sich noch nicht ganz so tief wie später in den Thalboden eingeschnitten hatte und deshalb auch in einem höheren Niveau seine Landbildung vollziehen konnte. So liegt z. B. in Fig. 2 die Stelle bei u 4,4 Meter höher, als die bei r. Die Weser floss daher auch früher bei u als bei r. Hiermit stimmt auch überein, dass gerade von a bis b der äusserste Flussrand nach solchen Radien gekrümmt ist, wie sie noch jetzt an den Ufern der Weser vorkommen. Die Weser ist nicht wieder an diese alte Stelle gekommen und der Flussrand von a bis b könnte daher seine ursprüngliche Gestalt behalten.

Die über den Thalboden hervorragenden Theile der äussersten Flussränder schneiden wie die Seitenwände eines Wasserrisses scharf gegen das an ihr oberes Ende stossende, meist wellenförmig gestaltete Terrain, ab und sind deshalb schon von weitem an ihrer Gestalt zu erkennen. Am deutlichsten tritt diese Gestalt hervor bei leicht nachbrechenden Geröllmassen und geschichteten Gesteinen, mitunter weniger bei ungeschichteten Gesteinen, wie den Porphyren von Halle, bei denen sie aber auch zu erkennen ist, wenn man sie nicht in zu grosser Nähe betrachtet. Selbst wenn diese Flussränder zwar aus weichen, aber nicht aus solchen Massen bestehen, die schon durch Regen oder schmelzenden Schnee vollständig in Bewegung gerathen und so lange sie der Wirkung eines Wasserlaufs, oder sonstigen, ganz ungewöhnlichen Umständen, nicht ausgesetzt sind, bleibt ihre Gestalt im Wesentlichen für immer erhalten und wenn auf ihnen dicht kleine Pflanzen, wie z. B. Gräser stehn, zwischen denen das von der Höhe herabfliessende trübe Wasser Erde absetzt, können sie selbst nach dem Thalboden vorrücken. Ein freilich nur der historischen Zeit entnommenes Beispiel hierfür ist folgendes.

Der Schwalheimer Brunnen in der Wetterau liegt, wenn man sich eine künstliche, des Brunnens wegen gemachte Erdauftragung wegdenkt, unmittelbar am Fusse eines kleinen, nur 0,6 bis 2,5 Meter hohen Abhanges, den die Wetter, ein Fluss von geringer Grösse, in weichen Massen gemacht hat und im Brunnen hat man bei seinem Reinigen nicht selten römische Münzen gefunden. Der kleine Flussrand hat also noch dieselbe Lage wie zur Zeit der alten Römer.

Nicht selten wird die Ansicht geäußert, dass zu einer Zeit als die Erdoberfläche im Wesentlichen schon ihre jetzige Gestalt erhalten hatte, Flüsse einen andern, von ihrem jetzigen weit abliegenden Lauf gehabt hätten, so z. B., dass die Weser früher nicht durch die westphälische Pforte bei Hausbergen nach Norden, sondern erst an ihr vorbei weiter nach Westen und dann etwa da, wo jetzt die Hunte herzieht, nach Norden geflossen sei. Ist dies wirklich der Fall gewesen, so müssen die Abhänge des ehemaligen Flusslaufs noch vorhanden sein, da sich wie erwähnt nicht annehmen lässt, dass sie verschwunden seien, oder es muss nachgewiesen werden, dass und warum sie sich nicht hätten bilden können.

Wieviel Zeit ein Fluss braucht, um die Thalebene mit ihren Sturzrändern zu bilden, hängt natürlich von der Festigkeit der zu entfernenden Massen ab. Was im Weserthale der Grafschaft Schaumburg an Zeit weniger nöthig war, weil hauptsächlich nur Diluvialmassen und nicht sehr feste Gesteine des unteren Theils der Juraformation zerstört zu werden brauchten, wird durch die Grossartigkeit der Erscheinung aufgewogen. Steht man auf einem der Sturzränder, so ist der gegenüber liegende meist so weit entfernt, dass er schon sehr hoch sein muss, um mit unbewaffneten Auge deutlich gesehen werden zu können. Zwischen beiden zieht der Fluss so ruhig hin, als ob alles immer so gewesen wäre. Denkt man sich nun die Zeit, die der Fluss brauchte, um die grosse vor uns liegende Ebene wie ein riesenhafter Pflug zu durchfurchen, dann, dass man gar nicht wissen kann, wievielmals hintereinander auf diese Weise jede Stelle des Thalbodens Flussbett gewesen ist, so erhält man einen Massstab für die Grösse dieser, der letzten geologischen Epoche angehörenden Leistung, die der Fluss durch die gebildete Thalebene und ihre Ränder anschaulich vor uns ausgebreitet hat.

Dass nicht selten ein Fluss auch von sehr alten Städten noch in derselben Entfernung liegt, wie zur Zeit der Gründung dieser Städte, beweist nichts gegen die beschriebene Aenderung im Laufe der Flüsse, weil solche Erinnerungen für die Zeiträume, nach denen die Geologie rechnen muss,

zu kurz sind. Auch darf man nicht vergessen, dass von den Flüssen wenigstens die schiffbaren sich nicht mehr im Zustande der Freiheit befinden, sondern unter dem Banne der Wasserbaukunst stehen, die ihren Launen Zügel anlegt. Kleinere und deshalb nicht schiffbare Flüsse ergelien sich in der Thalebene oft in den wunderlichsten und in verhältnissmässig kurzer Zeit sich ändernden Krümmungen, bis dann endlich die betreffende Gemeinde, um den Verlust so vielen Landes besorgt, sich zusammennimmt und dem Flusse ein neues Bett gräbt. Eine ähnliche Correctur bewirkt der Fluss selbst, wenn er wie oben erwähnt, und durch Fig. 8 erläutert wurde, das Land zwischen zwei Hohlufeln zerstört.

Bei der Art, in welcher die Flüsse gestaltend auf die im Wesentlichen schon fertig gebildet gewesenen Thäler einwirken, muss im Auge behalten werden, dass diese Einwirkung von der Zerstörung der Hohlufeln ausgeht und dass, abgesehen von einem etwa zugleich eingetretenen tieferen Einschneiden des Flusses nach unten, alles Uebrige nur eine Folge hiervon ist.

Man wird gefunden haben, dass die für die Entstehung der Ebenen neben den Flüssen und der Sturzränder an den Seiten dieser Ebenen gegebene Erklärung sehr einfach ist. Sie muss aber auch als die allein richtige bezeichnet werden. Auf alle Specialitäten ist bei ihr deshalb eingegangen, weil dies gewöhnlich gar nicht, oder doch nur so geschieht, dass unrichtige Auffassungen entstehen können.

So ist es z. B. nicht zulässig, anzunehmen ¹⁾, die Ebenheit des Thalbodens entstehe dadurch, dass der Fluss durch seine Ueberschwemmungen die Unebenheiten wegschleife und was davon noch bleibe, durch den abgesetzten Schlamm ausgleiche. Verhielte es sich in dieser Weise, so wäre zunächst nicht zu erklären, warum der zarte Boden in der Flussebene an allen Stellen ungefähr dieselbe Dicke hat und unmittelbar unter ihm, ebenfalls in ziemlich gleicher Dicke das Grandlager des Flusses liegt, das freilich am unteren Ende des Laufs langer Flüsse fein zerrieben sein, oder auch ganz fehlen kann.

1) J. G. Kohl: Nordwestdeutsche Skizzen. Bremen 1864. I. S. 15.

Das bei Ueberschwemmungen über die Ufer hinaus sich ausbreitende Wasser besitzt aber auch, vielleicht einzelne lokale Strömungen abgerechnet, gar nicht so viel Geschwindigkeit, dass es feste Massen abschleifen, oder freiliegende, nicht sehr kleine Felsstücke, fortbewegen könnte. Die Findlingsblöcke an den Seiten des Weserthals in der Grafschaft Schaumburg sind unter Verhältnissen abgelagert, aus denen mit Sicherheit geschlossen werden kann, dass sie ursprünglich über das ganze Thal verbreitet waren. Man sieht sie jetzt nur auf dem Diluvium oder dicht am Fusse der in demselben gebildeten Sturzränder, wie b und c Fig. 1. Wenn sie nun, wie bereits erwähnt, in der vom Flusse gebildeten Ebene nicht zu sehen sind, so ist dies nur eine Folge davon, dass sie durch die Gewalt des Stroms, oder, wo diese wegen der Grösse der Blöcke nicht ausreichte, durch die Gewalt der Eisschollen fortgestossen wurden, was beides nur möglich war, wenn diese Steine in das Flussbett gelangten. Wäre noch ein weiterer Beweis dafür nöthig, dass jeder Theil der Thalebene im Allgemeinen wenigstens einmal Flussbett war, so würde er hierdurch gegeben sein. Sollte sich hier aber doch einmal in oder auf dem Lager feiner Erde im Thalboden ein Findlingsblock finden, so ist er entweder zur Fortbewegung zu schwer gewesen, oder durch sonstige ausnahmsweise Einwirkungen an seine Stelle gelangt, oder endlich, er gehört einer Stelle des ebenen Thalbodens an, die kein Flussbett gewesen ist, was, wie bereits angeführt wurde, zwar nicht unmöglich, aber sehr unwahrscheinlich ist. Dagegen kommen, wenn auch nicht oft, Findlingsblöcke und andre grosse Steine unmittelbar auf oder in dem von der Weser abgesetzten Grandlager vor, wie z. B. in einem bei Rinteln für die Eisenbahnanlage gemachten Einschnitte zu ersehen ist. Solche grössere Massen sind an einem früheren gewölbten Ufer gestrandet und konnten da liegen bleiben, wenn ein solches Ufer nicht später durch ein Hohlufer verdrängt wurde.

Aus den angeführten Gründen gehört zu den, bis in die neueste Zeit vorkommenden Behauptungen, die nicht für richtig zu halten sind, auch die, dass die Flüsse durch

das bei Ueberschwemmungen neben den Ufern sich ausbreitende Wasser den Thalboden erweitert hätten.

Die Bildung des Thalbodens erfolgt bei grossen und kleinen Flüssen in der beschriebenen Weise, wenn die Geschwindigkeit des Wassers wie meistens eine mässige ist. Hat das Wasser aber eine grössere Geschwindigkeit und schwillt es zuweilen bedeutend so an, dass es ein nicht breites Thal ganz ausfüllt, so gelangen auf die Ebene neben dem Flusse auch Steine von ziemlicher Grösse vermengt mit feineren Massen, wie z. B. im Thale hinter der Wimbachklamm in der Ramsau bei Berchtesgaden und in der Schweiz am Nollafusse bei Thusis.

Bei der Bildung der Thalebene wirken die Flüsse nach dem Vorhergehenden vorzugsweise nach der Seite hin. Sie äussern sich aber auch durch die Kraft, mit der sie die Massen, auf denen sie fliessen, von oben nach unten durchschneiden. Diese Kraft ist desto grösser, je rascher der Fluss fliesst und wenn er zugleich in seinem Bette harte Steine fortrollt.

Die Aufgabe, vorliegende Bergketten zu durchschneiden, haben die Flüsse vorzugsweise bei ihrem ersten Auftreten zu lösen. Sind nämlich durch Hebung Bergketten entstanden, auf denen die Flüsse entweder entspringen, oder vor denen sie erst einen See bilden und dann an der niedrigsten Stelle abfliessen, so haben sie bis an die tiefere Stelle, nach der sie hinziehn, einen bedeutenden Fall, durch welchen sie die Fähigkeit erlangen, sich mit ihrem Bette tiefer einzuschneiden. Ist nun hierbei ihr Lauf ein gerader, so entstehn tiefe Rinnen, je nach der Beschaffenheit der Massen und andern Umständen mit nahezu senkrechten oder mit geneigten Seitenwänden. Meistens wird der Fluss aber durch die vorliegenden Unebenheiten genöthigt sein, in Krümmungen zu fliessen und dann vereinigt sich das Einschneiden von oben nach unten mit der Zerstörung der Hohlufer nach der Seite hin. Es wird also auch hier, wie bei der Bildung der Flussebene, das gewölbte Ufer allmählig dahin zu liegen kommen, wo sich früher das inzwischen zerstörte Hohlufer befand. Weil aber hierzu wegen der bedeutenden Hindernisse, welche die Seiten des Thals, nament-

lich wenn sie aus festen Gesteinen bestehen, entgegensetzen, eine längere Zeit erforderlich ist, weil ferner der Fluss wegen dieser Hindernisse eine wesentliche Aenderung seiner Richtung nicht ausführen, sondern nur den einmal angenommenen Bogen immer weiter vorschieben kann und deshalb innerhalb eines Bereichs von mässiger Ausdehnung verbleiben muss, so hat er inzwischen auch Gelegenheit gefunden, tiefer in das Thal einzuschneiden. Der Rand des neu gebildeten gewölbten Ufers liegt deshalb tiefer, als der des anfänglichen. Durch Fortsetzung der combinirten Wirkung des Einschneidens und der Zerstörung der Hohlufer bilden die aufeinander folgenden gewölbten Ufer nicht eine nahezu horizontale Fläche, sondern eine sanft geneigte Seitenfläche des Thals, während durch die Zerstörung der Hohlufer ein oft hoher und steiler Bergabhang erzeugt wird.

Es sei z. B. *abcd* Fig. 10 die anfängliche Erdoberfläche und der Fluss befinde sich bei *c*, so bilden sich in der angegebenen Weise die sanftgeneigte Fläche *cf* und ihr gegenüber liegt der steile Bergabhang *gb*, der nach demselben Princip wie in der Flussebene durch Unterhöhlung des jedesmaligen, hier aber wegen des Einschneidens des Flusses in immer tiefere Lagen kommenden Fusses des Abhangs, und Herunterbrechen der dadurch ihrer Unterlage beraubten Massen entsteht. Hätte sich daher der Fluss ohne Einschneiden, also in der horizontalen Linie *ch* nach links bewegt, so würde nur der Abhang *hb* und wenn die Anhöhe links nur so hoch gewesen wäre wie die anfängliche Lage *c* des Flusses, nur der Abhang *gh* unter Mitwirkung des Einschneidens entstanden sein.

Fig. 15 zeigt diese Wirkungen mit schematischer Regelmässigkeit im Grundrisse. Es ist darin 1, 1, 1 der erste Lauf des Flusses, 2, 2, 2 der darauf folgende tiefer liegende und 3, 3, 3 der dann folgende noch tiefer liegende. Ist dies der letzte, so liegen an seinen Hohlufeln die steilen Abhänge *ab*, *cd* und *ef* und ihnen gegenüber die flach ansteigenden Flächen.

