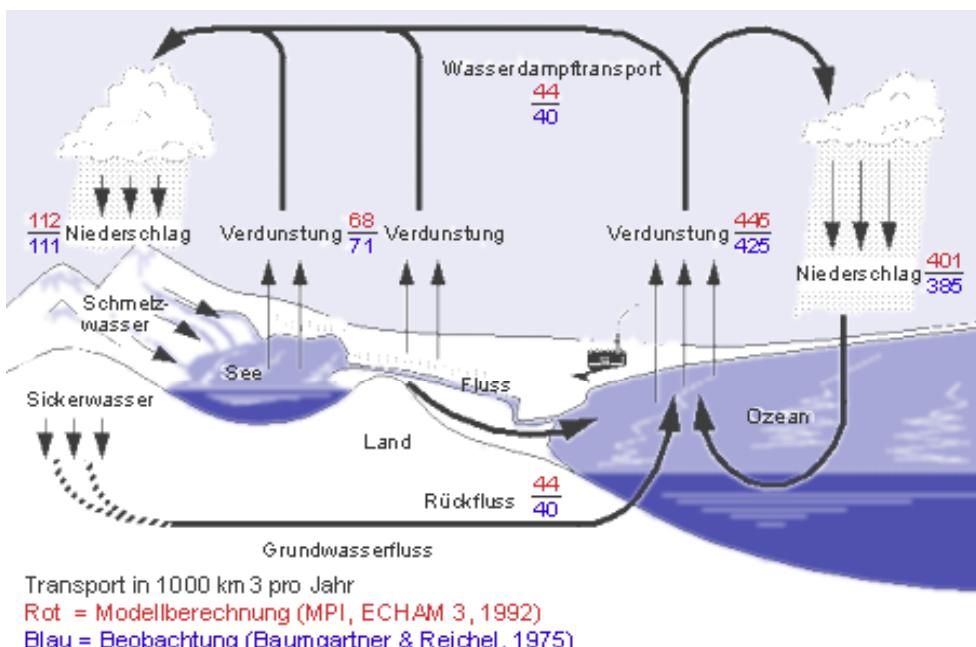


# Hydrologie und Wasserwirtschaft

## Allgemeines zum Wasserhaushalt

Das Zusammenwirken der Wasserhaushaltselemente wie Niederschlag P (Precipitation), oberirdischer Abfluss  $Q_o$ , unterirdischer Abfluss  $Q_u$ , Verdunstung  $E_T$  und Rücklage bzw. Aufbrauch R bildet den Wasserhaushalt. In der Bilanzierung werden die Teilmengen der einzelnen Komponenten in einem Einzugsgebiet über einen längeren Zeitraum erfasst. Die Wasserbilanz für ein Flussgebiet kann aufgrund der Kontinuitätsgleichung angegeben werden zu:

$$P - Q_o - Q_u - E_T \pm R = 0$$



Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes mit den zugehörigen Einzelkomponenten

(Entnommen aus Studienunterlagen „Hydrologische und wasserwirtschaftliche Grundlagen“, Universität Hannover, Weiterbildendes Studium – Wasser und Umwelt - SS03, Prof. Dr.-Ing. U. Maniak)

Aus der obigen Kontinuitätsgleichung ist ersichtlich, dass die Verdunstung eine wichtige Komponente des Wasserhaushaltes darstellt. In den verschiedenen Klimabereichen der Bundesrepublik Deutschland verdunsten im Mittel rund 65 % des Niederschlags wieder, lediglich die restlichen 35 % fließen oberirdisch ab oder füllen die Grundwasservorräte auf. Daraus wird ersichtlich, wie außerordentlich wichtig der Einfluss der Verdunstung bei der Bilanzierung des Wasserhaushaltes ist.

Im Gegensatz zum Niederschlag ist es jedoch bislang noch nicht möglich, das Verlustglied Verdunstung **real direkt** zu messen. Zwar existieren eine Reihe von Verdunstungsmesseinrichtungen, hinreichend sichere Methoden zur Bestimmung der Gebietsverdunstung sind bislang jedoch noch nicht entwickelt worden.

