

## Tafel 6.4 Hydrologische Bedeutung des europäischen Alpenraums

### Einleitung

Gebirge und Hochländer sind typischerweise Regionen erhöhten Wasserdargebots. Dies rührt vor allem daher, dass das Gebirge die Luft zum Aufsteigen zwingt und damit die Luftmassen abgekühlt werden; dadurch fällt Wasserdampf in Form von Niederschlag aus (orographischer Niederschlag). Zudem bewirken die geringere Nettostrahlung (vgl. Tafel 4.2), die niedrigeren Temperaturen, die häufigere Schneebedeckung (vgl. Tafel 3.6) sowie die kürzere Vegetationsdauer eine geringere Verdunstung (vgl. Tafel 4.1). Diese Faktoren erzeugen auch im Bereich der europäischen Alpen – im Vergleich zum Vorland – deutlich grössere jährliche Abflusshöhen (Tab. 2), ein Faktum, dem die Alpen ihren Titel als «Wasserschloss Europas» verdanken.

Da die Alpen auf drei Seiten zu Meeren hin geöffnet sind (Atlantik, Mittelmeer und Nordsee) und in der Westwindzone liegen, besteht eine reichliche Zufuhr von Luftfeuchtigkeit. Entscheidend für die Wasserschlossfunktion der Alpen ist zudem die temporäre bis langfristige Speicherung der winterlichen Niederschläge in Form von Schnee und Eis, welche erst im Frühling und Sommer schmelzen und abfließen, also genau in jener Periode, in der das Wasserdargebot im Vorland klein und der Wasserbedarf der Landwirtschaft gross ist. Die Tiefländer der Flüsse Rhein, Rhone, Po und Donau profitieren insbesondere in den Sommermonaten von dem jedes Jahr mit hoher Zuverlässigkeit erfolgenden Abfluss aus den Alpen (sehr kleine Variationskoeffizienten der sommerlichen Abflüsse).

Die klimatischen Unterschiede zwischen Alpen und Vorland lassen sich auch in den Abflussregimes deutlich erkennen: Während bei den im Alpenraum entspringenden Flüssen glazial und nival beeinflusste Regimes dominieren (vgl. Tafel 5.2), finden sich im Vorland gegen Norden hin vor allem ozeanische, pluvial geprägte und gegen Süden hin hauptsächlich mediterrane, sommertrockene Abflussregimes. Im Osten sind unter dem Einfluss weiterer Gebirgsregionen (Karpaten, Dinarische Alpen, Balkan) vor allem subalpine, also nivale bis pluviale Regimes vorherrschend. Die auf der vorliegenden Tafel vorgenommene Regimeklassifikation (Fig. 1) lehnt sich an [2] an und richtet sich vor allem nach der Ausprägung der Maxima und Minima im mittleren saisonalen Abflussgang. Die Typisierung des Regimes des Nebenflusses bezieht sich jeweils auf die Abflusscharakteristik vor dessen Mündung in den Hauptfluss.

Die Definition des Alpenraumes, wie sie hier verwendet wird, basiert auf den leicht veränderten Kriterien von [3]. Massgebend ist dabei primär die Höhe über Meer. Flächen oberhalb 1000 m ü.M. werden als Gebirge bezeichnet, sofern sie auch bestimmten Kriterien bezüglich Neigung und Höhendifferenz genügen.

Die Zugehörigkeit zum Gebirge wurde auf der Basis eines Höhenmodells mit einer Auflösung von ca. 1 km (0.5') ermittelt. Um in der Darstellung kleine, isolierte Gebirgsflächen zu vermeiden, wurde ein Glättungsalgorithmus angewandt.

Um die hydrologische Fernwirkung der Alpen zu quantifizieren, wurde der Anteil des Abflusses, der aus dem Alpenraum stammt, auf monatlicher Basis bestimmt. Einen Anteil von 100 % weisen die Hauptflüsse beim Verlassen des Alpenraumes auf. Durch die Tieflandzuflüsse wird der alpine Anteil verringert; durch Zubringer mit alpinem Regime kann er auch wieder erhöht werden. Dies gilt insbesondere für die Rhone, den Po und die Donau. Einen Spezialfall stellt die Donau dar: Sie entspringt ausserhalb des Alpenraums. Deshalb kann der alpine Anteil ihres Abflusses nirgends 100 % erreichen (s. unten).

Da die hydrologischen Daten aus einer Vielzahl von Archiven stammen (s. Tab. 1) und somit unterschiedliche Perioden abdecken, konnte keine einheitliche Bezugsperiode gewählt werden. Wo immer möglich, wurden aber langjährige Reihen aus der Periode 1961–1990 verwendet.

