

DIE AUFGABE  
GEOGRAPHISCHER FORSCHUNG  
AN FLÜSSEN

VON

**PROF. DR. WILLI ULE**

PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT ZU HALLE A. D. S.

MIT 6 TEXTFIGUREN

ABHANDLUNGEN  
DER K. K. GEOGRAPHISCHEN GESELLSCHAFT IN WIEN

IV. BAND, 1902, N° 4

---

WIEN 1902

R. LECHNER  (WILH. MÜLLER)

K. U. K. HOF- U. UNIVERSITÄTS- BUCHHANDLUNG

Druck von ADOLF HOLZHAUSEN in Wien  
K. UND K. HOF- U. UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKER

Trotz der hervorragenden Stellung, die den Flüssen in der Natur eines Landes zukommt, und trotz der hohen Bedeutung, die sie infolge dessen in der Länderkunde einnehmen, liegt die geographische Forschung auf diesem Gebiete noch sehr im argen. Erst in neuerer Zeit beginnt sich die Thätigkeit der Geographen auch hier zu regen. Es sind in den letzten Jahren eine Reihe hydrographischer Arbeiten erschienen, deren Urheber selbst Geographen sind oder wenigstens zu der Erdkunde in enger Beziehung stehen. Aber gerade diese Arbeiten geben zu erkennen, wie weit wir hier noch zurück sind; sie tragen zwar sämtlich zur Erweiterung unserer hydrographischen Kenntnisse erheblich bei, entbehren jedoch noch gänzlich der einheitlichen Methode und des gemeinsamen Zieles in der Bearbeitung; sie beschäftigen sich mehr oder weniger noch mit rein hydrologischen Problemen, aber nicht mit der eigentlichen Geographie der Flüsse.

Es ist das kein Wunder. Denn bis heute besteht noch kein allgemein anerkanntes Programm der geographischen Forschung an Flüssen. Penck hat in einem Aufsätze in der Zeitschrift für Gewässerkunde zum erstenmale den Versuch gemacht, die Flusskunde als einen Zweig der physikalischen Geographie darzustellen und ihre Aufgabe näher zu bestimmen.<sup>1)</sup> Allein seine Ausführungen gelten doch mehr der Flusskunde, der Potamologie, als solcher, nicht der eigentlichen geographischen Aufgabe dieser. Es geht das schon aus der Gliederung hervor, die er der Flusskunde gibt:

1. Physik des rinnenden Wassers.
2. Wassermenge und ihre Schwankungen.
3. Die Wirkungen des Wassers auf sein Bett.
4. Verbreitung des rinnenden Wassers auf der Erdoberfläche.
5. Das rinnende Wasser als Schauplatz organischen Lebens.

Viele Probleme, die in diesen verschiedenen Arbeitsbereichen der Flusskunde enthalten sind, haben unseres Erachtens nur mittelbar für den Ausbau der Erdkunde Bedeutung. Bei der Erörterung der Frage nach der Aufgabe wirklich geographischer Forschung an Flüssen muß aber gerade die erdkundliche Seite des Problems im Vordergrund stehen.

In einem Aufsätze über «Die Gewässerkunde im letzten Jahrzehnt»,<sup>2)</sup> der in Hettner's Geographischer Zeitschrift erschienen ist, hat sich vor

---

<sup>1)</sup> A. Penck, Die Flusskunde als ein Zweig der physikalischen Geographie. (Zeitschr. für Gewässerkunde, I. Bd. 1898.)

<sup>2)</sup> Die Gewässerkunde im letzten Jahrzehnt. III. Die Flusskunde. (Geogr. Zeitschr., 6. Jahrgang 1900.)

kurzem der Verfasser ebenfalls an diesem Gegenstande versucht und der Flusskunde von rein geographischem Standpunkte aus folgende Gliederung zu Grunde gelegt:

1. Lage, Verlauf und Größe der Flüsse.
2. Der Wasserhaushalt der rinnenden Gewässer.
3. Die Flüsse als geologische Factoren.
4. Die physikalischen Verhältnisse des fließenden Wassers.
5. Die Biologie des fließenden Wassers.
6. Die anthropogeographische Bedeutung der Flüsse.

Der leitende Gedanke bei Aufstellung dieser Gliederung war, die geographische Erscheinung der fließenden Gewässer in erster Linie zur Geltung zu bringen.

In den nachstehenden Ausführungen schließt sich der Verfasser wiederum der von ihm aufgestellten Gliederung an. Sie mögen zugleich des weiteren begründen, inwieweit diese berechtigt und erschöpfend ist. Ihr wesentlicher Zweck aber ist, im einzelnen zu erläutern, welche Aufgaben die geographische Forschung auf den verschiedenen Gebieten der Flusskunde im Gegensatz zur rein hydrologischen Forschung zu lösen hat.

Was der Hydrologe bei seinen Arbeiten zutage fördert, das dient in erster Linie der Technik, namentlich der Wasserbaukunst. Nach dieser Richtung hin ist die Flusskunde ganz erheblich weiter fortgeschritten als nach der geographischen. Das Werk von Franzius über den Wasserbau,<sup>1)</sup> sowie das neue von Tolkmitt über «Die Grundlagen der Wasserbaukunst»<sup>2)</sup> sind ausreichende Belege hierfür. Gerade diese hervorragenden Werke lehren uns jedoch deutlich, wie wenig die eigentliche Geographie der Flüsse entwickelt ist; sie kommt in ihnen überhaupt kaum zum Ausdruck.

Ein Werk, das die Flusskunde unter wirklich geographischen Gesichtspunkten eingehend behandelt, ist zur Zeit noch nicht vorhanden; es bedarf dieser Zweig der Erdkunde zunächst noch der Klärung auf methodischem Gebiete. Erst wenn das Programm der geographischen Forschung an Flüssen genau festgestellt ist und innerhalb der Fachmänner allgemeine Anerkennung gefunden hat, wird man an die Abfassung eines zusammenfassenden Werkes über die Flusskunde als Zweig der Erdkunde denken können. Mögen die nachfolgenden Zeilen uns auf dem Wege zu diesem Ziele ein wenig vorwärts bringen.

## 1. LAGE, VERLAUF UND GRÖSSE DER FLÜSSE

Wie die Erdkunde überhaupt in einen beschreibenden und einen erläuternden Theil zerfällt, so hat auch die geographische Behandlung eines Flusses diese doppelte Aufgabe zu lösen. Sie wird mit der Beschreibung des Flusses beginnen müssen. In diese ist vor allem eine genaue Darstel-

<sup>1)</sup> Franzius, Der Wasserbau. 3. Abtheilung des «Handbuches der Baukunde». Berlin 1890.

<sup>2)</sup> G. Tolkmitt, Grundlagen der Wasserbaukunst. Berlin 1898.

lung der Lage aufzunehmen, nicht der Lage nach Länge und Breite allein, sondern hauptsächlich der allgemein geographischen Lage. Ob ein Fluss im Gebirge oder in der Ebene fließt, ob er innerhalb eines dichten Flussnetzes oder isoliert sich befindet, ob er in wasserreicher oder in trockener Gegend liegt, das ist geographisch von erheblicher Bedeutung, da gerade dadurch schon eine Reihe von Eigenthümlichkeiten des Gewässers gekennzeichnet werden. Weiter ist dann der Verlauf des Flusses eingehend zu behandeln; es ist die Form seines Thalweges, die Art seiner Krümmungen u. s. w. genau zu beschreiben, sowie auch die Natur seines Stromgebietes im allgemeinen zu schildern.

Für alle diese Darstellungen müssen die Karten die wichtigste Grundlage bilden. Das aus ihnen entnommene Bild muß aber auch durch tatsächliche Beobachtungen an Ort und Stelle ergänzt werden. Von dem Geographen sind daher wie vom Hydrotechniker Strombereisungen zu fordern.

Bei der Benutzung der Karte ist vorauszusetzen, dass diese die hydrographischen Verhältnisse auch klar und richtig zur Anschauung bringt. Das ist leider nicht immer der Fall. Die Karten müssen deshalb nach dieser Seite zunächst geprüft und wenn möglich verbessert werden. Vielfach wird es sich als erste Aufgabe der geographischen Bearbeitung empfehlen, eine völlig neue hydrographische Karte zu entwerfen. Auf ihr sind die Eigenschaften der Flüsse zur Anschauung zu bringen. Dem Kartographen eröffnet sich hier noch ein weites Arbeitsfeld. Anfänge zu derartigen hydrographischen Karten sind schon mehrfach gemacht, aber eine völlig befriedigende Darstellung der hydrographischen Verhältnisse der Erde liegt noch nicht vor. Auch Penck stellt in dem oben erwähnten Aufsätze die Forderung, dass die kartographische Darstellung der fließenden Gewässer noch wesentlich verbessert werden müsse. Selbst bei der Wiedergabe kleinerer Stromgebiete sind bereits zahlreiche Erscheinungen zum Ausdruck zu bringen, die in den bisherigen Karten völlig unbeachtet geblieben sind, so die Stellung eines Flusses zum Hauptfluss, seine Schiff- oder Flößbarkeit, sein Gefälle u. s. w. Nach einheitlichen Verfahren gezeichnete hydrographische Karten dürften schon bei dem bloßen Vergleiche miteinander eine Menge wertvoller geographischer Thatsachen lehren.

