Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 87 (1989)

Heft: 1: Lebensraum Bodensee = L'espace vital du lac de Constance

Artikel: Hydrologie des Bodensees und seiner Zuflüsse

Autor: Naef, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-234011

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Hydrologie des Bodensees und seiner Zuflüsse

F. Naef

Neben der Untersuchung der physikalischen Prozesse befasst sich die Hydrologie vorwiegend mit dem Abschätzen von Wassermengen und deren räumlichen und zeitlichen Verteilung. Eingegangen wird auf die Rolle des Alpenrheins als Zufluss, auf die Auswirkungen des Bodensees auf den Ausfluss und auf Veränderungen des Abflusses durch menschliche Tätigkeiten.

Parallèlement à la recherche sur les processus physiques, l'hydrologie traite principalement de l'estimation des quantités d'eau et de leur distribution dans l'espace et le temps. La discussion s'engage sur le rôle d'affluent du Rhin, sur l'influence du lac de Constance à l'endroit où le Rhin le quitte et les changements sur son cours dû aux activités humaines.

Einleitung

Hydrologie, die Lehre vom Wasser, befasst sich mit dem Wasserkreislauf auf der Erde. Angetrieben durch die Sonnenenergie werden auf dem Globus riesige Wassermassen bewegt. In der Hydrologie werden einerseits physikalische Prozesse untersucht, andererseits Wassermengen abgeschätzt, oft als Grundlage für wasserwirtschaftliche Projekte. Die dabei auftretenden Grössenordnungen sind für unsere Vorstellung schwer fassbar. Bei einem heftigen Gewitter stürzen auf eine Einzugsgebietsfläche von 1 km^2 50 000 Tonnen Wasser herunter. Davon fliessen etwa 20 000 bis 30 000 Tonnen in einer Stunde ab. Dies entspricht etwa 2000 beladenen Lastwagen, das dabei entstehende Verkehrschaos ist noch vorstellbar. Aber was stellen wir uns vor, wenn wir wissen, dass in der Schweiz im Jahr 60 Milliarden m^3 Wasser als Niederschlag fallen, von denen 40 Milliarden m^3 Wasser das Land durch Flüsse verlassen und 20 Milliarden m^3 Wasser verdunsten? In den letzten 80 Jahren kamen zum genannten Abfluss überdies Jahr für Jahr 250 Millionen m^3 durch Absenkung des Grundwasserspiegels und von Seen und durch Abschmelzen der Gletscher hinzu. Dieser Zuschuss ist grösser als der Speicherinhalt des zweitgrössten Speichersees der Schweiz, des Lac d'Emosson (225 Mio. m^3); bei der Abschätzung der in der Schweiz umgesetzten Wassermengen liegt dieser Zuschuss in der Grössenordnung der Rechengenauigkeit (Schädler, 1985).

Niederschlag, Abfluss und Verdunstung sind bei hydrologischen Betrachtungen die Ein- und Ausgangsgrössen. Deren Beziehung wird modifiziert durch die Speicherung des Wassers in Gletschern, als Schnee, in Seen und Tümpeln, im Boden als Bodenfeuchte oder Grundwasser und durch die Bewegung des Wassers an der Oberfläche, im Boden und im Gerinne. Die physikalischen Gesetze sind im einzelnen zwar bekannt, die Schwierigkeit liegt in deren Anwendung ausserhalb des Labors. Die Vielfältigkeiten der Natur, die Zufälligkeit der Ereignisse und die Schwierigkeiten bei der Datenerhebung überfordern jedes mathematische Modell und den leistungsfähigsten Computer. So sind hydrologische Aussagen immer in Zusammenhang mit der erreichbaren Genauigkeit zu betrachten. Aus diesem Grund ist es auch schwierig, fundierte Aussagen zu aktuellen Fragestellungen zu machen. Der Einfluss der Besiedlung, der Landnutzung, der Speicher, des Waldsterbens, der Klimaänderungen auf den Abfluss sind bei den vorhandenen Messreihen schwer zu trennen von den sehr grossen Schwankungen, die von Jahr zu Jahr im natürlichen Abflussgeschehen auftreten. Zusätzlich werden die Einzeleinflüsse überdeckt durch die Trägheit des grossen Systems, das der Wasserkreislauf in einem natürlichen Einzugsgebiet darstellt.