Wirkt der Fluss, nachdem das Einschneiden im Wesentlichen aufgehört hat, noch weiter mit dem Hohlufer auf den steilen Bergabhang, beziehungsweise wieder etwas nach

rechts, so entsteht auch eine gewöhnliche Flussebene *gf* Fig. 10, meist von geringer Breite.

Das Grandlager unter der sanft geneigten Ebene *ef* muss auch wie diese geneigt sein, allein man wird nicht mit Sicherheit erwarten können, es zu finden, weil es mit der auf ihr liegenden Erde durch die über die geneigte Ebene fließenden atmosphärischen Niederschläge zerstört sein kann, oder selbst anfänglich nicht gebildet wurde, weil der Fluss bei seinem damaligen stärkeren Falle von der Höhe nach einer vor ihr liegenden tieferen Ebene das Gerölle zu rasch entfernte.

Gesetzt ein Fluss fliesse in der Richtung *abcde* Fig. 11 über ein hochliegendes Terrain mit starkem Falle nach der tieferen Ebene bei *r*. Durch Zerstörung der Hohlufer kann er nach und nach die Lage *fghik* annehmen, wobei er wegen des inzwischen erfolgten Einschneidens tiefer liegt, als vorher. Diese Lage kann dann eben so in die noch tiefer befindliche *lmnop* übergehen. Die letztere stellt in Fig. 12, einer Kopie aus einer Landkarte von Kurhessen, den Lauf der Fulda zwischen Guntershausen und Bergshausen bei Cassel dar. Den durch Landansatz an den gewölbten Ufern gebildeten sanftgeneigten Flächen und den auf ihnen befindlichen Ortschaften gegenüber liegen die steilen Bergabhänge und wo der Lauf des Flusses gerade ist, wie von *q* bis *p* Fig. 11, sind die Thalseiten ziemlich gleich geneigt. Ein solches Gegenüberliegen von flach und sehr steil geneigten Seiten eines Thals deutet sicher an, dass es durch die von einem Flusse ausgegangene Erosion gebildet ist. In den Thälern der Fulda und Werra ist diese Erscheinung häufig zu beobachten. Sie zeigt sich am leichtesten und bedeutendsten bei nicht übermässig festen geschichteten und bei Diluvialmassen, bei jenen besonders dann, wenn der Fluss mit seinen Hohlufeln die Schichten in ihrem Liegenden angreift.

Die auf Seite 231 der Baer'schen Abhandlung vorkommende Behauptung, der Angriff der Thalseite geschehe, mit Ausnahme der stärkeren Flusskrümmungen nach links, auf das rechte Ufer und deshalb werde dies auch wohl das

steilere sein, wird durch eine unbefangene Beobachtung nicht bestätigt.

Während die Flüsse die Thäler einschneiden suchen sie alle Unebenheiten auszugleichen und das zu erreichen, was der Eisenbahn-Ingenieur mit seinen Einschnitten und Dämmen bezweckt, einen gleichmässigen Fall. Ist dieser erreicht und steht zugleich das Fortrollen der Steine im Flussbette im Gleichgewichte mit den zugeführt werdenden Steinen, so kann das Einscheiden ganz aufhören. Vermindert sich aber das Gefälle bedeutend, wie z. B. dann, wenn der Fluss aus steilem Gebirge in eine sanft geneigte Ebene tritt, so werden dem Flusse mehr Grand und Steine zugeführt, als er abzuführen vermag und es erhöht sich dadurch sein Bett. Hat diese Erhöhung eine Zeit lang stattgefunden, so verlässt der Strom, wenn er nicht, wie beim Po in der lombardischen Ebene, durch Dämme auf seinen Ufern daran verhindert wird, sein Bett und stürzt sich verheerend in die neben ihm befindliche, tiefer liegende Ebene, sie allmählig durch seine Absätze erhöhend. Aus einem solchen besonderen Verhältnisse darf man jedoch nicht allgemein schiessen, dass die Flüsse durch den bei Ueberschwemmungen von ihnen abgesetzten Schlamm den Thalboden dauernd erhöhten, denn wäre dies der Fall, so würde sich nicht erklären lassen, wie sie Thäler durch Erosion hätte bilden können. Die Erhöhung durch jenen Schlammabsatz erreicht, wenn das Flussbett sich nicht selbst erhöht, sehr bald ihre Grenzen, weil bei Ueberschwemmungen die Erhöhung der Flächen neben den Ufern den Absatz auf denselben vermindert und der Absatz wieder in einem tieferen Niveau erfolgt, wenn der Fluss seinen Lauf ändert.

Die Seitenwände eines Flussthals bilden mitunter Terrassen. Am regelmässigsten zeigt sich dies, wenn die Zahl der Terrassen an jeder Seite des Thals dieselbe ist und jedesmal zwei gleich hohe Terrassen einander gegenüber liegen wie in Fig. 14. Es kann aber, wie mir bei Betrachtung der mannigfaltigen Terrassenbildung im Thale der Traun bei Ischl klar wurde, auch dann ein Terrassenthal vorhanden sein, wenn die Zahl der Terrassen auf beiden Seiten des Thals nicht dieselbe ist und Flächen vorkom-

men, die flacher geneigt sind, wie die Seitenwände der Terrassen.

Die Fig. 18 ist so gewählt, um, von den Erscheinungen bei Ischl ausgehend, die Entstehung aller Formen zu erklären, die bei einem Terrassenthal vorkommen können.

Dieses Thal war zwischen seinen aus festem Gestein bestehenden Wänden AA' bis zur Höhe ab mit Geröllen ausgefüllt. In diesen Geröllen schnitt die Traun ihr Bett ein und als dies bis zu einer gewissen Tiefe wie npde geschehn war, brachen die Seitenwände des Einschnitts herunter und bildeten die Sturzflächen cd und ef. Wenn jetzt der Fluss auf eine feste Masse traf, so hörte vorerst das Einschneiden nach unten hin auf, oder erfolgte wenigstens sehr langsam. Ein solcher Fall konnte sehr leicht eintreten, weil die Gerölle stellenweis zu einem Conglomerat verkittet sind, oder Wände der festen Felsmassen AA' quer durch die Gerölle setzen. In den aufwärts von der festen Bank liegenden, nicht festgekitteten Geröllen, konnte der Fluss aber seine Excursionen nach rechts oder links ausführen. Wanderte er z. B. nach rechts, so konnte er in der bereits beschriebenen Weise durch Landbildung an den gewölbten Ufern die Ebene eg und den Sturzrand gh der Terrasse hb bilden.

Trat nun weiter, wie durch Fig. 10 veranschaulicht wurde, die Combination von Einschneiden und der durch Zerstörung der Hohlufer bewirkten Bewegung nach der Seite hin ein, so musste eine sanft geneigte Fläche ik entstehn. Begann die Bildung dieser Fläche während sich der Fluss bei g befand, so fiel selbstverständlich der Absatz ig fort und ik stiess unmittelbar an das steilere gh. Da nur in sehr seltenen Fällen eine feste Masse so schnell durchbricht, dass der Fluss sich schnell in die vor derselben befindlichen nachgiebigeren Massen einschneiden kann, so muss auch oft eine so sanft geneigte Fläche wie ik entstehn, die aber in eine gewöhnliche Terrasse mit steiler Seitenwand übergeht, wenn der Fluss längere Zeit in dem Niveau von k bleibt und während derselben genügend weit nach rechts wandert. Wanderte der Fluss nach Entstehung der Fläche ik nach links, so konnte sich die Ebene kq,

und der Sturzrand qo bilden. Setzte sich diese Wanderung nach links bis l fort, so entstand der Sturzrand lm und die Terrassen mc und do verschwanden. Die Seiten des Thals wurden also ungleich, denn auf der einen Seite befinden sich die Terrassen hb und ig , sowie die sanft geneigte Fläche ik und auf der andern nur die Terrasse am und auch diese würde verschwunden sein, wenn die Fläche kl sich bis r , das heisst bis an die feste Seitenwand des Tha-les erstreckt hätte. Da nun diese verschiedenen Gestaltungen leicht eintreten können, so wird darauf zu rechnen sein, dass ein Terrassenthal von der Art wie Fig. 18 das gewöhnliche ist und ein solches wie Fig. 14 nur unter besonderen Umständen entsteht.

Auch an der Wolga kommen mitunter Terrassen vor und der Verfasser meint (Seite 230), „die Stufen deuten vielleicht auf anhaltende Aufstauungen, die von Zeit zu Zeit durchbrachen.“

In dieser Weise können Terrassen allerdings, wenn auch nur ausnahmsweise, dadurch entstehen, dass der Fluss durch Bergstürze u. dgl. aufgestaut wird und der dadurch gebildete Damm so lange hält, dass dem Flusse genug Zeit gegeben ist, um den aufgestauten Theil vor dem Damme mit den von ihm herbeigeführten Massen auszufüllen und dass er wenn dann der Damm mit Unterbrechungen zerstört wird, sich in die vor demselben abgelagerten Massen, an seinen Seiten Terrassen bildend, einschneidet.

Lyell führt an ¹⁾, die Terrassen an den Seiten der Flüsse liessen sich am leichtesten durch die Hypothese einer allmäligen Erhebung des Landes erklären, „besonders wenn während der Auswaschung der Flussbetten die erhebende Bewegung aufhörte, so dass lange Pausen entstanden, in denen der Fluss Zeit hatte, sich über eins seiner Ufer zu verbreiten und es auf grosse Strecken abzuwaschen und zu verflachen. Wiederholte sich diëser Vorgang später in einem tieferen Niveau, so entstanden neue Uferränder und Terrassen.“

Für die Terrassen, welche ich zu beobachten Gelegenheit hatte, war die Erklärung ihrer Entstehung durch Hebung des Landes nicht geeignet. Dass aber der Fluss die

¹⁾ Geologie. Berlin. 1857. I. S. 117.

oberen Flächen der Terrassen dadurch bilde, dass er sich über eins seiner Ufer verbreitet und es auf grosse Strecken abwäscht und verflacht, ist nur möglich, wenn er zuweilen mit grosser Geschwindigkeit in der ganzen Breite des tiefsten Theils seines Thals strömt, was in der Regel nur bei engen Thälern der Fall sein kann, und dabei keinen Absatz bildet. Das Letztere ist aber auf lange Strecken nur dann möglich, wenn das Wasser Geschwindigkeit genug besitzt, um die von ihm herbeigeführten Erd- und Steinmassen nicht zum Absatz gelangen zu lassen. War dies wirklich der Fall, so müssen die oberen Flächen der Terrassen wie hb, ig Fig. 18 flussabwärts einen Fall haben, der stark genug ist, um jene grosse Geschwindigkeit zu erzeugen, was nicht oft der Fall sein wird. In dieser Weise ist also die Bildung der Terrassen schwer zu erklären, aber etwas leichter, wenn man die erwähnte Abwaschung nicht mit zu Hilfe nimmt. Wenn nämlich nur ein Theil des Flussbodens gehoben wird, so entsteht nach dem weiter abwärts gelegenen nicht gehobenen Theile ein grösserer Fall als vorher. Dadurch wird ein tieferes Einschneiden des Flusses ermöglicht, eine Terrassenbildung aber auch hierbei nur dann, wenn die zu durchschneidenden Massen eine sehr ungleiche Widerstandsfähigkeit haben.

Wenn aber mit der Behauptung, die obere Fläche einer Terrasse verdanke ihre Gestalt einer Abwaschung durch den Fluss, hat ausgesprochen werden sollen, dass dies allgemein das Gesetz sei, nach welchem die Ebene an den Seiten eines Flusses entstehen, so kann dies nach dem Vorhergehenden als richtig nicht anerkannt werden.

Wir können jetzt auf das Baer'sche Gesetz zurückkommen.

Die Weser fliesst in der Grafschaft Schaumburg von Osten nach Westen, also in der Richtung eines Breitengrades. Für eine solche Richtung nimmt Baer eine Einwirkung der Erddrehung nur in einer geringen Masse, oder gar nicht an. Gesetzt aber, rechts von Fig. 2 wäre Norden, also links Süden und die Weser flosse von Norden nach Süden, so hätten wir nach jenem Gesetze Bewegung des Flusses nach rechts, das heisst nach Westen. Die Weser

müsste also im Laufe der Jahrtausende ihr Bett so weit nach rechts verlegen, als es ihr die entgegenstehenden Hindernisse gestatten, das heisst, sie müsste an den Sturzrändern ab, cd, de, ef und fg fliessen und sie müsste nicht nur, wie es wirklich der Fall gewesen ist, einmal dahin gekommen sein, sondern in Folge der sie stets nach Westen drängenden Erdrotation auch da bleiben und wenn sie die Sturzränder weiter angreift, ihnen folgen.

Auf den betrachteten Theil des Laufs der Weser passt dies nun wegen seiner Richtung von Ost nach West nicht, es müsste aber eintreffen bei den in meridionaler Richtung in nachgiebigem Boden liegenden Flüssen. Um dies zu untersuchen haben wir, da die russischen Flüsse unter keinen andern physischen Gesetzen stehen können, wie die deutschen, nicht nöthig, Russland zu bereisen; wir können das Erforderliche auch in Deutschland beobachten. Wir sind aber auch nicht einmal genöthigt, deshalb Deutschland zu bereisen, denn das, was wir erfahren wollen, ist aus jeder guten Specialkarte zu ersehn. Unter guter Specialkarte verstehe ich eine solche, die aus einer genauen Landesvermessung hervorgegangen, nach einem ziemlich grossen Massstabe z. B. $\frac{1}{50000}$ d. w. G. angefertigt, und bei der die Bergzeichnung eine richtige, nach aufgenommenen Horizontalen entworfene ist. Indess auch auf kleineren Karten, wenn sie sonst richtig sind, kann man das Erforderliche, wenn auch nicht so detaillirt, sehn.

Ich nehme zunächst den Lauf der Lahn von Marburg nach Giessen, also von Nord nach Süd. Die Flussbewegung soll nach rechts, nach Westen gehn. Die Lahn müsste also an den westlichen Sturzrändern der von ihr gebildeten Ebene fliessen. Das hat sie allerdings früher einmal an der Stadt Marburg gethan, jetzt thut sie es aber nicht mehr und gleich unterhalb der Stadt entfernt sich der rechte Sturzrand weit vom Flusse bis an den Waldrand bei Ockershhausen. Noch weiter nach Süden von Gisselberg bis Sichertshausen¹⁾ fliesst die Lahn so nah an dem östlichen Rande

¹⁾ Topographischer Atlas von Kurhessen in $\frac{1}{50000}$ Blatt Nr. 23 Treis an der Lunda.

ihrer theilweis sehr breiten Ebene, dass Baer dies als eine entschiedene Bestätigung seiner Theorie ansehen müsste, wenn es nicht das linke Ufer wäre.

