

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 68 (1976)
Heft: 5

Artikel: Offene Fragen bei der Schätzung von Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten
Autor: Widmoser, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939290>

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: 10.02.2026

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

sich der Zufluss der Vorperiode zum Bodensee anhand der Retentionsgleichung rückwärts aus dem Pegelstand und dem Abfluss des Bodensees. Der Niederschlag, der unmittelbar nur in seiner flüssigen Form interessiert, wird aus dem Gesamtniederschlag abgespalten; und zwar wird angenommen, dass derjenige Anteil, der bei einer Temperatur von 1 °C und mehr fällt, flüssig ist. Für das Schneeschmelzwasser wird eine repräsentative Grösse berechnet, die für jede Höhenlage im Einzugsgebiet — falls diese Höhenlage über der Schneegrenze liegt und eine positive Temperatur aufweist — im wesentlichen das Produkt aus Fläche mal Temperatur darstellt. Bei mehrtägigen Prognoseperioden wird auch das Wasseräquivalent der Schneedecke herangezogen.

Aus diesen abgeleiteten Grössen und gemessenen Abflüssen folgt zunächst eine Zuflussprognose zum Bodensee (Bild 7). Mit der bereits erwähnten Retentionsgleichung lässt sich diese in eine Abflussprognose des Bodensees transformieren, die ihrerseits zusammen mit einigen gemessenen und abgeleiteten Grössen zu der Abflussprognose des Rheins in Rheinfelden verarbeitet wird.

Dieses neue Modell für die Kurzfristprognose des Rheinabflusses in Rheinfelden berücksichtigt, dass die Alpenrandseen des Einzugsgebietes eine gewisse Zäsur bedeuten: Denn erstens kann das Temperaturprofil nur in den alpinen und voralpinen Regionen — also dort, wo markante Höhenunterschiede bestehen — bestimmt werden, und zweitens verunmöglichen die Seen wegen ihres nichtlinearen — sonst aber genau bekannten — Verhaltens eine Zusammenfassung der entsprechenden Einflussgrössen mit den übrigen, linear angenommenen Komponenten des Modells zu einem Gesamtmodell.

Das neue Modell soll nächstens in einer vorläufigen Form zur Anwendung gelangen. Parallel dazu sollen die Kurzfristprognosen aber noch in der bisherigen Form berechnet werden, so dass Vergleiche möglich werden.

Literaturverzeichnis

- Hoeck E.: La prévision du débit estival de quelques rivières suisses par la méthode de corrélation à plusieurs variables. Tome III de l'Assemblée Générale de Bruxelles IUGG, 1951, p. 81—93, 1951.
- Kasser P. und Schweizer W.: Voraussage der globalen Sommerabflussmenge der Rhône bei Porte du Scex auf Grund von Winter-niederschlag und Winterabfluss. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 5-7, 1955, 4 S.
- Kälin A.: Application de tests statistiques à la prévision d'apports globaux à l'aide de régressions. Tome III de l'Assemblée Générale de Toronto, IUGG, 1957, p. 50—66.
- Lang H.: Relations between glacier runoff and meteorological factors observed on and outside the glacier. Commission of Snow and Ice, General Assembly of Berne, IUGG, 1967, p. 429—439.
- Lugiez F., Kasser P., Jensen H. et Guillot P.: La prévision des débits du Rhin. «Bulletin AISH», XIV, 1—3, 1969, p. 91—116 et dans «La Houille Blanche», No. 7, 1969, p. 733—746.
- Jensen H.: Hydrological Forecasting in Switzerland. Proceedings of the Regional Training Seminar on Methods of Hydrological Forecasting, Bratislava, 1968, Hydromet. Inst. of Czechoslovakia, p. 323—326.
- Lang H.: Ueber den Abfluss vergletschterer Einzugsgebiete und seine Beziehung zu meteorologischen Faktoren. Mitteilungen der VAW, Nr. 85, 1970, 9 Seiten.
- Lang H.: Ueber den Einfluss meteorologischer Faktoren auf den Schmelzwasserabfluss. «Annalen der Meteorologie», Neue Folge, Nr. 5, 1971, S. 213—214.
- Kasser P.: Influence of Changes in the Glacierized Area on Summer Runoff in the Porte du Scex Drainage Basin of the Rhone. Symposium of the Hydrology of Glaciers, Cambridge, AISH, Publ. 95, 1973.
- Lang H.: Variations in the relation between glacier discharge and meteorological elements. AISH Publ. No. 95, 1973.
- Jensen H. und Lang H.: Forecasting discharge from a glaciated basin in the Swiss Alps. Proceedings of the Int. Symp. on the Role of Snow and Ice in Hydrology, Banff, Canada, Publ. AISH No. 107, 1973.
- Naef F.: Zur Berechnung des Abflusses aus meteorologischen Grössen mittels mathematischer Modelle. «Schweizerische Bauzeitung», 92. Jg., H. 43, 1974.
- Jensen H.: Anwendung der Regressionsanalyse. Hydrologische Prognosen für die Wasserwirtschaft. Mitteilung der VAW, Nr. 12, 1974, S. 137—164.
- Lang H.: Die meteorologischen Faktoren und ihre Bedeutung für hydrologische Prognosen. Mitteilung der VAW Nr. 12, 1974, S. 67—94.
- Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Daniel L. Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), Gloriastrasse 37/39, CH-8006 Zürich.