Die Grössenverhältnisse

Für viele Schweizer besteht der Zufluss zum Bodensee vorwiegend aus dem «schweizerischen» Alpenrhein. In Wirklichkeit gehört weniger als die Hälfte des gesamten Einzugsgebietes, nämlich nur 46% von 11 487 km^2 zur Schweiz. Das oberirdische Einzugsgebiet des Bodensees lässt sich genau festlegen, beim unterirdischen Einzugsgebiet bestehen einige Unsicherheiten, so im Alpstein und bei der Abgrenzung zum Donaugebiet.

Die Fläche des Sees beträgt ungefähr 540 km^2 (Obersee 478 km^2, Untersee 62 km^2). Darin sind die Inseln Reichenau, Mainau und Lindau mit einer Fläche von etwas mehr als 5 km^2 enthalten. Der Bodensee ist somit etwas kleiner als der Genfersee mit seinen 582 km^2. Die Fläche genau anzugeben bereitet Schwierigkeiten, da die Angaben in der Literatur beträchtlich schwanken. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass die Fläche von Annahmen über den mittleren Wasserstand abhängt. Ferner ist zu berücksichtigen, dass sich der Obersee durch Vergrösserung des Mündungsdeltas des Rheins alle 30 Jahre um 1 km^2 verkleinert.

Makaber, aber zur Demonstration der Grösse des Sees im Vergleich zu menschlichen Dimensionen anschaulich ist eine Rechenaufgabe aus der Primarschule: «Um wieviel steigt der Wasserspiegel des Bodensees, wenn die gesamte Menschheit darin versenkt wird?» Heute wären es knapp 50 cm, vor etwa 30 Jahren wären es erst 26 cm gewesen. Im Vergleich dazu beträgt die natürliche Schwankung des Seespiegels in einem mittleren Jahr 146 cm.

Bei einer mittleren Tiefe von knapp 100 m ergibt sich ein gespeichertes Wasservolumen im Bodensee von 49 Milliarden m^3, dies entspricht etwa 80% der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge, die in der Schweiz fällt. Bei einem mittleren jährlichen Abfluss von 12 Milliarden m^3 würde es beim Ausbleiben jeden Zuflusses vier Jahre dauern, bis sich der See entleert hätte. Die Wirkung des Sees als Jahresspeicher ist aber sehr viel kleiner, da der Seespiegel nur wenige Meter schwankt. In einem mittleren Jahr beträgt die Volumendifferenz zwischen dem Hochstand im Monat Juli und dem Tiefstand im Januar 0,78 Milliarden m^3 oder 7% des mittleren Zuflusses. Die maximale gemessene Differenz von 1,8 Milliarden m^3 ergab sich zwischen dem Höchststand am 3.September 1890 und dem Tiefststand am 14. Januar 1949.

Aus einer offenen Wasserfläche verdunstet natürlich auch Wasser. Grob geschätzt verdunstet aus dem Bodensee jährlich 400 Mio. m^3. Damit verringert sich der Abfluss bei Stein am Rhein um 12 m^3/s (Baumgartner, 1983). Dies entspricht etwa dem Abfluss der Sitter bei der Mündung in die Thur. Damit verglichen werden kann auch die Wasserentnahme bei Sipplingen für das Rhein-Neckar-Gebiet von 4 m^3/s (1985).