Die oben geforderte Beschreibung eines Flusses bedarf dann weiter auch der ziffermäßigen Belege. Es ist vor allem die Stromlänge zu ermitteln. Dazu bedient man sich der sogenannten Curvimeter. Gegen die Anwendung dieser sind wiederholt Bedenken erhoben worden, die wir jedoch nicht als durchaus berechtigt anerkennen können.<sup>1)</sup> Man hat namentlich darauf hingewiesen, dass durch die Deformationen infolge der Projection auf der Karte schon große Fehler sich einstellen müssen. Dieser Einwand ist nur dann begründet, wenn Karten kleineren Maßstabes benutzt werden, etwa unter 1 : 100 000. Das muß aber im Interesse der Genauigkeit der ganzen Beschreibung eines Flusslaufes überhaupt vermieden werden. Auf Karten großen

---

<sup>1)</sup> Rohrbach, Zur mathematischen Behandlung geographischer Probleme. (Richt-hofen-Festschrift. Berlin 1893).

Maßstabes fallen die Deformationen ganz fort oder werden so klein, dass sie ohne Bedenken vernachlässigt werden können. Ferner hat man das Verfahren der Curvenmessung an sich für nicht hinreichend genau erklärt. Die Fehler der Befahrung der Curve mit dem Instrument sollen sich stetig summieren. Das ist jedoch in Wahrheit nicht der Fall. Man wird durch seitliches Abweichen den Curvenweg ebenso oft abkürzen wie ihn verlängern. Ueberdies können bei einiger Sorgfalt die Fehler der Befahrung überhaupt auf ein Minimum herabgedrückt werden. Schließlich ist auch geäußert worden, dass die Längen der Flussläufe je nach dem Maßstabe der Karte wesentlich verschieden ausfallen müssten, da die bei kleinerem Maßstabe nothwendigen Generalisierungen den Lauf verkürzen. Auch gegen diese Behauptung spricht die praktische Erfahrung. Versuche des Verfassers haben gezeigt, dass die Ergebnisse der Curvimetrierung bei Karten verschiedenen Maßstabes keineswegs sehr abweichende Resultate liefern.<sup>1)</sup> Es leuchtet ja auch ein, dass bei Generalisierungen die Krümmungen der Curven ebenso oft vergrößert wie verkleinert werden.

Die Ermittlung der Stromlänge soll sich nun nicht bloß auf den gesammten Strom erstrecken, sondern auch einzelne Theile dieses berücksichtigen, so die Längen von Zufluss zu Zufluss, dann diejenige innerhalb gleichartiger Gebiete u. s. w. In solchen Zahlenwerten sprechen sich oft Gesetzmäßigkeiten aus. Neben der Stromlänge des Hauptflusses sind auch die der Nebenflüsse zu bestimmen, um diese in Vergleich setzen zu können zu der Stromlänge des Hauptflusses bis zur Mündung des Nebenflusses. Es wird auch darin manche Eigenart der Natur des Stromsystems zum Ausdruck kommen.

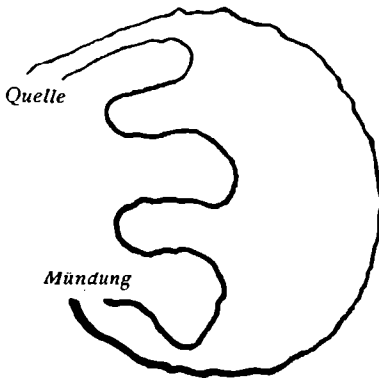


Fig. 1. Verschiedene Stromentwicklung bei gleicher Stromlänge und gleichem Abstand Quelle—Mündung

Die größere oder geringere Krümmung eines Flusslaufes nennt man seine Stromentwicklung. Man hat sich bemüht, diese in Zahlenwerten anzugeben. Bezeichnet  $l$  die Stromlänge und  $a$  die gerade Entfernung der Quelle von der Mündung, so ist die Stromentwicklung  $s = \frac{l}{a}$ .

Dieser Ausdruck gibt an, wievielmals ein Strom länger ist, als er überhaupt bei völlig geradlinigem Verlaufe sein könnte. Es leuchtet ohne weiteres ein, dass damit nur eine ganz bestimmte Eigenschaft eines Flusses gekennzeichnet wird. Ein Fluss, der unter steter, aber gleichsinniger Krümmung von der Quelle bis zur Mündung einen großen Bogen beschreibt, hat dann die gleiche Stromentwicklung wie ein Fluss, der sich in ununterbrochen wechselnden Windungen direct der Mündung zuwendet (Fig. 1). Es

<sup>1)</sup> Der Würmsee in Oberbayern. (Wissenschaftliche Veröffentl. des Vereines für Erdkunde zu Leipzig. V. Bd. Leipzig 1901. S. 50.)

wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein, für die Stromentwicklung eine schärfere Definition aufzustellen. Freilich fragt es sich noch, ob dies überhaupt möglich und nöthig ist. Man hat es hier mit ähnlichen Schwierigkeiten zu thun wie bei der Definition des Begriffes Küstenentwicklung, die ja ebenfalls noch nicht in befriedigender Form gegeben ist. Dass in der Art der Stromentwicklung ein wichtiges geographisches Moment enthalten ist, darüber dürfte wohl kaum ein Zweifel bestehen. Denn die Wasserführung, die Schiffbarkeit, die Verkehrsentwicklung, die Erosionswirkung und eine Menge anderer Erscheinungen stehen damit in engem Zusammenhange. (S. Anm. S. 22).

Da durch die Stromentwicklung oft auch die Gestalt des Stromgebietes bestimmt wird, so wird es sich empfehlen, beide auch rechnerisch in Beziehung zu setzen, also etwa das Verhältnis der Stromlänge zu der Fläche des Stromgebietes zu ermitteln. Die genaue Ausmessung dieses ist daher eine weitere Aufgabe der geographischen Forschung an Flüssen.

Die Fläche eines Stromgebietes bestimmt man mit Hilfe eines Planimeters. Die Ausführung der planimetrischen Vermessung setzt aber die genaue Kenntnis der Grenzen des Flussareales, also der Wasserscheiden, voraus. Diese müssen zuvor sorgfältig festgelegt werden. Es genügt hierfür keineswegs die einfache Deutung der Karten, sondern vielfach können nur eingehende Untersuchungen an Ort und Stelle Klarheit über den Verlauf der Wasserscheiden geben. Hierbei sind auch die geologischen Verhältnisse zurathe zu ziehen. Einmal wird zuweilen die orographische Unsicherheit im Verlaufe der Wasserscheide durch den geologischen Bau des Bodens gehoben werden können, sodann wird umgekehrt aber auch eine orographisch scharfe Grenze durch die geologische Zusammensetzung des scheidenden Rückens in Frage gestellt werden.

Sind nach Festlegung der Wasserscheiden die Stromareale vermessen, so vermögen wir die Gestalt des Stromgebietes auch rechnerisch darzustellen. Durch das Verhältnis der Lauflänge  $l$  des Flusses zu der Fläche  $F$  des Stromgebietes bekommen wir zunächst einen Wert für die Eigenart der Stromentwicklung innerhalb seiner Wasserscheiden. Weiter kommt dann der Gestalt des Stromgebietes für die geographische Betrachtung eine gewisse Bedeutung zu. Sie ist für die Art der Wasserführung und unter anderem auch für die Brauchbarkeit des Flusses im Verkehre von entscheidendem Werte. Die Gestalt des Stromgebietes findet ihren Ausdruck namentlich in der mittleren Breite des Stromgebietes. Man erhält sie aus dem Verhältnisse des Abstandes Quelle—Mündung  $L$  zu der Fläche  $F$ .

Für die Wasserführung haben diese Werte insofern eine besondere Bedeutung, als sie die Art der Entwässerung veranschaulichen. In einem langgestreckten Stromgebiete vertheilen sich die Niederschläge und die Zuflüsse mehr (Fig. 2) als in einem etwa kreisrunden Gebiete, in dem sich der Abfluss des Regen- und Quellwassers gleichsam auf einen Punkt concentrirt (Fig. 3).

Bei dem Ablauf des Regenwassers spielen auch die orographischen Verhältnisse des Stromgebietes und namentlich die Gestalt des Stromthales eine große Rolle. Ein breites Stromthal, in dem sich größere Regenmengen gewissermaßen verlaufen können, bedingt einen ganz anderen Abfluss als

ein schmales. Deshalb sind auch Angaben über die Gestalt des Stromthales in die Darstellung des Flusslaufes aufzunehmen. Man kann sie unmittelbar nach ihrer Breite bestimmen, oder man kann das Verhältnis der Breite der Thalsole zu der des Flusses bei Mittelwasser oder endlich das Verhältnis der Breite der Thalsole zu ihrer Länge ermitteln. Als Thalsole hat dabei das Gebiet zu gelten, das nachweislich von dem Flusse berührt wird. Einmal geben hierüber die Flussotter, sodann aber auch die Hochwässer Aufschluss. Von der Breite der Thalsole hängt auch die Größe der Flusswindungen ab; diese vermindert sich in den Verengerungen jener. Es sind daher auch die Beziehungen zwischen Intensität der Flusswindungen und der Thalsolebreite festzustellen. Gerade diese charakterisieren oft außerordentlich die geographische Eigenart eines Flusses.

