

6.3 Komponenten des natürlichen Wasserhaushaltes 1961–1990

Einleitung

Der Wasserhaushalt beschreibt die hydrologische Charakteristik der Einzugsgebiete und gibt einen Überblick über die verfügbaren Wasserressourcen. Er besteht aus den Komponenten Gebietsniederschlag (P), Gebietsabfluss (R), Gebietsverdunstung (E) und Speicheränderung (δS). Bei besonderen hydrogeologischen Verhältnissen – insbesondere in Karstgebieten – sind auch die natürlichen unterirdischen Zu- und Wegflüsse (I) zu berücksichtigen. Die Bilanzgleichung des Wasserhaushaltes lautet:

$$P = R + E + \delta S - I$$

Der Wasserhaushalt ist direkt mit den klimatischen Verhältnissen gekoppelt. Beispielsweise besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Verdunstung und der mit der Höhe abnehmenden Temperatur bzw. Nettostrahlung (vgl. Tafel 4.2).

Eine räumlich differenzierte Betrachtung des Wasserhaushaltes, wie es die vorliegende Tafel zum Ziel hat, erlaubt es, das Wasserdargebot der Schweiz im Detail zu analysieren. In früheren Studien zum Wasserhaushalt ausgewählter Einzugsgebiete [z.B. 1,3] wurden grosse Unsicherheiten bei der Bilanzierung festgestellt, so dass es nicht möglich erschien, eine räumlich detaillierte, gesamtschweizerische Wasserhaushaltsanalyse durchzuführen. Im Hinblick auf die vorliegende Untersuchung wurden die Flussgebiete, deren Wasserhaushalt in der Tafel 6.1 eingehend betrachtet wird, in Bilanzierungsgebiete unterteilt und erste Analysen des Abflusses durchgeführt (Tafel 5.4). Diese Analysen dienen als Ausgangspunkt zur Bestimmung der Wasserbilanzen der 287 Bilanzierungsgebiete. Als Zeitraum für die Untersuchungen wurde die Standardperiode 1961–1990 der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gewählt und die entsprechenden Mittelwerte dieser Periode verwendet.

Niederschlag und Abfluss werden in der Schweiz in relativ dichten Messnetzen erfasst, wobei die Messnetzdichte im Alpenraum generell geringer ist. Dies führt dazu, dass die Genauigkeit dieser Wasserhaushaltskomponenten vor allem in den Bilanzierungsgebieten des Alpenraums sehr unterschiedlich ist. Zur Verdunstung, für die bisher keine gesamtschweizerischen Informationen zur Verfügung standen, liegen nun, gestützt auf Arbeiten von [4], sehr gute Daten vor (Tafel 4.1). Ausgehend von einzelnen repräsentativen Gletschern, für welche Jahreswerte der Massenänderung vorliegen [5], lassen sich Aussagen zur Speicheränderung vergletschelter Gebiete ableiten. Insgesamt liegen für alle Bilanzierungsgebiete Informationen zu den Wasserhaushaltskomponenten vor, allerdings – und dies ist für die folgenden Ausführungen sehr wichtig – in unterschiedlicher Güte. In vielen Gebieten führt das Zusammenfügen dieser Informationen zur Wasserbilanz zu nicht plausiblen Ergebnissen. So ergeben sich in alpinen Gebieten aus der Differenz zwischen Niederschlag und Abfluss und unter Berücksichtigung der Speicheränderung oft Verdunstungswerte, die physikalisch nicht erklärbar sind. Wie die Analysen gezeigt haben, werden diese Probleme in den meisten Fällen durch die Ungenauigkeiten beim Gebietsniederschlag verursacht, welche auf die Schwierigkeiten bei der Niederschlagsmessung und bei der räumlichen Interpolation und Extrapolation zurückzuführen sind. Angesichts dieser Unsicherheiten empfahl [2] bereits 1985, den Niederschlag im Gebirge als Restglied der Wasserbilanz zu betrachten; das heisst, den Niederschlag aus Abfluss, Verdunstung und Speicheränderung zu berechnen und Niederschlagsdaten nicht explizit zu verwenden. Für die vorliegende Tafel wurde diese Vorgehensweise aufgenommen. Zusätzlich eingebaute Schritte erlaubten es, die so ermittelten Niederschlagswerte im Kontext der regionalen Wasserbilanz zu prüfen und allenfalls zu korrigieren.

