

Tafel 5.12 Hochwasserabflüsse – statistische Kennwerte 1971–2007

Einleitung

Für viele Aufgaben im Bereich des Wasserbaus, der Wassernutzung oder des Gewässerschutzes sind Kenntnisse über die Charakteristik der Hochwasserabflüsse von grosser Bedeutung. In diesem Atlasblatt wird die Thematik aus der Tafel 5.6 (Hochwasserabflüsse – Analyse langer Messreihen) wieder aufgenommen und vertieft. Einerseits können wesentlich längere Messreihen verwendet werden, andererseits werden neben den mittleren Jahreshochwasserspitzen und den Variationskoeffizienten zusätzliche Kennwerte analysiert. Eine allgemeine Einführung in die Thematik der Hochwasserabflüsse kann dem Begleittext zur Tafel 5.6 entnommen werden. Auf eine Tabelle analog zur Tafel 5.6 wird verzichtet, da die jährlich aktualisierte Hochwasserstatistik der einzelnen Messstationen im Internet abrufbar ist [3].

Die Wahl der Periode 1971 bis 2007 bietet verschiedene Vorteile: Es können Vergleiche mit der Tafel 5.6 gemacht werden, die grossen Hochwasserereignisse der Jahre 1999, 2005 und 2007 werden berücksichtigt, für die Periode steht eine grosse Anzahl von Messreihen zur Verfügung und mit 37 Jahren ist die Periode genügend lang für statistische Analysen. Da für alle Stationen jeweils dieselbe Periode betrachtet wird, ist auch ein Vergleich zwischen den Stationen möglich.

Die Auswahl der dargestellten Stationen erfolgte aufgrund der Datenverfügbarkeit sowie des anthropogenen Beeinflussungsgrades der Hochwasserabflüsse. Stationen mit mittlerer bis grosser Beeinflussung wurden nur für die Karte der mittleren Jahreshochwasserspitzen berücksichtigt. Die Klassifizierung der Beeinflussung basiert auf derjenigen der Tafel 5.6.

Mittlere Jahreshochwasserspitzen

In der ersten Karte sind die mittleren Jahreshochwasserspitzen (Periode 1971–2007) verzeichnet. Für die Stationen mit keiner bis geringer Beeinflussung ist das entsprechende Einzugsgebiet hervorgehoben, wobei sich das Gesamteinzugsgebiet einer Station aus allen oben liegenden Gebieten ergibt. Die mittels Farbsignatur dargestellten klassierten Werte der Abflussspende gelten jeweils für das gesamte Einzugsgebiet. Neben der Abflussspende figuriert die Abflussmenge der mittleren Jahreshochwasserspitze als Zahl [m^3/s]. Dieser Wert ist auch für Stationen mit mittlerer bis grosser Beeinflussung aufgeführt. Die Messstationsnummer verweist auf die Tafel 5.1², welche allgemeine Stationsangaben beinhaltet.

Insgesamt ist es schwierig, grössere Regionen mit ähnlicher Hochwasserabflussspende auszuscheiden. Eine Ausnahme bilden die Einzugsgebiete in der Nordwestschweiz sowie in Graubünden, bei welchen meist nur kleine Abflussspenden erkennbar sind. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich Abflussspenden aus sehr kleinen Gebieten trotz Normierung auf die Gebietsfläche nur bedingt mit Abflussspenden aus Gebieten mit einer wesentlich grösseren Fläche vergleichen lassen. In kleinen Einzugsgebieten sind erheblich höhere Abflussspenden möglich als in grossen Gebieten.

Variation der Jahreshochwasserspitzen

Die zweite Karte stellt für die ausgewählten Stationen die Variation der Jahreshochwasserspitzen (Periode 1971–2007) in Form von Box-Plots dar. Die Box-Plots zeigen Mittelwert, 25 %-Quantil, 75 %-Quantil sowie Maximum und Minimum der Jahreshochwasserspitzen. Damit die Plots der verschiedenen Stationen miteinander verglichen werden können, werden nicht absolute, sondern normierte Werte ausgewiesen, wobei der Mittelwert jeweils dem Wert 1 entspricht. Die Box-Plots verdeutlichen die grosse Variabilität zwischen den Stationen. Insbesondere die Differenz zwischen Mittelwert und Maximum schwankt sehr stark: Bei einigen Messstellen ist das maximale Jahreshochwasser nur etwa 1.5 mal so gross wie das mittlere Jahreshochwasser, während es bei anderen 3–4 mal so gross ist.