### **Welche Faktoren spielen bei der Verdunstung eine Rolle?**

Zunächst ist hier die Evaporation (Verdunstung einer freien Wasserfläche oder einer feuchten, vegetationslosen Bodenoberfläche) zu nennen. Zusammen mit der Transpiration (durch die oberirdischen Organe der aktiven Phytomasse in die Atmosphäre transferierte Wasserdampfmenge) ergibt sich die Evapotranspiration (aus Evaporation und Transpiration resultierende insgesamt transferierte Wasserdampfmenge, deren Anteile in der Regel nicht getrennt bestimmbar sind). Ferner ist die Interzeptionsverdunstung eine wichtige Größe. Sie beinhaltet die unmittelbare Verdunstung des von den oberirdischen Organen der Phytomasse interzipierten Niederschlagswassers (Interzeptionsspeicherung) und ist abhängig von der Pflanzenart und Jahreszeit.

### **Wie entsteht Niederschlag?**

Voraussetzung für Niederschlag ist zunächst die Kondensation des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfes, die aber nur zur Bildung von Wolken führt. Wenn der Taupunkt erreicht ist beginnt die Kondensation an sogenannten Kondensationskernen. Dies sind winzige Partikel in der Größenordnung von 0,02 mm, die entweder als Staubteilchen oder als Salzpartikel in großer Anzahl in der Luft schweben. Letztere entstehen durch die Meeresverdunstung. Im Übrigen resultiert daraus auch eine gegebenenfalls vorhandene Belastung des Niederschlages, nämlich dann, wenn die Staubteilchen aus Industrieabgasen stammen. Es entsteht also ein erstes Wolkentröpfchen. Zur Entstehung eines Regentropfens ist die Zusammenlagerung von ca. einer Million Wolkentröpfchen erforderlich. Dies kann dadurch geschehen, dass die schneller absinkenden größeren Tröpfchen auf der Vorderseite kleinere und damit langsamere Tröpfchen einfangen, während andere auf der Rückseite durch Sog angezogen werden. Dadurch wachsen die Tropfen dann langsam an und geraten in Instabilitätschwüngungen, die zum Zerplatzen der Tropfen führen können. Als Tropfentrümmer gelangen die zerplatzten Reste in den Wolken durch Vertikalbewegungen wieder aufwärts und wachsen beim Fallen erneut zusammen, bis sie schließlich als Regentropfen aus der Wolke herausfallen.

### **Erscheinungsformen des Niederschlages:**

(entnommen aus Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt, SS03, Universität Hannover,

*Prof. Dr.-Ing. U. Maniak; Braunschweig)*

- **Nieseln (Sprühregen)**

Gleichmäßiger flüssiger Niederschlag mit Tröpfchen von weniger als 0,5 mm Durchmesser, die langsam fallen, daher auch großturbulente Luftströmungen mitmachen.

- **Regen**

Niederschlag mit Tropfengrößen zwischen 0,5 und 5 mm Durchmesser, kann in Form von Schauern oder Landregen fallen.

- **Schauer**

Kurzdauernde, horizontal scharf begrenzte Regengüsse, auch Schnee-, Graupel- oder Hagelschauer.

- **Dauerregen (Landregen)**

Stundenlang anhaltender großtropfiger Regen großer horizontaler Ausdehnung (kann in gleicher Anordnung auch als Schnee fallen).

- **Starkregen**

Regen, der, bezogen auf seine Dauer D, eine hohe Niederschlagsintensität hat und damit relativ selten auftritt. Starkregenkriterium nach WUSSOW hN jY [5D-(D/24)2]0,5

- **Schnee**

Verzweigte hexagonale Kristalle, die durch ein sehr rasches Wachstum im eisübersättigten Wasserdampf vorwiegend an den Ecken wachsen, was sternchen- oder bäumchenförmige Verzweigungen ergibt. Bei Temperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes fallen Schneeflocken, die aus Zusammenballungen von Schneesternen bestehen und meist mit Wassertröpfchen verklebt sind, wobei sie Größen von mehreren Zentimetern erreichen können.

- **Eisnadeln**

Sehr kleine unverzweigte Eiskristalle, die in der Luft zu schweben scheinen; kommen nur bei sehr großer Kälte vor, u.U. auch ohne sichtbare Wolken.