Der Rhein fliesst von Basel bis Germersheim fast in der Richtung des Meridians von Süd nach Nord. Er müsste also nach Osten, das heisst nach dem rechtsliegenden Schwarzwalde hingedrängt werden. Er hat aber auch an seiner rechten Seite eine ebene Fläche und dass diese nicht zufällig, sondern von ihm selbst durch Landabsatz an den gewölbten Ufern gebildet worden ist, geht daraus hervor, dass sie da, wo die ursprüngliche Erdoberfläche nach rechts so stark anstieg, als zur Bildung von Sturzrändern nöthig ist, auch von solchen Rändern begrenzt wird. Fährt man nämlich auf der Eisenbahn von Basel nach Freiburg, so sieht man zunächst hinter Efringen auf der rechten Seite entschiedene Sturzränder. Der Rhein zeigt sich in ihrer Nähe mit einem schwachen Seitenarme, während man ihn selbst weiter links sieht. Ebenso sieht man diese Ränder bei Rheinweiler und den Rhein, der sich nach links von ihnen entfernt hat. Bald darauf wird der Fluss, weil er zu weit nach links liegt, unsichtbar, während auf der rechten Seite bei Schliengen, Mühlheim und Heitersheim sich die Ränder zeigen. Bei dem letztgenannten Orte werden sie, weil der Boden nach rechts sanft ansteigt, undeutlich, treten aber dahinter mit grosser Deutlichkeit wieder auf. Dann wird die Ebene nach Osten so gross und flach ansteigend, dass man von der Eisenbahn aus nichts mehr beobachten kann. Es ist also unzweifelhaft, dass sich der Rhein bei den erwähnten Orten im Laufe einer langen Zeit bedeutend nach links bewegt hat, was aber nicht hindert, dass er sich auch einmal wieder nach rechts bewegt, wenn es die Wasserbaukunst nicht verhindert.

Wenn etwa geltend gemacht werden sollte, die grosse Ebene zwischen Schwarzwald und Vogesen sei keine vom Rheine gebildete, sondern der ebene Boden eines Sees, der hier hätte vorhanden gewesen sein müssen, ehe der Fluss die Bergkette nach Norden durchschnitten hatte, so ändert dies nichts, denn von da an bis jetzt hätte der Rhein Zeit genug gehabt, die Ebenen an seinen Seiten wie andre Flüsse

zu bilden und dass er dies gethan, beweisen die erwähnten Sturzränder.

Ein gleiches Verhalten wie Lahn und Rhein zeigt die Oder zwischen Fürstenberg und Aurieth, Lossen und Frankfurt a. O., Lebus und Göritz und man wird auch sonst noch in Fülle Beweise dafür finden, dass die in der Richtung der Meridiane liegenden Flüsse innerhalb der von ihnen gebildeten Ebenen nicht da fließen, wo sie fließen müssten, wenn ihr Lauf von der Rotation der Erde abhinge.

Es zeigt dies, dass selbst dann, wenn man der Erdrotation noch eine Einwirkung auf den Lauf der Flüsse trotz des dagegen schon oben aus Gründen der Hydraulik Angeführten zuschreiben wollte, eine von der Erdrotation etwa abhängende Kraft völlig machtlos ist gegenüber einer andern, die Veränderungen im Laufe der Flüsse bestimmen. Das ist die, durch welche die Hohlrufer unausgesetzt zerstört werden und von welcher die andern Erscheinungen, abgesehen von der des Einschneidens von oben nach unten, nur Folgen sind.

Fließt ein Fluss nicht an dem Sturzrande, an welchen er nach der Rotationstheorie gehört und wäre es möglich, die Ursache einer solchen Abweichung, die wenn sie, wie in der Regel, bedeutend ist, schon seit langer Zeit bestanden haben müsste, nachzuweisen, so hätte der Fluss doch, wenn die Erdrotation auf ihn einwirkte, in jener langen Zeit wieder an seine richtige Stelle gelangen können, weil dazu nichts nöthig gewesen wäre, als die zarte von ihm selbst abgesetzte Erde, die jedenfalls eben so wenig widerstehn würde, wie der weiche nachgiebige Boden Russlands, fortzuführen.

Endlich wird man auch bei unbefangener Beobachtung zwischen den Flüssen, die in meridionaler und denen, welche in der Richtung eines Breitengrades fließen, keinen Unterschied in der Lage der hohen Uferländer finden. Die Saale z. B., von Bülberg nach Halle von Süd nach Nord fließend, hat auf der rechten Seite den hohen Uferland und auf der linken eine flache Ebene. Bei Wettin fließt sie von Ost nach West, aber auch hier liegt das hohe Ufer rechts und das verflachte links, in beiden Fällen nur des-

halb, weil sich an der rechten Seite schon vor dem Auftreten des Flusses eine Anhöhe befand, weil es da also etwas zu unterhöhlen und nachzuberechnen gab.

Das Baer'sche Gesetz steht also so sehr im Widerspruche mit dem Verhalten der Flüsse, dass es nicht länger aufrecht erhalten werden kann.

Hiermit könnte geschlossen werden, wenn nicht noch in Betracht gezogen werden müsste, dass auch Baer den Einfluss der Flusskrümmungen berücksichtigt hat. Es fragt sich daher, wie dies geschehn ist und ob nicht etwa hierdurch und sonst noch Angeführtes das Vorhandensein des behaupteten Gesetzes doch noch nachgewiesen werden kann.

Das Wichtigste ist das Verhalten der Wolga, denn vorzugsweise hierauf stützt sich die Behauptung vom Einflusse der Erdrotation.

„Zuvörderst“ — sagt der Verfasser Seite 13 der Abhandlung u. w. von der Wolga — „muss man wissen, dass etwas oberhalb Astrachan, namentlich zwischen Zarizyn und Saratow das Steigen des Wassers sehr bedeutend ist, und wohl 4 Klafter beträgt. Dem entspricht natürlich auch die Zunahme der Strömung. Bei Sarepta noch etwas unterhalb Zarizyn taxirte ich sie nach dem Fortreissen meines Bots zu 10 Fuss in der Secunde. Bei Astrachan wurde die sehr starke Strömung vom Jahr 1856, die stärkste, die man dort beobachtet hat, zu höchstens 6 Fuss taxirt; man sieht also, wie sie nach unten abnimmt. Auch steigt die Wolga bei Astrachan nicht bis $1\frac{1}{2}$ Klafter. Mit Ausnahme sehr beschränkter Lokalitäten, an denen Thonschiefer und Sandstein, seltener Kalkflötze zu Tage gehen, besteht das hohe rechte Ufer aus sehr beweglichen Massen, entweder aus dem Steppenlehm, der, wenn er trocken ist, allerdings eine ziemliche Festigkeit erlangt, aber von Feuchtigkeit durchzogen, um so leichter zerstörbar ist, oder aus blossem Sande, der wenige oder gar keine thonigen Bindemittel enthält. Diese Sandschicht wird besonders mächtig unterhalb Zarizyn nach Astrachan zu. Die oberste Schicht, durchzogen von den tiefgehenden Wurzeln der Steppenpflanzen, hat viel mehr innern Zusammenhang als die andern. Wenn nun

das Wasser steigt, so wächst nicht nur die Strömung, die bei niedrigem Wasser auf der ganzen Wolga nur eine geringe ist, nothwendig mit der Erhöhung des Wasserspiegels, sondern es verändert sich auch die Linie der stärksten Strömung. Diese ist immer, auch bei niedrigem Wasser, dem hohen rechten Ufer näher als dem flachen niedrigen. Allein je mehr das Wasser steigt, desto mehr nähert sich die Linie der stärksten Strömung dem rechten Ufer, was nicht nur jeder Schiffer und Fischer weiss, sondern was man auch der Oberfläche des Wassers deutlich ansieht. Es wird also fortgesetzt ein stärkerer Druck gegen das rechte Ufer ausgeübt. Dieses hat die Folge, dass die Feuchtigkeit tiefer in das Ufer dringt, als ohne ihn geschehen sein würde. Mit der Strömung verbunden reisst er, wie an der Krasnaja Gorá Theile der Sandschichten fort, vorzüglich wo diese einen Vorsprung des Ufers bilden, und ganz besonders wenn ein solcher Vorsprung hinter einem Einsprung des Ufers oder einem Vorsprunge des Wasserlaufs liegt. Wenn das Wasser entschieden im Sinken ist, hören zwar die unmittelbaren Einwirkungen des Wassers auf, aber keineswegs die Folgen derselben. Die Sandschichten, welche durch das andrängende Wasser ziemlich jäh, vielleicht fast lothrecht abgerissen waren, trocknen aus und können sich in dieser Stellung nicht halten; der Sand, so wie eine Schicht trocken geworden ist, rieselt herab. Ihm folgen im Laufe des langen regenlosen Sommers neue Schichten. So bildet sich, wenn die Sandschicht mächtig ist, wie sie im unteren Theile der Wolga sehr allgemein sich findet, eine Böschung von etwa 45° , wovon wenigstens der untere Theil, aus herabgerieselten Sande bestehend, dem nächsten Hochwasser zur Beute wird. Die Lehmschichten können sehr wohl mit senkrecht abgerissenen Wänden sich halten. Allein da sie beim Austrocknen von Spalten durchsetzt werden, so fehlt den äussersten dadurch abgegrenzten Lehmquadern nicht selten die Unterstützung und sie stürzen in Form von Blöcken herab, die von dem nächsten Hochwasser vollständig aufgelöst werden. Zur Zeit der starken Strömung hat das Wasser von dem Steppen-Lehm so viel in sich aufgenommen, dass es

röthlich gelb gefärbt, und auch in kleinen Portionen völlig undurchsichtig ist. Die oberste und von den Wurzeln durchwachsene und wenn auch nicht viel, doch immer etwas Humus enthaltende Schicht, hat viel mehr Zusammenhang, als die andere. Vom Wasser wird sie mit alleiniger Ausnahme der Wolga-Mündungen nie erreicht. Sie würde also unveränderlich sein, wenn sie nicht stellenweise durch den Absturz der anderen Schichten die Unterlage verlöre. Es bilden sich dann in ihr Spalten, die sie von dem gut unterstützten Theile ablösen, aber längere Zeit nicht ganz durchgehen, sondern diese vegetabilische Schicht wie einen Vorhang, der an beiden Enden befestigt ist, überhängen lassen“ etc.

„Auf diese Art benagt die Wolga ihr rechtes Ufer und bildet neuen Absatz am linken.“

In der vom Verfasser entnommenen Fig. 16 ist a b c d e g ein Schema des Erosionsthales der Wolga bei niedrigem Wasserstande unter Anwendung eines grösseren Maassstabes für die Höhen, als für die Breiten. Darin ist a die von Pflanzenwurzeln durchzogene Schicht, b der Steppenlehm, c Sand, w die Wolga, v ein Nebenarm derselben, d e der fast horizontale Thalboden und e g das linke Thalgehänge. Fig. 17 zeigt das Verhältniss einige Monate später. Der Sand c hat sich flacher abgeböschet, vom Lehm b ist ein Theil herabgestürzt und liegt noch zum Theil in einzelnen Blöcken d auf dem Sande c und von der Schicht a hängt der Theil a' in Gestalt eines Vorhanges über. Bei e hat sich, was nicht immer der Fall ist, durch die nächste Ablagerung des Flusses ein kleiner Uferwall gebildet. Der Thalboden ef ist hier angenommen als ein langsam aufsteigendes Terrain, das dem Beobachter ganz flach zu sein scheint und irgendwo, sehr weit ab, in fg zeigt sich wie in Fig. 16 bei eg noch eine stärkere Erhebung, das linke Gehänge des Erosionsthals.

Ferner heisst es Seite 16 u. w. „Fragt man sich, worin dieses Drängen“ (der Wolga) „nach Westen oder der rechten Seite seinen Grund haben möge, so springt freilich in die Augen, dass, da nun einmal das rechte Ufer das höhere und mehr abgerissene ist, das linke aber niedriger am Flusse beginnt und sehr langsam ansteigt, es auch so bleiben

müsse, denn ein so flach ansteigendes Ufer wie das linke gewöhnlich ist, wird nur sehr langsam vom steigenden Wasser überfluthet und von demselben nicht anders eingerissen, als in höchst seltenen Ausnahmen; das steile Ufer ist allein in Gefahr unterwaschen zu werden.“

Es wird nun ein Fall angeführt, in dem auch das linke Ufer zerstört worden sei, weil ein bedeutender Einsturz am rechten Ufer den Fluss genöthigt habe, eine Biegung nach links zu machen und dann fortgefahren:

„Man kann also wohl zugeben, dass wenn die Wolga durch irgend einen Umstand ursprünglich ein rechtes hohes und steiles und ein linkes flaches Ufer erhalten hat, dasselbe Verhältniss sich im allgemeinen auch fortsetzen müsse. Allein es ist höchst unwahrscheinlich, dass in so weiter Ausdehnung von fast 400 Meilen, von dem Einflusse der Maloga bis zum Meer, das rechte Ufer das höhere werden sollte, ohne allgemeinen physischen Grund.“

Ein solcher Grund muss allerdings vorhanden sein, es fragt sich aber, ob angenommen werden kann, dass er in der Erdrotation liegt.

Von den für die Wirkung der Erdrotation angeführten Behauptungen ist die wesentlichste die, dass die Wolga an ihrem rechten Ufer geschwinder fiesse als am linken. Es hat dies nur dann Bedeutung, wenn es auch von solchen Stellen nachgewiesen wird, an denen der Fluss vollkommen gerade ist, denn dass die Geschwindigkeit am rechten Ufer eine grössere ist, wenn dasselbe auch nur so wenig Hohlkrümmung hat, dass das Auge es bei nicht sehr genauer Beobachtung noch nicht entdeckt, ist nach dem über das Verhalten der Flüsse in Krümmungen Erwähnten unzweifelhaft. Dass eine so genaue Beobachtung oder eine Messung der Geschwindigkeit stattgefunden hat, ist nicht erwähnt. Das Vorhandensein von Hohlufeln auf der rechten Seite folgt übrigens nothwendig aus der Angabe, dass die Lehmschichten vorzüglich da weggerissen werden, wo sie „einen Vorsprung des Ufers bilden und ganz besonders, wenn ein solcher Vorsprung hinter einem Einsprünge des Ufers oder einem Vorsprünge des Wasserlaufs liegt“ und dass diese, mit dem Vorhandensein eines Hohlufers noth-

wendig eintretende Art der Zerstörung nicht scharf von der getrennt wird, welche eine Folge der Erdrotation sein soll, lässt annehmen, dass die Wirkung des Wassers auf die Hohlufer nicht hinreichend beachtet worden sei. Stimmt indess die allgemein ausgedrückte Behauptung, dass das Wasser am rechten Ufer schneller fliesse, mit der Wirklichkeit überein, so hätten wir auf dem rechten Ufer eine grössere Reibung des Wassers und damit ein nach rechts wirkendes zerstörendes Element, wenn auch, einen geraden Lauf wie erwähnt vorausgesetzt, die übrigen Elemente, die zerstörend auf die Hohlufer wirken, fehlen würden.

