

# Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten

Lena Ruth

Gerhardstr.75, 24105 Kiel, lena\_amrum@gmx.net

## 1. Einleitung

Flusseinzugsgebiete, also Gebiete, die durch eine ober- oder unterirdische Wasserscheide begrenzt und durch ein Fließgewässer mit allen seinen Nebenflüssen entwässert werden, sind oftmals „Bezugsräume für Wasserhaushaltsuntersuchungen und die Erfassung von Stoffumsätzen in der Landschaft“ (Diercke 2001). Der Wasserhaushalt in einem Flusseinzugsgebiet zeichnet sich besonders dadurch aus, dass das Gebiet durch Niederschlag hohen Input von außen erhält und ebenso große Mengen an Wasser in Form von Verdunstung und Abfluss wieder abgibt (output). Der Teil des Wassers, welcher nicht verdunstet, sondern entweder in den Boden sickert, oder oberirdisch abfließt, gelangt früher oder später ins Meer. Mit Hilfe der Wasserhaushaltsgleichung lassen sich die Umsetzungsvorgänge des Wassers in einem Einzugsgebiet, bzw. zwischen dem Gebiet und seiner Umgebung, gut untersuchen. Bezieht man die Untersuchung auf lange Zeiträume, dann ergibt die Summe aus Abfluss (A) und Verdunstung (V) den Niederschlag (N):  $N=A+V$

Für kürzere Untersuchungszeiträume wird die Vorratsänderung (Rücklage – Verbrauch) relevant, denn sie gibt an, wie stark sich die Speicherfähigkeit in einem System verändert:  $N=A+V+(R-B)$

Die Speicherfunktion wird im Allgemeinen von der Vegetation, dem Boden, dem Gesteinsuntergrund und natürlichen sowie anthropogen geschaffenen Seen übernommen. Da nicht nur Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in jedem Einzugsgebiet unterschiedlich sind, sondern auch die morphometrischen Eigenschaften wesentlich zu den Umsetzungsvorgängen des Wassers in einem System beitragen, besitzt jedes Flusseinzugsgebiet seine eigene Wasserhaushaltsgleichung. Im vorliegenden Aufsatz soll versucht werden, einen Überblick über den Wasserhaushalt von Flusseinzugsgebieten zu geben, indem erst die morphometrischen, sowie weitere gebietstypische Eigenschaften vorgestellt werden und anschließend auf die mit diesen Variablen in Verbindung stehenden Prozesse eingegangen wird.

## 2. Morphometrische Eigenschaften von Flusseinzugsgebieten

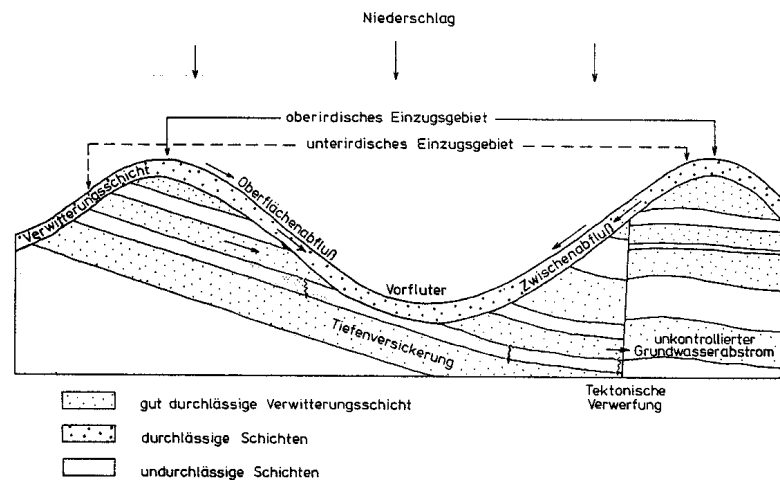
Um Aussagen über ein System machen zu können, wie zum Beispiel über den Wasserhaushalt, ist es hilfreich, seine Variablen in quantitativer Form ausdrücken zu können. Für die nähere Untersuchung eines Flusseinzugsgebietes guckt man sich sowohl Prozessvariablen, als auch morphometrische Variablen genauer an. Morphometrische Eigenschaften beschreiben das Georelief durch Ermitteln von Kennwerten für Formtypenvergleiche wie zum Beispiel die Taldichte etc. (Diercke 2001).