Offene Fragen bei der Schätzung von Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten

Peter Widmoser

DK 551.482.2

1. Problemstellung

Ziel ist es, Verfahren von hinreichender Genauigkeit zur Schätzung von Abflusswerten aus kleinen Einzugsgebieten zu entwickeln. Dies entspricht der praktischen Forderung nach Abfluss-Bemessungswerten. Wirtschaftliche Betrachtungsweise verlangt zudem eine probabilistische Beschreibung des wechselnden Abflussgeschehens: die Bemessungswerte sind mit Häufigkeitsangaben zu bezeichnen.

Kleine Einzugsgebiete zeigen folgende Eigenheiten gegenüber grossen: ihr Hochwasserabfluss wird vorwiegend durch einzelne Regenereignisse, modifiziert durch die Regenvorgeschichte oder Schneeschmelze, bestimmt; physiographische Unterschiede wirken sich stärker aus; neben dem Gerinneabfluss spielt der Flächenabfluss eine bedeutende Rolle. Flächenmässig mag ihre obere Grenze bei etwa 100 km² liegen.

Derzeit sind in erster Linie Hochwasser-Abflussspitzen und -Wellen Gegenstand der Forschung. Von Interesse könnten auch sein: die Abflussvolumina, die Dauer von Hochwasserwellen, der Geschiebetrieb bei Hochwasser, die Häufigkeit von Niederwasser.

2. Kritische Betrachtung bestehender Forschungsmethoden

Diese beruhen auf Analysen von Abflussbeobachtungen oder der modellmässigen Beschreibung der Regen-Abflussbeziehung, welche wiederum Regenganalysen voraussetzt. Grob wird zwischen probabilistischen (statistisch/stochastisch) und deterministischen Methoden unterschieden. Zu beiden wurde eine Vielzahl von Modellen und Verfahren entwickelt. Die zwei Methoden können sich sinnvoll ergänzen, was noch gezeigt werden soll.

2.1 Probabilistische Methoden

Statistische Analysen von Abflussextrémwerten verlangen langjährige Beobachtungsreihen. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich Einzugsgebiete grösser als 50 km² innerhalb geographisch homogener Regionen zusammenfassen lassen. Das vorhandene Beobachtungsmaterial wird damit wirkungsvoller genutzt. Bei Gebieten kleiner als 50 km² überwiegen die spezifischen Gebietseinflüsse und sie sind gesondert zu untersuchen.

Passt man Beobachtungswerte an theoretische Verteilungsfunktion an, so erhält man Schätzwerte für statistische

Parameter, welche das Abflussverhalten in jedem untersuchten Gebiet (oder Region) kennzeichnen. Für die Theorie wie auch Praxis ist es wertvoll, den Zusammenhang zwischen solchen Parametern und Gebietseinflussgrößen (Fläche, Regenparameter usw.) zu kennen. Korrelationsmethoden stehen zur Verfügung. Wegen der Vielzahl von Einflusskombinationen gegenüber der beschränkten Anzahl untersuchter Einzugsgebiete ist jedoch Vorsicht bei der Interpretation nötig. Es wird deshalb eine Absicherung der Korrelationsmethode durch Kombination mit einem einfachen deterministischen Modell empfohlen. Methoden der Stochastik (Auto- und Kreuzkorrelation, Markoff-Modelle) analysieren Zusammenhänge im zeitlichen Ablauf (Anwendung siehe im nächsten Abschnitt: Fließzeit und Isochronenverfahren).