## Rhein

Im Rheingebiet lassen sich Alpenraum und Tiefland geographisch wie auch hydrologisch am deutlichsten unterscheiden: Alpenrhein (Diepoldsau) und Aare machen zusammen den alpinen Abflussanteil aus. Er wird durch die subalpine Thur ergänzt. Das alpin geprägte Regime des Hochrheins bei Rheinfelden wird im Ober- und Mittelrhein allmählich durch die Zuflüsse verändert, welche mit Ausnahme des Mains ozeanisch geprägt sind. Im Unterlauf (Rees) weist der Rhein schliesslich ein ausgeglichenes Regime mit einem Wintermaximum und einem Herbstminimum auf.

Insbesondere in den Sommermonaten Juni bis September üben die Alpen eine deutlich stützende Wirkung auf den Gesamtabfluss aus. So beträgt der alpine Beitrag zum Abfluss in Rees im Juni im Mittel 52 %, und dies bei einem Anteil der Einzugsgebietsfläche von nur 15 %. Die Entwicklung der Abflussspenden im Rheinverlauf verdeutlicht ebenfalls das erhöhte Wasserdargebot der Alpen im Sommerhalbjahr (Mai – Oktober); erst unterhalb von Mainz beginnen die winterlichen Abflussspenden diejenigen des Sommers zu übersteigen und zeigen an, dass der ozeanische Einfluss allmählich dominiert. Die Saisonalität der hydrologischen Bedeutung der Alpen lässt sich im Falle des Rheins mit dem Vergleich der mittleren monatlichen Abflüsse bei Rheinfelden und Rees belegen (Fig. 4): Der für das gesamte Jahr geltende Zusammenhang der Abflüsse ist relativ schwach. Wesentlich stärker wird der Zusammenhang, wenn man die Betrachtung in Winter- und Sommerhalbjahr trennt. Anhand der höheren Korrelation der Sommerwerte sowie des ähnlichen Verlaufs der Regressionsgeraden von Sommer- und Jahreswerten lässt sich deutlich erkennen, dass die alpine Fernwirkung vor allem im Sommerhalbjahr gross ist.

Wie ein Vergleich von modellierten Wasserbilanzen an verschiedenen Stellen des Rheingebietes zeigt (Fig. 3), wird im Alpenraum mehr Abfluss gebildet.

## Rhone

Die Rhone zeigt beim Verlassen der Schweiz (Genf) – dem Rhein sehr ähnlich – ein deutlich alpin geprägtes Regime mit einem sommerlichen Abflussmaximum. Dabei spielt die in Genf in die Rhone mündende, alpine Arve, welche in Savoyen entspringt, eine entscheidende Rolle, vermag sie doch das durch den Genfer See ausgeglichene, alpine Regime zu akzentuieren. Im weiteren Flussverlauf modifizieren Zuflüsse mit subalpinem (Fier), ozeanischem (Ain, Saône) und mediterranem (Ardèche, Durance) Charakter das Abflussregime. Die Alpen sind aber wegen ihrer fortwährenden Nähe zum Hauptfluss weiterhin von Bedeutung, insbesondere über den Zufluss der Isère. Das Regime des Rhoneabflusses unterhalb der Mündung der Saône weist ein klar ausgeprägtes Sommer- oder Herbstminimum auf, wobei der Anteil der alpinen Abflüsse auch hier im Sommer am grössten ist und vermutlich ein Austrocknen verhindert. Bei den Abflussspenden findet sich ebenfalls ein dem Rhein sehr ähnlicher Verlauf, der wiederum durch das grosse sommerliche Wasserdargebot der Alpen geprägt ist. Die winterlichen Abflussspenden zeigen im Oberlauf geringere Werte, was auf den reduzierten Abfluss während des Aufbaus der Schnee- und Eisrücklagen hinweist. Während beim Rhein der Übergang von der sommerlichen zur winterlichen Dominanz der Abflussgenerierung räumlich mehr oder weniger kontinuierlich erfolgt, ist bei der Rhone die Mündung der Saône ein Punkt, wo sich dieser Übergang klar festlegen lässt.