Dass bei einem ganz geraden meridionalen Flusslaufe die grösste Geschwindigkeit des Wassers nicht wie sonst in der Mitte, sondern am rechten Ufer liege, ist meines Wissens sonst noch nirgends behauptet und noch weniger durch sorgfältige Messungen nachgewiesen worden. Aus der Erdrotation haben wir eine grössere Geschwindigkeit des Wassers am rechten Ufer nicht ableiten können. Wäre daher die behauptete grössere Geschwindigkeit am rechten Ufer auch bei einem vollkommen geraden Laufe der Wolga vorhanden, so würden wir ihre Ursache doch in etwas anderem als der Erdrotation suchen müssen und könnten sie vielleicht in Folgendem finden.

Für die Entfernung der Sandbänke aus den, für Russlands⁶⁾ Binnenverkehr so wichtigen Strömen, ist von den Behörden bis jetzt nichts geschehn und namentlich die Wolga zeichnet sich vor andern russischen Flüssen durch die grosse Menge der in ihr vorhandenen Sandbänke aus¹⁾.

Bilden sich daher auf der linken Seite viele Sandbänke, was, wie wir oben sahen, auch bei geradem Flusslaufe möglich ist und veranlasst, dass selbst gerade Flussdurchstiche leicht gekrümmt werden, wenn man es nicht verhindert, so drängt das Hinderniss der Sandbänke das Wasser auch bei geradem Laufe mit seiner grössten Geschwindigkeit an das rechte Ufer. Dass nun ohne eine solche oder eine ähnliche besondere Veranlassung

1) Globus, illustrierte Zeitschrift für Länder- und Völkerkunde. Band XXIV. Nr. 16; 1873. S. 245.

die bei einem in Ordnung gehaltenen Flusse niemals zu beobachtende grössere Geschwindigkeit des Wassers an einem ganz geraden rechten Ufer durch die Erdrotation bei einem Flusse entstehen könne, der so verwahrlost ist wie die Wolga, muss verneint werden.

Nach der angezogenen Textstelle gewinnt es aber auch sehr den Anschein, als sei die grössere Geschwindigkeit des Wassers am rechten Ufer nur hervorgehoben worden, um daraus einen stärkeren Druck gegen das rechte Ufer abzuleiten. Aus grösserer Geschwindigkeit folgt aber kein grösserer, sondern ein geringerer Druck, was, wie wir oben sahen, dadurch ausgeglichen wird, dass bei geradem Laufe des Flusses das Wasser in der Mitte, wo es am schnellsten fliesst, etwas höher steht als an den Seiten.

Der grössere Druck des Wassers auf das rechte Ufer wird in der Abhandlung sehr oft behauptet und der Erdrotation zugeschrieben, es wird aber an keiner Stelle hinreichend klar erörtert, nach welchem Gesetze der Hydraulik man sich seine Entstehung zu erklären habe; ja, wenn es z. B. Seite 367 heisst: „bei vermehrten Wasserstande vermehrt sich die Geschwindigkeit der Bewegung in der Stromlinie in viel stärkerem Verhältnisse als an den Seiten des Ufers. Es schiebt sich also gleichsam keilförmig ein Theil des Wassers zwischen das andere ein. Ausserdem wird der neue Zufluss wahrscheinlich über das andere schon zusammengepresste Wasser weggleiten und das schon vorräthige Wasser freilich noch mehr zusammenpressen. Aber es bedarf des neuen Zuflusses nicht einmal, um sich zu überzeugen, dass das obere Wasser über das untere weggleitet. In jedem Flusse bei gewöhnlichem Wasserstande ist ja oben eine grössere Strömung als in der Tiefe“; oder Seite 368: „diese Pressung ist es aber, welche das Ufer einreisst und fast wie ein fester Körper wirkt“, so liegt der Schluss sehr nah, dass der bedeutende Unterschied zwischen der Wirkung mechanischer Kräfte auf feste Körper und auf Flüssigkeiten nicht hinreichend erkannt, und insbesondere unbeachtet geblieben sei, dass, wenn eine Kraft, hier die Erdrotation, auf Wasser wirkt, dessen Oberfläche wie beim Strome die Luft berührt, man nicht einfach an

Pressung von der Seite denken kann, wie bei einem seine Form dadurch gar nicht oder nicht wesentlich ändernden gedrückten festen Körper, sondern dass dabei die Oberfläche des Wassers ihre Gestalt ändern muss.

Dass die behauptete grössere Geschwindigkeit des Wassers nach rechts stossend wirke, was ohne Zweifel die Zerstörung des rechten Ufers zur Folge haben würde, ist nicht deutlich behauptet worden und kann auch nicht angenommen werden, weil ein vollkommen gerades Ufer vorausgesetzt werden muss, auf welches das Wasser im Wesentlichen nicht stossend, sondern nur gleitend wirken kann. Ein Stoss kann allerdings eintreten durch die vorhandenen, das Wasser zur Seite drängenden Sandbänke und durch die in einem so unregelmässigen Flussbette leicht entstehenden Wirbel des Wassers. Beide sind aber unabhängig von der Erdrotation.

Die Einwirkung der Erdrotation wird vom Verfasser für desto geringer erklärt, je mehr ein Fluss von der meridionalen Richtung abweicht. Dass die Wolga von Kasan bis Sarepta südwestlich und von da bis Astrachan südöstlich fliesst, mag unbeachtet bleiben, obgleich die Abweichung von Meridiane in der erstgenannten Strecke gegen 20 und in der andern gegen 52 bis 54 Grad beträgt. Allein von Nischnyi-Nowgorod bis Kasan fliesst sie fast ganz genau nach Osten und schon der Umstand, dass auch bei diesem ungünstigsten Falle das rechte Ufer hoch ist und nachbricht, nöthigt dazu, die Ursache dieses Verhaltens in etwas anderem als der Erdrotation zu suchen.

Der Verfasser giebt zu, dass wenn die Wolga durch irgend einen Umstand ursprünglich ein rechtes hohes und steiles Ufer erhalten habe, dasselbe Verhältniss sich im Allgemeinen auch fortsetzen müsse. Allerdings, da die Thalfläche am linken Ufer, wenn auch nur sanft, ansteigt, so befindet sich der Fluss im tiefsten Theile seines Thals und wenn das hohe Ufer nachbricht, so kann namentlich da wo dessen unterer Theil, und daher auch der Flussboden aus dem nachgiebigen Sande besteht, der Fluss sich tiefer einschneiden und eben so gut dem nachgebrochenen Ufer folgen, als dass er sich in die sanft ansteigende Fläche an

seiner linken Seite wendet. Allein er thut dies auch nicht einmal, obgleich ihn die Erdrotation nach rechts drängen soll, denn (Seite 225) zuweilen entfernt er sich auf ein Paar Werst von dem hohen rechten Gehänge.

Unter Zugrundlegung der vom Verfasser gegebenen Beschreibung der Verhältnisse, unter denen das rechte Ufer der Wolga zerstört wird, ergiebt sich folgende naturgemässe Erklärung dieser immerhin interessanten Erscheinung.

Das hohe Ufer setzt voraus, entweder dass die Erdoberfläche ursprünglich nach Westen anstieg und dadurch eine Erhöhung gegeben war, welche der Fluss an ihrem Fusse zerstören konnte, so dass ein Sturzrand gebildet wurde, oder dieser Rand wurde auch dadurch gebildet, dass der Fluss sich im Laufe einer langen Zeit etwas tiefer einschchnitt. Das letztere muss — die Richtigkeit der aus der Abhandlung entnommenen Zeichnung Fig. 17 vorausgesetzt — angenommen werden, weil angegeben wird, die Fläche am linken Ufer sei sanft ansteigend. Dass die alten Sturzränder auf der linken Seite eg Fig. 16 und fg Fig. 17 flacher sind als die auf der rechten, ist unwesentlich, denn sie können sich im Laufe einer langen Zeit abgeflacht haben, oder die Erdmasse war bei ihnen nicht eine solche, die wie die am rechten Ufer steil herunterbrechen konnte.

Der Umstand, dass der steile Sturzrand sich an der rechten Seite des Thales befindet, ist an sich nicht bedeutungsvoller als der, dass dieser Rand an der Lahn zwischen Gisselberg und Sichertshausen an der linken Seite des Fluss-thales liegt.

Die Wolga steigt bei hohem Wasserstande bis 4 Klafter. Durch den damit verbundenen bedeutenden Druck erhält das Wasser die Fähigkeit, am rechten Ufer tief in den Sand und einen Theil des darüber liegenden Steppenlehms zu dringen, die im regenlosen Sommer über dem Wasserspiegel liegen. Beim Trocknen rieselt der Sand herunter, der Lehm bekommt Sprünge, stürzt dadurch herab, beide werden vom nächsten Hochwasser fortgeführt und ihnen folgen später auch die oberen, vom Wasser nicht berührt gewesenen Lehmschichten, weil sie nicht mehr unterstützt sind.

Zu dem bedeutenden Drucke, den das Hochwasser auf das rechte Ufer ausübt, kommt nun noch ein Zuwachs durch die Erdrotation, der unter Annahme der grössten beobachteten Geschwindigkeit des Wassers von 3 Metern, und wenn es, was wohl nicht einmal der Fall ist, die Breite von 1000 Metern erreicht, nach oben gegebener Berechnung nur 3,4 Centimeter, bei geringerer Breite und Geschwindigkeit aber noch weniger betragen, und sich nicht wesentlich ändern würde, wenn der Fluss bei hohem Wasserstande eine viel grössere Breite erreicht. Es ist klar, dass für die Durchtränkung und Erweichung der Ufermasse dieser oder auch ein grösserer Zuwachs an Druck gegenüber dem schon vorhandenen bedeutenden Drucke, gar nicht in Betracht kommen kann, da die oberen Lehmschichten doch ihre Unterlage verlieren. Allein weder der höhere noch der geringere Zuwachs an Druck wird in dem angegebenen Maasse eintreten, weil nach dem früher Erörterten jener Druckzuwachs sich auf die nicht zutreffende Unterstellung stützt, dass das Wasser eines geraden Flusses in der Mitte nicht schneller fiesse als an den Ufern.

Zu den in der Abhandlung gut beschriebenen, wenn auch ohne genügenden Grund der Erdrotation zugeschriebenen Kräften, durch welche das rechte Ufer zerstört wird, werden auch noch folgende gerechnet werden müssen.

Der Lehm kann bei hohem Stande des Wassers da, wo die Wirkung auf ein Hohlufer nicht in Betracht kommt, sehr wohl stehn bleiben, weil das Wasser ihn durch seinen Druck stützt und nur soviel Druck übrig bleibt, als der Lehm schwerer als Wasser ist. Verlässt das Wasser aber den Lehm, den es erweicht hat, so wird dieser sich nicht mehr senkrecht halten können, noch ehe in ihm Sprünge durch das Austrocknen entstehen, sich nach dem Wasser hin ausbauchen und um so leichter herunterbrechen können. Hiermit steht in Uebereinstimmung, dass auch bei anderen Flüssen ein senkrecht oder sogar etwas überhängendes thoniges Ufer, gegen welches Wasser und feste Körper, wie Eisschollen nicht getrieben werden, während des Hochwassers unverletzt bleibt, aber herunterbricht, sobald das

Wasser gefallen ist und sein Druck gegen das Ufer aufgehört hat ¹⁾).

Wenn ein Ufer aus Sand besteht, so muss die Böschung desselben „unter Wasser flacher sein als im trockenen Zustande; senkt sich daher der Wasserstand im Flusse, so würde aus diesem Grunde keine Bewegung des Ufers zu erwarten sein, es kommt jedoch ein anderer Umstand dabei noch in Betracht, wodurch gemeinhin ein sehr heftiges Abstürzen des Ufers veranlasst wird. Das Wasser zieht sich nämlich bei anhaltend hohem Stande des Flusses in die Zwischenräume des Sandes auf weite Entfernung langsam hinein, oder das Grundwasser hebt sich. Sobald der Fluss wieder fällt, strömt dieses Wasser zurück und da es gemeinhin nicht so schnell das Ufer wieder erreichen kann, als die Senkung des Wasserspiegels im Flusse erfolgt, so bilden sich starke Quellen, die eine Masse Sand mit sich fortreißen und dieser Umstand giebt Veranlassung, dass ein solches Ufer nach jedem Hochwasser einstürzt. Auch wenn Bohlenwerke das Ufer einfassen, bemerkt man in diesem Falle ein starkes Nachsinken der Hinterfüllungs-erde¹⁾“. Ebenso und noch mehr wird dies bei der Wolga eintreten, weil das Wasser sehr hoch steigt und dem dadurch entstandenen starken Drucke entsprechend tief in den Sand dringen wird. Bei seinem Zurückfließen in den Strom wird es so viel Sand wegschlemmen, dass unter dem die Sandlage bedeckenden Lehm, eine Höhlung entsteht und dieser, seiner Unterlage beraubt, auch hierdurch herunterstürzen kann, ehe er durch das Austrocknen Sprünge erhalten hat.

Nach allem Angeführten erklärt es sich, dass da wo das Erdreich am rechten Ufer die beschriebene und vorausgesetzte Beschaffenheit hat, dieses Ufer zerstört und dadurch nach rechts verlegt wird, wenn und so lange als der Fluss dasselbe berührt, dass also die Wolga, wenn auch mit, durch ihre Entfernung von dem hohen Uferrande hervorgerufener Unterbrechung, nach rechts wandert, aber ohne dass dazu die Erdrotation mitwirkt.

¹⁾ G. Hagen a. a. O. S. 153.

Könnte sich dieser Fluss in ein stillstehendes Wasser verwandeln, das die Eigenschaft hätte, periodisch bis zu 4 Klaftern anzuschwellen, wäre also die Wirkung der Erdrotation gänzlich ausgeschlossen, so würde die Einwirkung auf das hohe Ufer an sich fast dieselbe wie jetzt sein, aber sehr bald aufhören, weil mit dem bewegten Wasser die Kraft fortfallen würde, welche die herabgestürzten Massen fortführt. Diese Massen würden daher einen Schuttwall bilden, der Schutz gegen weitere Zerstörung gewährt.