2.2 Deterministische Modelle

Diesen Verfahren ist gemeinsam, dass sie Regenereignisse (und deren Vorgeschichte) über ein Modell (Formel, Rechenverfahren oder Computerprogramm) mit dem zugehörigen Abfluss (Abflussspitze, Abflusswelle) verknüpfen.

In der Forschung werden beobachtete Regen- und Abflussereignisse zum Testen solcher Modelle verwendet, die Praxis wiederum setzt diese Modelle, ausgehend von einem gewählten Bemessungsregen, zur Abflussberechnung ein. Bei diesen Verfahren spielen Gebietseinflussgrößen eine entscheidende Rolle.

Es bestehen zwei Problemkreise:

- a) Die Ermittlung des abflusswirksamen Regenanteils. Vor allem Verluste durch Infiltration, welche nach Abzug weiterer Verluste durch Evapotranspiration zeitlich erst stark verzögert abflusswirksam werden, spielen hier eine Rolle.
- b) Die Wahl eines angemessenen Uebertragungsmodelles zwischen abflusswirksamem Regen und zugehörigem Abfluss (zum Beispiel lineare — nichtlineare Modelle). Je nach Anforderungen an die Genauigkeit und dem möglichen Aufwand fordert die Praxis eine Palette verschiedener Modelle. Solche stehen bereits zur Verfügung, jedoch fast durchwegs ohne Genauigkeitsangaben und viele ohne Erfahrung im praktischen Einsatz.

Analytisches Vorgehen

Dieses zielt auf ein besseres Verständnis von hydrologischen Teilaspekten. Es kommt vorwiegend im Forschungsbereich und für den Problemkreis a) in Betracht. Gegenstand der Untersuchung sind zum Beispiel: Infiltration oder Evapotranspiration in Abhängigkeit von Gebietseinflussgrößen und Regenvorgeschichte; abflusswirksamer Flächenanteil; Abflusswellen am Hang oder in rauen Gerinnen; Abflusskoeffizienten; Speicherwirkungen usw.

Zusammenfassende (synthetische) Modelle

Diese stützen sich auf einzelne «massgebende» Einflussgrößen (siehe dazu Korrelationsmethoden, Abschnitt 2.1), zusammengefasst in einem möglichst sinnvollen (conceptual) Modell. Sie stehen dem praktischen Anwendungsziel und Problemkreis b) im Abschnitt 2.2 näher.

Zwei Verfahren hierzu seien näher besprochen:

- a) Das Fließzeit- und Isochronenverfahren. Unter Fließzeit (manchmal auch «Anlaufzeit») versteht man im wesentlichen jene Zeitspanne, die eine Wasserwelle zum Durchlaufen des Weges vom zeitlich entferntesten Punkt innerhalb des Einzugsgebietes bis zum Beobachtungs-

punkt benötigt. Theoretischen Ueberlegungen zufolge liefert ein Bemessungsregen gleicher Dauer den maximalen Abfluss. Die Fließzeit ist Ausdruck des hydrologischen und hydraulischen Verhaltens des Einzugsgebietes und wird mit Gebietseinflussgrößen (zum Beispiel Hangneigung, Gerinnelänge) in Beziehung gebracht. Folgende Vereinfachungen liegen diesem Verfahren zugrunde: die Anlaufzeit ist unabhängig von der Regenintensität; die Häufigkeit des berechneten Hochwassers ist identisch mit der des gewählten Bemessungsregens; der abflusswirksame Regenanteil lässt sich durch einen multiplikativen «Spitzen-Abflussbeiwert» erfassen. Von der Forschungsseite wären die Auswirkungen dieser Annahmen genauer zu untersuchen. Einige Schwierigkeiten ergeben sich bei der Messung von Fließzeiten in der Natur. Methoden der Statistik (Kreuzkorrelation) können angewendet werden. Beim Isochronenverfahren wird das Einzugsgebiet in Teilflächen gleicher Fließzeiten zerlegt. Der nach bestimmten Rechenoperationen (Faltung) zusammengesetzte Gesamt-abfluss liefert die Abflusswelle. Dieses Verfahren leitet über zur Methode der Einheitsganglinie.

