

Tafel 6.1 Wasserhaushalt grosser Einzugsgebiete

Einleitung

Der Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes setzt sich aus den Elementen Niederschlag (P), Abfluss (R), Verdunstung (E) und Vorratsänderung (δS) zusammen. Während alle anderen Grössen auf Messungen beruhen, muss die Verdunstung berechnet werden: $E = P - R \pm \delta S$. Da die Vorratsänderungen im Boden- und Grundwasserspeicher wie auch in der Schneedecke nicht bekannt sind, kann die Verdunstung allerdings nur für mehrjährige Perioden zuverlässig bestimmt werden.

Für die grösseren Einzugsgebiete (Flussgebiete) der Schweiz wurden alle Wasserhaushaltskomponenten auf der Basis von Monatswerten für die Periode 1901-1984 berechnet [1]. Um Vergleiche mit anderen Tafeln zu ermöglichen, beziehen sich alle Mittelwertsdarstellungen auf die Periode 1961-1980. Mit Hilfe der Zeitreihen lassen sich diese Mittelwerte in die Schwankungen innerhalb der ersten achtzig Jahre des 20. Jahrhunderts einordnen.

Gebietswasserhaushalt

Die Karten zum Gebietsniederschlag und -abfluss sowie zur Gebietsverdunstung geben einen Überblick über die regionale Verteilung der einzelnen Grössen im Vergleich zum schweizerischen Mittelwert. Deutlich werden die klimatischen Unterschiede zwischen den Flussgebieten sichtbar.

Die Karte der Vorratsänderungen stellt absolute Zahlenwerte dar. Die Zunahme der Vorräte ist vor allem durch die Jahre mit positiver Massenbilanz der Gletscher zwischen 1965 und 1980, zu einem kleinen Teil auch durch das Auffüllen neuerstellter Speicherbecken bedingt. Aus den Zeitreihen in den Figuren 10 bis 12 geht aber auch deutlich hervor, dass die mittlere Vorratsänderung im Zeitraum 1961-1980 von +7.5 mm/a nicht repräsentativ ist für die 80-jährige Periode 1901-1980 (-6 mm/a).

In Tabelle 1 erscheinen alle in den Karten eingetragenen Einzugsgebiete. Die jährlichen Durchschnittswerte der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten sind sowohl in Millimeter pro Jahr (mm/a) als auch in Prozent (%) des schweizerischen Mittelwertes angegeben. Die Numerierung erlaubt auf allen Darstellungen die Identifizierung der Gebiete.

Die Wasserbilanz der Schweiz (Fig. 13) zeigt die durchschnittlichen Wasserumsätze, ausgedrückt in Millimeter Wasserschicht pro Jahr. Ein Millimeter Wasser pro Jahr bezogen auf die Fläche der Schweiz entspricht umgerechnet 41.3 Millionen m^3/a oder 1.31 m^3/s .

Über verschiedene Gewässer fliessen der Schweiz 415 m^3/s Wasser zu und verlassen diese wieder über die grossen Flüsse. Die Wasserreserven, die 1980 in den natürlichen und künstlichen Seen und in Form von Schnee und Eis lagerten, entsprechen rund der 3.5-fachen Menge eines Jahresniederschlags.

Zeitliche Variabilität

In den Figuren 1 bis 9 sind für eine Auswahl von Gebieten Zeitreihen der jährlichen Werte von 1905 bis 1980 dargestellt. Die ausgezogenen Kurven repräsentieren die mittels eines Gauss'schen Tiefpassfilters über jeweils neun Jahre geglätteten Jahreswerte. Um einen Eindruck über die Variabilität der einzelnen Jahre zu vermitteln, sind für jeweils ein Gebiet die Abweichungen zwischen den beobachteten Jahreswerten und der geglätteten Zeitreihe in Form von Säulen dargestellt.

Die Niederschlagsreihen - und parallel dazu die Abflussreihen - zeigen grosse Variationen im Verlaufe der Zeit. Extrem nasse und trockene Jahre (1920/1921) können sich unmittelbar folgen. Über die ganze Beobachtungsperiode lassen sich Schwankungen mit einer Periodizität zwischen sechs und elf Jahren (im Durchschnitt neun Jahre) verfolgen. Die Schwankungen sind in der

Südschweiz, wo auch die grössten Niederschlags- und Abflusshöhen beobachtet werden, besonders ausgeprägt. Neben diesen periodischen Schwankungen fällt die Trockenzeit der 1940er Jahre auf: in der ganzen Schweiz waren die Abflüsse wegen der geringen Niederschlagsmengen im allgemeinen sehr tief; in höher gelegenen Gebieten (Rhone, Inn) wurde dieses Niederschlagsdefizit aber durch höhere Schmelzwasserbeiträge kompensiert.

Die Niederschlagsmengen haben sich insgesamt kaum verändert. Bei den Abflüssen ist jedoch eine Tendenz zu niedrigeren Werten zu beobachten. Die Ursache für die generell geringeren Abflüsse ist ein Anstieg der Verdunstung. In Jahren ohne ausgeprägte Trockenheit ist die Verdunstung direkt von der Temperatur abhängig. Durch die generelle Zunahme der Temperatur ist die beobachtete Tendenz in der Verdunstung erklärbar.

