

Günter Blöschl und Ralf Merz

Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlichkeit – Aspekte einer zeitgemäßen Strategie

In diesem Beitrag werden aktuelle Fragen zur Bestimmung von Bemessungshochwässern diskutiert und Lösungsvorschläge angeboten. Dabei geht es um die Entwicklung von Richtlinien, um die Verwendung hydrologischer Information zusätzlich zu Hochwasserdaten, um die Ermittlung der Parameter von Niederschlag-Abfluss-Modellen, um die Jährlichkeit von Modellrechnungen, um die Beurteilung von Veränderungen im Hochwasserregime und um den Umgang mit Unsicherheit im Kontext der wasserbaulichen Bemessung.

1 Einleitung

Geeignet gewählte Bemessungshochwässer sind für die sichere und wirtschaftliche Ausführung und Instandhaltung der meisten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen essenziell. Das Spektrum reicht dabei von kleinen Durchlässen im Straßenbau bis hin zur Auslegung von flussbaulichen Maßnahmen und der Dimensionierung der Entlastungsanlagen von Talsperren. Auch rücken Risikountersuchungen zunehmend in den Vordergrund [1]. Der wachsende Nutzungsdruck der letzten Jahre sowie verfeinerte hydrologische Methoden und Daten legen es nahe, die Konzepte zur Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlichkeit zu überdenken. Die vorliegende Arbeit soll dafür einen Beitrag zum grundsätzlichen Vorgehen aus dem aktuellen Blickwinkel leisten.

2 Rezept oder individuelle Bestimmung?

Die hydrologische Literatur bietet eine Fülle von Methoden zur Bestimmung von Bemessungshochwässern an, die sich im Wesentlichen in statistische Auswertungen von gemessenen Scheiteldurchflüssen (dem Hochwasserkollektiv) und Niederschlag-Abfluss-Modellierungen (N-A-Modellierungen) gliedern. In den meisten Ländern wurden nationale Empfehlungen oder Richtlinien zur Methodenwahl erstellt.

Bei der Erarbeitung derartiger Empfehlungen stellt sich die Frage, wie viel Ermessensspielraum den Bearbeitern im Einzelfall gelassen werden soll. Die Bandbreite reicht dabei von einer vollständigen Vorgabe der Vorgangsweise bis hin zur Beschränkung auf grundsätzliche Empfehlungen. Im ersten Fall werden „Rezepte“ vorgegeben, wie etwa ein Flussdiagramm, das die Wahl der Verteilungsfunktion festlegt [2]. Die Vorteile für den Anwender liegen auf der Hand: Der Aufwand ist gering und die so ermittelten Werte sind kaum anfechtbar, da alle Anwender mit den gleichen Daten zu den gleichen Ergebnissen gelangen. Im zweiten Fall treffen die Anwender im Einzelfall eine Entscheidung über die geeignete Methode bzw. Parameter in Abhängigkeit von der Datenlage und Bemessungsaufgabe.

Das englische Handbuch [3] erlaubt beispielsweise bei der statistischen Analyse einen gewissen Ermessensspielraum durch die Auswahl von Pegeln und Verteilungsfunktionen, gibt jedoch die Regionalisierungsmethode (Region of Influence Approach) vor. Bei der N-A-Berechnung ist bei guter Datenlage viel Flexibilität vorgesehen, bei knapper Datenlage wird die Parameterwahl vorgegeben. Der österreichische Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren [4] sieht einen zweistufigen Ansatz vor. Bei geringem Gefährdungspotenzial werden die Bemessungshochwässer nach einem abgekürzten Verfahren ermittelt, bei dem die Bemessungswerte aus einer Karte abgele-

sen werden. Anderenfalls ist ein detailliertes Verfahren zu führen, bei dem sowohl extremwertstatistische Methoden als auch N-A-Modellierung anzuwenden sind und Modelltyp, Eingangsgrößen und Modellparameter im Einzelfall zu wählen sind. Der Vorteil dieser individuellen Bestimmung ist, dass die Vorgangsweise genau auf die lokale wasserwirtschaftlich-hydrologische Situation und die Datenlage abgestimmt werden kann, wodurch genauere Ergebnisse zu erwarten sind. Allerdings erfordert dies einen größeren Arbeitsaufwand und hydrologische Kenntnisse der Sachbearbeiter. Für viele wasserwirtschaftliche Maßnahmen kann dies heute erwartet werden.

3 Extremwertstatistik oder Extremwerthydrologie?

Rezepte zur statistischen Analyse von Hochwasserdaten haben sich im 20. Jahrhundert großer Beliebtheit erfreut, insbesondere deswegen, weil das Bemessungshochwasserproblem vielfach aus rein statistischer Sicht gesehen wurde. Dies ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn die Voraussetzungen der Statistik erfüllt sind. In der Praxis ist das selten der Fall, da die Hochwasserkollektive meist zu kurz, nicht stationär und fehlerbehaftet sind, aus verschiedenen Grundgesamtheiten stammen und Hochwässer generell bevorzugt in bestimmten Dekaden auftreten. Statistische Tests (Anpassungs-, Trend-, Ausreißer-

tests) lösen dieses Problem aus den gleichen Gründen nicht. Größere Unterschiede bei der Verwendung von verschiedenen Parameterschätzmethoden und Verteilungsfunktionen weisen auf einen für die Aufgabenstellung zu geringen Informationsgehalt des Hochwasserkollektivs hin und deswegen vermitteln derartige Tests oftmals nur eine scheinbare Objektivität. Zuverlässigere Aussagen können nur dadurch erhalten werden, dass Informationen verwendet werden, die über das Hochwasserkollektiv hinausgehen.