Methodik

Aufgrund der geschilderten Ausgangslage wird der Niederschlag eines Bilanzierungsgebietes aus dem Abfluss, der Verdunstung und der Speicheränderung der Gletscher berechnet. Im Hinblick auf Genauigkeitsüberlegungen ist den Fehlern der Abflussdaten grosse Beachtung zu schenken, da der Abfluss bei den meisten Gebieten in der Schweiz den grössten Anteil am berechneten Niederschlag ausmacht (s. Karte Abflusskoeffizient). Die Verdunstungswerte sind wesentlich kleiner als die Werte von Niederschlag und Abfluss; damit wirken sich Fehler bei der Verdunstung nur geringfügig auf den Fehler der Niederschlagsberechnung aus. Obwohl die relativen Fehler bei der Abschätzung der Massenbilanzänderung der Gletscher verhältnismässig gross sind, haben sie absolut gesehen einen geringen Einfluss auf die Genauigkeit des Gebietsniederschlags.

Aus diesen Genauigkeitsüberlegungen lassen sich Anforderungen an die Daten in den Bilanzierungsgebieten ableiten. Dazu werden insbesondere die Plausibilitätsuntersuchungen der Abflussdaten von Tafel 5.4 verwendet. Für Gebiete mit verlässlichen Abflussdaten wird die Wasserbilanz direkt berechnet und für die weiteren Analysen unverändert übernommen. Für die übrigen Gebiete kann die Wasserbilanz wegen der Unsicherheit der Abflussdaten nur näherungsweise bestimmt werden. Deshalb wird wo möglich ein regionaler Abgleich durchgeführt. Dazu sind übergeordnete Einzugsgebiete notwendig, welche mehrere Bilanzierungsgebiete umfassen und über verlässliche Abflussdaten verfügen. Insgesamt können 17 solcher Gebiete verwendet werden. In einigen Regionen entlang der Landesgrenze lassen sich übergeordnete Einzugsgebiete nicht finden, so dass dort ein regionaler Abgleich nicht möglich ist. Somit ergeben sich zwei Vorgehensweisen:

- 1) Wasserbilanzberechnungen mit regionalem Abgleich: Für Bilanzierungsgebiete mit verlässlichen Abflussdaten werden alle Wasserhaushaltskomponenten, also auch der Gebietsniederschlag, unverändert übernommen (Plausibilität der Wasserbilanz = 1; s. Karte «Niederschlag der Bilanzierungsgebiete»). Für die übrigen Gebiete wird der Gebietsniederschlag aufgrund regionalhydrologischer Überlegungen oder Modelle abgeschätzt (Plausibilität 2 oder 3, je nach Datenlage). Die Summe der Gebietsniederschläge aller Bilanzierungsgebiete muss dem Gebietsniederschlag des übergeordneten Einzugsgebietes entsprechen. Der Ausgleich einer allfälligen Differenz geschieht ausschliesslich beim Gebietsniederschlag der Gebiete mit Plausibilität 2 und 3. Anschliessend muss in diesen Bilanzierungsgebieten der Abfluss über die Wasserbilanz berechnet werden.
- 2) Wasserbilanzberechnungen ohne regionalen Abgleich: Es wird analog zu Punkt 1) vorgegangen; allerdings ist hier ein regionaler Abgleich nicht möglich. Das heisst, dass die geschätzten Wasserbilanzen unverändert übernommen werden müssen, weil eine regionale Überprüfung nicht durchgeführt werden kann. Deshalb ist auch die Plausibilität der Wasserbilanz nicht abschätzbar (Plausibilität = 4).

In die Plausibilitätsstufe 1 fallen 57 % aller Bilanzierungsgebiete, 16 % in Stufe 2 und 9 % in Stufe 3. Bei 18 % der Bilanzierungsgebiete ist die Plausibilität unbekannt (Stufe 4). Insgesamt erhalten wir ein in sich geschlossenes System zur Herleitung von Wasserbilanzen, das von plausiblen Werten ausgeht und regional abgestimmte Wasserbilanzen erzeugt.

Resultate

In vier Karten werden für alle Bilanzierungsgebiete die Komponenten des Wasserhaushaltes sowie der Abflusskoeffizient dargestellt. Die höchsten Niederschläge erhalten die Bilanzierungsgebiete auf der Alpennordseite zwischen Grimselgebiet und Säntis sowie jene im westlichen Tessin. Diese räumliche Verteilung kommt beim Abfluss noch stärker zum Ausdruck, da die Verluste durch die Verdunstung in diesen hoch gelegenen Gebieten relativ gering ausfallen. Bei den angegebenen Abflusswerten handelt es sich um natürliche Abflusshöhen. Die Beeinflussung durch die Wasserkraftnutzung (s. Tafel 5.3) wurde korrigiert.