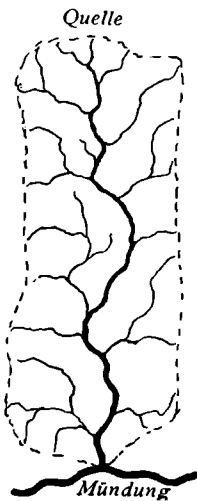


Fig. 2. Entwässerung in einem langgestreckten Stromgebiet

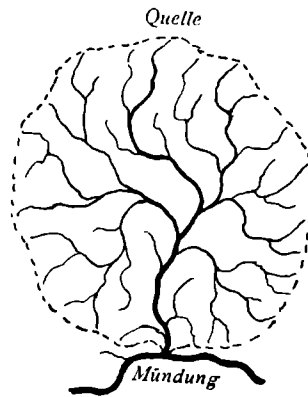


Fig. 3. Entwässerung in einem annähernd kreisrunden Stromgebiet

Durch den ganzen Verlauf eines Flusses, namentlich durch die Zahl und Größe seiner Krümmungen wird überhaupt die Art des Abflusses wesentlich bestimmt. Je länger der Lauf von der Quelle bis zur Mündung, umso langsamer erfolgt bei gleichen Niveauunterschieden beider Punkte der Abfluss, denn umso geringer ist das Gefälle. Ueber dieses sind darum ebenfalls Angaben zu machen. Namentlich ist das Gefälle für einzelne Abschnitte des Flusslaufes zu ermitteln. Wir erkennen daraus, ob wir es noch mit einem reißenden Gebirgsfluss oder einem trägen Flachlandfluss zu thun haben. Zu dem Gefälle und der dadurch bedingten Stromgeschwindigkeit haben eine Menge Erscheinungen des Flusses, die gerade geographisch von Interesse sind, Beziehungen, so die Schifffahrt, die Benutzung der Wasserkraft für industrielle Unternehmungen, die Beständigkeit des Flussbettes und Aehnliches.

Innerhalb eines Stromgebietes sind die fließenden Gewässer sehr ungleich vertheilt, das Flussnetz ist bald mehr, bald weniger dicht. Da gerade darin wieder viele geographische Eigenthümlichkeiten eines Landes begründet sind,



so hat man auch diese Dichte des Flussnetzes ziffermäßig darzustellen versucht. Wir stoßen hier auf ein ähnliches Problem, wie es uns die Eisenbahnen bieten. Es ist ein schwer zu lösendes Problem, die Schwierigkeit liegt in dem Umstande, dass hier eine lineare Größe und eine Fläche zu einander treten, was sich nicht unmittelbar durch ein Verhältnis wiedergeben lässt. Mit der Bestimmung der Flächengröße, die auf 1 km Flusslauf fällt oder umgekehrt, ist die Art der Stromvertheilung noch nicht genügend zum Ausdruck gebracht, wenn sie auch, wie die Arbeit von L. Neumann über die Dichte des Flussnetzes im Schwarzwalde zeigt, uns schon manchen Einblick in die Vertheilung des fließenden Wassers in einem Lande gewährt.<sup>1)</sup>

Zu beachten ist hier der Versuch der Darstellung der Dichte des Eisenbahnnetzes eines Landes, der von Henkel und Böttcher ausgeführt ist.<sup>2)</sup> Auf Flüsse übertragen lautet das Verfahren der Berechnung folgendermaßen: «Man denke sich die Fläche eines Stromgebietes in quadratische Form gebracht und diese zerschnitten in quadratische Felder, durch deren Mitte rechtwinklig sich schneidende Linien gezogen werden. Die Länge dieser Linien soll gleich der Gesamtlänge der Flüsse sein. Die Breite der einzelnen Felder gibt dann die Maschenweite des Flussnetzes» (Fig. 4).

Böttcher hat diese auch durch eine Formel ausgedrückt. Ist  $L$  die Länge der Flüsse und  $F$  die Flächengröße des Stromgebietes, so ist die Maschenweite

$$\zeta = F : \frac{l}{2} L = \frac{2F}{L}.$$

Mit Hilfe dieser Formel kann man für jedes beliebig begrenzte, also auch für jedes politische Gebiet die Dichte des Flussnetzes berechnen. Berücksichtigen wir dann noch die schiffbaren Strecken der Flüsse besonders, so erhalten wir auch einen bestimmten Wert für die Dichte der Wasserstraßen in einem Lande, was für anthropogeographische Betrachtungen von großer Bedeutung wäre.

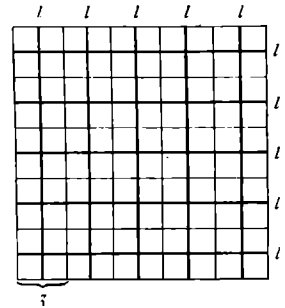


Fig. 4. Dichte des Flussnetzes

$\zeta$  = Maschenweite,  
 $l$  = Länge sämtlicher Flüsse

## 2. DER WASSERHAUSHALT DER RINNENDEN GEWÄSSER

Verlauf, Gestalt und Größe eines Flusses werden wesentlich beeinflusst durch die Menge des Wassers, das durch ihn thalabwärts sich bewegt. Diese Wassermenge ist auch an sich schon eine äußerst wichtige geographische Erscheinung. Ihre Ermittlung gehört daher zu den ersten Aufgaben geographischer Forschung an Flüssen.

<sup>1)</sup> L. Neumann, Die Dichte des Flussnetzes im Schwarzwalde. (Gerland's Beiträge zur Geophysik. IV. Bd. Leipzig 1900).

<sup>2)</sup> L. Henkel, Berechnung der Dichte des Eisenbahnnetzes. — Böttcher, Maß für die Dichte der Eisenbahnnetze. (Hettner's Geogr. Zeitschr., 6. Jahrgang 1900.)

Bei dieser Untersuchung handelt es sich sowohl um die Feststellung der Herkunft des Wassers wie um die seiner Fortführung. Man fasst beides zweckmäßig unter dem Begriff des Wasserhaushaltes eines Flusses zusammen; denn es gilt in der That hierbei, den Ausweis über Einnahme und Ausgabe zu liefern.

Der Ursprung des Wassers in einem Strome ist ein zweifacher. Jeder Fluss geht einmal aus einer mehr oder weniger beständigen Quelle hervor und wird sodann unmittelbar von dem Regenwasser gespeist.

Die Untersuchung der Quellen hat sich namentlich mit dem Wasserreichtume und mit dem Ursprunge dieser zu beschäftigen. Hier berührt sich das Forschungsgebiet eng mit dem der Geologie. Der geologische Bau des Bodens wird oft allein Aufschluss geben können über die Ursache der Quellenbildung. Ob wir es mit einer absteigenden oder aufsteigenden Quelle zu thun haben, darüber kann, wie bekannt, die Temperatur des Wassers Klarheit bringen. Zuweilen wird auch die chemische Beschaffenheit des Wassers für die Frage nach dem Ursprung entscheidend sein.

In den hohen, von ewigem Schnee bedeckten Gebirgen wurzeln die Quellen vielfach in den Gletschern. Sie führen im allgemeinen beständig Wasser; das Wasser fließt aber in ihnen um so reichlicher, je stärker die Ablation auf dem Gletscher vor sich geht, also im Sommer. Flüsse, die aus Gletscherbächen hervorgehen, haben daher jahraus jahrein einen ziemlich gleichen Wasserstand; die Abnahme der Wassermenge im Sommer unter der größeren Verdunstung wird durch die Zunahme des Ablationswassers des Gletschers wieder aufgehoben. Unser deutscher Rhein kann als ein treffendes Beispiel dafür angeführt werden.

An die Stelle der Gletscher treten in den Mittelgebirgen die Moore. Diese sind hier die Quellenspeicher; sie gleichen Schwämmen, aus denen nur dann Wasser abläuft, wenn sie übervoll sind, die aber andererseits das Wasser auch dann noch halten, wenn alle Regenrinnsale und Regenquellbäche versiegt sind. Auf das Vorhandensein von Mooren ist der Wasserreichtum vieler unserer mitteldeutschen Gebirge, z. B. des Harzes, zurückzuführen.

Eine weitere Wasserzuführung erhalten die Flüsse endlich durch das Grundwasser. Ueber den Stand und die Bewegung dieses sind daher ebenfalls Untersuchungen anzustellen. Die ersten Anfänge dazu hat Soyka in seiner bekannten Abhandlung über die Schwankungen des Grundwasserstandes gemacht.<sup>1)</sup> Aber es bedarf im Interesse gerade der geographischen Forschung hier noch weiterer eingehender Studien. In dem ganzen Bereiche eines Stromgebietes kommt dem Grundwasser vermuthlich eine viel größere Bedeutung zu, als man bisher angenommen hat. Namentlich dürfte auch der Grundwasserstrom, der neben dem offenen Flusslaufe in der Thalaue fließt, bei den Berechnungen über den Wasserhaushalt eines Stromgebietes volle Beachtung verdienen.

<sup>1)</sup> J. Soyka, Die Schwankungen des Grundwasserstandes. (Penck's Geogr. Abhandl., II. Bd., 3. Heft. Wien 1888).

Dieser Frage nach dem Ursprunge der Flüsse, die doch auch geographisch von größter Wichtigkeit ist, hat man bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Und doch erfolgt die Speisung der Flüsse zu Zeiten großen Regenmangels oft nur ganz allein noch durch Quelle und Grundwasser. Je reichlicher diese fließen, umso weniger vermögen ungünstige Witterungszustände den Wasserstand zu beeinflussen. Bei Flussregulierungen sollte man dies berücksichtigen und bei Flüssen, die wenig durch Grundwasser und Quellen gespeist werden, auf Aenderung dieser Verhältnisse bedacht sein.

An den meisten Flüssen tritt freilich die Speisung unmittelbar durch den Niederschlag in den Vordergrund; sie ist es namentlich, die die Störungen der normalen Wasserführung hervorruft.

Um eine sichere Grundlage für die Untersuchung des Antheiles des Regens an der Wasserführung zu schaffen, müssen zunächst die klimatischen Verhältnisse des Stromgebietes festgestellt werden. Von den meteorologischen Erscheinungen sind hier von besonderer Wichtigkeit: die Lufttemperatur, der Wind, die Luftfeuchtigkeit und der Niederschlag. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind bestimmen die Größe der Verdunstung, die im Wasserhaushalte eine entscheidende Bedeutung einnimmt.