Merz und Blöschl [5], [6] schlagen dazu eine systematische Vorgangsweise vor, bei der die Informationen in zeitlicher, räumlicher und kausaler Hinsicht über das Hochwasserkollektiv hinaus erweitert werden und das Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit dann in einer Zusammenschau aller Informationen durch die Bearbeiter gewählt wird. Die zeitliche Informationserweiterung kann durch Reihenverlängerung aus Wasserstandsdaten, durch die Analyse historischer Hochwasserereignisse und den Vergleich mit längeren Abflussreihen von Nachbargebieten erfolgen. Die räumliche Informationserweiterung kann durch Regionalisierungsmethoden (Hüllkurven, Spendendiagramme, Regression mit Gebietseigenschaften, geostatistische Verfahren bzw. hydrologische Längenschnitte bei großen Flüssen) erfolgen und erlaubt auch Aussagen für Ge-

biete ohne Abflussmessungen. Die kausale Informationserweiterung kann qualitativ erfolgen durch einen Vergleich mit anderen hydrologischen Daten (Niederschlag, Abflussbeiwerte, Saisonalität der Hochwässer, Abflusstypen, Geomorphologie der Gebiete) sowie quantitativ mittels N-A-Modellierung oder statistisch-deterministischen Verfahren.

Um ein umfangreiches Bild über die Hochwässer im betreffenden Gebiet zu erhalten, ist es günstig, möglichst verschiedenartige und sich ergänzende Informationen in die Berechnung einzubeziehen [7]. Bei der Zusammenschau kommt es auf die Einschätzung der Experten an. Dabei ist die hydrologische Analyse, Interpretation und Argumentation basierend auch auf qualitativem Wissen und Erfahrungen ein wesentlicher Bestandteil. Um den Blick verstärkt auf die hydrologische Argumentation zu lenken, prägten Merz und Blöschl [5] den Begriff „Extremwerthydrologie“ im Gegensatz zur traditionellen „Extremwertstatistik“. Aspekte dieser Strategie sind in **Tabelle 1** angeführt, wobei dem traditionellen Ansatz der Extremwertstatistik die Empfehlung aus dem DVWK-Merkblatt 251 [8] zugrunde gelegt wurde.

Ein Beispiel für die Vorgangsweise der Extremwerthydrologie zeigt **Bild 1** für den Pegel Zwettl, an dem im August 2002 ein sehr großes Hochwasser auftrat (460 m³/s). Die Anpassung der Allgemeinen Extrem-

wertverteilung an das Kollektiv der Jahreshochwässer mit und ohne Ereignis 2002 ist als Ergebnisspektrum der Statistik dunkelgrau angelegt. Als zeitliche Informationserweiterung wurden die maximalen jährlichen Durchflüsse aus Wasserstandsangaben der Jahre 1896 bis 1947 sowie die Hochwässer 1655, 1803 und 1829 nach historischen Quellen rekonstruiert. Der damit abgeschätzte Bereich ist in Bild 1a hellgrau eingezeichnet und ist schmaler als das Ergebnisspektrum aus der statistischen Schätzung. Zur räumlichen Informationserweiterung wurden die Hochwasserkenwerte mittels Regionalisierung aus den Nachbarpegeln ohne Verwendung der lokalen Abflüsse bestimmt (durchgezogene Linie). Als kausale Informationserweiterung wurde das Gradex-Verfahren angewandt (gestrichelte Linie), wofür die maximalen jährlichen Tagesniederschläge mit dem Hochwasserkollektiv kombiniert wurden. In Bild 1b sind zusätzlich die Ereignisabflussbeiwerte gegen die Jährlichkeit der zugehörigen Abflussscheitel aufgetragen. Der Anstieg der Abflussbeiwerte mit der Jährlichkeit ist durch die grobsandigen Böden gut erklärbar und deutet auf eine steile Hochwasserwahrscheinlichkeitskurve bei großen Jährlichkeiten hin. Die detailliertere hydrologische Argumentation durch Kombination der Informationen [9] ergibt einen plausiblen hundertjährigen Abfluss von etwa 250 m³/s.

Tab. 1: Extremwertstatistik oder Extremwerthydrologie?

Problemstellung	ALT Extremwertstatistik (statistische Methoden)	NEU Extremwerthydrologie (statistische Analyse plus zeitliche, räumliche und kausale Informationserweiterung)
Stationarität – Trend	Statistische Trendanalyse und Trendtest	Kausale Analyse der Prozesse im Gebiet, z. B. wasserbauliche Maßnahmen
Parameter der Verteilungsfunktion (VF)	Parameterschätzmethode mit kleinstem Fehler für gegebene VF	Hydrologisch, z. B. historische Hochwässer, regionales Verhalten, Niederschlagsverhalten, Abflussbeiwerte
Wahl der VF	VF mit der besten Anpassung (Anpassungstest)	Nicht bedeutend, da bei 3 parametrischer VF die Parameterwahl der entscheidende Schritt ist
Jährlichkeit des größten Abflusses im Kollektiv	Verschiedene „optimale“ Plotting positions	Hydrologisch, z. B. historische Hochwässer, Vergleich mit Nachbargebieten oder langen Niederschlagsreihen
Extrapolationsverhalten der VF	Ergibt sich aus gewählter VF und optimierten Parametern	VF so gewählt, dass Extrapolationsverhalten mit (hydrologisch eingeschätzter) Jährlichkeit des Größtwertes im Kollektiv und erweiterter Information im Einklang ist
Ausreißer	Statistischer Ausreißertest	Einschätzung der Jährlichkeit (s. o.)
Räumliche Homogenität in einer Region	Statistischer Homogenitätstest	Regionale Interpretation der Einflussgrößen und räumlichen Abflussstatistikmuster einschließlich Beobachtungszeiträumen
Wahl der Gebietseigenschaften für Regionalisierung	Größte Korrelation mit Hochwasserkenngößen	Gute Korrelation mit Hochwasserkenngößen und hydrologische Interpretierbarkeit

4 N-A-Modellparameter – Extrapolation und räumliche Übertragbarkeit

Bei der N-A-Modellierung sind im Wesentlichen der Bemessungsniederschlag, die Modellstruktur und die Modellparameter zu wählen. Für den Bemessungsniederschlag gibt es in vielen Ländern regionale Auswertungen (z. B. [10], [11], [3]). Lokale Auswertungen besitzen demgegenüber den Vorteil, detaillierte Daten sowie die lokale Situation (z. B. Wetterzugstrassen, lokale Geologie) berücksichtigen zu

können [7]. Wenn das Gebietsverhalten durch bekannte Komponenten bestimmt wird (z. B. hydraulische Bauwerke), werden meist hydrologisch-hydraulische Modelle bevorzugt, wenn es durch weitgehend unbekannte Kenngrößen bestimmt wird (z. B. Bodeneigenschaften), werden vorwiegend Konzeptmodelle bevorzugt, da die Anzahl der zu wählenden Parameter geringer ist. Wegen der Komplexität der hydrologischen Prozesse ist die Eichung der Modellparameter an beobachteten Abflussdaten jedoch immer anzustreben. Bei der Extrapolation von kleinen beobachte-

ten Ereignissen auf große Bemessungsereignisse und von Gebieten mit Abflussdaten auf Gebiete ohne Abflussdaten ändern sich die Modellparameter oft wesentlich und deshalb ist es wichtig, das Gebiets- und das Modellverhalten zu verstehen.