### 2.1 Flusseinzugsgebiet

Die **Wasserscheide** grenzt die Einzugsgebietsfläche eines Gewässers von anderen Systemen ab. Man unterscheidet zwischen einem ober- ( $A_{Eo}$ ) und einem unterirdischen ( $A_{Eu}$ ) Einzugsgebiet, wobei sich

diese Gebiete in ihrer Ausdehnung unterscheiden können (Abb.1). Das oberirdische Einzugsgebiet wird durch Georeliefformen wie Berge, Kämme, Rücken etc. gebildet, wobei das unterirdische hauptsächlich durch geologische Verhältnisse (geologische Schichten, unterirdische Hohlräume etc.) geprägt wird. Weiter wird bei Baumgartner & Liebscher (1990) die Einzugsgebietslänge ( $l_E$ ) als größte Entfernung innerhalb der Wasserscheide definiert und die Einzugsgebietsbreite ( $l_B$ ) zum Beispiel als die, in Bezug auf die Einzugsgebietslänge breiteste Stelle im Einzugsgebiet. Der Einzugsgebietsumfang entspricht der oberirdischen Wasserscheide.

Form und Gestalt des Einzugsgebietes kann man sowohl qualitativ beschreiben (oval, länglich etc.) als auch quantitativ. Gebräuchliche Indizes hierfür sind der Streckungsindex und der Kreisförmigkeitsindex, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

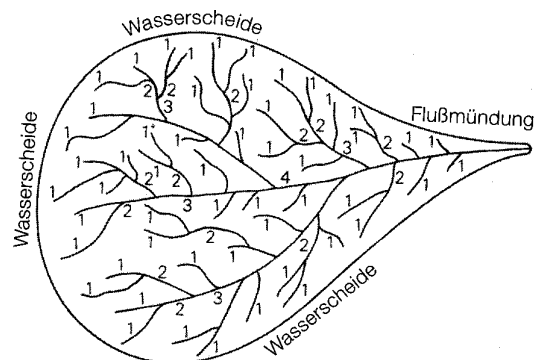


**Abb. 1:** Querschnitt eines Einzugsgebietes mit unterschiedlichen ober- und unterirdischen Einzugsgebietsgrenzen (Baumgartner & Liebscher, S.466)

## 2.2 Gewässernetz

Nimmt man alle, sich in einem Einzugsgebiet befindenden Fließgewässer zusammen, erhält man das Gewässernetz, in dem sich das Wasser sammelt. Je nach Klimazone oder topographischer Lage unterscheidet man ständig wasserführende Gerinne (perennierende Gerinne), zeitweise trockenfallende Gewässer (periodische oder intermittierende Gerinne) und Abflussrinnen, die nur nach starken Niederschlagsereignissen Wasser führen (episodische Gerinne). Ständig wasserführende Gewässer sind Bäche, Flüsse, Ströme etc. und werden in der Hydrologie als **Vorfluter** bezeichnet. Alle drei Gerinneformen können in einem Gewässernetz vorkommen und bilden zusammen das Talnetz eines Einzugsgebietes. Die Dichte eines Talnetzes ist ein guter Anhaltspunkt für die Zerschneidung und das Relief eines Einzugsgebietes.

Ein Weg, um Gewässernetze näher zu beschreiben, ist das **Flussordnungskonzept**. Hier wird das Flussnetz in Flussstrecken unterteilt, „die entweder von der Quelle bis zum ersten Zufluss, zwischen zwei Zuflüssen oder vom letzten Zufluss bis zur Mündung reichen“ (Baumgartner & Liebscher 1990). Diese Flussstrecken werden zu Abschnitten zusammengefasst, denen bestimmte Ordnungen zugeteilt werden (1,2,3 usw.). Für die Einteilung in Ordnungen gibt es viele verschiedene Konzepte, zum Beispiel das Konzept von Horton, das Konzept nach Strahler (Abb. 2) oder



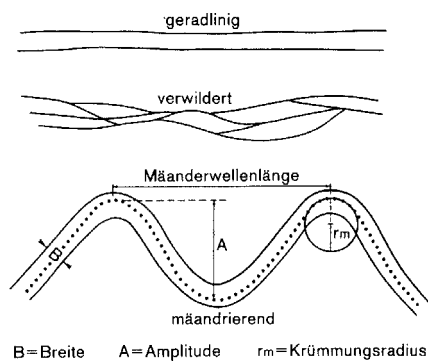
**Abb. 2:** Das Flussordnungssystem von Strahler (Goudi, S. 311)

das klassische Konzept. Bei letzterem erhält der Hauptfluss die Ordnung 1, die in ihn einmündenden Flüsse die Ordnung 2, die in diese Nebenflüsse mündenden Nebenflüsse die Ordnung 3 usw. Nach diesem Konzept sind die Gewässer in Deutschland eingeteilt. Entsprechend der Einteilung nach Ordnungszahlen ergeben sich folgende Gesetzmäßigkeiten: 1) die Anzahl der Gewässer einer Ordnung nimmt mit zunehmender Ordnungszahl ab, 2) die mittlere Fläche der Einzugsgebiete nimmt mit wachsender Ordnungszahl zu, 3) die durchschnittliche Länge der Gewässer nimmt mit wachsender Ordnungszahl zu und 4) das durchschnittliche Gefälle nimmt mit wachsender Ordnungszahl ab.