Der Zufluss

Den grössten Zufluss bildet der Alpenrhein, der knapp zwei Drittel des Wassers liefert (230 m^3/s). Weitere erwähnenswerte Zuflüsse sind die Bregenzer Aach aus Österreich, Schussen, Argen und Aach aus Deutschland. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes des Rheins beträgt 1800 m ü.M. In ihm befinden sich nicht die höchsten Gipfel der Alpen, und nur etwa 2% des Gebietes sind vergletschert. Bei der Mündung der Rhone in den Genfersee, einem Einzugsgebiet ähnlicher Grössenordnung (5220 km^2), sind noch 16% vergletschert.

Das Abflussregime, d.h. die zeitliche Verteilung der Abflüsse im Verlauf des Jahres, setzt sich aus verschiedenen Formen zu-

sammen. In den höheren Regionen dominieren glaziale und nival-glaziale Regimetypen. Glaziale Regimes haben ein ausgeprägtes Abflussmaximum in den Sommermonaten Juli/August, während der restlichen Zeit werden nur sehr geringe Abflüsse beobachtet. Beim nivalen Regimetyp setzt der erhöhte Abfluss, je nach Höhenstufe früher, zu Beginn der Schneeschmelze ein, und beim mittelländischen, pluvial dominierten Regime sind die Abflüsse gleichmässiger übers Jahr verteilt (Aschwanden, 1985).

Die Überlagerung dieser Typen führt beim Rhein bei der Mündung in den Bodensee zu einem Abfluss mit einem ausgeprägten Maximum im Juni. Beim Ausfluss ist die Kurve gedämpfter und gleichmässiger über das Jahr verteilt. Dies ist nur teilweise auf die Speicherwirkung des Bodensees zurückzuführen, denn auch das vorwiegend pluviale Abflussregime des restlichen Einzugsgebietes bewirkt eine gleichmässigere Verteilung der Abflüsse über das Jahr.

Auch bei den Hochwassern zeigt der Rhein eine ausgeprägte jahreszeitliche Verteilung, die sich gut in drei Kategorien einteilen lässt:

In der *Sommerperiode von Mai bis September* treten die maximalen Abflüsse auf. Der Hochwasserabfluss, der im Mittel alle 100 Jahre einmal überschritten werden sollte, beträgt in dieser Periode 2550 m³/s. Dieser Wert wurde aufgrund von statistischen Auswertungen der Abflussmessungen im Mündungsbereich, die bis ins Jahr 1904 zurückgehen, ermittelt. Er wurde bisher zweimal überschritten, im August 1954 und im Juli 1987, als mit 2660 m³/s der grösste je registrierte Spitzenwert auftrat. Ob dieses zweifache Auftreten Zufall ist, oder ob das 100jährige Hochwasser einfach grösser ist als geschätzt, wird sich erst in 100 Jahren besser beurteilen lassen. Schätzungen von Hochwassern mit Wiederkehrperioden von 100 und mehr Jahren beruhen in der ganzen Welt auf Messreihen von einigen Jahrzehnten Dauer, die mit relativ groben Annahmen extrapoliert worden sind. Sie sind deshalb unsicher. Wirklich verbessert werden können die Schätzungen erst, wenn längere Messreihen zur Verfügung stehen.

In der *Winterperiode Dezember bis März* sind die Hochwasserabflüsse wesentlich geringer, der 100jährliche Hochwasserabfluss beträgt hier nur gerade 800 m³/s.

Die *Monate April und Oktober* stellen *Übergangsformen zwischen Sommer und Winter* dar, während der November eigentlich zum Winter gehört. In seltenen Fällen treten aber auch im November Ereignisse wie in der Übergangszeit auf.