Im einfachsten Fall ist es sinnvoll, die Abflussbeiwerte gegen die Ereignisgröße (z. B. ausgedrückt durch den Abflussscheitel) aufzutragen. Ein Beispiel ist in **Bild 2** gezeigt. Im Gebiet der Weißach können die Abflussbeiwerte bei kleinen und bei großen Hochwässern groß sein. Es ist deshalb mit keiner großen Verschärfung der Abflussverhältnisse beim Übergang vom Eich- zum Bemessungsereignis zu rechnen. Im Gebiet der Triesting nehmen die Abflussbeiwerte markant zu, und deshalb ist im Bemessungsfall mit wesentlich größeren Abflussbeiwerten als im Eichfall zu rechnen. In ähnlicher Weise kann man eine Verschiebung in anderen Modellparametern abschätzen und durch eine hydrologische Argumentation stützen.

Bei der Bestimmung der N-A-Modellparameter für Gebiete ohne Abflussmessungen ist eine grundsätzlich ähnliche Vorgangsweise sinnvoll, jedoch ist eine Eichung an Abflussdaten nicht möglich. Blöschl [12] empfiehlt, die Parameter womöglich aus Abflussbeobachtungen am gleichen Vorfluter, alternativ aus Abflussbeobachtungen in hydrologisch ähnlichen Gebieten, und nur als letzter Ausweg aus Gebieteigenschaften (z. B. Bodenkenngrößen, Landnutzung) zu bestimmen. Dies ist übrigens die gleiche Prioritätensetzung wie bei der statistischen Analyse des Hochwasserkollektivs im englischen Handbuch [3]. Verfahren, die auf breitenverfügbaren Bodeneigenschaften basieren, wie das SCS-CN-Verfahren, liefern in humiden Gebieten meist keine guten Ergebnisse [13]. Dies dürfte einerseits auf die geringe hydrologische Aussagekraft solcher Daten zurückzuführen sein, andererseits darauf, dass in derartigen Klimagebieten die Wasserbilanz eine entscheidende Einflussgröße bei der Hochwasserentstehung sowohl wegen der Bodenfeuchte vor Ereignisbeginn als auch wegen langfristiger Rückkoppelungseffekte zwischen Abfluss, Bodenbildung und Geomorphologie darstellt [14].

Bei kleinen Gebieten ist zu erwarten, dass Feldbegehungen zuverlässigere Parameter als etwa Regressionen mit Gebiets-eigenschaften liefern, da hydrologische, morphologische und biologische Indikatoren herangezogen werden können [15].