Leider vermögen wir die Größe der Verdunstung des Wassers nicht direct zu messen. Die Verdunstungsmesser oder Evaporimeter geben uns nur den Betrag der Verdunstung des Wassers unter den im Instrumente gegebenen Bedingungen, die aber den natürlichen Verhältnissen im Boden durchaus nicht entsprechen. Wir erfahren aus ihnen allerdings auch den relativen Grad der Verdunstung an verschiedenen Tagen und Orten und können außerdem die Abhängigkeit der Verdunstung von Temperatur, Wind und Feuchtigkeit aus ihnen ableiten, jedoch zur Bestimmung der absoluten Verdunstungsmenge des Regenwassers sind sie nicht zu verwerten. Hier könnten nur Untersuchungen, wie sie Eser vorgenommen hat, zu einem brauchbaren Ergebnis führen.<sup>1)</sup>

Für die Beurtheilung der relativen Größe der Verdunstung in einem Lande kann uns aber ein anderer klimatischer Factor eine zuverlässige Grundlage liefern. Es ist dies die sogenannte Psychrometerdifferenz, also der Unterschied zwischen dem Stande der Thermometer mit trockener und mit befeuchteter Quecksilberkugel. Bei seinen Untersuchungen über den Wasserhaushalt im Saalegebiete hat der Verfasser bereits die Bedeutung der Psychrometerdifferenz erkannt und auch mit Erfolg sie zur Berechnung der Verdunstungsgröße verwertet.<sup>2)</sup> Jetzt hat Schwalbe den Gegenstand wieder von neuem untersucht und ist ebenfalls zu dem wichtigen Resultate gelangt, dass die psychrometrische Differenz thatsächlich ein relatives Maß der Verdunstung ist.<sup>3)</sup> An Orten, an welchen die Verdunstung groß ist, ist auch

<sup>1)</sup> C. Eser, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Verdunstungsvermögen. (Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. VII. Heidelberg 1884.)

<sup>2)</sup> Zur Beurtheilung der Evaporationskraft eines Klimas. (Meteorol. Zeitschr. 1891.)

<sup>3)</sup> G. Schwalbe, Ueber die Darstellung des jährlichen Ganges der Verdunstung. (Meteorol. Zeitschr. 1902.)

die Differenz groß, und umgekehrt. Bei Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flüsse wird man diese Thatsache später zu beachten haben.

Der für das Wasserregime wichtigste klimatische Factor ist natürlich der Niederschlag. Dieser bedingt je nach Menge und Vertheilung in erster Linie die Wasserführung in den Flüssen. Bei der Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse ist vor allem auf die Regenhäufigkeit das Augenmerk zu richten. Ob Regen- oder Trockenperioden wechseln, oder ob der Regen gleichmäßig zu allen Zeiten des Jahres fällt, ferner ob er in Form sogenannter Landregen oder als plötzlicher Guss auftritt, das ist für den Abfluss außerordentlich entscheidend. Je nach dem regelt sich auch der Grad der Verdunstung.

Auch die Dauer der winterlichen Schneedecke ist von Belang. Während des Vorhandenseins einer solchen hört einmal der directe Wasserabfluss nahezu ganz auf, sodann aber sind auch die Bedingungen für die Verdunstung und für die Durchfeuchtung des Bodens völlig andere. Der Landwirt kennt diese Wirkung einer Schneedecke; er weiß, dass nur ein schneereicher Winter dem Boden im Frühjahr die rechte Nässe verleiht.

Auch die räumliche Ausdehnung des Niederschlages ist eingehend zu untersuchen. Die Wasserzufuhr zu einem Strome ist eine ganz andere, wenn über das gesammte Entwässerungsgebiet gleichzeitig Regen niederfällt, als wenn nur ein Theil davon Niederschlag bekommt.

Die Untersuchung darf sich schließlich nicht allein auf den Niederschlag als Regen oder Schnee beschränken, sondern muß auch den Thaufall berücksichtigen. Dieser wird zwar im allgemeinen selten die Quellen und Bäche wirklich speisen, er wird aber oft die Verdunstung des Wassers im Boden erheblich vermindern. Messungen über den absoluten Betrag des Niederschlages als Thau sind bis jetzt noch kaum ausgeführt; die Ergebnisse dieser würden jedoch zweifellos von geographischem Interesse sein, da vielfach gerade der Thaufall ein wichtiges klimatisches Element ist, das im Wasserhaushalt eines Flussgebietes recht gut eine große Rolle zu spielen vermag.<sup>1)</sup>

Der Abfluss des Niederschlages wird nun weiter beeinflusst von den orographischen und nicht minder von den geologischen Verhältnissen.

Die Bodengestalt kann den Abfluss beschleunigen und ihn verlangsamen. In hügeligem oder gebirgigem Terrain bewegt sich das Wasser schnell zur tiefsten Thalfurche, in ebenem Gelände bleibt es zuweilen ganz stehen und fällt dann der Verdunstung zum Opfer, sodass es überhaupt nicht mehr dem Flusse zur Speisung dient. Wo sich die Thäler in breite Flachländer einsenken, haben wir darum einen ganz anderen Abfluss, als dort, wo die Wasserscheiden auf der schmalen Kammlinie der die Thäler begleitenden Erhebungen hinlaufen. Gerade hierbei kommt auch die Gestalt des Stromgebietes in Betracht, weil der Einfluss der orographischen Verhältnisse sich vermindert oder vermehrt, je nachdem die Hauptentwässerungsader sich durch ein langgestrecktes oder ein breit ausgedehntes Gebiet bewegt. Bei gleicher Boden-

<sup>1)</sup> W. Ule, Zur Hydrographie der Saale. (Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, X. Bd., 1. Heft, S. 39.) Stuttgart 1896.

gestalt wird in ersterem der Abfluss immer rascher erfolgen als in letzterem, wo die Zuflüsse erst nach längerer Zeit dem Hauptstrome das Regenwasser zuführen.

Von den geologischen Verhältnissen hängt der Wasserabfluss insoferne ab, als einmal durch den Aufbau der Gesteinsschichten dem Regenwasser der Weg in die Tiefe versperrt oder geöffnet wird, sowie als durch die Beschaffenheit der Gesteine der Boden eine verschiedene Wasserdurchlässigkeit besitzt. Geschichtete Gesteine und massige Gesteine bilden da die schärfsten Gegensätze. Als besonders wasserdurchlässig gelten Kalkgesteine; im Bereiche dieser vollzieht sich oft die ganze Wasserbewegung unterirdisch. Von Bedeutung ist hierbei namentlich die Beschaffenheit der obersten Bodenschicht; ist diese sehr wasserdurchlässig, so dringt ein Theil des Regenwassers sofort in den Boden ein und entgeht damit der unmittelbaren Verdunstung. Die Wasserdurchlässigkeit und Aufnahmefähigkeit ändert sich auch je nach den Witterungszuständen. Nach langen Trockenperioden dringt bei weitem mehr Wasser in den Boden ein, als wenn dieser unter andauerndem Regen stark durchfeuchtet ist. Alle diese Zustände sind für die einzelnen Strecken eines Stromgebietes genau festzustellen.

Schließlich wirkt auch die Vegetation noch auf den Abfluss des Regenwassers erheblich ein. Auch über diese sind daher sorgfältige Aufnahmen auszuführen. Wir lernten oben bereits die Moore als Quellbecken kennen. Waldungen wirken ähnlich; sie behindern den Abfluss und vermindern ihn gleichzeitig, indem ein Theil des Wassers in den Bäumen aufgespeichert und ein anderer Theil durch den Lebensprocess wieder in die Luft zurückgeführt wird, sie erhalten andererseits aber auch die Bodenfeuchtigkeit, sodass im Walde vermuthlich die Quellen stetiger fließen als außerhalb.

In neuerer Zeit ist die Bedeutung aller dieser Factoren bestritten oder wenigstens stark herabgesetzt worden. Nach Penck soll sich der Abfluss in erster Linie nach der Menge des Niederschlages und der Größe der Verdunstung regeln, Bodenbeschaffenheit und Vegetation sollen im Vergleich dazu nur eine untergeordnete Rolle spielen.<sup>1)</sup> Penck's Anschauung widerspricht aber der Ansicht der meisten Hydrotechniker, sie ist auch zur Zeit noch nicht von anderer Seite allgemein bestätigt worden. Dagegen glauben Schreiber, v. Tein, der Verfasser und andere auch thatsächliche Beweise dafür erbracht zu haben, dass wenigstens die vegetativen Verhältnisse unzweifelhaft den Abfluß des Regenwassers beeinflussen. An der Saale, im Main und auch in der böhmischen Elbe zeigt sich zwischen den sommerlichen und winterlichen Abflussverhältnissen ein so großer Unterschied, dass er durch die meteorologischen Zustände allein nicht mehr erklärt werden kann. Während durch die Saale in der Zeit von November bis April annähernd 50% der Niederschlagsmenge abfließen, erreicht in den Sommermonaten Mai bis

---

<sup>1)</sup> A. Penck, Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von größeren Landflächen. (Penck's Geogr. Abhandl.; V. Bd., 5. Heft. Wien 1896.) — Derselbe, Die Flusskunde als ein Zweig u. s. w. S. a. a. O. — Derselbe, Ueber die einheitliche Pflege der Hydrographie der Verbandsländer. (Deutsch-Oesterr.-Ung. Verband für Binnenschifffahrt. Verbandsschriften Nr. XIX. Berlin 1897).