## Po

Die Abflüsse des Po sind geprägt vom Zusammenspiel der Einflüsse der Alpen, des Apennin und des gegen Süden hin zunehmend mediterranen Klimas. Das zu Beginn klar alpine Regime des Po (Crissolo) wandelt sich allmählich in ein mediterranes Regime mit charakteristischen Frühjahrs- und Herbstmaxima. Bedeutende Zuflüsse aus dem Alpenraum (Dora Baltea, Tessin, Adda, Oglio und Mincio) liefern jedoch in den Sommermonaten weiterhin wichtige Abflussbeiträge, ohne die das spätsommerliche Minimum des Po ausgeprägter und das Abflussregime insgesamt weniger ausgeglichen wäre. Dies wird durch die Entwicklung der Abflussspenden weiter verdeutlicht. Die Figur veranschaulicht, dass der direkte Einfluss der Alpen im Sommer zwar relativ schnell abnimmt; die hohen sommerlichen Abflussspenden der alpinen Zubringer sind aber für das Vorland sehr wichtig und unterstreichen auch hier die Wasserschlossfunktion der Alpen.

## Donau

In ihrem Oberlauf (Ingolstadt) weist die Donau im langjährigen Mittel das ausgeglichene Abflussregime eines Mittelgebirgsflusses ohne ausgeprägte Minima oder Maxima auf. Der Einfluss der Alpen beschränkt sich in diesem Abschnitt auf alpine Zuflüsse (Iller, Lech und Isar). Von untergeordneter Bedeutung sind subalpine Zuflüsse (Naab, Regen). Den Charakter eines Alpenflusses erhält die Donau erst mit dem Zufluss des Inns (Passau-Ilzstadt), welcher der Donau ein deutliches Sommermaximum aufprägt. Mit der Drau kommt ein weiterer Zubringer mit alpinem Charakter hinzu; ansonsten verschiebt sich das Abflussmaximum der Donau durch die subalpinen Zubringer vom Sommer zum Frühjahr. Der Anteil der alpinen Abflüsse ist im Spätsommer am grössten, wenn die Abflussmengen der subalpinen Zuflüsse abnehmen und der Aufbau der Schnee- und Eisrücklagen in den Alpen noch nicht begonnen hat.

## Bedeutung der Alpen und anderer Gebirge

Vergleicht man die aufgrund der Einzugsgebietsflächen zu erwartenden Abflussanteile mit den tatsächlich beobachteten, so zeigt sich die hervorragende hydrologische Bedeutung der Alpen (Tab. 3).

Die alpinen Regionen des Rheingebiets liefern – mit einem mittleren Beitrag zum Gesamtabfluss von 34 % – 2.3 mal soviel Wasser als aufgrund ihres Flächenanteils zu erwarten wäre (Überproportionalität). In den Sommermonaten Juli und August ist dieser Beitrag in allen vier Flusssystemen noch wesentlich höher. Das Spektrum reicht hier von 36 % (Donau) bis 80 % (Po).

Die auf der vorliegenden Tafel dokumentierte hydrologische Bedeutung der Alpen gilt sinngemäss auch für andere Gebirgsräume. Besonders ausgeprägt ist diese Wasserschlossfunktion der Gebirge in ariden und semi-ariden Regionen. So stammt in Tieflandgebieten mit ausgeprägt trockenen Klimaten über 90 % des Gesamtabflusses aus dem Gebirge [4].

Tab. 2 **Mittlere jährliche Wasserbilanzen 1961–1990**

	Kanton Uri	Schweiz	Europa
Niederschlag [mm]	2088	1458	780
Verdunstung [mm]	382	469	510
Speicheränderung [mm]	-5	-2	0
Abfluss [mm]	1711	991	270

(vgl. Tafel 6.3 und [1])

Tab. 3 **Beitrag der Alpen zum Gesamtabfluss**

Strom	Mittlerer Beitrag der Alpen zum Gesamtabfluss [%]	Flächenanteil des Alpen- raums [%]	Überproportionalität des Alpenraums
Rhein	34	15	2.3
Rhone	41	23	1.8
Po	53	35	1.5
Donau	26	10	2.6

## Literatur

- [1] **Baumgartner, A., Reichel, E., Weber, G. (1983):** Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931–1960, München, Wien.
- [2] **Grimm, F. (1968):** Zur Typisierung des mittleren Abflussganges in Europa. In: Freiburger Geographische Hefte 6:51–64, Freiburg i. Br.
- [3] **Kapos, V. et al. (2000):** Developing a map of the world's mountain forests. In: Price, M.F., Butt, N. (Eds.): Forests in Sustainable Mountain Development: a State of Knowledge Report for 2000. IUFRO research series 5:4–9, Wallingford.
- [4] **Viviroli, D., Weingartner, R., Messerli, B. (2003):** Assessing the hydrological significance of the world's mountains. In: Mountain Research and Development 23(1):32–40, Bern.