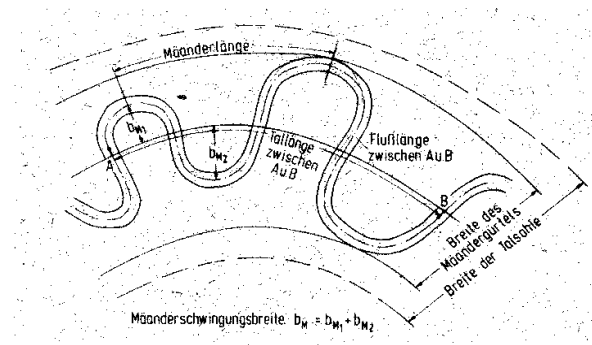
Weitere Kenngrößen für das Gewässernetz sind die **Flussdichte** (df), welche die Entwässerungsfähigkeit eines Gebietes charakterisiert, und die **Flusshäufigkeit** (hf). Die Flussdichte gibt Auskunft über das Verhältnis von der Gesamtlänge aller Flussabschnitte, unabhängig ihrer Ordnung, zur Einzugsgebietsfläche eines Flusses. Die Flusshäufigkeit ergibt sich aus dem Verhältnis von der Anzahl in einem Flussgebiet vorhandenen Flussstrecken zu der Einzugsgebietsfläche.

## 2.3 Flusslauf

Fließgewässer werden ihrer Größe entsprechend als Bach, Fluss oder Strom bezeichnet, dessen Wasser außer bei Hochwasser, in einem Gewässerbett fließt. Für die genaue Beschreibung eines Fließgewässerabschnittes gibt es viele verschiedene Parameter, wie die **Flusslänge** (IF), die **Tallänge** (IT), die **Mäanderlänge** oder **-schwingungsbreite**. Je nach Verlaufsform unterscheidet man geradlinige, verwilderte und mäandrierende Flüsse, wobei letztere Form in natürlichen Flussläufen am häufigsten vorkommt (Abb.3 und 4).



**Abb. 3:** Laufmuster und Mäandergeometrie (Schmidt, S. 43)



**Abb.4:** Morphometrische Kenndaten eines mäandrierenden Flusses (Baumgartner & Liebscher, S.473)

## 3. Weitere Eigenschaften von Flusseinzugsgebieten

### 3.1 Gesteinsuntergrund und Böden

Die Art der Böden und der Gesteinsuntergrund bestimmen im wesentlichen die Porosität und Durchlässigkeit der Böden für Wasser, was großen Einfluss auf die Flussdichte, bzw. den Anteil der Bodenoberflächenentwässerung hat. Bei Böden mit hoher Porosität (feinkörniger Boden) wird unterschieden in das nutzbare und das kapazitive Porenvolumen, wobei letzteres, zum Beispiel bei Ton, zwar viel Wasser speichern, dieses aber nur schlecht weiterleiten kann. Die Fähigkeit eines Bodens oder Gesteins Wasser zu transportieren wird als Permeabilität bezeichnet. Diese Permeabilität wird schlechter, je verdichteter und weniger durchlüftet der Boden ist. Wichtig für die im Einzugsgebiet ablaufenden hydrologischen und geomorphologischen Prozesse sind Eigenschaften des Bodens wie Korngrößenzusammensetzung, Anteil an organischer Substanz, Porosität und

Bodenstruktur, die den Bodenfeuchtehaushalt, die Infiltrationskapazität und die Erosionsanfälligkeit bestimmen (Schmidt 1984). Je geringer die Infiltrationsfähigkeit des Bodens ist, desto höher ist die Menge oberirdisch abfließenden Wassers.

### **3.2 Vegetation und Landnutzung**

Die Vegetation und die Form der Landnutzung durch den Menschen sind weitere Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf den Wasserkreislauf, und besonders auf den Abflussvorgang im System ausüben. Durch die Vegetation wird Niederschlagswasser abgefangen (Interzeption), was nun von ihrer Oberfläche verdunsten kann. Durch diese Interzeption, und durch den Wasserverbrauch der Pflanzen selbst, wird dem Kreislauf Wasser entzogen. Interzeption und Transpiration bestimmen die gesamte Verdunstung eines Gebietes. Durch die Durchwurzelung des Bodens wird weiter die Infiltrationskapazität erhöht und der Boden vor Erosion geschützt.

