

Tafel 2.4 Extreme Punkregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden

Einleitung

Starkregen verursachen vor allem in kleineren Einzugsgebieten extreme Hochwasser, führen zu Erosionsproblemen und Massenbewegungen wie Hangrutschungen und Kriechvorgänge. Es bestehen Modelle, die es ermöglichen, Ausmass und Häufigkeit solcher Phänomene abzuschätzen, sofern die Häufigkeiten extremer Niederschlagsereignisse bekannt sind. Hingegen ist es nur in Einzelfällen möglich, Ort, Zeitpunkt und Grösse von Hochwassern oder Massenbewegungen vorherzusagen.

Die vorliegenden vier Karten zeigen für die Wiederkehrperioden von 2.33 und 100 Jahren die Höhen extremer Punkregen von 1- und 24-stündiger Dauer. Mit Hilfe dieser vier Basiswerte lassen sich für beliebige Geländepunkte und Ortschaften Punkregen unterschiedlicher Wiederkehrperiode und Dauer schätzen. Dazu werden zusätzliche Informationen über den Typ der Verteilungsfunktion und über den zeitlichen Inter- und Extrapolationsbereich benötigt, die auf der ergänzenden Karte dargestellt werden.

Punkregenhöhe und Wiederkehrperiode

An Standorten mit Regenmessern wurden die extremen Regenhöhen durch eine Häufigkeitsanalyse der Messwerte bestimmt [5]. Diese Stationen bilden die Grundlage zur räumlichen Dateninterpolation mittels des Kriging-Ansatzes. Es gelangen nur reine Regenwerte (flüssiger Niederschlag) zur Darstellung; bei Mischniederschlägen aus Regen und Schnee wurde der Schneeanteil, der innerhalb des Messintervalls nicht geschmolzen ist, abgezogen. Bei Stationen ohne Beobachterangaben schätzte man den Schneeanteil mittels einer höhen- und regionenabhängigen Regression [2,5]. Dabei wird angenommen, dass oberhalb von 3500 m ü.M. kein flüssiger Niederschlag mehr fällt. In diesen Höhenlagen wurden deshalb keine räumlichen Interpolationen durchgeführt.

Die Wiederkehrperiode (Jährlichkeit) gibt an, in wieviel Jahren im Durchschnitt eine bestimmte Regenhöhe erreicht oder überschritten wird. Dieser Schätzwert ist von der gewählten Verteilungsfunktion und dem Parameterschätzverfahren abhängig.

Die einer bestimmten Niederschlagsdauer zugeordnete Regenhöhe entspricht der in dieser Zeit gemessenen Regenmenge, wobei allfällige Regenspauzen unberücksichtigt bleiben.

Methodik

Insgesamt 503 mit Tagessammlern ausgerüstete Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt und weiterer in- und ausländischer Institutionen (s. Tafel 2.1) bilden die Datenbasis der 24-Stundenwerte. Da diese Daten zu einem genau fixierten Termin einmal täglich abgelesen werden, müssen sie nach [4] mit einem Faktor von 1.143 multipliziert werden, damit auf effektive 24-Stunden-Maxima geschlossen werden kann.

Die 1-Stundenwerte konnten an 63 Stationen, die mit Pluviographen ausgerüstet sind, direkt ermittelt werden. Deren Standorte sind mit wenigen Ausnahmen mit jenen der Tagessammler identisch. An Messstellen ohne Pluviographen wurden die Stundenwerte auf der Grundlage der Daten der Tagessammler mittels einer graphischen Regression extrapoliert.

Bei rund 200 Stationen konnten Messreihen der Jahre 1901 bis 1970 ausgewertet werden; bei den restlichen Stationen wurden die zum Zeitpunkt der Bearbeitung (1976-1983) verfügbaren Reihen mit einer Mindestlänge von 30 Jahren bearbeitet. In der Regel wurden die jährlichen Höchstwerte extremwertstatistisch analysiert. Als Verteilungsfunktionen bevorzugte man die 1. Extremalverteilung (Gumbelverteilung) oder die 2. Extremalverteilung (log-Gumbelverteilung). Die Ergebnisse sind in [5] veröffentlicht.

Umfangreiche Analysen mit Hilfe multivariater statistischer Verfahren liessen keine signifikante Abhängigkeit der Starkregenwerte von physiographischen Faktoren erkennen. Deshalb wurden die Starkregenwerte ohne Berücksichtigung des Reliefs interpoliert. Aus physikalischer Sicht ist diese scheinbare Unabhängigkeit der Starkregenwerte allerdings nicht plausibel.

