



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Elemente des Wasserbaues

Sonne, Eduard

Leipzig, 1904

Art. 43. Verhalten der ruhigen Gewässer. Delta-Bildung

[urn:nbn:de:hbz:466:1-82101](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-82101)

tum und vielerorts das Leben der Anwohner bedroht. Zu den zahlreichen Ortschaften, die ganz oder teilweise zerstört oder wegen beständiger Bedrohung verlassen und an geschützteren Stellen wieder aufgebaut werden mußten, gehören unter anderen die Städte Neuenburg und Rheinau.“

„An den am meisten bedrohten Stellen wurden zwar Verteidigungswerke hergestellt, die sich aber nutzlos, oft sogar schädlich erwiesen, sobald der wandelbare Stromlauf sich von der bisher bedrohten Stelle abwandte, nun anderwärts angreifend, wo dann abermals gewehrt werden mußte“¹⁰⁶).

Es sei noch bemerkt, daß die in der Strecke Lauterburg—Mannheim früher vorhandenen scharfen Krümmungen des Stroms auch gefährliche Eisgänge begünstigt haben, während in der Strecke Basel—Lauterburg infolge der großen Geschwindigkeit des Wassers, welche die starken Gefälle erzeugen, Eisbildungen und Eisgänge von jeher vergleichsweise wohl nicht sehr erheblich gewesen sind.

Die im Vorstehenden am deutschen Oberrhein und an der Strecke Bingen—St. Goar nachgewiesenen Gestaltungen und Gefällsverhältnisse sind am Rhein auch an anderen Stellen vorhanden. Derselbe hat beispielsweise eine zweite sehr stark (stellenweise mit nahezu 4 ‰) abfallende Felsenstrecke zwischen Basel und der Einmündung der Aare; Teile des schweizerischen Oberrheins zeigten im Naturzustande im wesentlichen dieselbe Gestaltung, wie der Oberlauf des deutschen, und die weiten Windungen der badisch-bayerischen Strecke finden sich auch am Niederrhein.

In abgeschwächter Weise kehren die hier erörterten Erscheinungen und die Schäden, welche ein sich selbst überlassenes wildes Gewässer anrichtet, in allen Flußgebieten wieder.

43. Verhalten der ruhigen Gewässer. Delta-Bildung.¹⁰⁷ In Art. 42 ist erwähnt, daß die sich selbst überlassenen wilden und halbwilden Gewässer, welche sich in aufgeschwemmten Talsohlen bewegen, ihre Ufer und Betten fortwährend ändern, auch bei ruhigen Bächen und Flüssen finden in ihrem Naturzustande derartige Veränderungen, allerdings weniger plötzlich, statt. Die Ursache dieser nun im einzelnen zu besprechenden Erscheinungen liegt hauptsächlich in den überall vorkommenden Krümmungen der Gewässer. Dem Hochwasserbett sind Krümmungen durch die Gestalt der angrenzenden, hochwasserfreien Erhebungen des Bodens angewiesen und innerhalb des Hochwasserbetts bildet sich das Gewässer ein Mittelwasserbett aus, welches stärker als jenes geschlängelt ist. Auch Einmündungen von Nebengewässern, widerstandsfähige Stellen der Talsohlen und mancherlei andere Umstände sind der Entstehung von Krümmungen förderlich.

Es ist nun eine folgenschwere Erscheinung, daß stets an den einbiegenden (konkaven) Ufern der Krümmungen Ausnagungen und Annagungen, an den ausbiegenden (konvexen) Ufern aber Ablagerungen stattfinden; dieser Vorgang vollzieht sich folgendermaßen:

Nehmen wir an, es sei ein Mittelwasserbett mit ursprünglich trapezförmigen Querschnitten vorhanden. Infolge der Fliehkraft (Zentrifugalkraft) erhebt sich das Wasser der Krümmungen am einbiegenden Ufer, während es sich am ausbiegenden