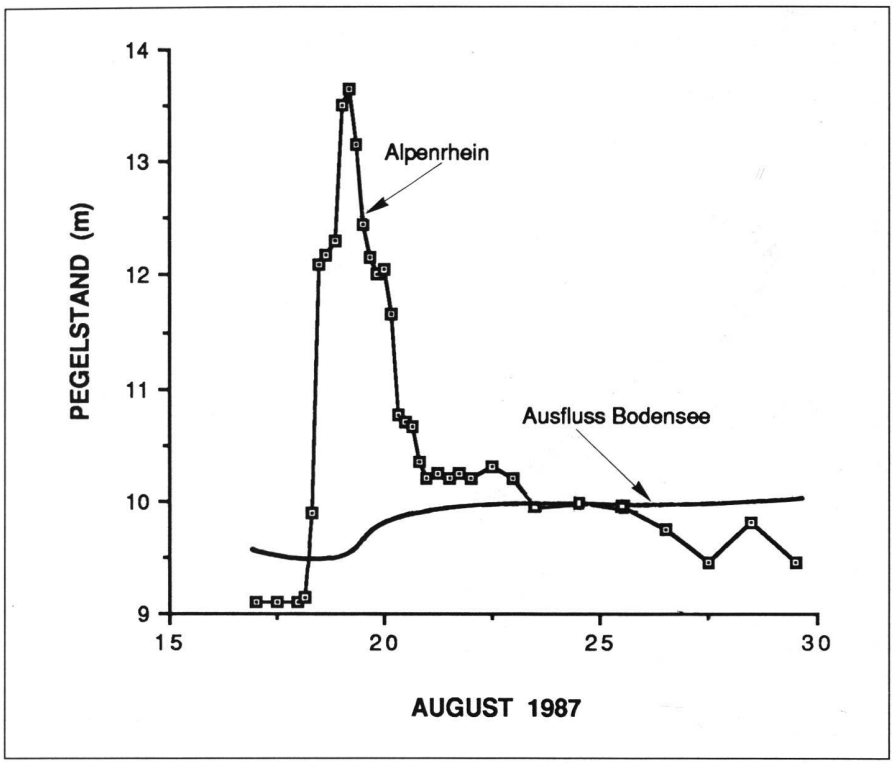

Abb. 1: Hochwasserrückhaltebecken Bodensee: Verformung der Hochwasserwelle vom August 1987 durch die Retentionswirkung des Bodensees.

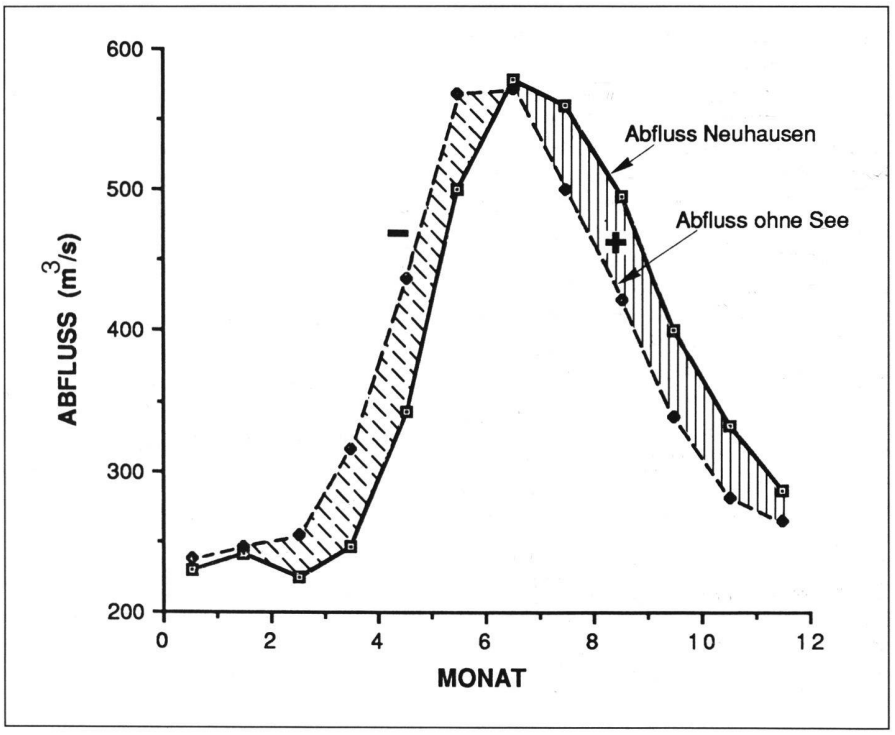

Abb. 2: Der See als Speicher: Monatsmittel des Rheins bei Neuhausen. Gestrichelt eingetragen ist der Abfluss an der gleichen Stelle, wie er sich ohne Retentionswirkung des Sees ergeben würde.