October der Wasserabfluss nur 17<sup>o</sup>/<sub>o</sub>. Bedenkt man, dass gleichzeitig der Niederschlag vom Winter zum Sommer sich etwa um 50<sup>o</sup>/<sub>o</sub> vermehrt, so ist in der That der Verlust an Wasser auch absolut ein so bedeutender, wie er durch die gleichzeitig zunehmende Verdunstung nicht hervorgebracht werden kann. v. Tein hat für den Main ähnliche Resultate erhalten.<sup>1)</sup>

Der Niederschlag bedingt in den Flüssen auch den Wasserstand. Dieser muß daher ebenfalls in den Bereich der geographischen Forschung einbezogen werden. Es kommt aber hiebei weniger auf die Höhe des Niederschlages an sich als vielmehr auf die Veränderung dieser und vor allem auf die Ergründung der Ursache solcher Wasserstandsänderungen an. Die Kenntnis des Höchst-, Mittel- und Niedrigstwassers mag für den Techniker, die des periodischen Verlaufes der Schwankungen für den Meteorologen Wert haben, für den Geographen ist nur die Art und die Ursache dieser von Interesse, da nur in ihnen die allgemeinen geographischen Zustände zur Geltung gelangen. Auf Grund dieser Thatsache hat Woeikof eine Classification der Flüsse gegeben, die in erster Linie die Wasserstände berücksichtigt.<sup>2)</sup> Ein weiterer Ausbau dieses wertvollen Versuches, klimatisch-geographische Flusstypen aufzustellen, ist gewiss erwünscht (S. Anm. S. 22).

Der Verlauf der Wasserstandsänderungen gestattet weiter auch Schlüsse zu ziehen auf die Schnelligkeit des Abflusses. So zeigen die Wasserstände nach starken Niederschlägen, wann und wie lange diese den Wasserstand beeinflussen. Für die Bestimmung der unmittelbaren Beziehungen der Wasserführung zu den Niederschlägen ist die Kenntnis dieser Zeitdauer, wie wir später sehen werden, von großer Bedeutung.

Die Wasserstände sind thunlichst an mehreren Stellen des Flusses zu untersuchen. Dadurch gewinnt man ein Bild von dem Antheile der einzelnen Strecken des Stromgebietes an der Wasserführung. Für den Rhein liegen mehrere Arbeiten darüber vor, aus denen unter anderem deutlich z. B. die Einwirkung der Hochwässer der Nebenflüsse auf den Wasserstand im Hauptflusse hervorgeht.

Die Wasserstände geben uns nun zwar Aufschluss über die Zu- und Abnahme der Speisung eines Flusses, jedoch nur der Qualität, nicht der Quantität nach. Im allgemeinen gehen natürlich durch ein Profil des Flussbettes umso mehr Wassermassen, je höher das Wasser steht. Aber die Wassermenge ist keineswegs direct dem Wasserstande proportional. Selbst gleichen Wasserständen entsprechen nach Untersuchungen des Verfassers an der Saale nicht immer gleiche Wassermengen; sie sind verschieden, je nachdem das Wasser im Steigen oder Fallen begriffen ist.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> P. Schreiber, Beiträge zur meteorologischen Hydrographie der Elbe. (Abhandl. des königl. sächs. meteorol. Institutes. Leipzig 1897.) — M. v. Tein, Das Maingebiet. (Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. VI. Berlin 1901.) — W. Ule, Zur Hydrographie der Saale. (Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, X. Bd. Stuttgart 1896.)

<sup>2)</sup> A. Woeikof, Die Klimate der Erde, I. Bd., S. 39. Jena 1887.

<sup>3)</sup> Ueber die Beziehungen zwischen dem Wasserstande eines Stromes, der Wasserführung desselben und der Niederschlagshöhe im zugehörigen Stromgebiete. (Meteorol. Zeitschr. 1890).

Die Beziehungen zwischen Pegelstand und Wassermenge sind mehrfach Gegenstand eingehender Untersuchung gewesen. Für die mittlere Abflussmenge hat Bindemann folgenden Satz aufgestellt: «Die mittlere Abflussmenge ist stets größer als die Abflussmenge bei Mittelwasser, wenn in dem betreffenden Querschnitte des Wasserlaufes die Zunahme der Wassermenge mit steigender Wasserstandshöhe wächst; sie ist kleiner, wenn die Zunahme der Wassermenge mit steigender Höhe sich vermindert; die mittlere Wassermenge ist gleich der Wassermenge bei Mittelwasser, wenn die Wassermenge proportional der Wasserstandshöhe wächst.»<sup>1)</sup> Da die beiden letzteren Fälle wohl im allgemeinen in der Natur selten eintreten, so ist es auf Grund dieses Resultates der Untersuchung von Bindemann rathsam, die Wasserführung in einem Strome stets nach der aus directen Messungen gewonnenen Wassermenge zu beurtheilen. In der Saale erwies sich, wie die beigefügten Curven (Fig. 5) zeigen, in dem Zeitraume von 1872—1886 die Wassermenge nach den täglichen Pegelständen, also die mittlere Abflussmenge, constant größer als die Wassermenge aus dem mittleren Pegelstande des Jahres, d. i. die Abfluss-

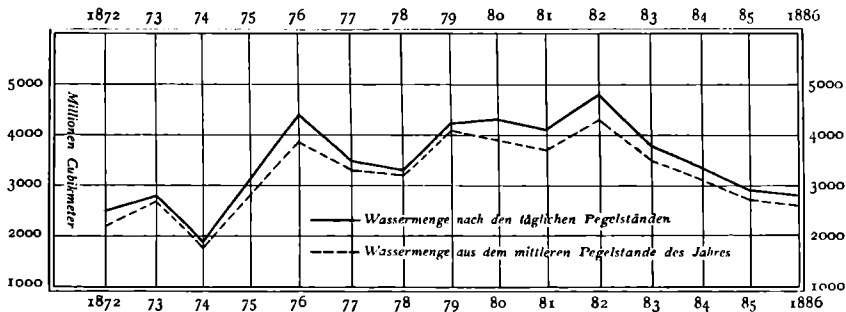


Fig. 5

menge bei Mittelwasser. Hier bestand also immer der erste Zustand, bei dem die Zunahme der Wassermenge mit steigendem Wasserstande wächst. Es dürfte das thatsächlich der allgemein herrschende Fall sein.

Für die Ermittlung der Wassermenge hat man auf Grund der Gesetze der Wasserbewegung Formeln entwickelt, die uns aus dem Querschnitte des Flussbettes und dem Gefälle die Wassermenge zu berechnen gestatten. Ueber die Brauchbarkeit dieser Formeln gehen die Ansichten noch weit auseinander. Sicher liefern sie nur dann annähernd richtige Resultate, wenn der Fluss gewissermaßen eine normale Ausbildung erhalten hat, so dass die Bewegung des Wassers gleichsam nach den für die Aufstellung der Formel gemachten Voraussetzungen erfolgt. Das wird in Wirklichkeit nur selten der Fall sein, weshalb immer noch die Wassermenge am besten direct aus der Stromgeschwindigkeit, die mit Hilfe von geeigneten Instrumenten zu messen ist, berechnet wird.

<sup>1)</sup> H. Bindemann, Ueber die Abweichung zwischen der mittleren Abflussmenge und der Abflussmenge bei Mittelwasser. (Centralblatt der Bauverwaltung 1898.)

Für die Messung der Stromgeschwindigkeit benutzt man meist Schwimmer oder hydrometrische Flügel. Da die Geschwindigkeit an den einzelnen Punkten eines Profiles keineswegs gleich ist, so müssen die Messungen möglichst an mehreren Punkten des Profiles, die gleichmäßig über die ganze Profillfläche zu vertheilen sind, vorgenommen werden. Man hat auch hier versucht, Formeln zu gewinnen, welche erlauben, aus einer einzigen Stromgeschwindigkeitsmessung an einem bestimmten Orte des Querprofiles die mittlere Geschwindigkeit der Wasserbewegung des ganzen Querschnittes zu ermitteln. Indes auch hier dürfte der directen Messung noch der Vorzug zu geben sein.

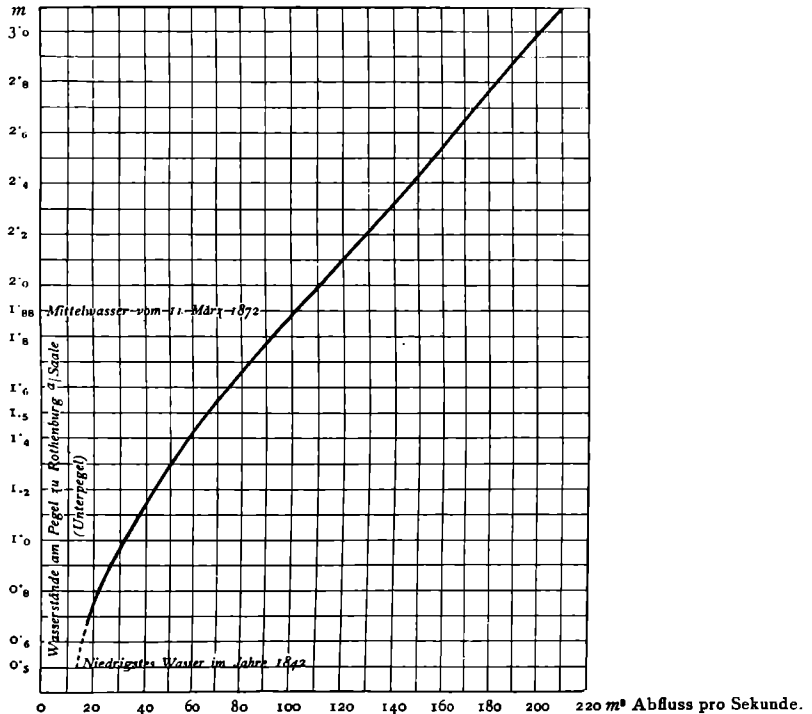


Fig. 6. Wassermengencurve für die Saale bei Rothenburg unterhalb Halle

Diese Arbeiten sind wieder an mehreren Stellen des Stromgebietes vorzunehmen, namentlich an allen größeren Nebenflüssen, deren Bedeutung für die Wasserführung im Hauptstrome nur dadurch ersichtlich werden kann.