Geht etwa die Hochebene der Steppe am rechten Ufer nach Westen in eine Ebene über, die nicht höher liegt als die Wolga liegen wird, wenn sie nach Abtragung der Hochebene dahin gelangt, so hört die Veranlassung zum Herunterbrechen nur des rechten Ufers auf, denn es wird dann auch dieses Ufer überschwemmt werden und die Wolga wird sich, weil ihr jetziges Verhalten nicht eine Folge der Erdrotation ist, eben so verhalten wie andre Flüsse, bei denen die Verhältnisse an beiden Ufern im Wesentlichen einander gleich sind und bei denen zwar nach dem Fallen des Wassers durchtränkte steile Ufer von gewöhnlicher Höhe herunterbrechen können, aber auf der rechten Seite nicht öfter als auf der linken.

Gesetzt aber auch, es hätte für das jetzige Verhalten der Wolga die Erddrehung sich als maassgebend nachweisen lassen, so würde man sich doch erst noch mit den, die Veränderungen im Laufe der Flüsse hervorrufenden Krümmungen, abzufinden haben. In der Abhandlung geschieht dies in folgender Weise:

Seite 219. „Man wundert sich oft, in einer Wiese mit augenscheinlicher Senkung ein kleines Bächlein mit auffallend starken und ziemlich regelmässigen Windungen verlaufen zu sehn, da es doch viel natürlicher erscheint, dass das Wasser nach der entschiedenen Senkung gerade abflösse. Bei aufmerksamer Beobachtung wird man aber finden, dass an den bogenförmigen Vorsprüngen¹⁾ der Uferrand nicht nur steil, sondern sehr oft unterhöhlt ist, so dass der Rasen

¹⁾ Das heisst: Hohlufern.

überhängt. Ich habe, da mich diese sonderbaren Flösschen immer interessirten, ein Paar Male Rasenstücke gefunden, die auf den flachen Ufervorsprüngen¹⁾ gestrandet lagen und offenbar von nicht entfernten Ufer-Ausbuchtungen²⁾ abgerissen waren. So wird also auch hier allmählig der gerade Lauf des Flösschens durch solche Strandungen im Laufe der Jahrhunderte sich gebildet haben; wo ein Rasenstück strandet, da bleibt auch der Sand oder Aehnliches liegen. Auf stark geneigten Flächen habe ich solchen regelmässigen Wechsel der Windungen nicht gesehen. Der starke Fall macht es auch einer geringen Wassermasse möglich, ihrem natürlichen Laufe zu folgen, zufällige Beimischungen fortreissend. In völliger Ebene werden dagegen die Windungen der Flüsse ganz unregelmässig, weil die geringsten Hemmungen unüberwindlich sind. Nur der im Frühling in Wasser verwandelte Schnee giebt ihnen etwas mehr Strömung, indem er sie aufstaut und weit überschwemmt. Das ist der Charakter der meisten kleinen Flösschen im nordischen Flachlande. Sie haben ein sumpfiges Wiesen-Ufer zu beiden Seiten.“

Hier ist nicht deutlich genug hervorgehoben, dass dem Bache von der Natur so gut wie niemals die ebene Fläche der Wiese mit „augenscheinlicher Senkung“, auf der er in gerader Richtung fliessen könnte, geboten wird, dass er daher, wenn er nicht durch zu starken Fall der gebotenen Fläche daran verhindert wurde, vom Anfange an genöthigt war, in Krümmungen zu fliessen und dass in dem Maasse als dadurch seine Hohlufer zerstört und verlegt wurden, in der bereits eingehend erörterten Weise durch Landbildung an seinen gewölbten Ufern die ebene Fläche mit augenscheinlicher Senkung entstand, in der er jetzt fliesst. Ist diese Doppelwirkung erst einmal entstanden, so geht sie unausgesetzt fort, so lange sie nicht durch zu feste Massen, durch künstliche Mittel oder eine vom Bache selbst nicht ausgegangene Veränderung der Erdoberfläche verhindert wird und der kleine Bach unterscheidet sich vom

¹⁾ Daß heisst: gewölbten Ufern.

²⁾ Das heisst: Hohlufeln.

grössten Strome nicht durch die Art, sondern nur durch die Grösse seiner Wirkung auf die Erdoberfläche. Die Wiese an den Seiten des Baches kann, aber sie muss nicht sumpfig sein.

Mit der Bemerkung „so wird auch hier allmählig der gerade Lauf des Flüsches durch solche Strandungen im Laufe der Jahrhunderte sich gebildet haben“ hat wohl gesagt sein sollen, dass auf diese Weise die ebene Fläche an den Seiten des Bachs entstanden sei.

Der Widerspruch zwischen dem gekrümmten Laufe der Flüsse und dem, welchen sie durch die Wirkung der Erdrotation annehmen müssten, wird in folgender Weise zu beseitigen gesucht:

Seite 220. „Die Regel, dass an den Windungen der Flüsse das ausgeschweifte¹⁾ Ufer das angegriffene und steilere ist, das vorspringende²⁾ das abgeflachte und deshalb, wenigstens am Rande des Wassers das niedrigere, modificirt die andere allgemeine Regel, dass das rechte Ufer das angegriffene steilere und an grossen Flüssen, wenn diese sich nicht in harten Boden eingeschnitten haben, auch wohl das höhere ist.“

Hierzu ist zunächst zu bemerken, dass wenn die Erdrotation auch mittelst eines grossen Flusses das rechte Ufer in hartem Boden nicht hoch machen, das heisst den Fuss einer vorliegenden Anhöhe nicht so zerstören kann, dass ein Nachbrechen erfolgt, sie schon desshalb machtlos sein muss gegenüber der Kraft, die dies vermag, das heisst der die Hohlufer zerstörenden.

Ferner heisst es daselbst: „Nach beiden Regeln, die sich gleichsam bekämpfen, indem eine die Wirkung der anderen modificirt und unkenntlich macht, ist nicht nur die stärkste Strömung aus der Mitte gegen das steile Ufer gerückt, was jeder Ruderknecht weiss, sondern es ist hier auch das Flussbett tiefer als gegenüber.“

1) Das heisst: das Hohlufer.

2) Das heisst: das gewölbte Ufer.

Hier wird anerkannt, dass da wo keine Krümmung wirkt, die grösste Geschwindigkeit eines Flusses in seiner Mitte liegt und um so mehr muss es befremden, dass sie sich bei der Wolga, selbst wenn sie nach Osten fliesst, am rechten Ufer befinden soll.

Seite 220 und 221: „Der Kampf beider Regeln gegeneinander macht, dass auch bei dem entschiedenen Vorherrschen des rechten Ufers, wenn der Fluss durch einen oft ganz fremdartigen Umstand zu einer scharfen Biegung gezwungen wird, das linke Ufer höher wird, weil von der linken Abflachung, ich meine von dem langsam aufsteigenden Lande, ein Theil weggerissen ist.“

Seite 222: „Einige Windungen hat jeder Wasserlauf, weshalb, wenn man nur auf den jetzigen Fluss und nicht auf das Erosionsthal achtet, theilweise Ausnahmen häufig von der allgemeinen Regel sich bemerklich machen.“

Unter welchen Verhältnissen die allgemeine Regel vom Vorherrschen des rechten Ufers am deutlichsten hervortreten soll, wird nun (Seite 222) in folgender Weise angegeben:

„Je gerader der Lauf eines Flusses, je grösser seine Wassermasse ist, je grösser die Strömung, wenn diese bei einiger Gleichmässigkeit beharrt, oder wenn sie wechselt, je stärker der Unterschied zwischen dem hohen und niedrigen Wasser ist, je zerstörbarer der Boden ist, in dem der Fluss sein Bett ausgegraben hat, und, wie ich bis jetzt noch glaube, je mehr die Richtung des Flusslaufes sich dem Meridiane nähert, um desto entschiedener ist in der nördlichen Hemisphäre das rechte Ufer das vorherrschende d. h. das steilere, unterwaschene, angegriffene.“

Hierbei ist die Angabe, dass die Erddrehung desto stärker wirke, je grösser der Unterschied zwischen dem hohen und niedrigen Wasser sei, offenbar von der Wolga entnommen, d. h. es ist der durch den hohen Wasserstand entstehende starke Druck, der unabhängig von der Erdrotation das hohe Ufer tief durchtränkt und zerstört, zu einer allgemeinen Bedingung für meridionale Flüsse gemacht. Ausserdem führen aber die gemachten Vorbehalte auf Folgendes:

Fliesst, wie wir sahen, ein im Allgemeinen in der Richtung eines Meridians liegender Fluss innerhalb der von ihm gebildeten Thalebene ohne sich um die Rotation der Erde zu bekümmern, so wie er will, oder vielmehr so, wie es ihm durch die Zerstörung der Hohlufer vorgeschrieben ist und wie es ihm dadurch ferner vorgeschrieben werden wird, so soll daneben, wenn auch ohne einen sichtbaren Erfolg, noch die Erdrotation wirken. Liegt, wie bei der Lahn zwischen Gisselberg und Sichertshausen, der steile hohe Sturzrand links dicht am Flusse und rechts eine flache vom Flusse gebildete Ebene, die 950 bis 2260 Meter breit ist und die auch nach rechts von einem Sturzrande begrenzt wird, der aber nicht so zusammenhängend und hoch ist, wie der auf der linken Seite, sind also nach rechts schon wegen der Breite der Ebene gar keine Massen vorhanden, die den Fluss hätte nach links drängen können, so müsste man zur Erklärung einen „oft ganz fremdartigen Umstand,“ der aber gar nicht nachzuweisen ist, zu Hülfe nehmen und endlich, wenn dann, was nicht ausbleiben wird, der Fluss sich auch einmal da befindet, wohin er nach der Rotationshypothese gehört, dann wird man sich genöthigt haben, darin eine Bestätigung jener Hypothese zu erblicken.

Allerdings, wenn ein hohes rechtes Ufer an einer Stelle viel tiefer als an der flussabwärts daran grenzenden eingerissen wird und dadurch auf nicht zu kurze Zeit ein Vorsprung nach links entsteht, so wird der Fluss an diesem Vorsprunge zunächst auch nach links fließen müssen, da man doch nicht annehmen kann, die von der Erdrotation ausgehende Kraft sei gross genug, um die Wucht, mit welcher der Fluss nach links strömt, in bemerkbarer Weise zu vermindern. Biegt dann der Fluss wieder nach rechts um, so entsteht auf seiner linken Seite ein Hohlufer, auf welches das Wasser zerstörend wirkt und dadurch den Fluss noch weiter nach links treibt. Aber wie lange soll denn dieser Ausnahmezustand anerkannt werden, wenn die Wirkung der Erdrotation auf den Fluss noch etwas bedeutet und soll er während der Jahrtausende berechtigt sein, die der Fluss brauchen kann, um, wie es an dem angeführten Beispiele der Lahn zwischen Gisselberg und Sichertshausen

zu ersehn ist, eine grosse ebene Fläche bildend, sich von dem rechten Sturzrande, an welchen ihn die Rotationshypothese verweist, bis zu dem linken Sturzrande zu entfernen?

Diesen so nah liegenden Einwendungen gegenüber war ein weiterer Vorbehalt, der grösste von allen, nöthig. Angedeutet ist er schon durch die im Vorigen angeführte Textstelle: „Einige Windungen hat jeder Wasserlauf, weshalb, wenn man nur auf den jetzigen Fluss und nicht auf das Erosionsthal achtet, theilweise Ausnahmen häufig von der allgemeinen Regel sich bemerklich machen.“

Weiter heisst es Seite 223: „Viele Flüsse verlaufen in verhältnissmässig breiten Thälern. Sehr oft, namentlich in Gebirgen, sind diese Thäler Einrisse oder Spalten, die bei Erhebung der Gebirge sich gebildet haben und in welche, weil sie in einem gewissen Umfange die tiefsten Stellen sind, das Wasser zusammenläuft, und dann allerdings die Sohle des Thales bearbeitet. Andre Thäler, besonders auf geneigten Flächen, sind offenbar vom Wasser selbst ausgewählt, aber von einem viel mächtigeren, als das ist, welches jetzt in ihnen fliesst. Man sieht nämlich ausser den unmittelbaren Ufern des jetzigen Flussbettes weiter entfernte, fast immer viel höhere Ufer-Gehänge des Fluss-thales, welche der Fluss jetzt entweder gar nicht, oder allenfalls stellenweise und nur am Fusse erreicht.“

„Diese Thäler sind durch den raschen Abfluss grosser Wassermassen entstanden, wovon der Grund überhaupt in Niveau-Veränderungen für ansehnliche Wassermassen zu suchen ist. Zuweilen, besonders in der Vorzeit, mögen bedeutende Landeserhebungen die Meerwasser oder Wasser von Landseen in mächtigen Strömen haben abfliessen lassen, in anderen Fällen und besonders in späteren Zeiten waren es die Landseen, welche allmählig so hoch aufgestaut wurden, dass sie irgend wo die Ufer durchbrachen, selbst wenn diese felsig waren, und deren Wasser, wenn es ein geneigtes und bewegliches Terrain vorfand, dasselbe tief auswühlte.“

Es wird nun Seite 224 bemerkt, dass das Erosionsthal, besonders im nachgiebigen Schwemmland viel weniger Krümmungen mache, als die in ihm gebildeten und bleiben-

den Flussbetten und der schon früher erörterte Schluss gezogen, dass wenn ein kleiner viel gekrümmter Fluss Fig. 19 hohe, fast gerade alte Uferländer an den Seiten seines Thals habe, diese Ränder stets von einem das ganze Thal ausfüllenden grösseren Flusse gebildet worden seien und dann Seite 225 angeführt:

„Die Gehänge des Erosionsthales sind es nun vorzüglich, in welchen der Druck nach rechts, den das strömende Wasser ausübt, seine Wirkung äussert. Derselbe Einfluss fehlt dem Flussbette nicht, allein da dieses stärker gewunden ist, so tritt hier die Störung durch die Regel für die Krümmungen mehr hervor. Den gewaltigen Wassermassen, die sich die Erosionsthäler stürzend auswühlten, ist auch wohl allein die Krümmung nach der rechten Hand zuzuschreiben, die wir an den meisten grossen russischen Flüssen am Ende ihres Laufs bemerken, nicht diesen Flüssen selbst. Die Gehänge des Erosionsthales sind es auch vorzüglich, die man im Auge hat, wenn man von dem höheren oder besser steileren Ufer und von dem flachen spricht. Das zeigt uns schon die Wolga. Man sagt ganz allgemein und wir sind diesem Ausdrucke absichtlich gefolgt, dass die Wolga bis in die Nähe des Meers ein hohes rechtes Ufer habe. Indessen ist der untere Theil des Erosionsthales von Zarizyn an sehr breit und der am meisten nach rechts liegende Arm der Wolga verläuft in grossen Windungen bald dem rechten Gehänge des Erosionsthales näher, bald von ihm entfernter. Zuweilen entfernt sich der Hauptstrom der Wolga von diesem Gehänge auf ein Paar Werst, zuweilen drängt er sich nahe an ihn heran und erzeugt dadurch die scharf abgerissenen hohen Ufer, wie bei Tschernoi-Jar. Das Gehänge des Erosionsthales läuft dagegen in einem einzigen schwach gekrümmten Bogen fort. Das eben ist das Eigenthümliche der Wolga, dass oberhalb des zuletzt gebildeten weiten Erosionsthales, das zugleich der Anfang seines Deltas ist, der ungetheilte Fluss sich nahe an die rechte Wand des Erosionsthales andrängt, wodurch eben das rechte Ufer der Wolga so auffallend ist. Der Grund hiervon wird theils der leicht zerstörbare Boden, theils aber auch wohl die Senkung des Kaspischen Meeres sein, welche

die nothwendige Folge haben musste, dass der Fluss oberhalb seiner ehemaligen Einmündung immer weiter rückwärts den Boden einschneidet, durchwühlte und bei verstärkten Fällungen gegen das rechte Ufergehänge sich andrängte, was rückwärts auch auf die Zuflüsse wirken musste.“

Gegen die angeführten Annahmen des Verfassers über die Bedeutung der Erosionsgehänge für die Wirkung der Erdrotation kommt Folgendes in Betracht.