Der See als Speicher

Bei Hochwasser hat der See eine einschneidende Wirkung auf den Abfluss. Während der Alpenrhein bei heftigen Niederschlägen und Schneeschmelze im Extremfall innert weniger Stunden um 2000 m³/s ansteigen kann, ändert sich der Ausfluss aus dem See nur langsam (Abb. 1). Da der Bodensee nicht reguliert ist, hängt der Ausfluss nur vom Seespiegel ab. Eine Erhöhung des Wasserstandes um 1 cm führt zu einer Zunahme des Abflusses um 3 m³/s. Um den Seespiegel einen Zentime-

ter anzuheben, müssen 5,4 Millionen m^3 zufliessen. Dies dauert auch bei den grössten beobachteten Hochwassern mindestens eine halbe Stunde. Die Zunahme des Ausflusses ist deshalb selten grösser als 6 m^3/s in der Stunde oder 120 m^3/s im Tag.

Nicht so beeindruckend ist die ausgleichende Wirkung des Sees auf den Jahresgang des Abflusses. Bei einem mittleren Ausfluss von 370 m^3/s, die während 31 Millionen Sekunden im Jahr abfliessen, ist das durch die Seespiegelschwankungen zur Verfügung stehende Speichervolumen nicht gross. Abb. 2 zeigt den mittleren Ausfluss des Sees in Neuhausen während der Jahre 1959 bis 1982. Eingetragen ist auch der Abfluss, wie er sich ohne die Retention des Sees ergeben würde. Im Jahr 20 000, nach der vollständigen Verlandung des Sees, sollte dann diese Kurve zu beobachten sein. Vom Frühjahr bis in den Hochsommer wird heute der Abfluss durch den See gedämpft, im Herbst und Winter wird er erhöht, die Abflussänderungen bewegen sich aber nur in der Grössenordnung von –17% bis +22%.

Zweifellos eine der segensreichsten Auswirkungen des Sees ist die Erhöhung des Abflusses in Nierderwasserperioden im Winterhalbjahr. Die Auswirkung zu quantifizieren ist nicht einfach, da verschiedene Faktoren zusammenspielen (Seestand zu Beginn der Trockenperiode, Dauer der Trockenperiode, Verhalten der übrigen Zuflüsse). Als Beispiel sei der Abfluss im Dezember 1948 angeführt. Damals erreichte der Bodensee nach dem Jahr 1909 den tiefsten Wasserstand in diesem Jahrhundert. Der mittlere Zufluss des Rheins betrug 61 m^3/s, der Ausfluss bei Rheinklingen 126 m^3/s. Ohne den Zuschuss aus dem See wären in Rheinklingen nur 85 m^3/s abgeflossen. Der Abfluss wurde also beträchtlich erhöht. Der See bewirkte aber keine grundsätzliche Änderung des Abflussregimes während dieser Niederwasserperiode. Dazu ist der unregulierte See mit dem beschränkten, durch die natürlichen Wasserspiegelschwankungen zur Verfügung stehenden Speichervolumen nicht in der Lage.

Auswirkungen von Veränderungen im Einzugsgebiet auf den Abfluss

Viel diskutiert wird heute die Frage, wie sich die rastlose Tätigkeit des Menschen auf den Abfluss auswirkt. Sind Auswirkungen auf die Zuflüsse und auf den See selbst zu erwarten?