Besonders markant ist das niedrigere Niveau der Abflüsse in der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode im Ticino. Ursache sind in diesem Fall die geringer ausgefallenen Niederschläge.

Die jährlichen Schwankungen scheinen bei der Verdunstung sehr gross zu sein. Dies sind rein methodisch bedingte Fehler, die sich über mehrere Jahre ausgleichen. Die Ursache liegt in den unterschiedlich grossen Wasserreserven im Boden, im Grundwasser und in der Schneedecke jeweils am Anfang des hydrologischen Jahres. Grössere Fehler bei der Abflussmessung und bei der Schätzung der Reservenänderung zu Beginn des Jahrhunderts wirken sich auch auf die Bestimmung der Verdunstung aus.

Verschiedenste Wasserspeicher werden im Verlaufe eines Jahres aufgefüllt und geleert: Natürliche Seen, künstliche Speicherseen, Grundwasser, Bodenwasser, Schneedecke. Die Vorratsänderungen dieser Speicher gleichen sich über einige Jahre zum grössten Teil wieder aus. Die Gletscher jedoch, als bedeutende Wasserspeicher, verändern sich nur sehr langsam im Verlaufe von vielen Jahren. Diese Änderungen müssen deshalb auch bei langfristigen Wasserbilanzen berücksichtigt werden. Da der Wasserstand in den künstlichen Speicherseen zu Beginn des hydrologischen Jahres jeweils seinen Höchststand erreicht, entstehen dort von Jahr zu Jahr nur geringe Vorratsänderungen. Beim erstmaligen Aufstau der Seen muss das zurückgehaltene Wasser jedoch als Vorratsänderung berücksichtigt werden.

Die Figuren 10 bis 12 geben für drei ausgesuchte Einzugsgebiete Summenkurven der Speicheränderungen über die Zeit von 1901-1980. Aus diesen Kurven lässt sich also die totale Vorratsänderung zwischen zwei Zeitpunkten herauslesen.

Aus diesen Darstellungen wird die wichtige Stellung der Gletscher als Wasserreserve deutlich. Unterbrochen von kurzen Erholungsphasen sind die Gletscher stark zurückgeschmolzen, gesamtschweizerisch zwischen 1901 und 1980 um rund 25 % ihres ursprünglichen Volumens. Ebenfalls klar sichtbar wird der Ausbau der Speicherseen im Wallis in den 1950er Jahren.

Für die Berechnung der Wasserhaushaltszahlen wurde in [1] als Zeitbasis ein Monat verwendet. Dadurch wird es möglich, die saisonalen Schwankungen der Wasserhaushaltskomponenten darzustellen. Während für den Niederschlag, den Abfluss und die Vorratsänderung der natürlichen und künstlichen Seen Messungen vorlagen, musste die Aufteilung der Jahresverdunstung aufgrund von Erfahrungswerten aus der Literatur vorgenommen werden. Damit war es möglich, auch monatliche Werte für die Rücklage und den Verbrauch von Reserven in Form von Schnee, Eis, Boden- und Grundwasser abzuschätzen.

Die Figuren 14 bis 17 zeigen die mittleren monatlichen Schwankungen (Regimes) für vier Einzugsgebiete. Links sind als Balken Eingang und Verbrauch von Wasser in einem Einzugsgebiet, rechts die entsprechenden Ausgangsgrössen und die Rücklagen dargestellt. Mit dieser Aufteilung lässt sich die Wasserbilanz in einem Gebiet anschaulich darstellen.

Die einzige Eingangsgrösse in ein Einzugsgebiet ist der Niederschlag. Zum Verbrauch zählen das Ablassen von Wasser aus den Speicherseen im Winter, das Schmelzen von Schnee und Eis im Sommer, der Verbrauch von Boden- und Grundwasser während der Vegetationszeit sowie das Absinken des Wasserspiegels in natürlichen Seen.

Ausgangsgrössen aus dem Gebiet sind Abfluss und Verdunstung. Zur Rücklage zählen die Speicherung von Wasser in Form von Schnee und Eis und von Boden- und Grundwasser im Winter sowie der Aufstau von Speicherseen und von natürlichen Seen.

Deutlich sind die Unterschiede in der jahreszeitlichen Verteilung von Vorratsänderungen und Abfluss zwischen den alpinen Einzugsgebieten und dem tieferliegenden Gebiet der Birs erkennbar. Beim Diagramm der Rhone (Fig. 16) zeigt sich insbesondere die Bedeutung der Speicherseen, welche Wasser vom Sommer in den Winter zurückhalten. Möglich ist diese Umlagerung nur dank der Schneeschmelze im Sommer. Um diese Beträge wird der Abfluss im Sommer vermindert und im Winter vermehrt.

Literatur

- [1] **Schädler, B. (1985):** Der Wasserhaushalt der Schweiz. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 6, Bern.