Es braucht nicht bestritten zu werden, dass ein Thal seine Hauptform durch eine andere Wasserkraft, als die in dem dermaligen Flusse liegende, erhalten haben kann. Unter Beifügung der Figuren 10 und 15 wurden oben die Merkmale angegeben, aus denen mit Sicherheit geschlossen werden kann, dass die Erosion eines Thals nur durch den in ihm befindlichen Fluss erfolgt ist. Zur Aufsuchung jener anderen Wasserkraft darf man, wenn nicht besondere und nachzuweisende Gründe dagegen vorliegen, höchstens so weit zurückgehen, dass die Gebirgsmassen, in denen der Fluss fließt, schon vollständig gebildet waren, aber sich noch in einem so viel tieferen Niveau befanden, dass das Meer auf sie einwirken konnte. Eine dauernde, reissende Meeresströmung in meridionaler Richtung lässt sich ohne besondere Nachweisung nicht annehmen und ihre Wirkung könnte auch nicht ganz die eines grossen Flusses sein, weil die von Ebbe und Fluth noch hinzukommen würde. Ebbe, Fluth und Brandung sind aber für die Rotation gleichgültig, die beiden ersten, weil bei ihnen die Bewegung des Wassers eine hin- und hergehende ist und die letztere, weil sie der Wind erzeugt. Die durch diese drei Kräfte hervorgerufenen Veränderungen der Erdoberfläche unterscheiden sich von den Erosionsgehängen auch durch ihre Formen.

Für die jetzige Erdperiode kann man sich allerdings auf hochliegende Landseen berufen. Dass ein See dieser Art, wenn er keinen Zufluss hatte, eine Bergkette durchbrochen habe, ist in den meisten Fällen unmöglich, weil die Bergkette in der Regel dem Drucke des hinter ihr stehenden Wassers widersteht. Wäre aber der Durchbruch in Folge einer gewaltigen, erst nachzuweisenden

Erdrevolution erfolgt, so würde der plötzliche und einmalige Abfluss des Wassers des Landsees höchstens in Geröllen, aus denen eine Bergkette in der Regel nicht besteht, nicht aber in festeren Massen ein Erosionsthal gebildet haben, weil hierzu die Dauer des Abflusses zu kurz gewesen sein würde. Hatte aber der See einen Zufluss und floss er an der niedrigsten Stelle der ihn umgebenden Höhen über, so vermochte er, wie oben speciell erörtert wurde, unterstützt durch den starken Fall, den er hierbei am Bergabhänge haben konnte, in hinreichend langer Zeit ein tiefes Erosionsthal selbst dann zu bilden, wenn die Wassermasse nicht grösser war, als sie jetzt noch ist. So sind im Allgemeinen die zahlreichen Fälle zu erklären, in denen Flüsse oder die Landseen, in denen Flüsse mündeten, selbst die harten Gesteine vorliegender Bergketten durchschnitten haben. Es müssen ganz besondere Gründe vorliegen, um genöthigt zu sein, zur Erklärung jener Erscheinung über-grosse Wassermassen anzunehmen, die sich das Erosionsthal, es nach seiner ganzen Breite ausfüllend, „stürzend auswühlten“. Insbesondere reicht auch die jetzige Grösse der Wolga zur Bildung ihres Erosions-Thales völlig aus.

Jene übergrossen Wassermassen müssen daher in allen Fällen, für welche man sie nicht als nothwendig nachweisen kann, eben so zurückgewiesen werden, wie die oben angeführte Idee, als habe eine frühere grosse Weser den ganzen Raum zwischen ihren Sturzrändern b und c Fig. 1 strömend ausgefüllt, da diese und andre Erosionsgehänge (Sturzränder, äusserste Flussränder) auch wenn sie weit entfernt vom Flusse liegen, so entstanden sind, wie es oben beschrieben, und durch die Figuren 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 und 15 erläutert worden ist. Es gilt dies unter Umständen auch noch dann, wenn ein solches Gehänge an der Thalseite in einem hoch über dem jetzigen Flusse liegenden Niveau beginnt und wie hg in Fig. 18 durch die Stufe ig oder auch ohne dieselbe in ik übergeht.

Dass diese Gehänge, wenn die Wirkung des Flusses weniger im Einschneiden, als in der Bewegung nach der Seite hin bestand, auch wenn der Fluss früher nicht grösser war, als jetzt, nicht wie der Fluss gekrümmt zu

sein brauchen und selbst gerade sein können, wie in Fig. 19, wurde oben bei der Weser eingehend nachgewiesen.

Es kann also die Einwirkung der Erdrotation nicht dadurch bewiesen werden, dass man sich, wenn der Fluss beliebige Krümmungen, bald am Erosionsgehänge, bald ein Paar Werst davon entfernt macht, darauf beruft, dass das Gehänge des Erosionsthals „in einem einzigen schwach gekrümmten Bogen fortzieht.“ Ganz besonders ist dies unzulässig für die Wolga, weil sie in Folge besonderer Verhältnisse am rechten Ufer noch jetzt ein Gehänge macht, das ihren alten Erosionsgehängen, die durch übergrosse Wassermassen entstanden sein sollen, an Höhe nicht nachstehn wird und mit diesen sogar zusammenfallen muss, weil nicht angegeben wird, dass weit ab davon nach rechts in einem höheren Niveau noch ein solches Gehänge vorhanden sei.

Es reichen übrigens alle die gemachten Vorbehalte noch nicht aus, um für jeden Fall wenigstens formell zu passen, denn wenn die Flüsse früher um vieles grösser waren als jetzt und indem sie ihre Thäler stürzend auswühlten, in Folge der Erdrotation den rechtsliegenden Erosionsrand steil gemacht haben, dann müsste das auch eine frühere grössere Lahn zwischen Gisselberg und Sichertshausen gethan haben, während das Gegentheil der Fall ist. Sieht man aber von einer Rotationswirkung ganz ab, so ist die Erklärung sehr einfach. Der linke Rand ist nämlich hoch und steil, weil hier die von der Lahn berührten Berge höher waren als rechts und der Fluss lange genug an ihnen geblieben ist, um einen hohen Sturzrand zu bilden und der rechte ist meist flach und an einigen Stellen zwar steil aber nicht hoch, weil daselbst die Oberfläche nicht gleich stark anstieg, beziehungsweise der Fluss weniger lange zerstörend auf die Anhöhe einwirkte.

Dem Verfasser ist (Seite 17) im Jahr 1853 in Russland der Einwand gemacht worden, die Höhe des rechten Wolgaufers werde durch die vorherrschenden Winde, welche das Wasser mehr gegen das rechte, als das linke Ufer trieben, veranlasst sein. Als Beweis hiergegen wird unter andern (Seite 19) die Swjaga angeführt, ein Fluss,

welcher der Wolga fast parallel, aber in entgegengesetzter Richtung 200 Werst weit und in seinem oberen Theile sehr nahe bei der Wolga fliesse. Auch dieser habe ein hohes rechtes Ufer und man könne doch nicht annehmen, dass auf der einen Seite der Westwind und auf der andern der Ostwind vorherrsche. Das ist allerdings deshalb möglich, weil das hohe rechte Ufer jedesmal gegen den Wind geschützt ist, unter dem es liegt. Bei den beschriebenen Verhältnissen kann indess das rechte Wolgaufer nachbrechen, ohne dass man den Ostwind zu Hülfe zu nehmen braucht.

Wenn sichere Nachrichten über die Lage des hohen und niedrigen Ufers fehlen, wird (Seite 38 und 39) angenommen, dass das hohe Ufer da zu suchen sei, wo man auf einer Landkarte die meisten Ortschaften angegeben findet. Dieser Schluss ist von der Wolga entnommen, wo er von Saratow bis Astrachan sehr gut zutrifft. Er passt aber nicht immer für cultivirte breite Thalebene. Man legt dann zwar, wo es ohne Nachtheil geschehen kann, die Ortschaften auf das ansteigende Terrain jenseits der Sturzränder, nimmt aber auch, wie ein Blick auf Fig. 2 zeigt, keinen Anstand, damit in die Flussniederung zu gehn, wenn es den Interessen entspricht und schützt sich dann entweder durch Dämme gegen das Wasser, oder benutzt, wenn sie vorhanden sind, in der Niederung die Stellen, welche vom Flusse bei Ueberschwemmungen jetzt nicht mehr erreicht werden.

Es wird weiter (Seite 26; 37. 236. 240 bis 248) behauptet und nachzuweisen gesucht, dass wenn ein Strom sich in zwei oder mehre Arme theilt, was namentlich in seinem Delta zu geschehn pflegt, der nach rechts liegende Arm der beständigste und stärkste sei, beziehungsweise stets Aussicht habe, es zu werden und der nach links liegende allmählig verkümmere. Zur Begründung hiervon wird — namentlich auf Seite 249 und 250 — behauptet, die mehr nach rechts gehenden Arme hätten unter gleichen Verhältnissen mehr Strömung, immer eine Aussicht, sich allmählig zu vertiefen und also mehr Beständigkeit, als die links abgehenden. Als Grund hiervon sei der Druck des Wassers nach rechts, wenn es nicht genau im Parallel ver-

laufe, anzunehmen und so gering dieser Druck sei, so käme er doch nur der rechten Seite zu gut. Durch zahlreiche vergleichende, mit Sorgfalt angestellte Messungen der Geschwindigkeit des Wassers in den Flussarmen, ist die Richtigkeit dieser Behauptung nicht nachgewiesen worden.

Erwägt man nun, dass bei einer Theilung des Flusses in Arme die Landzunge der Gabelung dem Stosse des Wassers ausgesetzt ist und deshalb ihre Gestalt leicht so ändern kann, dass bald dem rechten, bald dem linken Arme mehr Wasser zugeführt wird und ferner, dass wenn in einem rechten oder linken Arme die fortwährenden Veränderungen unterworfenen Krümmungen sich vermehren, dadurch für gleiche Länge eine Verminderung des Gefälles entsteht, was sich sehr leicht bis zur Gabelung zurück erstrecken kann und dann die Menge des in den mehr gekrümmten Arm eintretenden Wassers vermindern wird, so müsste man die der Erdrotation zugeschriebene, den Abzug des Wassers in den rechten Arm begünstigende Kraft, falls sie überhaupt vorhanden wäre, für verschwindend klein, gegenüber den vorhandenen sonstigen grossen Kräften, halten und um so mehr würde es nöthig gewesen sein, eine so zweifelhafte Kraft durch das Verhalten der Flüsse zu beweisen, was aber nicht geschehen ist.

Es wird sich nämlich z. B. darauf berufen (Seite 37), dass von der Weichsel der rechte Arm, die Nogat stärker sei, als der linke, der den Namen Weichsel beibehält und dass dieser letztere sich wieder in zwei Arme theile, einen westlichen oder linken, der nur 3 Fuss Tiefe, aber einen neuen mehr östlichen Durchbruch sich gebildet habe, der so viel der Verfasser wisse, gleich schiffbar geworden sei.

Hierbei ist zunächst unbeachtet geblieben, dass die Weichsel sich auch bei Rothe-Bude in zwei Arme spaltet und dass der in das Frische Haff abgehende, die Elbinger Weichsel, obgleich der rechtsliegende, doch der schwächere ist¹⁾. Der erwähnte Durchbruch lässt sich in keinerlei Beziehung zur Erdrotation bringen, denn er ist dadurch entstanden, dass sich in der Nacht vom 31. Januar

¹⁾ G. Hagen a. a. O. S. 423.

zum 1. Februar 1840 das Eis in der Weichsel stark gestopft, und das Wasser gezwungen hatte, sich einen neuen $\frac{1}{8}$ Meilen langen Weg direct in die Ostsee zu bahnen, der in dem weichen Schwemmlande bald tief werden konnte. Der Lauf der Weichsel bis in die See ist dadurch $1\frac{3}{4}$ Meilen kürzer, die Geschwindigkeit des Wassers grösser, und die Versandung der Elbinger Weichsel gesteigert worden. Man hofft, dass dies auch noch weiter zurückwirken, und die Wassermenge der Nogat vermindern werde¹⁾.

Der Durchbruch hätte auch ohne die Eisstopfung eintreten können, weil die Flüsse, wenn sie, wie hier die Weichsel, in flaches Schwemmland gelangen, das ihnen nur einen geringen Fall gewährt und in welchem keine Anhöhen vorkommen, durch die der Richtung des Fliessens und der Ausbreitung des Wassers bei Ueberschwemmungen engere Grenzen als ohne sie gezogen werden können, sich leicht in Arme spalten, deren bei der Weichsel vorher schon drei vorhanden waren.

Die in Folge des Durchbruchs eingetretene wesentliche Erleichterung der Abführung des Wassers trägt zum Schutze der Niederung bei, die vorher immer sehr bedroht war, weshalb man den Durchbruch schon lange künstlich herbeiführen wollte¹⁾.

Wohl bei keinem Flusse hat man über die Veränderung seines Laufs so weit zurückgehende sichere Nachrichten, wie bei dem in einem alten, stets viel besuchten Culturlande liegenden Nil.

Es wird von demselben angeführt (Seite 35), dass er nach Minutoli's Beobachtungen in der ganzen Länge seines Laufs durch Oberägypten sein Bett nach Osten verlegt habe. Dies habe sich aber im unteren Theile seines Laufs noch mehr dadurch geäußert, dass sich links von ihm ein altes verlassenes Flussbett befinde. Hiergegen kommt zur Geltung, dass wenn, wie wir oben sahen, die Flüsse oft genug an der Seite des Thals fließen, wohin sie nach der Rotationstheorie nicht gehören, sie auch einmal im entgegengesetzten Sinne ihr Bett verlegen können.