Durch den Bau zahlreicher Talsperren in den letzten 70 Jahren wurden 13% des Einzugsgebietes des Alpenrheins beeinflusst und ein Speichervolumen von 780 Mio. m^3 geschaffen. Dies entspricht dem Volumen, das der Bodensee in einem mittleren Jahr durch seine Wasserspiegelschwankungen speichert. Die Auswirkungen dieses Ausbaues lassen sich in den langjährigen Abflussmessreihen in der Nähe der Mündung des Rheins in den Bodensee gut nachweisen: Die mittleren Abflüsse und auch die mittleren Spitzenabflüsse haben im Sommer kontinuierlich ab- und im Winter zugenommen. Verglichen mit der natürlich auftretenden Schwankungsbreite der Spitzenabflüsse ist dieser Trend nicht sehr bedeutend. Wie dieses zusätzliche Speichervolumen die Reaktion des Einzugsgebietes und die Grösse des Abflusses bei einem extremen Hochwasser beeinflusst, lässt sich nicht generell beantworten, da jedes extreme Ereignis einen anderen Niederschlagsverlauf, eine andere Niederschlagsverteilung hat und die Schneeschmelze und das Rückhaltevermögen der Speicher ein anderes Gewicht haben.

Kürzlich wurden die Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten wie Be- und Entwaldung, Meliorationen und Besiedlung auf den Abfluss im knapp 1000 km^2 grossen Einzugsgebiet der Emme in einer aufwendigen Studie untersucht (VAW, 1987). Trotz einer grossen Dynamik in der Entwicklung des Gebietes waren im Abfluss aufgrund der 70jährigen Messreihen nur geringe Verschiebungen festzustellen. Der Abflussprozess in einem mehrere 100 km^2 umfassenden Gebiet ist anscheinend recht stabil. Diese Aussage dürfte wohl auch für die Zuflüsse zum Bodensee zutreffen.

Literatur:

Aschwanden, H., Weingartner, R.: Abschätzungen im Mittelwasserbereich, in «Abschätzung der Abflüsse in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessung». Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 33, Geographischer Verlag Kümmerly + Frey, Bern 1985.

Baumgartner, A., Reichel, E., Weber, G.: Der Wasserhaushalt der Alpen. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1983.

Schädler, B.: Der Wasserhaushalt der Schweiz. Mitteilung Nr. 6 der Landeshydrologie, Bern 1985.

VAW: Emme 2050. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH, Geographisches Institut der Universität Bern, 1987.

Adresse des Verfassers:
Dr. Felix Naef
Versuchsanstalt für Wasserbau,
Hydrologie und Glaziologie
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich

Geschiebebewirtschaftung im österreichischen Rheineinzugsgebiet. Geschichtliche Entwicklung und Praxis

A. Fischer

Das grosse Werk der Rheinregulierung wird auch in Zukunft von der Funktionstüchtigkeit der Wildbachverbauungen im österreichischen und schweizerischen Einzugsgebiet abhängig sein. Die Massnahmen der Geschiebebewirtschaftung bewirken, dass dem Rhein weniger extreme Hochwässer und kleinere Geschiebemengen zugeführt werden. Im Zeitalter des Waldsterbens kommt der hohe Stellenwert der forstlichen Massnahmen hinzu. Der Beitrag bringt Beispiele der Wildbachverbauung aus Vorarlberg.

La grande œuvre que constitue la régulation du Rhin sera dépendante dans le futur du bon fonctionnement des ouvrages sur les ruisseaux sauvages qui se déversent dans le Rhin en Autriche et en Suisse. Les mesures d'extraction de gravier ont pour conséquences que le Rhin reçoit moins de crues et de plus petites quantités de gravier. A l'âge de la mort des fôrets, l'importance des mesures en faveur de celles-ci viennent s'ajouter aux précédentes. Cet article présente en exemple les ouvrages sur les ruisseaux sauvages dans le Vorarlberg.