Als zusätzliches Mass für die Variation zeigt die Farbe der Box-Plots die Grössenordnung des Variationskoeffizienten (Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert). Der Variationskoeffizient eignet sich eigentlich besonders für die Interpretation von symmetrischen Verteilungen und weniger für asymmetrische Verteilungen [1]. Die Information, ob die Jahreshochwasser symmetrisch verteilt sind, kann den einzelnen Box-Plots entnommen werden. Es gibt allerdings nur wenige Stationen mit extrem schiefer Verteilung. Die Karte zeigt, dass sich der Variationskoeffizient von Station zu Station unterschiedlich verhält. Es ist kein räumliches Muster sichtbar; auch nahe beieinander liegende Stationen können sehr verschiedene Variationskoeffizienten aufweisen.

Saisonalität der Jahreshochwasserspitzen

Die dritte Karte illustriert die saisonale Verteilung der Jahreshochwasserspitzen. Dabei werden drei verschiedene Aspekte dargestellt: Die Farbe des Kreissektors gibt die Jahreszeit des mittleren Auftretensdatums an (Berechnung siehe [7]). Die Strahlen zeigen die Anzahl der Jahreshochwasserspitzen pro Halbmonat und das Dreieck am äusseren Kreis der Signatur steht für das Auftretensdatum der grössten Jahreshochwasserspitze der gesamten Periode, wobei ausnahmsweise zwei gleich grosse Ereignisse auftreten können.

Wird nur analysiert, in welche Saison das mittlere Auftretensdatum zu liegen kommt, ergibt sich ein recht eindeutiges Bild: Ausser im Jura sowie an einigen weiteren Stationen in der Westschweiz fällt dieses theoretische Datum praktisch immer in den Sommer. Für eine genauere Interpretation muss allerdings die Anzahl Hochwasserereignisse pro Halbmonat herangezogen werden, da die Saison des mittleren Auftretens nicht immer repräsentativ ist. Dies gilt vor allem für Stationen, bei denen die Hochwasser zu jedem beliebigen Zeitpunkt im Jahr auftreten können (z.B. Töss–Neftenbach, Nr. 549).

Das Auftretensdatum der Jahreshochwasser hängt mit den Prozessen zusammen, welche das Ereignis auslösen [4,5]. So zeigt beispielsweise [8], dass die meisten Jahreshochwasser im Jura prozessbedingt im Winterhalbjahr auftreten. Bei stark durch Gletscher- oder Schneeschmelze beeinflussten Stationen treten die grössten Abflüsse hingegen normalerweise in der Sommersaison auf. Die grösste Jahreshochwasserspitze kann jedoch aufgrund von extremen Niederschlagsereignissen auch in eine andere Saison fallen (z.B. Rhone–Brig, Nr. 866).

Trends der jährlichen und saisonalen Hochwasserspitzen

Die vierte Karte beschreibt die Trends der jährlichen und saisonalen Hochwasserspitzen für die Periode 1971–2007. Der innere Bereich der Signaturen zeigt die Trends, welche aufgrund der Jahreshochwasserspitzen berechnet wurden, während die vier Flügel für die Trends in den vier Saisons stehen. Die saisonalen Trends wurden aus den saisonalen Maxima berechnet. Die Trendausprägung wird definiert über den linearen Trendwert und die Trendsignifikanz. Die Berechnung des linearen Trendwerts erfolgte aus der Regressionsgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate [1]. Kein Trend liegt vor, falls der Betrag der Steigung pro Jahr im Verhältnis zum mittleren jährlichen Hochwasser kleiner als 0.25 % ist. Die Signifikanz des Trends wurde mit Hilfe des Mann-Kendall-Trendtests [6] für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % berechnet.

Bei einigen Messstellen kommen in einzelnen Saisons nur sehr kleine Hochwasser vor. Um dies zu kennzeichnen, wurde die Länge der einzelnen Flügel variiert. Hierzu wurden für jede Station die vier mittleren saisonalen Hochwasser untereinander verglichen. Dem grössten Wert wurden 100 % zugeordnet; die Prozentzahlen für die anderen drei Saisons ergaben sich aus dem Verhältnis zu diesem grössten Wert. Prozentzahlen grösser als 66 % entsprechen einer grossen Flügellänge, Prozentzahlen kleiner oder gleich 33 % einer kleinen. Dadurch wird beispielsweise für die Station Engelberger Aa–Buochs (Nr. 1143) ersichtlich, dass die Hochwasser während der Wintersaison zwar signifikant zunehmen, es sich dabei aber – relativ zu den saisonalen Hochwassern in Frühling, Sommer und Herbst – im Mittel nur um kleine Abflüsse handelt (mHQ_{Winter} : 20.8 m³/s; $mHQ_{Frühling}$: 44.3 m³/s; mHQ_{Sommer} : 81.5 m³/s; mHQ_{Herbst} : 44.0 m³/s).