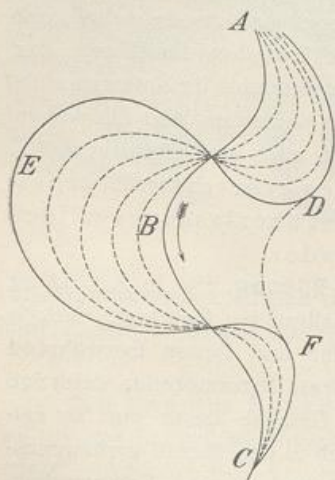
¹⁰⁶ Rheinstromwerk, S. 233 u. 234.

¹⁰⁷ Handb. (3. Aufl.) Kap. II, S. 111 (Bildung der Wasserlaufbetten. Fluß-Deltas.) S. 118 (Eisstand und Eisgang). — Kap. XI, S. 165. (Wirkung der Strömung auf bewegliche Flußbetten.)

senkt. Die größere Wassertiefe neben dem einbiegenden Ufer steigert daselbst die Schleppkraft, dies bewirkt Vertiefung der Sohle, und die Schleppkraft steigert sich nun infolge Zunahme der Wassertiefe mehr und mehr. Eigenartige, im nächsten Artikel eingehender zu besprechende, spiralförmige Bewegungen des Wassers, durch welche die Sinkstoffe sozusagen ausgeschaufelt werden, kommen hinzu.

Aber auch die Annagungen werden stärker, sie bringen Teile der einbiegenden, nach und nach steiler gewordenen Begrenzungen des Gewässers zum Einsturz, wodurch die Vertiefungen verringert werden. Dann beginnt das Spiel von neuem, aber kräftiger, denn die Krümmung ist infolge der Zerstörung des alten Ufers schärfer geworden und je kleiner der Krümmungshalbmesser, desto einschneidender sind die Wirkungen der besprochenen Vorgänge. An den ausbiegenden Ufern finden dagegen Ablagerungen statt, daselbst haben die Sinkstoffe, welche sich beim Nachlassen der Hochwasser niederschlagen, ihre natürlichen Ruheplätze.

Abb. 75.



Mitunter tritt infolge der Verschiebungen der Ufer eine vollständige Änderung des Laufes des Baches oder Flusses ein. Wenn eine Strecke ABC (Abb. 75, in welcher übrigens nur Mittellinien angedeutet sind) früher drei mäßig gekrümmte sogenannte Gegenkurven aufwies, war jede dieser Krümmungen den besprochenen Veränderungen unterworfen. Wenn keine Hindernisse eintraten, konnte sich also das Gewässer im Laufe einer längeren Zeit eine sogen. Serpentine (Schleife) bildend nach ADEFC verlegen, bis ein Hochwasser sich — etwa in der Richtung der strichpunktirten Linie DF — einen Weg bahnte. Die Strecke DEF fiel alsdann der Verlandung. Man vergleiche auch Abb. 78, S. 131.

Es muß noch bemerkt werden, daß auch die Eisversetzungen und Eisstopfungen, von welchen in Art. 48 eingehender die Rede sein wird, nicht selten erhebliche Veränderungen des Laufs der ruhigen Gewässer veranlaßt haben, denn das bei Tauwetter von oben zuströmende Wasser schlägt, wenn es möglich ist, einen neuen Weg ein, sobald es den alten durch Eis stark beeengt oder gar ausgefüllt findet.

Die Veränderungen an den Gewässern sind jedoch nicht immer so einschneidend, wie im Vorstehenden erörtert ist. Nicht selten beschränkte sich das Hochwasser darauf, neben einem bestehenden ein zweites Mittelwasserbett zu bilden, dann entstand eine Stromspaltung und zwischen beiden Betten eine Insel oder auch nur eine Sandbank (Mittelfeld), wenn die vorhandene Begrünung (Vegetation) vom Hochwasser zerstört wurde. Man vergleiche Abb. 76, welche den Zustand der Oder bei Kienitz aus dem Jahre 1846 darstellt. Diese Abbildung zeigt auch die unregelmäßige Lage der Ufer eines sich selbst überlassenen Flusses.