Durch die große Bedeutung der Vegetation, bzw. der Vegetationsart für den Wasserkreislauf, wird deutlich, dass auch die Art der Landnutzung eine wichtige Rolle spielt. Wälder zum Beispiel, besonders Nadelwälder, haben eine höhere Interzeptionsfähigkeit, als Wiesen oder Weiden. Besonders Ackerflächen, die durch fehlende Vegetation extrem anfällig für Erosion sind, beeinflussen das Abflussverhalten und auch die Flussdichte in einem Gebiet. Durch Strassen- und Wegenetzbau, sowie durch dichte Bebauung findet eine Plombierung des Bodens statt, so dass auf diesen Flächen die Infiltrationsleistung stark abnimmt, und Wasser oberirdisch, oder durch künstliche Abflusskanäle viel schneller abfließt und dem Vorfluter zugeleitet wird (Schmidt 1984).

### **3.3 Speicher**

Die natürliche Speicherfunktion in einem Gebiet wird wesentlich von der Vegetation, tiefgründigen Böden mit guten Wasserhalteigenschaften, grundwasserführenden Gesteinen oder natürlichen Seen übernommen. Künstliche Speicher können in Form von Talsperren oder künstlich angelegten Seen vorliegen, wenn die natürlichen Speicher für den Wasserbedarf der Bevölkerung und Industrie nicht ausreichen (Schmidt 1984). Eine gute Speicherfähigkeit in einem System ist wichtig, da nur dann auch in Zeiten mit ausbleibendem Niederschlag für ein ausreichendes Wasserangebot gesorgt ist. Die Rücklage in den Speichern bestimmt also das Volumen des Trockenwetterabflusses, also dem Abfluss, der bei länger ausbleibendem Niederschlag einsetzt.

Das Speichervermögen eines Gebietes kann jetzt aber zum Beispiel durch das Abholzen von Wäldern oder das dichte Bebauen von Flächen, wodurch das Niederschlagswasser sehr schnell abfließt und so dem System nur kurz zur Verfügung steht, negativ beeinflusst werden.

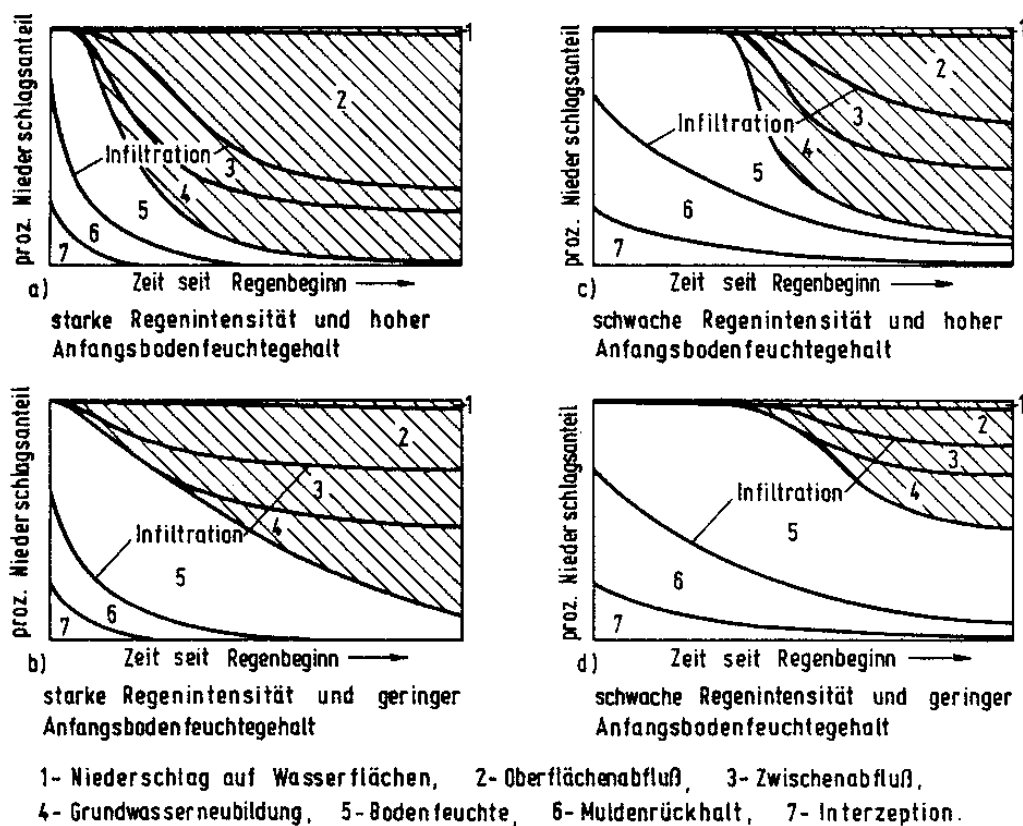
## **4. Wichtige Prozesse in Flusseinzugsgebieten**