Beim Vergleich der einzelnen Stationen fällt auf, dass sich der Trend der jährlichen Hochwasserspitzen häufig aus den Trends der wichtigsten Hochwassersaisons (mit grosser Flügellänge) ableiten lässt. Zwingend ist dies aber nicht, da sich die Zeitreihen der Jahresmaxima aus Maxima aus verschiedenen Saisons zusammensetzen können. Obwohl insgesamt positive Trends überwiegen, wird bei einem Vergleich der Stationen untereinander deutlich, dass eine grosse räumliche Variabilität herrscht. Besonders gut kommt dies beispielsweise bei den Stationen im Einzugsgebiet der Thur zum Ausdruck.

Trends der Hochwasserspitzen in verschiedenen Perioden

In den Figuren 1 und 2 sind die Trends der Jahreshochwasserspitzen bzw. der Hochwasserspitzen im Sommerhalbjahr (April–September) für verschiedene Perioden dargestellt. Die Kategorien der Trendausprägung entsprechen jenen aus der Karte zu den jährlichen und saisonalen Trends. Die Trends werden für vier unterschiedlich lange Perioden mit Periodenende im Jahr 2007 analysiert: 1926–2007, 1941–2007, 1956–2007 und 1971–2007. Die kürzeste Periode entspricht somit der Periode wie sie auch auf der Kartenseite verwendet wurde. Es sind nur noch jene Stationen aufgeführt, welche mindestens für die Periode 1956–2007 Daten aufweisen. Für ausgewählte Stationen sind in Figur 3 die Zeitreihen der sommerlichen und winterlichen Hochwasserspitzen dargestellt. Bei den Zeitreihen auf der linken Seite handelt es sich um Stationen an grossen Flüssen, welche schon in der Tafel 5.6 verzeichnet waren, jetzt aber mit Daten von 17 zusätzlichen Jahren aufdatiert werden konnten. Dabei handelt es sich teilweise auch um mittel bis stark beeinflusste Stationen. Die Zeitreihen auf der rechten Seite wurden aufgrund von interessanten Resultaten bezüglich der Trendentwicklungen der Jahreshochwasserspitzen bzw. der Hochwasserspitzen im Sommerhalbjahr (vgl. Fig. 1 und 2) ausgewählt.

Die Figuren 1 und 2 zeigen, dass die Ergebnisse der Trendanalyse je nach gewählter Periode unterschiedlich ausfallen können. Je nach betrachteter Station verhält sich insbesondere auch die Trendstabilität anders. Beispielsweise ändert sich – unabhängig davon, ob die Jahreshochwasserspitzen oder die Hochwasserspitzen des Sommerhalbjahres betrachtet werden – die Trendausprägung der Station Muota–Ingenbohl (Nr. 284) für die vier dargestellten Perioden nicht, was auch aus der entsprechenden Zeitreihe in Figur 3 hervorgeht. Bei vielen anderen Stationen ändert sich die Trendausprägung hingegen mindestens einmal, wenn die vier verschiedenen Perioden analysiert werden. Falls in einer Trendanalyse nur eine Zeitperiode untersucht wird, müssen die Resultate somit vorsichtig interpretiert werden, insbesondere wenn nur eine sehr kurze Messreihe analysiert wird. Trendanalysen sind zudem nicht geeignet, einen allfälligen zyklischen Verlauf von Hochwasserhäufigkeiten aufzudecken [2].

Literatur

- [1] **Bahrenberg, G., Giese, E., Nipper, J. (1999):** Statistische Methoden in der Geographie. Band 1: Univariate und bivariate Statistik, Stuttgart.
- [2] **Bezzola, G.R., Hegg, Ch. (Hrsg.) (2008):** Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0825, Bern.
- [3] **Bundesamt für Umwelt BAFU (2009):** Hydrologische Daten: www.hydrodaten.admin.ch
- [4] **Diezig, R., Weingartner, R. (2007):** Hochwasserprozesstypen in der Schweiz. In: Wasser und Abfall 4. Jg., Heft 1–2:18–26, Wiesbaden.
- [5] **Helbling, A., Kan, C., Vogt, S. (2006):** Dauerregen, Schauer oder Schmelze – welche Ereignisse lösen in der Schweiz die Jahreshochwasser aus? In: Wasser–Energie–Luft 98. Jg., Heft 3:249–254, Baden.
- [6] **Helsel, D.R., Hirsch, R.M. (1992):** Statistical Methods in Water Resources. Amsterdam.
- [7] **Pfaundler, M., Wüthrich, T. (2006):** Saisonalität hydrologischer Extreme. Das zeitliche Auftreten von Hoch- und Niedrigwasser in der Schweiz. In: Wasser–Energie–Luft 98. Jg., Heft 2:77–82, Baden.
- [8] **Piock-Ellena, U. et al. (2000):** Saisonalitätsanalyse als Basis für die Regionalisierung von Hochwässern. In: Wasser - Energie - Luft 92. Jg., Heft 1/2:13–21, Baden.