Neben diesen grundlegenden Informationen zum Wasserhaushalt liefern die einzelnen Karten weitere Angaben. So enthält die Niederschlagskarte auch Hinweise zur Plausibilität der Wasserbilanz (s. Methodik). Die Abflusskarte zeigt zusätzlich den Wert der Massenbilanzänderung vergletschelter Einzugsgebiete. Mit Ausnahme des Aletschgletschers (Gebiet 50-050), der wegen seiner Grösse sehr träge auf Klimaänderungen reagiert (vgl. Tafel 3.7), sind die Massenbilanzen der Gletscher im Zeitraum 1961–1990 durchwegs negativ. Ferner ist der Abflusskarte zu entnehmen, dass vor allem im Bereich des Walensees und des Thuner Sees namhafte unterirdische Zuflüsse auftreten.

Der Abflusskoeffizient, der in der vierten Karte dargestellt ist, beschreibt den Anteil des Niederschlags, der im langjährigen Mittel zum Abfluss gelangt. Im östlichen Berner Oberland, im oberen Teil des Reussgebietes und vereinzelt auch in anderen Regionen des Alpenraums fliessen bis zu 90 % der gefallen Niederschläge ab. Damit gelangt deutlich zum Ausdruck, dass diese Gebiete einen namhaften Beitrag zum «Wasserschloss Schweiz» leisten. Kleinere Abflusskoeffizienten treten in den Bilanzierungsgebieten des östlichen und westlichen Mittellandes und in der Nordwestschweiz auf, wo hohen Verdunstungswerten geringe Niederschlagswerte gegenüberstehen.

Die Möglichkeit, die Wasserbilanzen der Bilanzierungsgebiete zu neuen Raumeinheiten zu aggregieren, wird nun genutzt, indem Wasserbilanzen für ausgewählte grössere Einzugsgebiete, für die Kantone und auch für die ganze Schweiz ausgewiesen und verglichen werden. So kann beispielsweise der Beitrag eines Kantons zum «Wasserschloss Schweiz» beziffert werden. Dies soll nun beispielhaft erläutert werden:

Der Oberlauf der Rhone liefert im langjährigen Mittel 5645 Mio m³ pro Jahr in den Genfer See (Karte, Punkt 50-5). Dies entspricht einem mittleren Abfluss von 179 m³/s (Tab. 1). Zu den 10 732 Mio m³/a, welche in der Rhone an der Landesgrenze abfliessen (Punkt 50-6, Karte, Tab. 1), trägt der Oberlauf der Rhone 52.6 % bei (Tab. 1). Betrachtet man nur jene Teile des Einzugsgebietes im Oberlauf, welche auf schweizerischem Boden liegen, so liefern diese ein jährliches Abflussvolumen von 5575 Mio m³ (Tab. 1). Dies entspricht einem mittleren Beitrag von 13.6 % zum gesamten Abfluss, der in der Schweiz erzeugt wird.

Ähnliche Aussagen lassen sich nun auch bezüglich der Kantone ableiten. Beispielsweise trägt der Kanton St. Gallen 1519 Mio m³/a zum Abfluss des Rheins oberhalb der Aaremündung bei. Weitere 823 Mio m³/a fliessen in die Limmat (s. Karte). In der Tabelle 2 werden diese Angaben weiter vertieft. Insgesamt erzeugt der Kanton St. Gallen 2342 Mio m³/a, was einem Beitrag von 8.8 % zum Gesamtabfluss des Rheins bei Basel und von 5.7 % zum Gesamtabfluss der Schweiz entspricht. Wie Figur 1 verdeutlicht, sind sowohl Niederschlag, Abfluss und interessanterweise auch die Verdunstung leicht höher als allein aufgrund des Flächenanteils von St. Gallen an der Schweiz zu erwarten wäre.

In Tabelle 1 werden auch die Wasserbilanzen der Flussgebiete und der gesamten Schweiz ausgewiesen. Mit 1458 mm Niederschlag, 991 mm Abfluss und 469 mm Verdunstung ergeben sich trotz der unterschiedlichen Vorgehensweisen nur geringfügige Abweichungen zur Tafel 6.1 (P: 1481 mm, R: 961 mm, E: 513 mm), die den schweizerischen Wasserhaushalt der Periode 1961–1980 beschreibt.

Literatur

- [1] **Binggeli, V. (1974):** Hydrologische Studien im zentralen schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 22, Bern.
- [2] **Lang, H. (1985):** Höhenabhängigkeit der Niederschläge. In: Der Niederschlag in der Schweiz, Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 31:149–157, Bern.
- [3] **Leibundgut, Ch. (1978):** Die Berechnung der Verdunstung aus der Wasserbilanz von Einzugsgebieten. In: Die Verdunstung in der Schweiz, Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 25:63–68, Bern.
- [4] **Menzel, L. (1997):** Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Zürcher Geographische Schriften, Nr. 67, Zürich.
- [5] **Müller-Lemans, H. et al. (1994):** Langjährige Massenbilanzreihen von Gletschern in der Schweiz. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 30:141–160, Innsbruck.