### **4.1 Niederschlag**

Das gesamte in einem Einzugsgebietes abfließende Wasser findet seinen Ursprung im Niederschlag und hat somit einen erheblichen Einfluss auf den Abflussprozess. Nach Erscheinungsform kann Niederschlag in Form von Regen, Nebel, Tau, Schnee, Hagel, Graupel oder Reif fallen. Eine entscheidende Rolle sowohl für den Abfluss als auch für den Wasserhaushalt spielt der Schnee, da er im Einzugsgebiet über längere Zeit gespeichert werden kann und es bei Ansteigen der Temperaturen über den Gefrierpunkt zu einem plötzlichen Abschmelzen, und damit zu einem verstärkten Abfluss (Hochwasser) kommen kann.

Strukturelle Merkmale des Niederschlages, welche in erster Linie den Abflussprozess und die Abflussganglinie beeinflussen, sind u.a. seine Dauer, die Intensität, die Niederschlagshöhe, seine Häufigkeit und die jahreszeitliche Verteilung.

Nach Baumgartner und Liebscher (1990) wird der Abfluss am meisten von der mittleren jährlichen **Niederschlagshöhe** beeinflusst, wobei bei geringen Niederschlagshöhen das die Verdunstung bestimmende Klima eine große Rolle spielt, da erst das Bodenwasserdefizit aufgefüllt werden muss, bevor es zum Abfluss kommt. Weiter wirkt sich die **Niederschlagsintensität** eher auf die Abflussganglinie, als auf den jährlichen Abfluss aus und kann von Ereignis zu Ereignis sehr variieren. Oberflächenabfluss kommt dann zustande, wenn die Intensität die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt, und gegenüber einer geringen Niederschlagsintensität ist hier die Konzentrationszeit geringer. Die Niederschlagsintensität ist eng mit der **Niederschlagsdauer** verbunden, da der Anteil



**Abb. 8:** Qualitative Aufteilung eines Regens konstanter Intensität bei zunehmender Niederschlagsdauer (nach Dyck 1978)

des effektiven Niederschlages am Gesamtniederschlag (Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss) mit zunehmender Regendauer größer wird. Sowohl bei der Niederschlagsintensität als auch bei der Dauer entscheidet der **Anfangsfeuchtegehalt** des Bodens, wie schnell der effektive Niederschlag einsetzt (siehe Abb.8). Ist der Boden sehr trocken, werden erst die Bodenwasservorräte aufgefüllt, bevor es zum Abfluss kommt. Das Ansteigen der Abflussganglinie setzt also verzögert ein. Für den mittleren jährlichen Abfluss spielt die **jährliche Verteilung der Niederschläge** eine Rolle, welche vom Klima abhängt. Für den Abfluss ist entscheidend, ob die Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt oder auf bestimmte Zeiträume im Jahr konzentriert sind. Zum Beispiel ist bei hohen Niederschlagsmengen auf die Sommermonate konzentriert die Verdunstungsrate so hoch, dass der Gesamtabfluss gering bleibt, während Gebiete mit starken

Regefällen im Winter den mittleren jährlichen Abfluss von Gebieten, in welchen sich der Niederschlag gleichmäßig über das Jahr verteilt, übertreffen kann. Die **Niederschlagshäufigkeit** beeinflusst ebenfalls Ganglinie und mittlere jährliche Abflusshöhe. Hier ist entscheidend, dass viele Niederschlagsereignisse mit geringer Höhe nicht so abflusswirksam sind, wie ein einziger starker Niederschlag, dessen Höhe der Summe der kleinen Ereignisse entspricht. Dazu kommt allerdings, dass der effektive Niederschlag verstärkt wird, je dichter die einzelnen Niederschlagsereignisse aufeinander folgen, da ein Bodenwasserdefizit erst mit lange ausbleibenden Niederschlägen eintritt.