Die Stromgeschwindigkeitsbestimmungen müssen weiter auch bei möglichst verschiedenen Wasserständen ausgeführt werden. Aus den Resultaten berechnet man dann die Wassermengen für die jeweiligen Wasserstände und construirt mit Hilfe dieser eine Wassermengencurve, indem man in ein rechtwinkliges Coordinatensystem die Wassermengen als Abscissen, die Wasserstände als Ordinaten einträgt (Fig. 6). Eine solche Curve gestattet dann annähernd die Wassermenge für jeden beliebigen Wasserstand abzulesen und ermöglicht dadurch die Berechnung der Wassermenge für jedwede Zeitdauer. Denn da die Wassermenge dem Wasserstande nicht direct pro-



portional ist, darf die Wassermenge während größerer Zeiträume nicht aus dem mittleren Pegelstande, sondern muß aus den Wassermengen jedes einzelnen Pegelstandes gewonnen werden.

Die Bestimmung der Wassermenge innerhalb eines gewissen Zeitraumes gibt uns zunächst eine Grundlage für die Berechnung des Wasserhaushaltes in einem Stromgebiete; sie stellt einen Theil der Ausgabe dar. Dieser steht als Einnahme allein der Niederschlag gegenüber. Neben den Erörterungen über Höhe und Vertheilung des Niederschlages ist daher auch die Menge im gesammten Stromgebiete zu bestimmen.

Es kann das einmal auf die Weise erfolgen, dass man auf Grund möglichst vieler Regenstationen eine genaue Niederschlagskarte construiert und dann die Flächen gleichen Niederschlages planimetrisch vermisst. Das Product aus Fläche und Regenhöhe gibt die Niederschlagsmenge. Da wir diese womöglich für jeden Monat und jedes einzelne Stromgebiet berechnen müssen, so erfordert das Verfahren einen bedeutenden Aufwand an Zeit. Einfacher erscheint darum folgende Methode: Man berechnet aus den in den einzelnen Stromgebieten beobachteten Regenhöhen den Mittelwert. Das Product aus diesem und der Fläche des Stromgebietes gibt dann wieder die Regenmenge. Wir erhalten so die Niederschlagsmengen für die verschiedenen Stromgebietstheile, durch deren Vergleichung wir einen klaren Einblick in die Art der Entwässerung innerhalb der gesammten Entwässerungsfläche bekommen.

Bei dieser Berechnung der Niederschlagsmengen ist möglichst gleichwertiges Material zu benutzen, d. h. es ist darauf zu achten, dass die Niederschlagshöhen aus zeitlich gleich langen Beobachtungsreihen gewonnen sind. Interpolationen sind hier thunlichst zu vermeiden, außer wenn sie sich auf zuverlässige Voraussetzungen gründen. Bei der Mittelbildung der Regenhöhe für die einzelnen Stromgebietstheile ist die Vertheilung der Regenstationen im Verhältnisse zur Vertheilung des Niederschlages zu berücksichtigen und das Beobachtungsresultat der Bedeutung der Station entsprechend für die Mittelbildung zu verwerthen. Unter Umständen ist also eine Station auch zweimal in die Rechnung einzuführen. Die Wertung der einzelnen Beobachtungsresultate erfolgt am besten auf Grund einer sorgfältig construierten Regenkarte. Bei Beachtung dieser Vorschrift fallen auch die Bedenken, welche Penck erhoben hat, dass eine solche Bestimmung der mittleren Niederschlagshöhe zu sehr der individuellen Auffassung freien Spielraum lasse.<sup>1)</sup>

Die Niederschlagsmengen sind nun mit den Abflussmengen zu vergleichen. Dabei ist aber zu beachten, dass diese beiden Werte sich zeitlich nicht vollkommen entsprechen. Der Abfluss folgt dem Niederschlage zeitlich nach. Um wie viel, hängt von den allgemeinen geographischen Verhältnissen ab.

Die Verzögerung des Abflusses muß möglichst genau ermittelt werden. Einen Anhalt dafür gewähren, wie oben bereits erwähnt, starke Niederschläge. Aus dem Einflusse dieser auf den Wasserstand ergibt sich die Zeitdauer ihres unmittelbaren Abflusses.

---

<sup>1)</sup> A. Penck, Ueber die einheitliche Pflege der Hydrographie der Verbandsländer. (Schriften des Deutsch-Oesterr.-Ung. Verbandes für Binnenschifffahrt, Nr. XIX. Berlin 1897.)

Bei dem Vergleiche von Niederschlag und Abfluss sind dann die sich zeitlich entsprechenden Mengen neben einander zu stellen. Wirkt ein Niederschlag im allgemeinen erst nach zehn Tagen auf den Wasserstand des Stromes an der Stelle ein, wo die Wassermenge ermittelt ist, so sind also die Niederschlagsmengen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes mit den Wassermengen der um zehn Tage nachfolgenden Periode zu vergleichen.

Der Unterschied zwischen Abfluss- und Niederschlagsmenge ist der Verlust in dem Wasserhaushalte eines Stromes. Man berechnet ihn direct oder auch in Procenten des Niederschlages. Dieser Wert wird als Abflussfactor bezeichnet. Er wird bestimmt durch die Verdunstung, auf die wieder die allgemeinen orographischen und klimatischen Verhältnisse einwirken, und durch den Verbrauch des Niederschlagswassers im Haushalte der Natur, der namentlich der Entwicklung der Vegetation zufällt. Stromgebiete mit geringer Vegetation müssen daher einen anderen Abflussfactor aufweisen wie solche mit reicher Pflanzendecke. Da gerade über diesen Punkt in neuerer Zeit die Ansichten ziemlich weit auseinandergehen, so sollte in künftigen Untersuchungen des Abflussvorganges die Frage der Einwirkung der Vegetation auf den Wasserhaushalt eines Stromgebietes besonders eingehend erörtert werden.

Der Abfluss setzt sich aus dem unmittelbar abfließenden Regenwasser und dem Quell- und Grundwasser zusammen. Letzteres ist für viele Erscheinungen von großer Bedeutung. Da Quelle und Grundwasser auch nach langen Trockenperioden noch den Fluss speisen, so hängt von ihnen die dauernde Verwertbarkeit des Flusses als Schifffahrtsstraße und als Wasserkraft ab. Es ist daher eine der wichtigsten Aufgaben der geographischen Forschung an Flüssen, gerade diese mehr constante Wassermenge zu ermitteln und festzustellen, wie sie vom Niederschlage und von den übrigen Factoren beeinflusst wird.

Einen Anhalt für diese Untersuchung gibt uns die Erwägung, dass nach längeren Trockenperioden der Fluss allein noch durch Quelle und Grundwasser gespeist wird. Wirkt z. B. in einem Stromgebiete der Regen durchschnittlich zehn Tage lang auf die Wasserführung ein, so entspricht die Wassermenge im Flusse nach einer solchen Trockenperiode von zehn Tagen ungefähr der Speisung durch Quelle und Grundwasser.

Auch diese Speisung ist abhängig von den klimatischen, orographischen und geologischen Verhältnissen des Stromgebietes. Sie wird im allgemeinen umso reichlicher sein, je günstiger die Bedingungen für ein Einsickern des Regenwassers in den Boden sind. Nur in diesem Sinne darf von einer Aufspeicherung des Niederschlagswassers gesprochen werden. Sie umfasst nie längere Zeiträume, wie man vielfach angenommen hat; denn sie unterliegt genau wie das Regenwasser oberhalb des Bodens der Verdunstung. Nach den Untersuchungen von Soyka steht der Grundwasserstand in engen Beziehungen zu dem Klima, namentlich zu Regen und Verdunstung;<sup>1)</sup> er folgt dem Regen wie der Wasserstand im Flusse, nur zeitlich langsamer, aber

<sup>1)</sup> J. Soyka, Die Schwankungen des Grundwasserstandes. S. a. a. O.

doch nie so spät, dass die Beziehung zu ersterem nicht mehr zu erkennen wäre. Dasselbe dürfte für die Quellen gelten. Ihre Wasserfülle wird meist bedingt werden durch die Witterungsverhältnisse vorher. Eine Aufspeicherung von Wasser auf eine längere Zeit, etwa über eine Trockenperiode hinweg, ist nicht denkbar. Die jeweilige Wassermenge eines Flusses ist immer der Ausdruck der unmittelbar voraufgegangenen Witterung, die sowohl den Regenabfluss wie die Quell- und Grundwasserspeisung regelt.