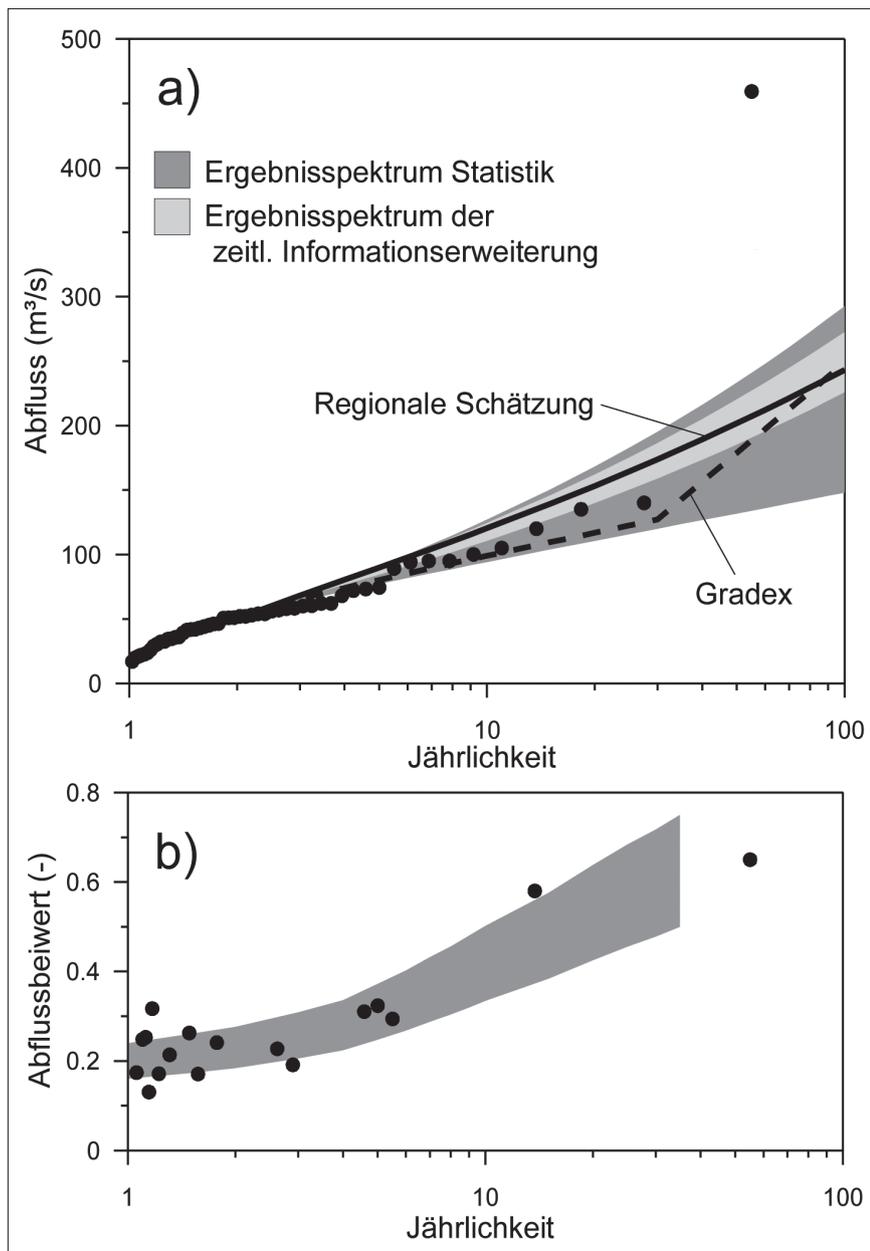


Bild 1: Pegel Zwetzl am Kamp (622 km²): a) Hochwasserwahrscheinlichkeitskurve und Zusammenschau der erweiterten Informationen; b) Abflussbeiwerte der Hochwasserereignisse aus a) [9]

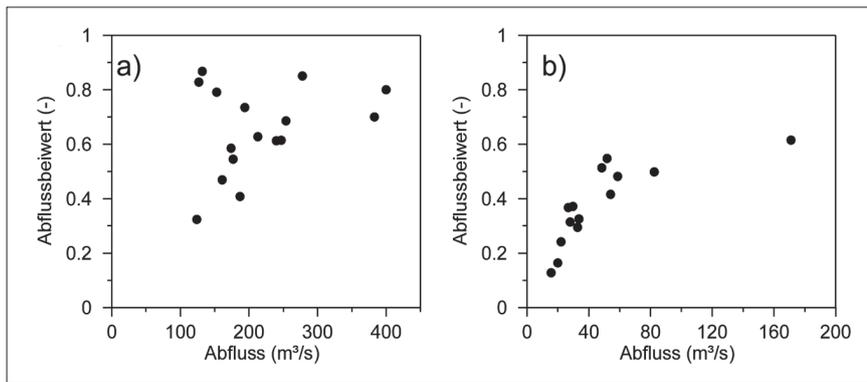


Bild 2: Abflussbeiwerte der Jahreshochwässer, aufgetragen gegen den zugehörigen Scheitelabfluss: a) Weißach bei Zwing (199 km², 2000 mm Jahresniederschlag); b) Triesting bei Fahrafeld (186 km², 750 mm Jahresniederschlag)

„Soft-Informationen“ können dabei eine wesentliche Entscheidungsgrundlage sein, ähnlich wie bei der Extremwerthydrologie. **Bild 3** zeigt beispielsweise typische Fotos zweier nebeneinanderliegender Gebiete. Das Mitterbach-Gebiet (links) weist einen bemoosten Bachlauf auf, was auf geringe hydrologische Aktivität schließen lässt, das Ötscherbach-Gebiet (rechts) zeigt hingegen massive Erosion. Entsprechend ist im Ötscherbach das Abflussvolumen größer und die Dynamik rascher bei ähnlichem Gebietsniederschlag. Bei größeren Gebieten ist die Verwendung von Informationen aus Gebietsbegehungen naturgemäß schwieriger, eine mögliche Vorgangsweise auf Basis dominanter Prozesse schlagen Reszler et al. [16] vor.

5 Zur Frage der Jährlichkeit bei der N-A-Modellierung

Die Wahl der Modellparameter wirkt sich neben der Modellstruktur und dem Bemessungsniederschlag direkt auf das berechnete Bemessungshochwasser aus. Vergleicht man etwa den durch ein N-A-Modell unter Verwendung eines hundertjährigen Niederschlags berechneten Abflussscheitel mit der extremwertstatistischen Auswertung des Hochwasserkollektivs, so gibt das N-A-Modell meist größere Werte. Es stellt sich demnach die Frage nach der Jährlichkeit der aus dem N-A-Modell ermittelten Scheitel, da diese nicht der Jährlichkeit des Niederschlags entsprechen muss.

Aus statistischer Sicht ist vorerst der Begriff der Jährlichkeit des Niederschlags zu hinterfragen. Einem Ereignis ist keine Jährlichkeit zugeordnet, da es durch mehrere Kenngrößen beschrieben wird (Nieder-

schlaghöhe, Dauer, zeitliche Verteilung), sich die Jährlichkeit aber nur für eine Einzelgröße (z. B. Hochwasserscheitel) eindeutig definieren lässt. Pragmatisch kann man allerdings entsprechend der Bemessungspraxis eine Jährlichkeit definieren, etwa für die Niederschlagshöhe der maßgebenden Niederschlagsdauer aus der Regenreihe. Bei rezeptartigen Richtlinien (bei denen die Modellparameter exakt vorgegeben sind) lassen sich dann Beziehungen zwischen der Jährlichkeit des Niederschlags und der Jährlichkeit des Abflussscheitels aufstellen [3]. Ist die Parameterwahl nicht exakt vorgegeben, hängt die Jährlichkeit des Abflussscheitels klarerweise davon ab, wie extrem die Parameter gewählt werden. Werden alle Parameter (Abflussbeiwert, Reaktionszeit ...) und die zeitliche Verteilung des Niederschlags ungünstig gewählt, dann kann die Jährlichkeit des Abflussscheitels wesentlich größer als die des Niederschlags sein. Es lässt sich dann fragen, bei welchen Parameterkombinationen die Jährlichkeiten übereinstimmen.

Als vorläufiger Beitrag dazu zeigt **Bild 4** eine Auswertung von statistisch-deterministischen Simulationen für unterschiedliche Klimaverhältnisse nach der, bei sonst konstanten Parametern, der Abflussbeiwert so zu wählen ist, dass er von 60 % der Abflussbeiwerte der Jahreshochwässer unterschritten und von 40 % überschritten wird. Im Bemessungsfall würde man typischerweise einen größeren Abflussbeiwert wählen, nämlich den eines hundertjährigen Ereignisses.