## 4.2 Interzeption

Unter Interzeption versteht man den Anteil des Niederschlages, welcher hauptsächlich durch die Vegetation abgefangen und nicht durch direkten Bodenniederschlag oder Stammabfluss auf den Boden, und damit zum Abfluss gelangt. Dieser Interzeptionsverlust verstärkt sich aufgrund einer höheren Verdunstung bei Zunahme von Wind und Temperatur oder in Abhängigkeit von Art und Dichte der Vegetation, welche mehr oder weniger Wasser absorbieren bzw. durch eine größere Oberfläche abfangen kann. Zum Beispiel zeigt ein Nadelwald im Durchschnitt höhere Interzeptionsverluste, als ein Laubwald (Schmidt 1984). Mit Vegetation bewachsenen Flächen steht also weniger Wasser für den vom Niederschlag ausgelösten Abfluss zur Verfügung, als Freilandflächen, wobei aber zum Beispiel in Wäldern das Stammabflusswasser leichter in den Boden gelangt, und so dessen Infiltrationseigenschaften erhöht. Bei Brachflächen besteht aufgrund fehlender Vegetation die Gefahr der Erosion bei starken Niederschlagsereignissen.

## 4.3 Verdunstung

Neben dem Abfluss geht einem System nur durch Verdunstung Wasser verloren. Diese setzt sich zusammen aus der Evaporation, der Wasserabgabe allgemein von Oberflächen (Pflanzen, Gebäuden etc.), und der Transpiration, der Wasserabgabe durch Atmung der Pflanzen. U.a. führen ein höheres Sättigungsdefizit der Luft, höhere Temperaturen, Wind, dichte Vegetation und stärkere Strahlung zu einer zunehmenden Verdunstungshöhe (mm). Nach Schmidt (1984) gilt als Faustregel, dass 80% der Verdunstung im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober), und 20% im Winterhalbjahr (November bis April) stattfindet.

## 4.4 Infiltration

Fließt das Wasser, welches die Bodenoberfläche erreicht nicht direkt oberirdisch ab, wird es in den Boden aufgenommen, infiltriert, und wird Teil der Bodenfeuchte. Ob und wie viel Niederschlag infiltriert hängt zum einen von der Niederschlagsmenge und –intensität, zum anderen von der Infiltrationsrate des Bodens ab (siehe Tab. 1) Diese ist wiederum abhängig von Bodenart und –struktur, von der Landnutzung, dem Bodenfeuchtegehalt vor dem Niederschlagsereignis und

Bodenart	Infiltrationsrate (mm/h)		
	(TODD 1970)	(HERRMANN 1977) <sup>1</sup>	GREGORY & WALLING 1973)
Sand	25 – 254	7–11	
Lehmiger Sand			25 – 50
sandiger Lehm	13 – 76	4– 7	
Lehm	8 – 20		12,5–25
siltiger Lehm			7,5–15
toniger Lehm	2,5– 15	1– 4	2,5– 5
siltiger Ton	0,3– 5		
Ton	1 – 10		

1) Die Angaben bei HERRMANN (1971) weichen nach unten ab, weil hier die Mindestinfiltrationsraten erfaßt sind, die dem konstanten Endwert nach längerer Beregnung entsprechen.

**Tab. 1:** Infiltrationsraten für einige Bodenarten (Schmidt, S.61)

besonders der Niederschlagsdauer. Die Infiltrationskapazität nimmt von Wäldern, wo sie sehr gut ist, über Wiesen, Weiden, Brachland bis hin zu dicht bebauten Flächen ab. Bei letzteren geht sie nahezu auf Null zurück.

Durch eine höhere Aktivität der Bodenfauna sowie der Wurzeltätigkeit und eine im Schnitt geringere Bodenfeuchte, ist die Infiltration im Sommer meist wesentlich höher als im Winter. Allerdings kann sich bei extremem Austrocknen des Bodens eine verhärtete Schicht bilden, welche dem Wasser das Eindringen lange Zeit nicht ermöglicht, und zu direktem, starken Oberflächenabfluss führt.