Wertvolle Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen der Wasserführung und dem Niederschlage dürften auch Untersuchungen verheißen, wie sie M. Rykatschew für die obere Wolga ausgeführt hat. Dieser Gelehrte stellt für die Beziehungen zwischen Wasserstand und Niederschlag den Begriff «Norm» und «Uebermaß» des Niederschlages ein. Als Norm gilt diejenige Tagesmenge des Niederschlages, die hinreicht, den Wasserstand auf seiner Höhe zu erhalten. Das Mehr oder Weniger als diese Norm des Regens ist dann das positive oder negative Uebermaß des Niederschlages.<sup>1)</sup>

Der Wasserhaushalt eines Stromes setzt sich somit nach unseren obigen Ausführungen aus folgenden Posten zusammen:

a) Einnahmen; sie ergeben sich aus der Höhe der Niederschläge, also aus Regen, Schnee, Thau und Reif.

b) Ausgaben; sie fallen auf den Verlust durch Verdunstung und Verbrauch in der Natur und auf den Abfluss. Dieser besteht zu einem Theile aus dem directen Abflusse des Niederschlages, zu einem anderen Theile aus dem in den Boden abgickerten Niederschlagswasser.

Mit der Ermittlung dieser einzelnen Factoren ist die Aufgabe, welche die geographische Erforschung der Flüsse uns stellt, in Bezug auf die Wasserführung gelöst.

### 3. DIE FLÜSSE ALS GEOLOGISCHE FACTOREN

Die Untersuchung der Wasserführung in den Flüssen ist von Bedeutung auch für die Frage nach der geologischen Wirkung des fließenden Wassers. Von der Menge dieses sowie von der Stromgeschwindigkeit hängt die Transportfähigkeit von Geröll und Schlamm ab. Mit dem Transport und der Ablagerung von Gesteinsmaterial ändern sich die Formen des Thales und des Flussbettes. Beide Werte sind daher genau zu ermitteln.

Bestimmungen der Schlammmenge in Flüssen liegen zur Zeit nur wenige vor. Penck hat die vorhandenen Resultate in seiner Morphologie der Erdoberfläche zusammengestellt.<sup>2)</sup> Man erkennt aus ihnen deutlich gewisse Beziehungen der Schlammführung zu den geographischen Verhältnissen eines Stromgebietes. Weitere derartige Bestimmungen sind darum außerordentlich wünschenswert; sie sollten thunlichst an verschiedenen Punkten eines Stromes und unter Berücksichtigung der jeweiligen Niederschlagszustände vorgenommen

<sup>1)</sup> M. Rykatschew, Der Zusammenhang zwischen Wasserschwankungen und Niederschlag im Gebiete der oberen Wolga. Deutsch von H. Gravelius. Dresden 1897.

<sup>2)</sup> A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I. Bd. Stuttgart 1894.

werden. Die Schlammführung wechselt je nach den geographischen, geologischen und meteorologischen Verhältnissen. Die Thüringer Saale führt z. B. je nach dem Ursprung der Wassermassen aus den verschiedenen Theilen ihres Stromgebietes und nach der Art des Niederschlages ganz verschieden reichliche und verschieden gefärbte Schlammengen.

Die Bestimmung der Schlammmenge selbst bietet keine Schwierigkeit; man braucht nur ein abgemessenes Quantum des Flusswassers zu filtrieren und den Rückstand im Filter dann nach dem Trocknen zu wiegen.

Schwieriger ist die Ermittlung des Gesteintransportes am Grunde des Flusses, der sich unserer unmittelbaren Beobachtung entzieht. Da er auch in langsamer fließenden Gewässern vorhanden ist, was aus dem dann an der Oberfläche wahrnehmbaren Geräusch geschlossen werden muß, so sollten Untersuchungen darüber stets angestellt werden. In welcher Weise das geschehen kann, hängt von der Natur des Stromes ab und muß vermuthlich für jeden einzelnen Strom besonders erdacht werden.

Die Arbeit des fließenden Wassers steht auch in enger Beziehung zu der Bodenbeschaffenheit. Diese ist daher ebenfalls zu untersuchen. Namentlich sind die Lagerung der Gesteinsschichten und die Härte der Gesteine zu beobachten. Flusskrümmungen und Flussthälerweiterungen sind oft allein durch den geologischen Bau des Bodens zu erklären. Weiter erscheinen die Flüsse infolge ihrer Erosion als etwas Veränderliches, ihre Wasserscheiden und sie selbst verlegen sich. Auch dabei spielen geologische Verhältnisse eine wichtige Rolle. Für solche Untersuchungen bilden noch immer die Ausführungen Ferd. v. Richthofens in seinem Führer für Forschungsreisende eine gute Grundlage.<sup>1)</sup> Das 6. Capitel dieses für den praktisch forschenden Geographen unentbehrlichen Werkes behandelt «Beobachtungen über die mechanische Arbeit der fließenden Gewässer».

In dem Flussbette selbst haben wir die unmittelbare Wirkung der Wasserarbeit, der Erosion, vor uns. Es sind daher die Tiefen des Gewässers im Stromstriche, sowie überhaupt die Formen der Flussbettquerschnitte an verschiedenen Stellen des Stromes zu vermessen. Besonders bietet die Erosionswirkung im Bereiche von Stromschnellen, Wasserfällen und Stromengen großes Interesse. Hier wirkt die Wasserkraft vorwiegend vertical. Durch derartige Untersuchungen könnte die Möglichkeit der Beckenbildung durch mehr vertical bewegtes Wasser, durch Strudelung oder Evorsion, entschieden werden. Nach der Ansicht einiger Geologen sollen ja manche der norddeutschen Seen gewissermaßen ausgestrudelt sein.<sup>2)</sup> Diese Anschauung ist jedoch durch wirklich beobachtete Thatsachen noch nicht gestützt.

Der Schlamm wird den Flüssen zum Theile durch den Regen zugeführt. Dieser spült die Gehänge ab. In welchem Betrage und in welcher Form

<sup>1)</sup> F. v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886.

<sup>2)</sup> F. E. Geinitz, Ueber die Entstehung der Mecklenburgischen Seen. (Archiv 39 des Vereines der Freunde der Naturwissenschaften in Mecklenburg.) — Derselbe, Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs. Güstrow 1886. — F. Wahnschaffe, Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. (Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, VI. Bd., 1. Heft). Stuttgart, 2. Aufl., 1901.

das geschieht, muß ebenfalls Gegenstand der Untersuchung werden. Unbewachsene Gehänge zeigen die Wirkung des Regens am deutlichsten. Dabei ist dann auf die Lage der Gehänge zu der bei Niederschlag vorherrschenden Windrichtung zu achten. Je nach dieser Lage wird die Abtragung eine verschiedene sein. Es wird sich dadurch oft der Wechsel von steilem und sanftem Gehänge in einem Flussthale erklären, den man früher gern allein auf das Baer'sche Gesetz zurückführen wollte.

Auch dieses Gesetz ist bei der Untersuchung zu berücksichtigen. Aufnahmen der Flussprofile in nicht zu entfernt gelegenen Abständen würden vielleicht am ehesten über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer stärkeren einseitigen Erosion Aufschluss geben.

Wo die beiderseitigen Gehänge zusammenlaufen, also am oberen Thalende eines Baches oder Flusses, ist die Art der Abspülung von besonderer Wichtigkeit. Es handelt sich hier um die Frage, inwieweit eine solche Abtragung zur Bildung von Cirken oder Thalkesseln führen kann. Nach den Untersuchungen von Richter über die Oberflächenformen in den Hochalpen muß man der Wassererosion doch einen bedeutenden Antheil an ihrer Ausbildung zusprechen.<sup>1)</sup> Gute Beobachtungen über diesen Vorgang wird man gewiss an manchem Regenbach schon machen können.

Von der Quelle bis zur Mündung eines Stromes sind auch alle Laufveränderungen aufzunehmen und ihre Ursachen möglichst festzustellen. Die jüngstzeitlichen Aenderungen sind natürlich für diese Untersuchung am geeignetsten, weil an ihnen noch der Vorgang selbst genau verfolgt und beobachtet werden kann. Die nur aus historischen Quellen nachweisbaren Stromverlegungen haben nur dann Wert, wenn sie deutlich die allgemeinen geographischen Verhältnisse beeinflusst haben. Wichtig sind dagegen wieder Stromlaufänderungen in der geologischen Vergangenheit. Durch sie kann die ursprüngliche Entwässerung vollkommen von ihrem Wege abgelenkt sein. Breite Täler sind dadurch trockengelegt und die oberflächliche Wasserführung vermindert oder vermehrt worden. Der heutige Thalweg ist dann unter völlig anderen hydrographischen Verhältnissen entstanden. Die Wassermenge in den Flüssen steht oft in gar keinem rechten Verhältnisse zu der Thalbreite. Auch diese Erscheinung deutet zuweilen auf Aenderung der oberflächlichen Wassercirculation hin.

Gerade die Erforschung der Flüsse als geologische Factoren bietet für die Erdkunde großes Interesse. Sie ist daher auch bereits weit fortgeschritten, wie uns jedes Lehrbuch der allgemeinen Erdkunde lehrt. Indes es können auch hier Einzelbeobachtungen unsere Kenntniss noch wesentlich fördern. Sie werden im Laufe der Zeit auch eine sichere Grundlage für die genetische Classification der Flüsse liefern, die in befriedigender Weise noch nicht gelöst ist, wenn auch von Powell, W. M. Davis und anderen der Versuch dazu erfolgreich gemacht ist.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> E. Richter, Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. (Petermanns Mitth., Ergänzungsheft 132.) Gotha 1900.

<sup>2)</sup> A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche. (I. Bd., S. 373.) Stuttgart 1894.

#### 4. DIE PHYSIKALISCHEN VERHÄLTNISSE DES FLIESSENDEN WASSERS

Die abtragende und aufschüttende Thätigkeit eines Flusses steht auch zu den physikalischen Verhältnissen des fließenden Wassers in Beziehung. Hier kommt zunächst die Dynamik des bewegten Wassers in Betracht. Die sogenannte Stoßkraft ist festzustellen und ihre Abhängigkeit von der Stromgeschwindigkeit und dem Gefälle zu ermitteln. Ein Maß der Stoßkraft ist uns in der Größe der Schlammtheilchen und des am Grunde bewegten Gerölles gegeben.