- **Reifgraupeln**

Weisse, undurchsichtige und meist kegelförmige Körner von schneähnlicher Struktur, leicht zusammendrückbar, kommen oft zusammen mit Schnee vor, können auch als Schauer fallen.

- **Frostgraupeln**

Bestehen meist aus Reifgraupeln mit einer dünnen Eisschicht darüber, halbdurchsichtig, rund oder auch kegelförmig, fallen im Allgemeinen als Schauer.

- **Hagel**

Abwechselnd aus klarem und undurchsichtig milchigem Eis gebildete Kugeln von 5 bis maximal 50 mm Durchmesser, entstehen nur in schweren Gewittern, in denen

starke Aufwinde herrschen, mit denen das Hagelkorn wiederholt fallen und wieder hochgetragen werden kann.

- Eiskörnchen

Gefrorener Regen, durchsichtige harte Körnchen, entstehen, wenn Regen durch Luftsichten unter  $0^{\circ}$  fällt und dabei gefriert.

- Nebeltraufe

Ablagerung von in der Luft bereits kondensierten Nebeltropfen, vor allem an Bäumen, Sträuchern etc.

- Raureif

Ablagerung von unterkühltem Nebel an senkrechten Flächen, Ecken und Spitzen, kristallähnliche Struktur.

- Raufrost

Undurchsichtige körnige Masse, die sich bei nassendem Nebel und Temperaturen unter  $0^{\circ}$  ähnlich wie Rauhreif ablagert.

- Raueis

Undurchsichtige schne- bzw. eisartige Masse, die sich bei nassendem Nebel und Regen bei Temperaturen unter  $0^{\circ}$  an senkrechten Flächen ablagert.

- Tau

Wassertröpfchen, die sich als Folge der direkten Kondensation aus der anliegenden klaren Luftsicht auf den durch nächtliche Ausstrahlung abgekühlten horizontalen Flächen ablagern. Tau und Nebelniederschläge einschließlich Raureif können mit Mengen bis zu 30 mm pro Jahr einen nennenswerten Anteil an der Gesamtniederschlagsmenge haben.

Natürliche Außeneinzugsgebiete mit Vorflut in ein städtisches Entwässerungssystem sind bei der hydraulischen Berechnung des Kanalnetzes besonders zu untersuchen (vgl. ATV-DWK Arbeitsblatt 118). Die üblichen Verlustansätze über den pauschalen Abflussbeiwert  $\Psi$  können bei natürlichen weitgehend unbefestigten Gebietsflächen nicht mehr angewendet werden.

In einem solchen Fall sind geeignete Modellansätze für eine Niederschlag-Abflussbeziehung zu verwenden. Dazu bietet sich die mathematische Modellierung hydrologischer Prozesse an. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen deterministischen (parametrischen) und stochastischen (statistischen) Modellen.

Bei den deterministischen Modellen werden die Variablen der zu lösenden Gleichungssystem frei von zufälligen Variationen angesehen. Es sind in der Regel verhältnismäßig kurze Beobachtungszeitreihen ausreichend.

Bei den statistischen Modellen hingegen werden die Variablen als zufällige Ereignisse, die einer Wahrscheinlichkeitsverteilung gehorchen, angesehen. Dementsprechend sind sehr hohe Anforderungen an die Eingangsdaten erforderlich. Langjährige und umfangreiche Beobachtungen sind unerlässlich.

Betrachtet werden hier lediglich die deterministischen Modellansätze, die als entweder in vereinfachter Form als „Black-Box-Modell“ oder als „detailliertes Modell“ angewendet werden können.

Das Black-Box-Modell setzt eine Ursache-Wirkungs-Beziehung (Input-Output) voraus, die mit Hilfe von Messdaten aufgestellt wird. Auf eine Berücksichtigung der Feinstruktur des Systems wird dabei bewusst verzichtet. Zum Black-Box-Modell gehört z.B. auch das Einheitsganglinienverfahren.

Beim detaillierten System werden zur Erfassung der Gebietscharakteristiken differenzierte Betrachtungen mit Hilfe mathematischer bzw. physikalischer Modellkonzepte entwickelt, die an entsprechenden Naturbeobachtungen kalibriert werden.