- b) Die Einheitsganglinie ergibt sich aus dem Abfluss eines zeitlich und örtlich konstanten Einheitsregens von angegebener Dauer. Sie ist wiederum abhängig von hydrologischen und hydraulischen Eigenschaften des jeweiligen Einzugsgebietes und somit charakteristisch für dieses («Handschrift» eines Einzugsgebietes). In der Praxis wird die Abflusswelle durch Faltung des gewählten Bemessungsregens mit der Einheitsganglinie berechnet. Zur Ermittlung der Einheitsganglinie wurden wiederum zahlreiche Verfahren und Modellvorstellungen entwickelt. Neben Analysen synchroner Regen- und Abflussmessungen werden Einheitsganglinien auch «synthetisch» aus Gebietseinflussgrößen geschätzt. Alle Verfahren rechnen jedoch nur mit dem abflusswirksamen Regenanteil, der vorher getrennt zu bestimmen ist.

Die hier unter a) und b) genannten Verfahren setzen lineares Modellverhalten (z. B. Superposition ist erlaubt) voraus. Forschung und hydraulische Ueberlegungen (z. B. über Hochwasserwellen in Gerinnen) deuten freilich auf nichtlineares Verhalten der Naturvorgänge.

2.3 Regenganalysen

Für eine Reihe von Regenmess-Stationen wurden Häufigkeit und Dauer der Regenintensität analysiert. Die Auswerteverfahren orientierten sich jedoch an den Zielen der Ortsentwässerung. Für die Schätzung von Abflüssen werden dabei die Einzelregen in Teilabschnitte gewählter Dauer zerlegt, was zu Fehlern führen kann. Bei starker Vereinfachung lässt das Fließzeitverfahren solche Regenganalysen zu. Etwas höhere Anforderungen an die Genauigkeit, Fließzeiten etwa über einer halben Stunde und Verfahren der Einheitsganglinie würden statistische Analysen von durchgehenden Einzelregen verlangen.

Eng verquickt mit dieser Aufgabe ist die Frage nach gesetzmässigen, zeitlichen Abläufen für Einzelregen, nach stochastischen Zusammenhängen zwischen Regenereignissen und Vorgeschichte und schliesslich die Beziehung zwischen Abfluss- und Regenhäufigkeit. Die Häufigkeit eines bestimmten Abflusses ist nämlich nur in grober Näherung identisch mit der Häufigkeit des Bemessungsregens; sie ist vielmehr das Integral über die Häufigkeit einer Reihe zugehöriger Bemessungsregen, welche bei verschiedener Regendauer gleiche Abflusswerte verursachen. Fragen dieser Art scheinen noch völlig offen.

Regen	Einflussparameter		Hochwasser (Abflussspitzen, -wellen)
	variabel	konstant	
Häufigkeitsanalyse zusammenhängender Regenereignisse Zeitlicher Ablauf von Einzelregen Schnee- und Gletscherschmelze	→	<p>Abfluss und: Grösse, Form, Neigung des Gebietes Oberflächenbeschaffenheit (Einfluss von Ueberbauungen)</p> <p>Gebietsparameter und Gerinneabfluss (inkl. Geschiebetrieb)</p>	<p>Häufigkeitsanalysen für Einzelgebiete (< 50 km²) regionsweise (> 50 km²)</p> <p>Fliesszeitverfahren: Flusszeit als Funktion von Gebietsparametern, der Regenintensität, der Vorgeschichte; Theoretische Grundlagen</p> <p>Verfahren der Einheitsganglinie; Analyse von Regen-Abflussmessungen, lineare und nichtlineare Modelle synthetische Einheitsganglinien</p> <p>Kritische Betrachtung von Spitzen-Abflussbeiwerten</p>
Stochastischer Zusammenhang von Trocken- und Regenperioden (Regenvorgeschichte)	→	<p>Verfahren zur Beschreibung der Vorgeschichte abflusswirksamer Regenanteil Speichereffekte Infiltration Evapotranspiration, Interzeption</p> <p>→</p> <p>Flächenabfluss Hangversickerung</p>	
		↑	