Auf diese mechanische Thätigkeit des Flusses wirken mittelbar auch die thermischen Verhältnisse ein, und zwar hauptsächlich dadurch, dass bei der Temperatur unter  $0^{\circ}$  das Wasser in einen anderen Aggregatzustand übergeht. Durch den Eisgang und namentlich auch durch das Grund- oder Siggeis werden nicht unerhebliche Materialumlagerungen bewirkt, das Flussbett oft ganz umgestaltet. Der Einfluss der größeren oder geringeren Beweglichkeit des Wassers bei höherer oder niedrigerer Temperatur über  $0^{\circ}$  dürfte dagegen minimal sein und im Vergleiche zu den übrigen Factoren, welche auf die Transportfähigkeit des Wassers einwirken, völlig verschwinden.

Die Temperatur der fließenden Gewässer hat aber aus anderen Gründen noch geographisches Interesse. Ihr jährlicher Gang und ihre Höhe stehen mit den klimatischen Verhältnissen sowie auch mit dem Ursprunge und dem Verlaufe des Flusswassers in Zusammenhang. Weiter ändert sich auch die Wärme des Wassers von der Quelle bis zur Mündung infolge der gleichzeitig sich ändernden geographischen Zustände. Untersuchungen, wie sie Forster,<sup>1)</sup> Guppy, der Verfasser<sup>2)</sup> und andere ausgeführt haben, lehren, dass hier in der That nicht nur ein physikalisches, sondern auch ein geographisches Problem vorliegt. Nach den bisherigen Untersuchungen ist die Messung der Temperatur verhältnismäßig leicht durchführbar. Da die tägliche Aenderung der Wasserwärme im allgemeinen nur gering ist, so genügt meist eine Beobachtung zur Zeit, wo ungefähr das Tagesmittel eintritt. In Mitteleuropa ist das etwa 11<sup>h</sup> a. m. der Fall. Als Instrument dient am besten ein Quellenthermometer, bei dem die Quecksilberkugel von einem Gefäß umgeben ist, das auch nach dem Herausheben aus dem Flusse mit Wasser gefüllt bleibt, oder ein Thermometer, dessen Kugel von einer starken Wachshülle umgeben ist, das sich infolge dessen außerhalb des Wassers erst nach einiger Zeit ändert.

#### 5. DIE BIOLOGIE DES FLIESSENDEN WASSERS

Aehnliches gilt von der biologischen Forschung in den Flüssen. Auch diese gehört nur insofern zu den geographischen Aufgaben der Flusskunde,

<sup>1)</sup> A. E. Forster, Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas. (Penck, Geogr. Abhandl., V. Bd., 4. Heft.) Wien 1894.

<sup>2)</sup> Ergebnisse einjähriger Beobachtung der Wassertemperatur in der Saale bei Halle. (Meteorol. Zeitschr. 1887.)

als dadurch die Verbreitung der Thiere und Pflanzen sowie die biologische Eigenart des Flusses aufgeklärt wird. Es handelt sich also hierbei nicht um die Untersuchung der Lebewelt an sich, das ist Aufgabe der Zoologen und Botaniker, sondern um die Ermittlung rein thier- und pflanzengeographischer Thatsachen.

## 6. DIE ANTHROPOGEOGRAPHISCHE BEDEUTUNG DER FLÜSSE

Für die menschlichen Zustände auf der Erde sind die Flüsse ebenfalls von Wichtigkeit. Zu den anthropogeographischen Problemen, die für jeden einzelnen Fluss eingehend zu untersuchen sind, gehört vor allem die Stellung des Flusses im Verkehre. Es ist sowohl die Schiffbarkeit des fließenden Wassers wie die Wegsamkeit des Flussthalcs zu ermitteln. Auch der Lage des Stromgebietes in dem Verkehre der umgrenzenden Länder ist Beachtung zu schenken, ebenso der Zugänglichkeit von außen. Es kommt hier namentlich die Lage zum Meere, d. i. zum Weltverkehre, und zu den Gebirgen, die oft schwer überwindliche Verkehrsschranken bilden, in Frage. Zugleich ist zu erkunden, wie weit die verkehrsgeographische Wichtigkeit des Flusses erst durch Arbeiten des Menschen geschaffen ist. Viele der heute gangbarsten Flussthäler sind früher wegen Versumpfung oder aus anderen Gründen geradezu ein Verkehrshemmnis gewesen.

Des weiteren fällt dann dem Geographen die Aufgabe zu, die Fruchtbarkeit des Thalbodens zu erforschen. Es hängen hiervon verschiedene anthropogeographische Erscheinungen ab. Die Möglichkeit der Besiedlung und somit die Dichte der Bevölkerung wird dadurch wesentlich bestimmt. Auf letztere wirkt allerdings auch das Vorhandensein von Mineralschätzen erheblich ein.

Ueber die Vertheilung der Siedlungen innerhalb eines Stromgebietes ist ebenfalls Aufklärung zu bringen. Im besonderen muß der Einfluss des Flusses auf die Entwicklung der einzelnen Orte Gegenstand der Untersuchung bilden. Hier spielt neben der Verkehrslage und der Anbaufähigkeit des Bodens auch die Verwendbarkeit der Wasserkraft eine wichtige Rolle, zumal in Ländern, die der Kohle entbehren. Zur Feststellung solcher Thatsachen wird man vielfach die Statistik zurathe ziehen müssen. Denn sie allein vermag uns ein zuverlässiges Bild zu geben von dem thatsächlichen Antheil eines Flusses an dem Verkehre und an der Entwicklung der Bevölkerung.

Anbaufähigkeit des Thales und Schiffbarkeit des Flusses hängen auch von den klimatischen Verhältnissen ab. Viele Thäler sind klimatisch vor der Umgebung begünstigt. Wir brauchen nur an den deutschen Rhein zu erinnern. Man sollte durch Beobachtungen diese Thatsache festzustellen suchen. Ohne Zweifel üben die großen Ströme als breite Wasserflächen auch selbst einen Einfluss auf das Klima aus. Auch darüber ist Aufklärung zu schaffen.

Für die Schifffahrt haben die klimatischen Verhältnisse nach zwei Richtungen hin Bedeutung. Sowohl Mangel an Niederschlägen wie Ueberfluss

an solchen können die Schifffahrt aufheben. Im oberen Amazonas bleiben die Dampfer oft Monate lang in der trockenen Jahreszeit liegen, weil der Fluss nicht die nöthige Fahrtiefe erreicht. Umgekehrt sind in seinem Mündungsgebiete zur Zeit des Hochwassers die Dampfer auf ihren Fahrten vielfach gefährdet. In den gemäßigten Zonen behindert auch die andauernde Kälte des Winters die Schifffahrt. Die Dauer der Eisdecke, die Zeit des ersten Gefrierens und des letzten Aufthauens sind darum auch verkehrsgeographisch wichtige Erscheinungen.

Gerade die anthropogeographische Erforschung der Flüsse bietet eine ungeheure Fülle interessanter Probleme. In neuerer Zeit hat Friedrich Ratzel diese Bedeutung der Flüsse in seinen Werken «Anthropogeographie» und «Politische Geographie» hinreichend klargelegt.<sup>1)</sup> Seine Ausführungen können auch für jede Einzeluntersuchung die rechte Grundlage bilden. Vor kurzem hat Hassert ebenfalls die Beziehungen des strömenden Wassers zum Leben und Treiben der Menschen, vielfach in Anlehnung an Ratzel, in einem Aufsätze, der in der Zeitschrift für Gewässerkunde erschienen ist, eingehend behandelt.<sup>2)</sup>

Unsere obigen Ausführungen sind ein Versuch, auf Grund der allgemeinen Aufgaben der Erdkunde das Programm der besonderen Forschung an Flüssen aufzustellen.

Gegenwärtig gibt es noch keinen Strom der Erde, der nach jeder Richtung hin geographisch bearbeitet wäre. Für einen grösseren Strom erfordert die Durchführung unseres Programmes eine für den einzelnen fast unmögliche Arbeitsleistung. Wohl aber könnte an einem kleineren Flusse einmal die geographische Erforschung in ihrem vollen Umfange durchgeführt werden. Es würde sich dann an dem praktischen Beispiele zeigen, wie weit in unserem Programm thatsächlich die Aufgabe geographischer Forschung an Flüssen gelöst ist.

<sup>1)</sup> Fr. Ratzel, Anthropogeographie. Stuttgart, I. Bd., 2. Aufl. 1899, II. Bd. 1891. — Derselbe, Politische Geographie. München und Leipzig 1897.

<sup>2)</sup> K. Hassert, Die anthropogeographische und politisch-geographische Bedeutung der Flüsse. (Zeitschr. für Gewässerkunde 1899.)

#### Anmerkung.

1. Zu Seite 4: Die Stromentwicklung könnte wohl auch darin einen Ausdruck finden, dass man den grössten seitlichen Abstand des Flusslaufes von der Linie Quelle—Mündung ermittelt.

2. Zu Seite 12: Auch die täglichen Aenderungen des Wasserstandes verdienen Beachtung. Kleine Flüsse, die überwiegend von Regenwasser gespeist werden, zeigen eine tägliche Periode im Wasserstand, die vermuthlich durch die Periode des Niederschlages und der Verdunstung bestimmt wird. Von Brückner (Peterm. Mitth. 1895) ist auch für die obere Rhone, also einem Gletscherbache, eine solche tägliche Periode nachgewiesen.