**Generell ist nach der Abflussbildung und der Abflusskonzentration zu unterscheiden.**

### **Abflussbildung:**

Die Abflussbildung beschreibt den Vorgang zur Umwandlung des gesamten Niederschlages in den direkten Abfluss. Dieser wird auch als effektiver oder abflusswirksamer Niederschlag bezeichnet. Der Direktabfluss ist die Summe aus Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss.

Als Ansatz für die Abflussbildung steht entweder das Abflussbeiwertkonzept oder das Verlustratenkonzept zur Verfügung.

Beim Abflussbeiwertansatz gelangt pro Berechnungsintervall nur ein konstant oder variabel vorgegebener angenommener Anteil des Niederschlages zum Abfluss.

Beim Verlustratenansatz wird pro Berechnungsintervall ein konstant oder variabel angenommener Verlust bzw. eine Versickerungsrate angesetzt.

Die Ermittlung des Abflussbeiwertes bzw. des Effektivniederschlages kann z.B. nach dem SCS-Verfahren (U.S. Soil Conservation Service der USA) erfolgen.

Für die Zeitliche Verteilung des Effektivniederschlages und damit für die Form der Ganglinie des Direktabflusses können unterschiedliche Verteilungen angenommen werden. Entweder als Blockregen, mit zeitlich konstanter Intensitätsverteilung.

Blockregen sind jedoch nur für Niederschlagsdauern  $D < 0,5$  Std. anzusetzen.

Die zeitliche Verteilung des Niederschlages sollte entsprechend den Empfehlungen der DVWK-Regeln H 113 erfolgen. Danach werden in den ersten 30 % der Dauer 20 % des Gesamtniederschlages, in den nächsten 20 % der Dauer 50 % und in der zweiten Hälfte der Regendauer die restlichen 30 % des Niederschlages angenommen.

### **Abflusskonzentration:**

Von Bedeutung bei der Abflusskonzentration ist die Konzentrationszeit  $T_c$ . Damit wird die Zeitspanne angegeben, die vom Beginn des Regens, bis zu dem Zeitpunkt, an dem der direkte Abfluss von allen Teilgebieten eines Einzugsgebiets den Gebietsauslass erreicht hat, vergeht. Dies kann z.B. über den Ansatz von Kirpich erfolgen.

$$T_c = 0,0663 * (L/J^{0,5})^{0,77}$$

### **Translation und Retention:**

Beschreibt den zeitlichen Ablauf des Abflusses im Gebiet. Durch die Retention werden die Speichereigenschaften eines Gebietes berücksichtigt, während die Translation die Fließeigenschaften im Gewässer berücksichtigt (Laufzeiten, Konzentrationszeiten).

Das Flutplanverfahren der Stadtentwässerung stellt ein einfaches Translationsmodell dar. Der höchste Scheitelabfluss ergibt sich in einem Translationsmodell dann, wenn die Dauer des effektiven Niederschlages gleich der Fließzeit vom äußersten Punkt einer Einzugsgebiete bis zum Betrachteten Systempunkt ist. Nur in diesem Fall ergibt sich die Flutkurve, die gleich der Zuflussganglinie ohne Retention ist, als Dreiecksfläche. Sofern die Regendauer kürzer als die maßgebliche Fließzeit im Netz gewählt wird, ergibt sich eine trapezförmige Flutkurve. Dabei ist jedoch zu bedenken, das bei einer kürzeren Regendauer nicht der maßgebende Maximalabfluss im System ermittelt werden kann, da am Ende der Regendauer noch nicht aller Flächen das Abflussgeschehen am betrachteten Systempunkt beeinflussen. Anders verhält es sich, wenn die Regendauer länger als die Fließzeit im Kanalnetz gewählt wird. In diesem Fall ergibt sich ebenfalls eine trapezförmige Abflusskurve, die jedoch den Maximalabfluss am Systemschnittpunkt angibt.

Zielsetzung sollte immer die Ermittlung einer Regendauer sein, die gleich der Fließzeit im Kanalnetz bis zu dem jeweils betrachteten Systempunkt ist.