¹⁾ G. Hagen a. a. C. S. 423.

Das frühere und jetzige Verhalten der Arme des Nils in seinem Delta ist nach Dr. C. Vogt folgendes¹⁾.

Der Nil bildet jetzt zwei Hauptarme, von welchen der westliche, der von Rosette, der bedeutendste ist, indem er nahe bei der Ausmündung etwa 600 Meter Breite und 1,6 Meter Tiefe hat, während der östliche Arm, der von Damiette, nur 300 Meter Breite und 2,5 Meter Tiefe bei niederem Wasserstande hat. Im Alterthume waren diese beiden Mündungen äusserst unbedeutend und die von Rosette unter dem Namen der bolbitischen, die von Damiette als die phatnitische oder bucolische bekannt, während im Gegentheile die Mündung von Canope, die westlichste von allen, die sebennytische — jetzt Mündung von Burlos, zwischen der von Rosette und Damiette liegend — und die am weitesten nach Osten liegende pelusische, jetzt Mündung von Tyneh, die schiffbaren Hauptmündungen bildeten. Der jetzt sieg gewordene pelusische Zweig war also im Alterthume bedeutend. Die gabelförmige Theilung der Arme, die im Alterthume bei Kairo lag, befindet sich jetzt weit mehr nach Norden.

Der Arm von Rosette ist wirklich bedeutender als der von Damiette, denn da beide im Delta liegen, also gewiss eine ziemlich gleiche Geschwindigkeit haben, so ist der am bedeutendsten, bei welchem das Product aus Breite und Tiefe am grössten ist. Baer dagegen betrachtet es (Seite 248) als eine Bestätigung der Rotationstheorie, dass der mehr nach rechts liegende Arm, der von Damiette, der tiefere ist.

Mit der Behauptung, dass die nach rechts liegenden Arme am beständigsten seien, steht nun sehr im Widerspruche, dass der am meisten nach rechts liegende pelusische Arm, der am grössten sein müsste und im Alterthume gross war, jetzt versiegt ist. Dies wird — Seite 248 — dadurch zu erklären gesucht, es könne sein, dass er nicht mehr habe gefüllt werden können, weil der Hauptarm an der Theilungsstelle sich tiefer eingegraben habe. Dass der ungetheilte Strom sich gerade vor der Theilungsstelle tiefer

¹⁾ Lehrbuch der Geologie und Petrefactenkunde 1847. Bd. 2, S. 38.

eingegraben habe, ist indess eine nicht näher begründete Annahme und wenn es geschehen wäre, so liesse sich noch nicht einsehn, wie das auf die Versiegung nur des rechten Arms hätte einwirken können. Besser lässt sich dies jedoch mit Rücksicht darauf, dass angegeben wird ¹⁾, der westliche Theil der Küste Aegyptens werde vom Meere angegriffen und an dem östlichen bilde sich Land, in der Weise erklären, dass die Landbildung an der am weitesten nach Osten liegenden Nilmündung den Fluss aufgestaut haben kann. Damit würde eine Verminderung des Gefälles verbunden gewesen sein, was in einem solchen besonderen, durch das Meer herbeigeführten, Falle auf die allmälige Verkümmernng dieses Flussarms eben so wirken konnte, wie die oben schon angeführte Verminderung des Gefälles durch Vermehrung der Krümmungen.

Zum Beweise für die Richtigkeit der Behauptung, dass die mehr oder weniger meridional liegenden Flüsse im nachgiebigen Boden nach rechts wandern, hätten die Flussarme im Nildelta sehr geeignet sein müssen, da das Erdreich an ihren Seiten mindestens eben so nachgiebig ist, wie an den betreffenden Flüssen in Russland. Von einer solchen Wanderung der Nilarme ist aber nichts zu bemerken. Dass ihre Mündungen in das Meer noch dieselben wie im Alterthume sind, kann unbeachtet bleiben, weil sie in einer sandigen, durch Infiltration von Kalk fest gewordenen, Umwallung des Deltas liegen und sich daher wohl erhalten konnten. Allein die schiffbaren Arme von Rosette und Damiette zeigen auch in dem nachgiebigen Deltaboden keine Wanderung nach rechts, denn sie sind im Grossen bald nach rechts, bald nach links gekrümmt. Auch liegen sie noch immer auf der linken Seite der hinter der Umwallung befindlichen Lagunen, was beweist, dass gegen die durch die Lage der Mündung in das Meer dem Wasser vorgeschriebene Richtung keine andere nach rechts wirkende Kraft sich geltend machen konnte.

Die Möglichkeit des Vorkommens starker, links liegender Flussarme, wird auf Seite 240 bis 243 so künstlich zu er-

¹⁾ Osiris von C. Radenhausen I. Band Zweite Hälfte 1875.
Zeitschr. f. d. ges. Naturwiss. Bd. XLV. 1875.

klären gesucht, dass ich nicht glaube näher darauf eingehen zu müssen.

Mit der behaupteten Wanderung der Flüsse nach rechts, der Verkümmern der linken Flussarme und der schon angeführten Vermuthung, dass wohl den gewaltigen Wassermassen, welche die Erosionsthäler stürzend auswühlten und nicht den Flüssen selbst die Krümmung nach der rechten Hand zuzuschreiben sei, welche die meisten grossen russischen Flüsse am Ende ihres Laufs machten (Seite 225), wenn sie nicht (Seite 27) durch Höhen daran verhindert würden, steht das Verhalten des Mississippi im unteren Ende seines Laufs im Widerspruche. Nicht nur geht von New-Orleans ab, von wo an keine Anhöhen vorhanden sind, die auf den Flusslauf hätte einwirken können, der längste Arm links nach Südost, der hätte verkümmern müssen, da ein kürzerer Arm rechts nach Süden abgeht, sondern am untern Ende seines Delta gehn (Seite 42) die meisten und breitesten Arme nach Südost. Das letztere wird nicht durch die Ansicht Babinet's erklärt, dass (Seite 42) „die Ausströmung des Seewassers am Nordufer des mexikanischen Meerbusens zur Ablenkung des Delta viel beigetragen“ habe, was möglich ist, denn wenn diese Strömung schnell genug war, um die Strömung der nach rechts liegenden, ihr am meisten entgegengerichteten Flussarme merklich beeinträchtigen zu können, so müsste auch der am meisten nach rechts gerichtete Arm der schwächste sein, während es der links daneben liegende ist¹⁾.

Es wird (Seite 42) bemerkt, der Grund dieser Abweichung liege zum Theile wohl darin, dass der Mississippi da, wo seine Deltabildung beginnt, einen ansehnlichen, von Nordwest kommenden Strom, den Red River aufnimmt, dessen Südostströmung dem Wasser des Missisipi einen starken Drang nach Südost mittheilen müsse. Dass ein Fluss, der unter einem nicht zu spitzen Winkel in einen andern mündet, auf das gegenüberliegende Ufer dieses Flusses einwirken kann, ist erklärlich; dass aber diese Wirkung noch gegen 45 geographische Meilen stromabwärts bis zum Meere und

1) B. Vogt a. a. O. S. 44.

nachdem der Hauptfluss eine Menge Krümmungen gemacht, sich also mit der Wucht seiner ganzen Wassermasse bald nach rechts, bald nach links gewandt hat, sich geltend machen soll, widerstreitet den Gesetzen der Hydraulik. Ausserdem ist nach Stieler's Karte der nordamerikanischen Freistaaten die Einmündung des Red River in den Mississippi eine solche, dass jene Wirkung auch nicht einmal an der Stelle der Vereinigung eingetreten ist, denn der Red River trifft hier Fig. 20 auf einen nach Nordwest gerichteten Bogen a des Mississippi, der dann zunächst bis b nach Süden fliesst, also nicht nach Osten gedrängt worden ist.

Auch der Umstand, dass mitunter an den linken Seiten der Flüsse schwache Nebenarme liegen, wird der Erdrotation zugeschrieben; sie sollen durch Wanderung des Flusses nach rechts verkümmert sein. Hierfür wird (Seite 36) angeführt, der Rhein sei von Basel bis Germersheim wahrscheinlich nach rechts gewandert, weil an seiner linken Seite Nebenarme liegen. Die liegen aber nach Stieler's Karte von Deutschland auch auf der rechten Seite und der Unterschied ist nicht wesentlich. Solche Nebenarme entstehen bei grossen Flüssen in weiten Ebenen bei mässigem Falle leicht und dass hierbei kein bestimmtes Gesetz herrscht, ist unter anderm auch daraus zu entnehmen, dass nach einer Karte des Indo-Britischen Reichs in Stieler's Handatlas jene Nebenarme beim Indus, Ganges und besonders beim Irawaddi auf der rechten Seite liegen.

Auf Seite 231 der Abhandlung heisst es: „in seltenen Fällen gräbt sich auch wohl ein Fluss, wenn er mehr stürzt als fliesst, in ganz festes ungeschichtetes Gestein nach rechts so ein, dass das rechte Gehänge ihn überragt.“ Sehr merkwürdig ist in dieser Hinsicht dem Verfasser die Tamina in der Schweiz erschienen, von der behauptet wird, sie habe sich sowohl in ihrem Thale von Ragatz bis zum Bade Pfäfers als in ihrer Schlucht bei diesem Bade, regelrecht nach rechts eingeschnitten. Fig. 21 ist die Kopie einer Zeichnung, welche der Verfasser, flussabwärts gesehn, von jener Schlucht nach der Erinnerung entworfen hat. In derselben bedeuten a die Tamina, b den Steg auf dem rechten Ufer, auf dem man zu der in der Schlucht hervor-

tretenden warmen Quelle gelangt und be die nach links überhängende Felsenwand, wonach sich also der Fluss nach rechts eingeschnitten haben würde. Wenn dies wirklich der Fall wäre, so läge es sehr nah, sich nach einem andern Grunde als der Erdrotation umzusehn, weil es doch zu unwahrscheinlich wäre, dass diese in festem Gesteine sollte bewirkt haben, was für einen nachgiebigen Boden nicht bewiesen worden ist. Das Verhältniss ist in Wirklichkeit aber auch nach meiner Beobachtung an Ort und Stelle das umgekehrte. Fig. 22 zeigt, von einer Photographie, also von einem naturgetreuen Bilde entnommen, ebenfalls flussabwärts gesehn, den wirklichen Querschnitt der Schlucht und man sieht daraus mit völliger Deutlichkeit, dass die linke Seite der Felsenwand nach rechts überhängt, die Tamina sich also nach links eingeschnitten hat. Es ist nicht schwer, die Veranlassung hierzu zu finden.

Die Gesteine der Flyschformation, in denen die Tamina von der Schlucht bis Ragatz fliesst, sind keineswegs ungeschichtet, sondern, wie es auch nach dem allgemeinen Charakter dieser Formation nicht anders erwartet werden kann, sehr deutlich geschichtet. Flussabwärts gesehn, fallen die Schichten, wie es auch in Fig. 22 angedeutet ist, von links nach rechts ein und ziemlich oder ganz genau rechtwinklich gegen die Schichtung sind deutliche Querabsonderungen vorhanden, die also, ebenfalls flussabwärts gesehn, von rechts nach links einfallen. Beim Einschneiden folgte der Fluss diesen Querabsonderungen und nur deshalb schnitt er sich nach links ein. Auf der linken hangenden Seite wird das Gestein auch zum Theil nachgebrochen sein. Deshalb sieht man daselbst öfters grosse, recht glatte, den Querabsonderungen entsprechende Flächen, nach denen das Herunterbrechen stattfand und die oft glatter sind, als auf der rechten Seite, wo das Wasser zwar der Querabsonderung folgte, aber durch Annagung leichter kleine Abweichungen davon erzeugen konnte. Der fast genau gerade Lauf des Wassers folgt der Richtung der Querabsonderungen, indess macht er doch einige kleine Biegungen nach links, die leicht durch ungleiche Härte des Gesteins entstehn konnten. Hierdurch sind im Hangenden der Schlucht flache Nischen

entstanden, die sich in ihrer Form wesentlich von den erwähnten glatten Bruchflächen unterscheiden, nach oben immer schmaler werden und sich so zuletzt verlieren. Die Stelle nach oben, an der eine solche Nische aufhört, ist zugleich die, an welcher die kleine Biegung des Flusses nach links anfing. Eine Nische ist daher desto älter, je weiter sie heraufreicht.

Das Thal der Tamina von Pfäfers nach Ragatz ist, flussabwärts gesehn, durch Fig. 23 im Querschnitt dargestellt. Die rechte Seite wird fast immer durch hohe steile Felsenwände gebildet. An der linken Seite, die meist viel flacher ist, sind die weicheren Schichten des Gesteins oft bedeutend zerbröckelt und in Folge davon die darüber liegenden festeren Schichten aus ihrer Lage gekommen. Auf der rechten Seite ist dies nicht eingetreten, weil die Gesteine durch die Steilheit der Thalwand und ihr Einfallen nach rechts sehr gegen Zerstörung durch die Atmosphärien geschützt waren. Wollte man nun, wie in der Abhandlung, annehmen, der Fluss habe sich erst links oben etwa bei a befunden und sich dann immer tiefer nach rechts bis b eingeschnitten, so liesse sich das wohl in folgender Weise erklären.

Wenn der Fluss nach Durchschneidung weicher Schichten links auf eine harte gestossen war, so konnte er nach rechts mit dem Einschneiden fortfahren und auch hier den tiefer liegenden Theil der harten Schicht erreichen, ehe der früher getroffene links liegende Theil derselben durchschnitten war. Dadurch entstand ein nach rechts geneigter Boden des Flusses, nach dieser Richtung hin eine grössere Tiefe, damit eine grössere Geschwindigkeit des Wassers und eine grössere Fähigkeit, rechts mehr nach unten und nach der Seite hin zu zerstören. Eine solche Erklärung ist aber nicht anzunehmen, weil den gegebenen Verhältnissen viel besser folgende entspricht.