Als Beispiel sei Bild 2b betrachtet: Der größte Durchfluss (165 m³/s) entspricht etwa einem 20-jährlichen Hochwasser und einem zugehörigen Abflussbeiwert von 0,6. Wenn man die Abflussbeiwerte auf größere Hochwässer extrapoliert, ist

ein Abflussbeiwert von etwa 0,7 für das 100-jährliche Hochwasser zu erwarten. Der Abflussbeiwert mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 60 % in Bild 2b ist hingegen etwa 0,4.

Ähnliche Einflüsse der anderen Modellparameter überlagern sich. Statistisch-deterministische Simulationen [17], [18], [19] können helfen, derartige Unterschiede zu identifizieren und die Jährlichkeit der simulierten Abflussscheitel abzuschätzen. Zu ergänzen ist, dass es freilich auch andere Gründe für die Unterschiede zwischen N-A-Modellierung und statistischen Auswertungen geben kann, wie etwa Datenfehler im Hochwasserkollektiv und eine nicht berücksichtigte Ausuferung, zu Folge derer die statistische Auswertung tendenziell zu kleine Werte geben kann.

6 Veränderungen im Hochwasserregime

Die Frage der Jährlichkeit leitet über zu einem weiteren Aspekt bei der Bestimmung von Bemessungshochwässern. Bei statistischen Auswertungen des Abflusses und des Niederschlags wird in der Regel die Datenreihe als statistisch unveränderlich angesehen, d. h. jedes Jahr ist in gleicher Weise wie jedes andere Jahr repräsentativ für das Gebiet. Klimavariabilität, Änderungen der Landnutzung und wasserbauliche Maßnahmen können jedoch das hydrologische Langfristverhalten beeinflussen. Zur Untersuchung dieser Einflüsse gibt es zwei Zugänge: Szenarien und Trendanalysen [21], [22]. Bei den Szenarien werden die Abflussprozesse im Modell nachgebildet und der Einfluss von Veränderungen in einzelnen Komponenten (wasserbauliche Maßnahmen, Landnutzung, Klima) simuliert. Während sich wasserbauliche Maßnahmen meist gut spezifizieren lassen, ist dies bei Landnutzung und Klima nicht der Fall. Lokale Landnutzungsänderungen müssen sich nicht notwendigerweise regional bemerkbar machen und projizierte Klimaänderungen sind für Extremwerte sehr unsicher (siehe [23]). Trendanalysen an Hand beobachteter Abflussdaten besitzen den Vorteil, auch Rückkopplungsprozesse und andere schwer zu erfassende Effekte summarisch wiederzugeben. Allerdings erschwert das Auftreten von Hochwasserjahrzehnten die Interpretation von relativ kurzen Datenreihen, weswegen Trendanalysen oft widersprüchliche Befunde ergeben [24].

Als Beispiel sind in **Bild 5a** die Jahreshochwässer der Donau bei Wien für einen Zeitraum von 73 Jahren eingetragen. Wenn man nur dieses Bild betrachtet, suggeriert es, dass die großen Hochwässer einen zunehmenden Trend aufweisen, da fünf der sechs größten Hochwässer am Ende der Reihe aufgetreten sind. Ein Vergleich mit **Bild 5b** zeigt jedoch, dass dieser Trend nicht in die Zukunft extrapoliert werden darf. Im Bild 5a handelt es sich nämlich um die Reihe 1828 bis 1900, im Bild 5b um die Reihe 1828 bis 2005. Die lange Reihe zeigt auch, dass die kleinen Hochwässer einen zunehmenden Trend aufweisen, der sich unschwer aus wasserbaulichen Maßnahmen (vor allem die geringere Ausuferung) an der Donau ableiten lässt. Klima und Landnutzungsänderungen sind viel schwieriger zu interpretieren, insbesondere lässt sich ihr relativer Beitrag schwer von einander trennen. Ein möglicher Ansatz besteht darin, die Trends unterschiedlich großer Gebiete zu vergleichen, unter der Annahme, dass sich die Landnutzung vor allem auf kleine Gebiete auswirkt, Klimavariabilität hingegen auf kleine und große Gebiete in gleicher Weise [21]. Wegen der vielfältigen Einflussgrößen sind Klima- und Landnutzungseffekte für Bemessungsfragen meist jedoch schwer abschätzbar. Deshalb ist das explizite Ausweisen von Unsicherheiten wahrscheinlich zielführender als der Versuch, solche Veränderungen zu prognostizieren.

7 Umgang mit Unsicherheiten und dem Bemessungswert

Selbst wenn, wie oben ausgeführt, umfangreiche Informationen herangezogen werden, verbleibt in der Regel bei der Bestimmung des Bemessungshochwassers eine beträchtliche Unsicherheit. Diese hängt vor allem vom Datenumfang, der Datenqualität und der Jährlichkeit ab. Bei der statistischen Analyse ist eine wesentliche Quelle dieser Unsicherheit die beschränkte Reihenlänge. Es kommt deshalb manchmal vor, dass hydrologische Stellen einen zuvor bekannt gegebenen Hochwasserdurchfluss einer bestimmten Jährlichkeit hinaufsetzen, nachdem ein großes Hochwasser aufgetreten ist (z. B. 1993 und 1995 am Rhein). Es kann der Eindruck entstehen, dass dadurch die Glaubwürdigkeit der hydrologischen Aussagen, ja die Glaubwürdigkeit der Hydrologen selbst untergraben wird. Das Bestreben von Bearbeitern, einmal be-