Nunmehr ist die Gestaltung der Querschnitte zu besprechen. Aus dem Gesagten ergibt sich ohne weiteres, daß die Durchflußquerschnitte in Krümmungen dreieckige Kernformen haben. Bei Gegenkrümmungen von der in Abb. 77 dargestellten Gestaltung liegen die Spitzen dieser Dreiecke erst am rechten, dann am linken Ufer, also bei G bzw. H. In die genannte Abbildung sind die Schichten-

linien der Flußsohle eingetragen, diese Linien lassen den Wechsel der Tiefen, auch die allmähliche Zu- und Abnahme derselben deutlich erkennen.

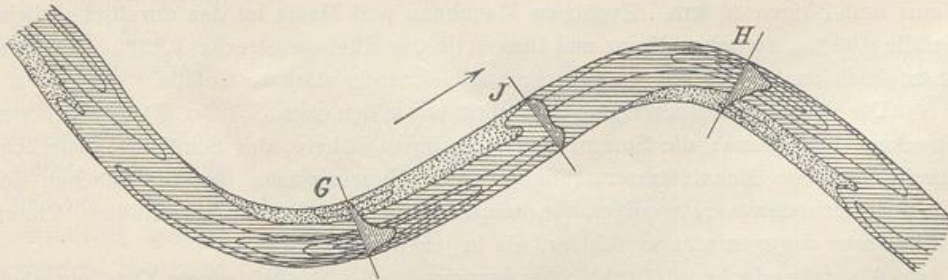
Aus Abbildung 77 ersieht man ferner, daß der Stromstrich bei J eine Stelle antrifft, woselbst das Wasser erheblich flacher ist, als bei G und H; bei J ist der

Abb. 76. M. 1:30 000.



Durchflußquerschnitt im wesentlichen trapezförmig. An dieser Stelle kreuzt der Stromstrich eine sogenannte Schwelle, deren Richtung mit der Richtung der Ufer einen spitzen Winkel bildet. Die Schwellen bereiten der Schifffahrt große Schwierigkeiten, zumal sie beim Nachlassen der Hochwasser nicht selten vorübergehend an Höhe zunehmen.

Abb. 77.



Nicht immer schloß und schließt sich noch jetzt eine stark ausgeprägte Krümmung eines Gewässers an eine andere an. Oft ist zwischen solchen Krümmungen eine im großen und ganzen gerade, aber unregelmäßig begrenzte Strecke vorhanden. Dann entstehen zwischen jenen Krümmungen zwei Schwellen (oder auch mehr) mit Stellen abwechselnd, woselbst größere Wassertiefen vorhanden sind.

Nun erklärt sich auch, weshalb die Sohlenlinien der fließenden Gewässer in den Höhenplänen stets eine mehr oder weniger zackige Gestalt haben (vergleiche Abb. 61, S. 104), denn diese Linien beziehen sich stets auf den Stromstrich. Von

der Lage der Sohle ist die Höhenlage des Niedrigwasserspiegels der Gewässer derart abhängig, daß bei Niedrigwasser oberhalb der Schwellen ein geringeres, unterhalb derselben aber ein stärkeres Gefälle vorhanden ist. Auch dies kommt in dem vorerwähnten Höhenplan des Neckars zum Vorschein. Bei Zahlenangaben über Gefällsverhältnisse pflegen aber die genannten Unterschiede nicht berücksichtigt zu werden; man begnügt sich in der Regel damit, die durchschnittlichen Gefälle der Strecken anzugeben. Übrigens treten beim Anschwellen des Wassers jene Unterschiede sehr bald in den Hintergrund.