Die Querabsonderungen des Gesteins sind in dem Thale der Tamina mindestens eben so deutlich vorhanden wie in ihrer Schlucht und hin und wieder sogar zu offenen Klüften erweitert. Wenn daher der Fluss in der Schlucht unzweifelhaft den Querabsonderungen gefolgt ist, so lässt sich mit

gleicher Sicherheit annehmen, dass dies auch in dem Thale geschehen ist. Er bildete also z. B. bei c Fig. 23 einen nach links gerichteten Einschnitt. Wäre nun das Gestein so fest gewesen, dass auch sein überhängender Theil hätte stehn bleiben können, so hätte sich hier wie bei Pfäfers eine Schlucht gebildet. Das Gestein hatte aber hier, wie seine theilweise Zerrüttung an der linken Thalseite zeigt, eine solche Festigkeit nicht, kippte nach rechts um, oder brach in sonstiger Weise rechts herunter und das starke Gefälle des Flusses machte es möglich, die herabgestürzten Massen allmählig zu zerstören und fortzuführen. Ihnen konnten dann die weiter links liegenden, nun ebenfalls überhängend gewordenen Massen, unterstützt von dem, periodisch vom linken Abhange herunter fließenden Wasser, folgen. Die Richtung des Flusses musste, wie es im Ganzen wirklich der Fall ist, die der Querabsonderungen werden und die steile hohe Felsenwand an der rechten Seite des Thals so einfallen wie die Querabsonderung, was auch stattfindet, soweit nicht an wenigen Stellen in den höchsten Theilen der Wand die steile Richtung in eine senkrechte oder selbst in eine wenig überhängende sich geändert hat, wohl deshalb, weil hier weniger ein Einschneiden als ein Herunterbrechen des gleich im Anfange höher als der Fluss liegenden Gesteins von ungleicher Festigkeit eintrat. Da wo der Fluss eine kleine Biegung nach links macht, ist die linke Thalseite steiler und die rechte weniger steil, entsprechend der durch Zerstörung der Hohlufer entstehenden Gestaltung.

Erfolgte das Einschneiden des Ufers genau nach dem Schichtenbau, so hat die linke Thalseite das Einfallen der Schichten und die rechte das der Querabsonderung und es giebt wirklich Stellen, an denen dies der Fall ist. Fasst man an einer solchen Stelle nach einer Specialkarte des Cantons St. Gallen, Blatt Sargans, die Breite, mit welcher die Felsen auf der rechten Seite im Grundriss erscheinen, in den Zirkel und trägt sie von c aus 13 mal nach links (s. Fig. 23), so gelangt man auf dieselbe Höhe wie rechts, so dass die Linie ac horizontal ist. Zieht man nun aus der Mitte o dieser Linie nach unten einen Halbkreis und

vom ersten Theilpunkte d eine Linie db rechtwinklich gegen ac bis zum Durchschnitte mit dem Kreise und ausserdem die Linien ab und bc , so ist abc ein rechter Winkel, wie ihn die Querabsonderung mit der Schichtung macht und deshalb auch bc die steile Felsenwand auf der rechten und ab die flache Steigung auf der linken Seite des Thals. Der Einschnitt bei e bezeichnet den Fahrweg und die Tamina liegt bei b . Der Winkel acb stimmt genau mit dem überein, welchen in der erwähnten Photographie ihr oberer horizontaler Rand mit der Neigung ab Fig. 22 der rechten Seite der Schlucht macht; wohl ein Beweis mehr dafür, dass die Schlucht und das Thal zunächst auf dieselbe Weise entstanden, dass sich aber in der Schlucht das überhängende Gestein halten konnte und im Thale nicht.

Ist die linke Thalseite nicht genau der Schichtung entsprechend zerstört, so ist sie meist steiler und wenn sich die Zerstörung nicht weit nach links erstreckt hat, wird das Thal, wie an seinem unteren Ende unmittelbar bei Ragatz, schluchtartig.

Von Babinet ist behauptet worden, dass bei jeder Richtung eines Flusses durch die Erdrotation Druck auf eins seiner Ufer entstehe, im Wesentlichen aus demselben Grunde, nach welchem beim Foucault'schen Pendelversuche die Schwingungsebene des Pendels sich drehe, in welcher Richtung auch seine erste Schwingung liege. Baer giebt dies zwar zu, behauptet aber, die Wirkung auf einen in der Richtung eines Meridians liegenden Fluss müsse grösser sein, weil der Fluss dabei die Parallelkreise durchschneide und eine Veränderung der Drehungsgeschwindigkeit eintrete (Seite 367).

Für den Fall, dass man der Erdrotation überhaupt eine Einwirkung auf den Lauf der Flüsse zuschreiben will, muss diese Entgegnung als richtig anerkannt werden.

Es hat also auch die weitere specielle Erörterung nichts gegen die früher gezogenen Schlüsse über das Nichtvorhandensein des der Erdrotation zugeschriebenen Einflusses auf den Lauf der Flüsse ergeben.

Hat man sich durch wiederholte sorgfältige Beobachtung das an sich sehr einfache Gesetz, nach welchem die Flüsse

die Ebenen an ihren Seiten bilden und dabei stets, wenn es nicht besondere, in jedem Falle nachweisbare Umstände verhindern, ihr Bett sowohl nach rechts wie nach links verlegen, klar gemacht, so kann schon daneben die Hypothese vom Einflusse der Erdrotation auf den Flusslauf nicht mehr bestehen. Wenn nun K. E. von Baer, dem die Wissenschaft so manchen werthvollen Beitrag verdankt, seine Hypothese ungeachtet der in Russland und Frankreich dagegen erhobenen Bedenken aufrecht erhalten, und ausführlich mit Gründen, die sich bei näherer Untersuchung nicht als haltbar erweisen, zu unterstützen gesucht hat; wenn die so begründete Hypothese theils seit einer Reihe von Jahren, so viel ich weiss, nicht wenige Anhänger gefunden hat, theils noch in neuester Zeit wenigstens als wahrscheinlich bezeichnet worden ist, so mag dies daher rühren, dass man das erwähnte, den Flusslauf bestimmende Gesetz, wegen seiner Einfachheit nicht genug gewürdigt, und ausserdem nicht hinreichend erwogen hat, ob die der Erdrotation zugeschriebene Wirkung auf den Lauf der Flüsse sich mit den Gesetzen der Hydraulik in Einklang bringen lässt. Dies, sowie der Umstand, dass die Originalabhandlung Baer's nicht allenthalben zugänglich sein wird, mag es auch rechtfertigen, dass der Gegenstand so eingehend behandelt worden ist, denn es hätte sonst scheinen können, als sei etwas unbeachtet geblieben, was für das behauptete Gesetz hätte sprechen können.

G. A. v. Klöden hat¹⁾ durch dieses Gesetz das allmälige Sinken der dalmatischen Küste, für welches ausreichende Beweise beigebracht werden und welches derselbe früher vulkanischen Einwirkungen zuschrieb, zu erklären gesucht.

Es bewegt sich nämlich längst der albanisch - dalmatischen Küste eine Meeresströmung von Südost nach Nordwest. Hieraus wird geschlossen, dass weil dadurch zu der zerstörenden Wirkung der Meereswogen auf die Küste noch der durch die Erdrotation entstehende Druck nach rechts, also gegen das dalmatische Ufer komme, wohl eine Stei-

¹⁾ Petermann's Mittheilungen über wichtige neuere Erforschungen auf dem Gesamtgebiete der Geographie. 17. Band 1871. S. 173.

gerung der Einwirkung denkbar sei und wenn auch ein wirkliches Wegnagen sich nur an weichem Terrain nachweisen lasse, so werde „doch das unterirdisch seitlich in die Zwischenräume der Schichten eindringende Wasser durch einen solchen seitlichen Druck eine Unterstützung finden und in reichlicherem Maasse eindringen und die auswaschende Kraft des Wassers“ werde erhöht werden, wodurch die Küste sich senken soll.

Dem steht entgegen, dass die Meeresströmung sehr langsam sein muss, wenn die in das breite adriatische Meer eindringende Wassermenge nicht eine übermässig grosse sein soll, dass demnach auch die Wirkung der Erdrotation, wenn sie nicht überhaupt schon zu verneinen wäre, doch nur eine sehr geringe sein könnte und dass selbst wenn dies auch nicht der Fall wäre, sie doch verschwindend klein sein müsste gegen die zerstörende Kraft der Brandung sowie gegen den gewaltigen Druck, den schon ein stillstehendes tiefes Meerwasser gegen eine Küste ausübt und die damit verbundene Kraft zum Eindringen des Wassers in die Zwischenräume der Schichten.

Wenn daher das Baer'sche Gesetz nicht haltbar ist, so kann dies noch weniger die Anwendung sein, die G. A. v. Klöden davon zur Erklärung des Sinkens der dalmatischen Küste gemacht hat.

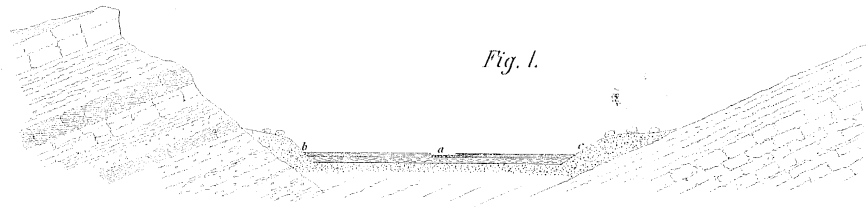


Fig. 1.

Feinkörnige Erde }
von der Weser abgest. }
Grundlager }
Diluvium }
Flüßlingsblöcke }

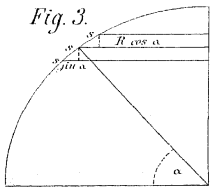


Fig. 3.

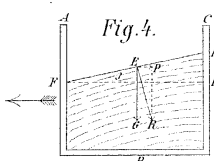


Fig. 4.

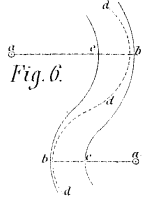


Fig. 6.

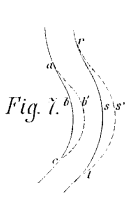


Fig. 7.

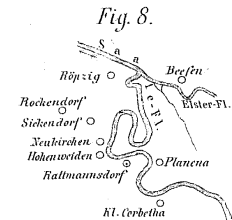


Fig. 8.

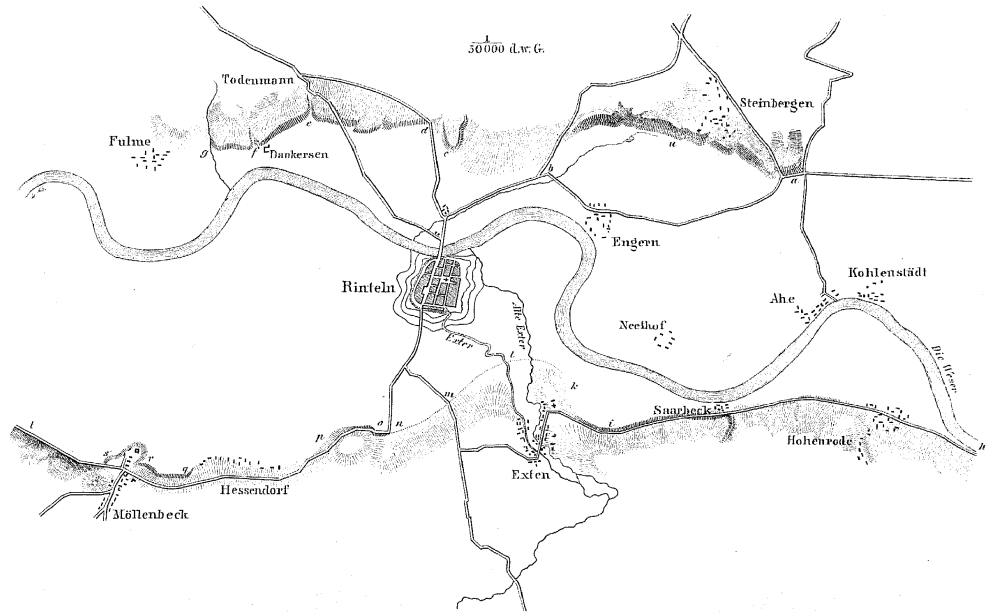


Fig. 9.

1/50000 d.w.G.



Fig. 5.

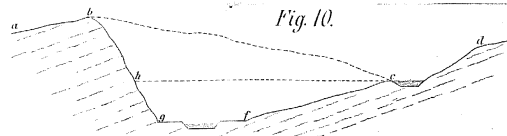


Fig. 10.

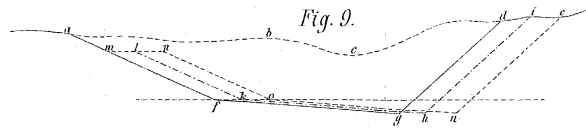


Fig. 9.

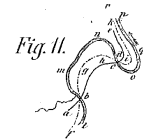


Fig. 11.

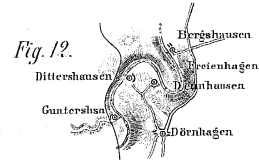


Fig. 12.

1/200000 d.w.G.

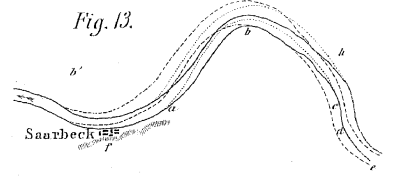


Fig. 13.

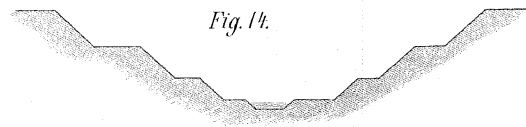


Fig. 14.

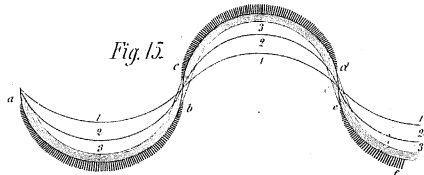


Fig. 15.



Fig. 16.

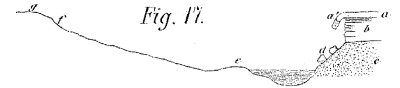


Fig. 17.

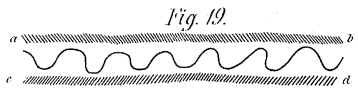


Fig. 19.

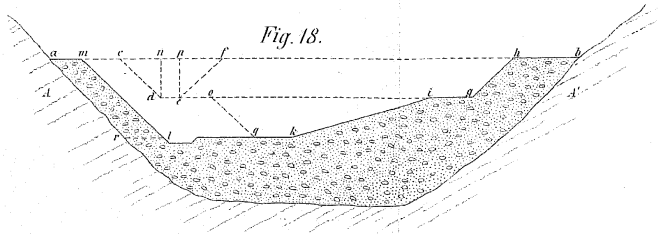


Fig. 18.

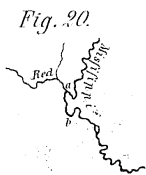


Fig. 20.



Fig. 21.

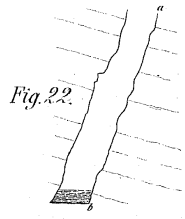


Fig. 22.

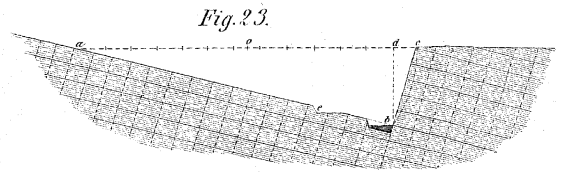


Fig. 23.