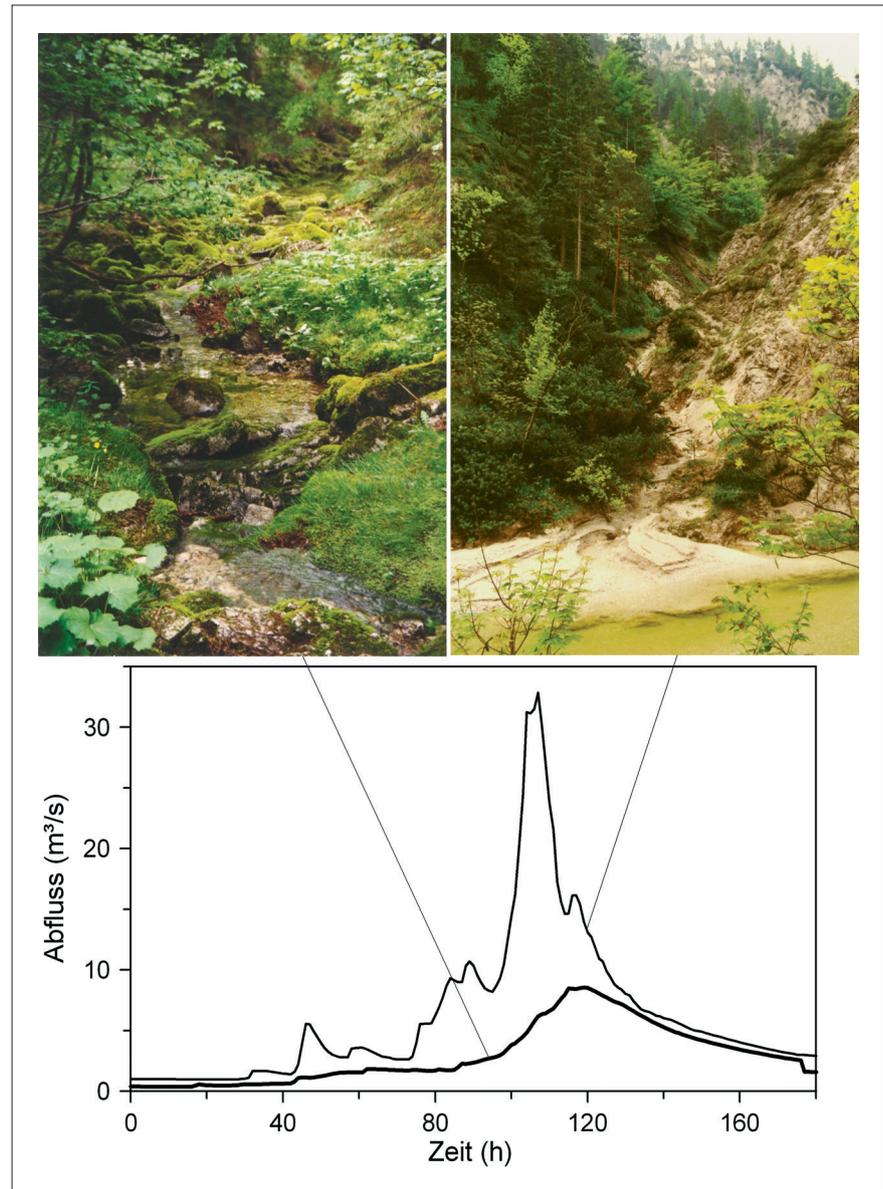


Bild 3: Gebietsvergleich: oben: Typische Geländeform im Mitterbach Gebiet (links, 30 km²) und im Ötscherbach Gebiet (rechts, 36 km²); unten: Abflussganglinien des Ereignisses im Juli 1991 für diese beiden Gebiete

kannt gegebene Werte womöglich nicht zu ändern, ist deshalb nachvollziehbar. Hochwasserprozesse sind jedoch dynamisch und auch die jeweils zur Verfügung stehenden Daten ändern sich. Es mag deshalb günstiger sein, etwa statt von einem hundertjährigen Hochwasser HQ_{100} von einem „ HQ_{100} auf der derzeitigen Informationsbasis“ zu sprechen. In der Medizin wird beispielsweise eine Diagnose natürlich revidiert, wenn zusätzliche Befunde vorliegen. Ähnlich wäre es in der Hydrologie wünschenswert, die Informationsbasis transparent zu machen und zu vermitteln, dass eine Aussage unter der jeweils vorhandenen Information getroffen wird.

Ein Spannungspotenzial ergibt sich allerdings bei wasserbaulichen Maßnahmen, da bei diesen der Planungshorizont meist mehrere Jahrzehnte ist und bauliche Änderungen in dieser Zeit teuer sind. Der Bemessungswert, auf den die Maßnahme ausgelegt wird, kann sich vom Hochwasserdurchfluss gegebener Jährlichkeit (HQ_T) unterscheiden durch zusätzliche Sicherheiten bzw. Freiborde im Planungskontext. Es bleibt dennoch die Frage, ob Unsicherheiten auf hydrologischer oder wasserbaulicher Seite abgedeckt werden bzw. ob – statistisch gesprochen – ein „Erwartungswert“ des HQ_T oder ein größerer Wert (inklusive Unsicherheit) von hydro-

logischer Seite bekannt gegeben wird. Von wasserbaulicher Seite ist ein Vertrauensbereich des HQ_T meist unpraktisch, da Maßnahmen in der Regel auf einen (deterministischen) Einzelwert ausgelegt werden. Wird dennoch ein Streubereich bekannt gegeben, so wird oft das Maximum für die Bemessung auf Basis der Überlegung herangezogen, dass die Sicherheit im Einzelfall und nicht im Mittel über viele Maßnahmen gegeben sein soll. Mögliche Ansatzpunkte für die Lösung dieses Dilemmas bestehen in einer probabilistischen Bemessung, im expliziten Ausweisen der Unsicherheiten und in der Kommunikation der Beteiligten sowie im Einbetten der Bemessungswerte in andere Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagement, wie etwa Flächenwidmung, passiver Hochwasserschutz, Hochwasservorhersage und Einsatzplanung.