In hohem Grade ist Neigung zu Ablagerungen unterhalb der Einmündung von Nebengewässern vorhanden, weil diese dem Hauptfluß neue Sinkstoffe zuführen. Auch unterhalb der Stromspaltungen finden fast immer unregelmäßige Ablagerungen von Sinkstoffen verbunden mit ebensolchen Austiefungen statt.

Endlich ist noch zu berücksichtigen, daß in früherer Zeit den ruhigen Gewässern aus den oberen wilden Strecken infolge dortiger massenhafter Uferabbrüche viele Baumstämme zugeführt wurden; von diesen Stämmen sind nicht wenige gesunken und begraben, kommen aber bei Änderungen des Flußlaufs wieder zum Vorschein. Auch einzelne große Steine (z. B. sogenannte Findlinge) haben die Regelmäßigkeit der Flüsse nicht selten gestört.

Im allgemeinen ergibt sich also, daß auch die ruhigen Gewässer im Naturzustande sowohl an den Ufern, wie hinsichtlich der Höhenlage der Sohlen erhebliche Unregelmäßigkeiten zeigen, und daß ihre Ufer, ihre Sohlen, aber auch die Gelände neben den Ufern fortwährenden und oft starken Veränderungen unterworfen waren.

Im Nachstehenden werden, um für die ruhigen Gewässer ein Beispiel vorzuführen, einige Angaben über den Lauf des Rheins zwischen Mannheim und Bingen gemacht.

Die Länge des Stromes beträgt zwischen Mannheim und Mainz 72,5, zwischen Mainz und Bingen 30 km. Zwischen Mannheim und Mainz ist das durchschnittliche Gefälle $0,09\text{‰}$, zwischen Mainz und Bingen (in der Rheingautrecke) $0,13\text{‰}$, letzteres ist zugleich das in der ganzen Strecke vorkommende stärkste Gefälle.

Die Wasserstandsbewegung ist ähnlich, wie in den oben (S. 123 u. ff.) besprochenen Strecken des Rheins: die Sommermonate bringen höhere, der Schifffahrt förderliche durchschnittliche Monatswasserstände, als die Wintermonate, daneben machen sich die Sommerhochwasser weniger, die hauptsächlich vom Neckar beeinflussten Winterhochwasser dagegen stärker fühlbar, als in jenen Strecken.

Als sekundliche größte Hochwassermenge bei Walluf, einem Orte unterhalb Mainz, wird 7300 cbm angegeben; hierzu verhält sich die Niedrigwassermenge etwa wie 1:12¹⁰⁸⁾.

Der Durchschnitt der größten Anschwellungshöhen bei Mainz und Bingen ist 6,5 m, man wird indessen für die Zwischenstrecken 6,0 m annehmen dürfen. Wenn

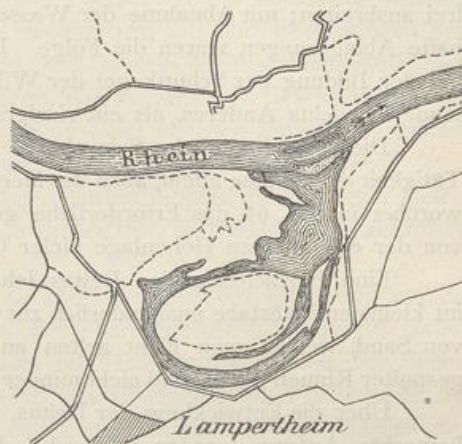
¹⁰⁸⁾ Man vergleiche hiermit die Verhältnisse der Niedrigwasser- zur Hochwassermenge des Mains bei Schweinfurt = 1:60 und des unteren Neckars = 1:150. Im allgemeinen nimmt der Nenner dieses Verhältnisses von den Quellgebieten der Flüsse nach den Mündungen hin in der Regel ab.

die größte Wassertiefe bei Niedrigwasser zu 3,0 m geschätzt wird, berechnet sich bei ungewöhnlichen Anschwellungen die größte Schleppkraft zu $1000 (3 + 6) 0,000 13 = 1,17 \text{ kg/qm}$, das ist etwa der achte Teil der entsprechenden Schleppkraft in der Strecke Basel—Breisach. Zwischen Mannheim und Mainz ist die Schleppkraft noch geringer, etwa $0,8 \text{ kg/qm}$.