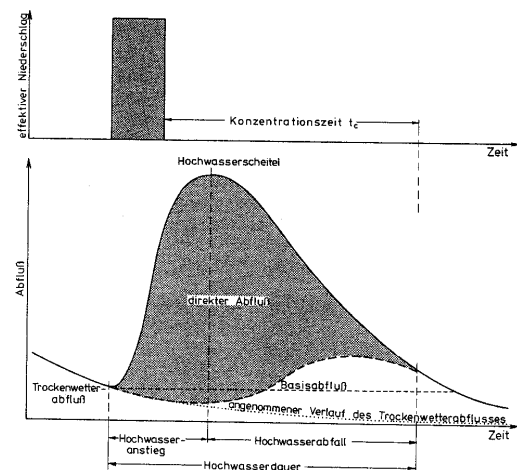
#### 4.5 Abfluss

Durch die Wasserhaushaltsgleichung wird deutlich, dass das Niederschlagswasser, welches dem System nicht durch Verdunstung verloren geht, den Anteil des Abflusses ausmacht. Das Wasser, das sich direkt oder nach mehr oder weniger langem Aufenthalt in den Systemspeichern im Abfluss sammelt, fließt letztendlich über die verschiedenen Gerinne in die **Vorflut** (das Hauptgewässer). Die Abflussgröße (**Q**) wird oft zu Vergleichszwecken quantitativ bestimmt, wobei der Abfluss in der Hydrologie als das Wasservolumen definiert wird, das pro Zeiteinheit einen definierten oberirdischen Fließquerschnitt durchfließt. Bezieht sich dieser Abfluss auf eine Einzugsgebietsfläche, wird er entweder als **Abflussspende (q)** in  $l(s \cdot km^2)$  oder als **Abflusshöhe (h)** in mm/Zeiteinheit (Tag, Monat, Jahr) angegeben, womit man die Möglichkeit erhält, verschiedene große Gebiete miteinander zu vergleichen. Das Abflussjahr wird nach hydrologischen Gesichtspunkten in Winterhalbjahr (1.11.-30.4.) und Sommerhalbjahr (1.5.-31.10.) unterteilt, so dass zum Beispiel Schneeniederschläge, welche über den Winter bis ins neue Kalenderjahr hinein fallen und gespeichert werden, bevor sie im Frühling zum Abfluss beisteuern, in einem Abflussjahr erfasst werden.

Der Abflussverlauf eines bestimmten Niederschlagsereignisses oder einer Niederschlagsfolge wird durch die **Abflussganglinie** beschrieben, die die abfließende Wassermenge pro Zeiteinheit ( $m^3/s$ ) zu jedem Zeitpunkt zeigt (Abb. 5).

Nach Baumgartner & Liebscher (1990) beruht der Abflussprozess im wesentlichen auf drei Vorgängen, die alle nebeneinander ablaufen. Der erste ist der Prozess der Abflussbildung aus dem Niederschlag (effektiver Niederschlag), dann der Prozess der Konzentration des zum Abfluss gelangenden Niederschlages und dem Fließprozess im offenen Gerinne.

Bei dem Prozess der Abflussbildung aus dem Niederschlag, bilden verschiedene Abflusskomponenten den Gesamtabfluss, was in Abb. 6 dargestellt ist. Der **Oberflächenabfluss** wird zum einen von dem Anteil des Niederschlages gebildet, welcher direkt in die Vorflut fällt, und zum anderen vom Überlandfließen, was dann entsteht, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität des Bodens übersteigt und es zu einem Wasserstau auf der Erdoberfläche kommt. Der Anteil des Niederschlages, der vom Boden infiltriert wird, bildet zum einen den Zwischenabfluss und zum anderen den Grundwasserabfluss. Der direkte Zwischenabfluss spielt ebenso wie der Oberflächenabfluss eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung



**Abb. 5:** Abflussganglinie nach einem Niederschlagsereignis (Trockenwetter- und Hochwasserganglinie) (Baumgartner & Liebscher, S.481)

von Abflussspitzen (Hochwasser) und wird definiert als der Anteil, welcher ohne Kontakt zum Grundwasser langsam oder schneller im Boden lateral zur Vorflut fließt. „Der Zwischenabfluss kann bis zu 85% des Gesamtabflusses ausmachen“ (Schmidt 1984). Dringt das Wasser noch tiefer in den Boden ein, gelangt es entweder in den Bereich der gesättigten Bodenzone, wo es zu Grundwasserneubildung beiträgt, oder es stößt auf weniger durchlässige Schichten, wo es dann zeitweise gestaut wird.

Vom zeitlichen Ablauf her gelangt als erstes der schnell abfließende Oberflächenabfluss und der direkte Zwischenabfluss in die Vorflut, während der verzögerte Zwischenabfluss und der Grundwasserabfluss länger benötigen, also eine längere Konzentrationszeit haben, bis sie den Vorfluter erreichen. Die genannten Abflusskomponenten bedingen sich gegenseitig und sind jetzt sehr stark abhängig von den bereits erwähnten Variablen in dem jeweiligen System, wie zum Beispiel der Oberflächenabfluss von der Vegetation oder der Verdichtung des Bodens durch Bebauung, der Zwischenabfluss von der Infiltrationsfähigkeit des Bodens usw.