8 Schlussfolgerungen

Aus der Diskussion im vorliegenden Beitrag ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen für eine zeitgemäße Strategie der Bestimmung von Bemessungshochwässern:

- Die individuelle Bestimmung von Bemessungshochwässern hat gegenüber einem rezeptartigen Vorgehen den Vorteil, jeweils lokal gültige Informationen einzubringen, wodurch ein zuverlässiger Bemessungswert zu erwarten ist.
- Es ist sinnvoll und notwendig zusätzlich zur rein statistischen Auswertung des Hochwasserkollektivs zeitliche, räumliche und kausale Zusatzinformation einzubringen und das Hochwasser aus einer Zusammenschau der Gesamtinformation zu bestimmen. Allerdings erfordert dies einen größeren Arbeitsaufwand und hydrologische Kenntnisse der Sachbearbeiter.
- Bei der Bestimmung von N-A-Modellparametern ist es günstig, sich womöglich an gemessenen Abflussdaten zu orientieren und qualitative Feldbeobachtungen zu nutzen, um die Verschiebung der Parameter vom Eichfall zum Bemessungsfall argumentativ belegen zu können.
- Die Jährlichkeit von mittels N-A-Modellen bestimmten Durchflüssen kann sich wesentlich von der Jährlichkeit statistischer Auswertungen unterscheiden, insbesondere wenn Modellparameter maximiert werden. Statistisch-determi-

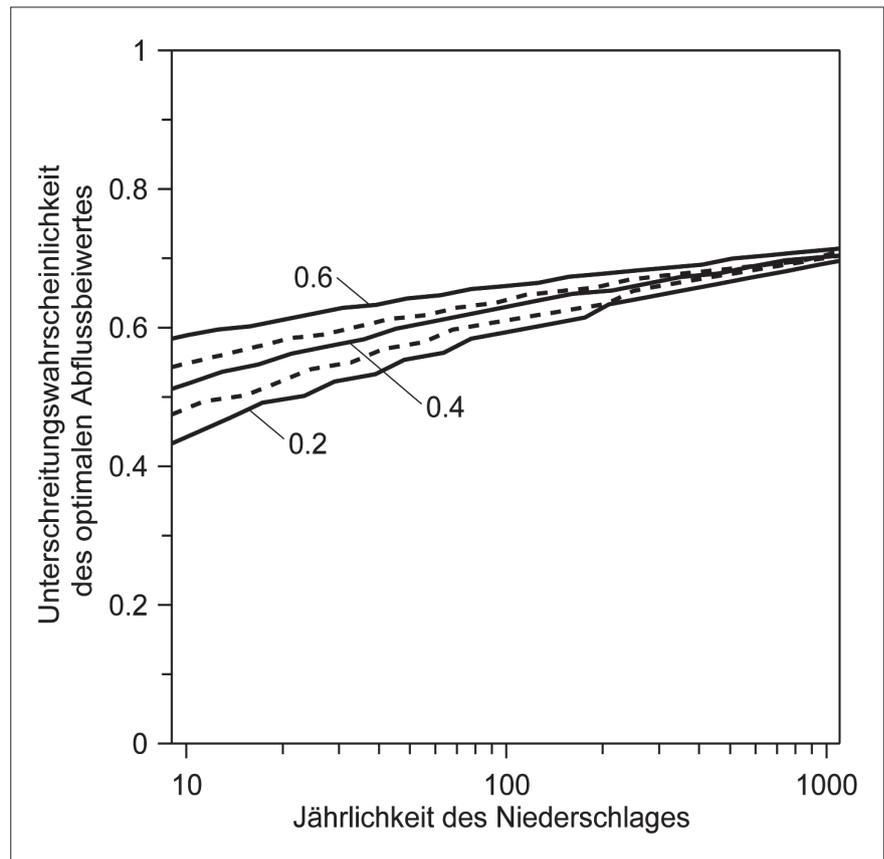


Bild 4: Unterschreitungswahrscheinlichkeit desjenigen Abflussbeiwertes (bezogen auf die Jahreshochwässer), der einen Abflussscheitel mit der Jährlichkeit gleich dem zugehörigen Niederschlag erzeugt; Kurvenparameter ist der mittlere Abflussbeiwert ψ_m aller Ereignisse ($\psi_m = 0,6$ feuchtes Klima; $\psi_m = 0,2$ trockenes Klima) [20]

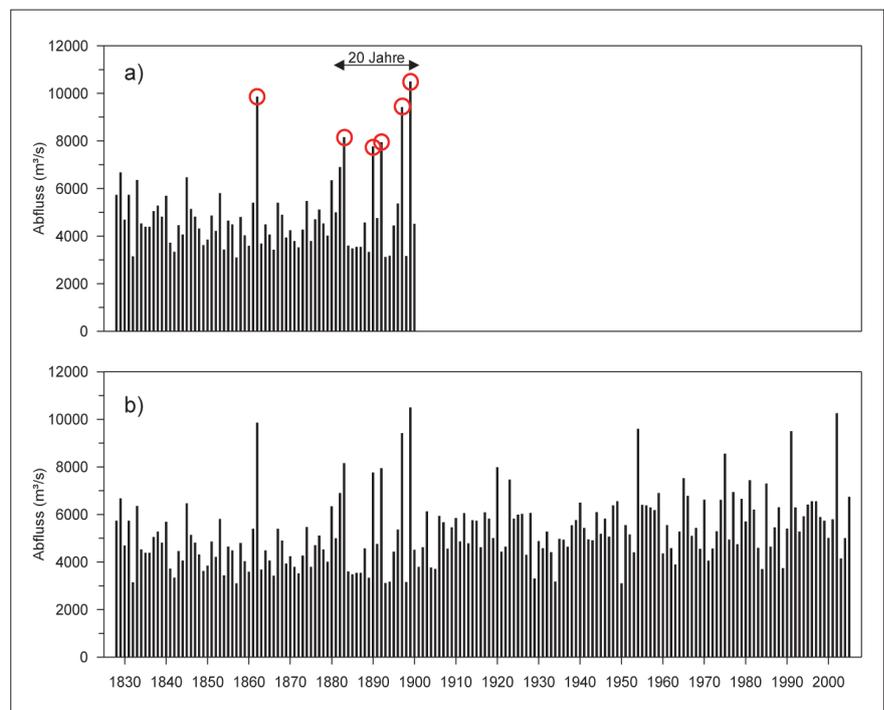


Bild 5: a) Jahreshochwässer der Donau bei Wien für 73 Jahre, fünf der sechs größten Hochwasser sind in den letzten 20 Jahren aufgetreten; b) Gesamte Reihe 1828 bis 2005

Günter Blöschl and Ralf Merz

Estimating Design Floods of a Given Return Period – Facets of a Contemporary Strategy

This paper discusses current issues of estimating design floods and proposes possible strategies to address them. These issues include: establishing guidelines, hydrological information that goes beyond the flood peak sample, estimating parameters of runoff models, the return period of model simulations, assessing changes in the flood regime and how to deal with uncertainty in the context of hydraulic design.

nistische Simulationsmethoden können helfen, die Unterschiede zu erklären.