Hinsichtlich der Grundrißgestaltung sind die beiden in Rede stehenden Strecken sehr verschieden. Zur Zeit beträgt die durchschnittliche Breite des Wasserspiegels bei Mittelwasser in der Strecke Mannheim—Mainz 370 m, diejenige der Rheingaaustrecke aber 700 m; früher waren die Breiten der letztgenannten Strecke noch weit größer.

Zwischen Mannheim und Mainz waren Veränderungen in der Lage des Stromlaufs und eine unregelmäßige Gestaltung der Begrenzungen vergleichsweise ziemlich selten. Eine Ausnahme macht die Stelle bei Lampertheim, einem Städtchen oberhalb Worms, woselbst der Rhein die Wurzel einer großen Schleife in der auf S. 128 besprochenen Weise durchbrochen hat; Abb. 78 führt den jetzigen Zustand dieser Stelle vor.

Abb. 78. M. 1:100 000.



Die Rheingaaustrecke war vormals mit Inseln übersät, durch welche zahlreiche Stromspaltungen gebildet wurden. Auch hier haben widerstandsfähige Schichten des Untergrundes den Strom veranlaßt, seine Tätigkeit hauptsächlich nach der Breite auszudehnen, die Bildung von Inseln ging hiermit Hand in Hand. Auch die oben nachgewiesene erhebliche Verminderung der Schleppkraft wird Einfluß gehabt haben.

Nunmehr soll Einiges über die

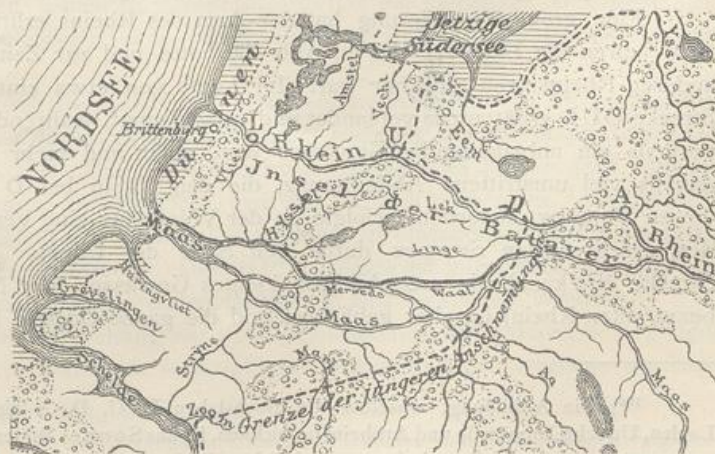
Mündungsgebiete der Flüsse, insbesondere über die daselbst oft stattfindende Delta-

Bildung gesagt werden. Unter einem Fluß-Delta versteht man bekanntlich ein am Meere liegendes, ebenes

Mündungsgebiet, welches durch Auf-

landung entstanden ist und von verschiedenen, sich fächerartig ausbreitenden Flußarmen durchströmt wird.

Abb. 79.



Es soll hier hauptsächlich von dem Delta des Rheins die Rede sein, und zwar unter Bezugnahme auf Abb. 79, welche den Zustand eines großen Teils dieses Deltas so vorführt, wie dasselbe mutmaßlich vor etwa 1900 Jahren gestaltet war ¹⁰⁹⁾.