3. Der Fragenkatalog

Obwohl bei weitem kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird, dürften die vorangegangenen Abschnitte einige wesentliche Punkte, die derzeit angewandten Verfahren und Modelle sowie offene Fragen hierzu beschreiben. Tabelle 1 fasst diese Aussagen in einem Katalog offener Fragen zusammen mit dem Ziel:

— er soll das breite Spektrum offener Fragen verdeutlichen (und damit kleinere bis mittlere Forschungsinstitutionen davon abhalten, diesen Bereich für sich allein pachten zu wollen);

— er soll die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einzelfragen und Verfahren aufzeigen (und damit ein koordiniertes Vorgehen verschiedener Forschungsgruppen erleichtern);

— der Katalog ist Ergänzungen, Anpassungen und Aenderungen offen und mag somit Ausgangspunkt einer Diskussion sein.

Adresse des Verfassers: PD Dr. Peter Widmoser, Institut für Kultur-
technik an der ETH Zürich, 8093 ETH-Hönggerberg.

Erneuerung des Kraftwerkes Kappelerhof in Baden

DK 621.221

Joseph Stalder

Das Kraftwerk Kappelerhof als eines der ersten Wasserkraftwerke im Kanton Aargau kam im Oktober 1892 in Betrieb und wurde in der Folge fortlaufend den stetig steigenden Bedürfnissen angepasst. Zuletzt befanden sich im Maschinenhaus vier Maschinengruppen mit einer Gesamtleistung von rund 1200 kW, welche pro Jahr etwa 9,5 Mio kWh erzeugten. Die Entstehungsgeschichte dieses alten Kraftwerkes ist eng mit derjenigen der BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden, verknüpft. Zu den ersten Fabrikaten zählten denn auch zwei Zweiphasen-Wechselstromgeneratoren mit einer Leistung von je 200 PS oder 175 kVA, die aber im Verlaufe der Zeit durch neue ersetzt worden sind.

Im November 1973 haben die Stimmbürger der Stadt Baden mit einer überwältigenden Mehrheit der Erneuerung des Kraftwerkes Kappelerhof zugestimmt. Es wird mit einem Aufwand von etwa 15,12 Mio Franken, Preisstand 1. 1. 1973, gerechnet.

Mitte November 1974 wurde mit den Bauarbeiten begonnen. Die Erneuerung der Kraftwerkanlage sieht unter Beibehaltung des alten Stauwehres, der bisherigen Staukote und des Oberwasserkanals vor:

- Neues unterirdisches Maschinenhaus neben der alten ausser Betrieb zu setzenden Anlage, enthaltend:
Eine Kaplan-Rohrturbine in S-Anordnung, 18 ° schräg gestellt. Nennleistung 2800 kW.

Drehzahlserhöhung zwischen Turbine und Generator durch ein zweireihiges, pfeilverzahn­tes Planetengetriebe mit einem Übersetzungsverhältnis von 87,6/750 U/min.
Drehstromgenerator 3300 kVA, 8000 Volt, 50 Hz.

- Vergrösserung der Ausbauwassermenge auf 60 m³/s. Die Wasserrückgabe erfolgt direkt in die Limmat.

- Erhöhung des Nutzgefälles auf 5,15 m durch Ausbaggerung des Limmatbettes unterhalb des Maschinenhauses auf einer Länge von 1100 m.

Es bleibt noch festzuhalten, dass die Disposition des zu erstellenden Maschinenhauses eine Erweiterung durch Anfügen eines identischen Baukörpers auf der Flussseite erlaubt. Ein solcher Ausbau wird dannzumal jedoch den Bau eines neuen Wehres erfordern und damit erhebliche Kosten verursachen.

Am 15. März 1976 wurde das alte Kraftwerk ausser Betrieb genommen. Es ist beabsichtigt, eine der vier Maschinengruppen an Ort und Stelle zu belassen und sie so der Nachwelt zu erhalten.