- Während Änderungen im Hochwasserregime durch flussbauliche Maßnahmen meist nachvollziehbar sind, ist das bei Klima- und Landnutzungseffekten oft nicht der Fall. Deshalb ist das explizite Ausweisen von Unsicherheiten wahrscheinlich zielführender als der Versuch, solche Veränderungen zu prognostizieren.
- Wegen der langfristigen zeitlichen Variabilität von Hochwässern erscheint es günstig, z. B. von einem „hundertjährigen Hochwasser auf der derzeitigen Informationsbasis“ zu sprechen, allerdings erfordert dies eine zusätzliche Kommunikation bei der Umsetzung von wasserbaulichen Maßnahmen.

Danksagung

Der Österreichischen Akademie der Wissenschaften wird für ein APART-Stipendium und dem Fonds zur wissenschaftlichen Forschung für Projekt P18993-N10 gedankt.

Autoren

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günter Blöschl
Dipl.-Ing. Dr. Ralf Merz

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/222
A-1040 Wien
Österreich
bloeschl@hydro.tuwien.ac.at

Literatur

- [1] Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. In: Amtsblatt der Europäischen Union L 288/27.
- [2] KWK-DVWW (Hrsg.): Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Heft 101, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1976.
- [3] Institute of Hydrology (Hrsg.): Flood Estimation Handbook. Wallingford, UK, 1999.

- [4] Gutknecht, D.: Bemessungshochwässer kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit – zur Entwicklung eines Leitfadens zur Ermittlung von Bemessungshochwässern für Talsperren. In: Gutknecht, D. (Hrsg.): Extreme Abflussereignisse. Wiener Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der TU Wien (2007), Nr. 206, S. 85-100.
- [5] Merz, R.; Blöschl, G.: Flood Frequency Hydrology 1. Temporal, spatial and causal expansion of information. In: Water Resour. Res (2008), im Druck.
- [6] Merz, R.; Blöschl, G.: Flood Frequency Hydrology 2. Combining data evidence. In: Water Resour. Res (2008), im Druck.
- [7] Gutknecht, D.; Blöschl, G.; Reszler, Ch.; Heindl, H.: Ein „Mehr-Standbeine“-Ansatz zur Ermittlung von Bemessungshochwässern kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 58 (2006), H. 3/4, S. 44-50.
- [8] DVWK (Hrsg.): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. In: DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft (1999), Nr. 251.
- [9] Merz, R.; Blöschl, G.: Informationserweiterung zur Bestimmung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (2008), im Druck.
- [10] DVWK (Hrsg.): Hochwasserabflüsse. In: DVWK-Schriften (1999), H. 124.
- [11] Gutknecht, D.: Bestimmungsmethoden – Überblick. In: Gutknecht, D. (Hrsg.): Extreme Abflussereignisse. Wiener Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der TU Wien (2007), Nr. 206, S.155-180.
- [12] Blöschl, G.: Rainfall-runoff modelling of ungauged catchments. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences (2005), S. 2061-2080.
- [13] Merz, R.; Blöschl, G.; Parajka, D.: Raum-zeitliche Variabilität von Ereignisabflussbeiwerten in Österreich. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50 (2006), S. 2-11.
- [14] Blöschl, G.; Merz, R.: Landform – hydrology feedbacks. In: Proceedings of the International Symposium: Landform – structure, evolution, process control. 7-10. Juni 2007, Bonn, in press.
- [15] Markart, G.; Kohl, B.; Sotier, B.; Schauer, T.; Bunza, G.; Stern, R.: Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen. Report 3 des Bundesforschungs- und Ausbil-

dungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2004.

- [16] Reszler, Ch.; Komma, J.; Blöschl, G.; Gutknecht, D.: Dominante Prozesse und Ereignistypen zu Plausibilisierung flächendetaillierter Niederschlag-Abflussmodelle. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52 (2008), S. 120-131.
- [17] Blöschl, G.: Einsatz von Simulationsmethoden bei der Bestimmung extremer Abflüsse. In: Gutknecht, D. (Hrsg.): Extreme Abflussereignisse. Wiener Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der TU Wien (2007), Nr. 206, S.227-246.
- [18] Ebner von Eschenbach, A.; Haberlandt, U.; Buchwald, I.; Belli, A.: Ermittlung von Bemessungsabflüssen mit N-A-Modellierung und synthetischem Niederschlag. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 11, S.
- [19] Klein, B.; Schumann, A.; Pahlow, M.: Hochwasserschutzplanung in Flussgebieten unter Verwendung der multivariaten Statistik am Beispiel der Unstrut. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 11, S.
- [20] Viglione, A.; Blöschl, G.: On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods. 2008, in Vorbereitung.
- [21] Blöschl, G.; Ardoin-Bardin, S.; Bonell, M.; Doringner, M.; Goodrich, D.; Gutknecht, D.; Matoros, D.; Merz, B.; Shand, P.; Szolgay, J.: At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows? In: Hydrological Processes 21 (2007), S. 1241-1247.
- [22] Petrow, T.; Martins Delgado, J.; Merz, B.: Trends der Hochwassergefährdung in Deutschland (1951 bis 2002) und Konsequenzen für die Bemessung. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 11, S.
- [23] OcCC: Extremereignisse und Klimaänderung. Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC, Bern, 2003.
- [24] Kundzewicz, Z.; Graczyk, D.; Maurer, T.; Piskwar, I.; Radziejewski, M.; Svensson, C.; Szwed, M.: Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. In: Hydrological Sciences Journal 50 (2005), Nr. 5, S. 797.