Diese Abbildung zeigt unter anderm die Grenze des Diluviums; fast alle westlich davon liegenden Teile der jetzigen Niederlande standen vormals gewöhnlich unter Wasser bis auf die Dünen, welche noch jetzt, jedoch in veränderter Lage, die Westgrenze der Niederlande bilden. Beim Überschreiten des wasserfreiliegenden Diluviums konnten die mit Sand und Schlick beladenen Hochwasser des Rheins sich frei ausbreiten; mit Abnahme der Wassertiefe erlahmte die Schleppkraft und massenhafte Ablagerungen waren die Folge. Das ist fast derselbe Vorgang, welcher auch bei der Bildung der Schuttkegel der Wildbäche statt hat: ein großer Teil der Niederlande ist nichts Anderes, als ein riesiger Schuttkegel des Rheins.

Dieser und ähnliche Schuttkegel verdanken aber ihre Ausbildung nicht der Tätigkeit der Ströme allein, auch das Meer hat erheblichen Anteil an den Ablagerungen, worüber in Art. 64 das Erforderliche gesagt werden soll. Ebendasselbst wird auch von der eigenartigen Höhenlage vieler Gegenden des Rhein-Deltas die Rede sein.

Eine Betrachtung der Deltas lehrt, daß die Naturgesetzte im größten und im kleinsten Maßstabe unabänderlich zur Geltung kommen. Die geringen Anhäufungen von Sand, welche man nicht selten an den Enden kleiner, vom Regenwasser ausgespülter Rinnen findet, sind nicht minder Schuttkegel, wie die Deltas gewaltiger Ströme.

Über die Entwicklung der Deltas, insbesondere des Rhein-Deltas, sei Folgendes bemerkt: Anfangs werden zahlreiche, durch ein Gewirr von kleineren und größeren Wasserarmen voneinander getrennte, bei Niedrigwasser zum Vorschein kommende Erhöhungen entstanden sein. Beim Fortschreiten der Auflandungen haben sich diese Erhöhungen zu größeren begrüntem Inseln vereinigt, welche aber bei hohen Fluten des Meeres und des Stromes nicht wasserfrei waren. Das Entstehen größerer Flußarme ging hiermit Hand in Hand. Die Ausbreitung der Vegetation, namentlich der Waldungen, hat dann die Auflandung erheblich befördert. Jene größeren Gewässer haben dabei ihre Lage nicht selten geändert, ebenso wie die Arme eines Wildbachs auf seinem im Naturzustande befindlichen Schuttkegel dies tun.

Eine große Veränderung hat der Arm des Rheins erlitten, welcher etwa vor 1900 Jahren die Lage ADUL (s. Abb. 79) hatte und zur Zeit der Römer vor allen anderen Rheinarmen schiffbar war. Im Laufe von etwa eintausend Jahren ist die Strecke DUL größtenteils versandet und verschlammt, während sich der Lek, welcher vormals ein unbedeutendes Gewässer war, mehr und mehr ausgebildet hat. Eine damals viel umstrittene Abdämmung, die den Rhein bei D abspernte, beförderte diesen Vorgang, außerdem erfolgte an der Westküste eine Verwehung der Mündung des geschwächten Stromes durch den Sand der Dünen. Jetzt ist die genannte Strecke ein kanalartig ausgebildetes kleines Gewässer, der Name Rhein (krummer bzw. alter Rhein) ist aber geblieben, und die ganze Gegend heißt das Rheinland.

¹⁰⁹⁾ Die Abbildung, woselbst die Buchstaben L, U, D, A die Lage der jetzigen Orte Leiden, Utrecht, Duurstede und Arnheim bezeichnen, ist aus Sonne: Bilder vom Rhein (Leipzig 1898) entnommen. Insofern diese kulturgeschichtlichen Bilder unter: Rhein in der Schweiz, deutscher Oberrhein und Rhein in den Niederlanden das Verhalten der fließenden Gewässer berühren, enthalten sie mancherlei Ergänzungen des in diesem Abschnitte Besprochenen.

Von anderen Deltas sei das Weichsel-Delta genannt¹¹⁰⁾. Das berühmte Nil-Delta ist im Handbuch Kap. II, S. 112 und 115 besprochen.