Hat man zum Beispiel ein Gebiet im Sommer, in dem es lange Zeit keinen Niederschlag gegeben hat, würden sich die Komponenten wie folgt verhalten. Bei eintretendem Niederschlag würde ein großer Teil des Wassers erst mal von der Vegetationsbedeckung aufgenommen werden, wovon ein erheblicher Teil durch Verdunstung wieder direkt aus dem System entweicht. Der Anteil, welcher den Boden erreicht, würde aufgrund extrem niedriger Wassersättigung sofort aufgenommen, und in der oberen Bodenschicht bis zum Erreichen der Feldkapazität gespeichert werden. Auch hier würde aufgrund der höheren Temperaturen im Sommer wieder ein großer Teil direkt verdunsten. Dauert das Niederschlagsereignis länger an und nimmt auch an Intensität nicht ab, wird die Infiltrationskapazität des Bodens überschritten, und es kommt zum Oberflächenabfluss. Außerdem wird Wasser nach Sättigung der oberen Schichten in tiefere Schichten weitergeleitet, und neben dem Oberflächenabfluss beginnen auch langsam Zwischen- und Grundwasserabfluss, deren Geschwindigkeit zusätzlich vom Gefälle beeinflusst wird. (Siehe hierzu auch Abb. 7)

Während Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss die Herkunft des Wassers charakterisieren, bezeichnen der Basisabfluss und der direkte Abfluss die zeitliche Verschiebung, mit welcher das Wasser den Betrachtungsquerschnitt erreicht. Der Basisabfluss setzt sich aus dem Grundwasserabfluss und dem verzögerten Zwischenabfluss zusammen, während der direkte Abfluss der Teil des Wassers ist, welcher nach nur kurzer Verzögerung den Vorfluter erreicht (Oberflächenabfluss und unmittelbarer Zwischenabfluss) (Baumgartner & Liebscher 1990).

## **5. Fazit**

Der Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten hängt, wie wir gesehen haben, von vielen verschiedenen Form- und Prozessvariablen ab, die sich alle mehr oder weniger gegenseitig bedingen. Flusseinzugsgebiete geben also nicht nur Auskunft über den Wasserhaushalt und Stoffumsätze in einem System, sondern lassen ebenfalls Rückschlüsse auf viele andere Faktoren zu, wie zum Beispiel die Qualität der Vegetation, die Bodendichte und -beschaffenheit, die Topographie des Gebietes und nicht zuletzt über den Grad des Einflusses durch den Menschen. Letzteres wird mit der Bevölkerungszunahme besonders in dicht besiedelten oder besonders trockenen Gebieten immer mehr zum Problem, da hier Wasser in größeren Mengen benötigt wird, als es das System zur Verfügung stellen kann oder die Flüsse für industrielle Zwecke genutzt, und damit meist sehr stark verändert werden. Durch Einrichten von Staustufen, Bewässerungskanalsystemen, Bauen von Wasserkraftwerken und besonders auch das Begradigen von Flüssen, haben sich in den letzten Jahrzehnten in vielen Systemen große ökologische Probleme ergeben, nicht zuletzt durch vermehrt auftretende, auch den Menschen und seine Siedlungen gefährdende starke Hochwasserereignisse.

Besonders für diese Hochwasserereignisse ist es jetzt wichtig, durch die genannten, besonders den Abfluss in einem Flusseinzugsgebiet beeinflussenden Faktoren quantitativ bestimmen zu können, wie stark solche Ereignisse auftreten werden und durch entsprechende Maßnahmen langfristig den entstandenen ökologischen Problemen entgegensteuern zu können. Eine Maßnahme zum Beispiel ist heute schon die Renaturierung von Flüssen. Außerdem gibt es inzwischen Möglichkeiten, über Modelle der Hydrologie von Landoberflächen, den Abfluss von Flüssen mindestens auf einer monatlichen Scala zu bestimmen, was ein mächtiges Instrument darstellt, um ein geeignetes Managementkonzept der Wasserressourcen für die Zukunft zu entwickeln (Oki 2001).

## **6. Literatur:**

- Baumgartner, A. & Liebscher, H.-J., (1990): Allgemeine Hydrologie. Gebrüder Bornträger, Berlin, Bd 1, 462-517p.
- Goudie, A. (1995): Physische Geographie. Spektrum Akademische Verlag GmbH, Heidelberg, 311-319 p.
- Leser, H., Haas, H.-D., Mosimann, T., Paesler, R. (2001): Diercke-Wörterbuch Allgemeine Geographie. Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München und Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig
- Oki, T. (2001): Modeling Surface Hydrology for Global Water Cycle Simulations. In: Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling, Eds., TERRAPUB, 391-392 p.
- Richter, M. (1997): Das Geographische Seminar: Geologie. Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig, 99-100 p.
- Schmidt, K.-H. (1984): Der Fluss und sein Einzugsgebiet. Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, 22-65p.