44. Innere Bewegungen des fließenden Wassers. Die einzelnen Wasserteilchen oder Wasserfäden bewegen sich selbst in glatten Röhren mit gerader Achse nur bei sehr kleinen Querschnitten und geringen Geschwindigkeiten geradlinig, in der Regel verfolgen sie sowohl in Röhren, wie in anderen Wasserleitungen mannigfaltige gekrümmte Bahnen. Man sieht dies daran, daß kleine im Wasser schwebende Körper bunt durcheinander wirbeln, es sind also sogenannte innere Bewegungen des Wassers vorhanden. Weil die Wasserfäden hierbei mehr oder weniger rückläufig werden, erleidet die bewegende Kraft eine Einbuße, welche mit der jene Bewegungen verstärkenden Rauheit der Wandungen zunimmt, und hieraus hauptsächlich dürfte sich die in Art. 28 besprochene Erscheinung erklären, daß die mittleren Geschwindigkeiten in Wasserleitungen mit rauhen Wandungen unter sonst gleichen Umständen kleiner sind, als in Leitungen mit glatten Wandungen.

In fließenden Gewässern sind die obigen zarten inneren Bewegungen gleichfalls vorhanden, außerdem kommen aber noch andere vor, welche kräftiger auftreten; von diesen soll nunmehr die Rede sein.

Zuerst ist darauf hinzuweisen, wie die Krümmungen der Gewässer auf die Bewegung des Wassers einwirken. Infolge der Fliehkraft (Zentrifugalkraft) treffen viele Wasserfäden auf die einbiegenden (konkaven) Flußufer und werden von diesen abgelenkt, zum Teil ungefähr derart, wie ein auf eine schrägstehende Ebene treffender Wasserstrahl von dieser abgelenkt wird. Unter der Einwirkung des Gefälles und befördert durch die Sohlenvertiefungen, welche an den einbiegenden Ufern stets stattfinden, bilden sich daselbst spiralförmige Bewegungen des Wassers. Über die Einzelheiten dieses Vorgangs, insbesondere darüber, ob die Spiralen vorwiegend rechtsdrehend oder linksdrehend sind, walten verschiedene Ansichten ob. Nach Ansicht der Verfasser bilden sich Spiralen beiderlei Art, deren Achsen bald aufwärts, bald abwärts gerichtet sind. In Flußstrecken mit starken Gefällen zeigt sich dies bei aufmerksamem Betrachten des Wallens der Oberfläche des Wassers.¹¹¹⁾

Abgeschwächt pflanzen sich diese inneren Bewegungen auch in die unterhalb der Krümmungen liegenden Strecken fort. Da die fließenden Gewässer stets Krümmungen aufweisen, ergibt sich, daß die Richtungen ihrer Wasserfäden sich fortwährend ändern.

Dies scheint durch Beobachtungen mit dem hydrometrischen Flügel bestätigt zu werden, sobald man dessen Achse normal zur Richtung des Messungsquerschnitts fest einstellt (vergl. S. 111). Die Winkelgeschwindigkeiten des Flügels sind dann erheblichen Schwankungen unterworfen und die selbstschreibenden Vorrichtungen Harlachers ermöglichen eine bildliche Darstellung der entsprechenden Geschwindigkeits-Komponenten des Wassers, s. Abb. 80¹¹²⁾. Dieses ist vermutlich eine einfache Erklärung der sogenannten pulsierenden Bewegung des fließenden Wassers.

Eine eingehende Besprechung der sonstigen Ursachen der inneren Bewegungen des fließenden Wassers würde zu weit führen. Genannt mögen werden: die Lage

¹¹⁰⁾ Handb. (3. Aufl.) Kap. XII, S. 618.

¹¹¹⁾ Für die Bewegung des fließenden Wassers in Geraden und Krümmungen vergleiche Handb. Kap. XI, S. 197 ff.

¹¹²⁾ Vergl. Handb. S. 155 u. 182.