Als Interpolationsmethode verwendete man das Punkt-Kriging. Aus praktischen Gründen wurde für jede Niederschlagsdauer und Wiederkehrperiode mit einem über das gesamte Untersuchungsgebiet einheitlichen Variogramm, ohne Klumpeneffekt, gerechnet. Es wurde vorausgesetzt, dass alle Messstationen qualitativ gleichwertig sind und für eine weitere Umgebung als repräsentativ angesehen werden können. Zur Konstruktion der Isolinien wurden die Werte der zehn nächstgelegenen Stationen auf ein Gitter mit einer Netzweite von einem Kilometer interpoliert, wobei der Gitterwert als gewichtetes arithmetisches Mittel berechnet wurde. Die Gewichte, welche die Nachbarstationen erhalten, hängen von deren räumlichen Lage ab; sie wurden aus dem Variogramm ermittelt. Anschliessend erfolgte die computergestützte Zeichnung der Isolinien und bei Bedarf eine graphische Glättung des Kurvenbildes. Der Interpolationsalgorithmus führt zu einer Reproduzierung der Stützwerte an den Messstellen. Dies alles hat zur Folge, dass die Minima und Maxima in der Regel in der Nähe von Messstellen auftreten. Nur ein dichteres Messnetz könnte über die genauere räumliche Lage der Extreme Auskunft geben. An einzelnen Orten wurden die Isolinien aus Gründen des graphischen Auflösungsvermögens etwas geglättet [1].

Anwendung

Es muss nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Karten der Abschätzung von Punktregen dienen. Es ist beispielsweise nicht statthaft, extreme Gebietsniederschläge durch Planimetrieren der Isolinien zu gewinnen. Bei der Übertragung der Punktwerte auf hydrologische Einzugsgebiete sind Abminderungskurven zu berücksichtigen, wie sie beispielsweise von [3] entwickelt wurden.

Die praktische Anwendung wird im folgenden durch zwei Beispiele erläutert. Für Detailangaben wird auf [5] verwiesen. Es gelten folgende Bezeichnungen (s. Fig. 1-3):

A:	100-jährlicher 1-Stundenwert (mm) oder (mm/h)
B':	100-jährlicher 24-Stundenwert (mm)
B:	100-jährlicher 24-Stunden-Intensitäts-Wert (mm/h); $B = B'/24$
C:	2.33-jährlicher 1-Stundenwert (mm) oder (mm/h)
D':	2.33-jährlicher 24-Stundenwert (mm)
D:	2.33-jährlicher 24-Stunden-Intensitäts-Wert (mm/h); $D = D'/24$
t:	Messintervall (h)
T:	Wiederkehrperiode (Jahre)
$x_{t,T}$:	Regenhöhe eines T-jährlichen Ereignisses mit einem Zeitintervall von t Stunden (mm)
$i_{t,T}$:	mittlere Intensität eines T-jährlichen Ereignisses mit einem Zeitintervall von t Stunden (mm/h)
$\ln(x)$:	natürlicher Logarithmus
$\exp(x)$:	e^x

Erstes Beispiel

Für einen Standort südöstlich von Schwyz (Landeskoordinaten 700/200) sind für eine Niederschlagsdauer von einer Stunde und von 24 Stunden die Punktregenhöhen mit einer 50-jährlichen Wiederkehrperiode gesucht.

Vorgehen: Für den gewählten Standort entnimmt man den entsprechenden Karten die Werte A, B', C und D'. In der ergänzenden Karte stellt man fest, dass an dieser Stelle die 2. Extremalverteilung anzuwenden ist. Aus didaktischen Gründen werden hier aber die Lösungen für beide Extremalverteilungen durchgeführt.

Für die erste Extremalverteilung gilt:

$$x_{1,T} = 1.14 \cdot C - 0.14 \cdot A + \frac{A-C}{4.02} \left[-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

$$x_{24,T} = 1.14 \cdot D' - 0.14 \cdot B' + \frac{B'-D'}{4.02} \left[-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

Mit den herausgelesenen Werten A = 80 mm, B' = 175 mm, C = 25 mm und D' = 77 mm beträgt der 50-jährliche 1-Stundenwert $x_{1,50} = 70$ mm und der 50-jährliche 24-Stundenwert $x_{24,50} = 158$ mm (Fig. 1).

Für die zweite Extremalverteilung gilt:

$$x_{1,T} = \exp \left\{ 1.14 \cdot \ln C - 0.14 \cdot \ln A + \frac{\ln \frac{A}{C}}{4.02} \left[-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right] \right\}$$

$$x_{24,T} = \exp \left\{ 1.14 \cdot \ln D' - 0.14 \cdot \ln B' + \frac{\ln \frac{B'}{D'}}{4.02} \left[-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right] \right\}$$

Mit denselben Basiswerten A, B', C und D' erhält man $x_{1,50} = 66$ mm und $x_{24,50} = 152$ mm (Fig. 2).

Zweites Beispiel

Für denselben Standort soll das sogenannte Niederschlags-Intensitäts-Diagramm hergeleitet werden:

Wieder werden die Werte A, B', C und D' sowie der Typ der Verteilungsfunktion benötigt. Anschliessend berechnet man die folgenden Hilfsgrößen:

$$B = B'/24$$

$$D = D'/24$$

$$a = 0.315 \cdot \ln(B/A)$$

$$b = 0.315 \cdot \ln(D/C)$$

Mit $y(T) = -\ln(-\ln(1-1/T))$ gilt unter Annahme der 1. Extremalverteilung :

$$i_{t,T} = C \cdot t^b + 0.248 (A \cdot t^a - C \cdot t^b) (y(T) - 0.577)$$

Unter Gültigkeit der 2. Extremalverteilung gilt folgende Formel:

$$i_{t,T} = C \cdot t^b \cdot \exp\left(0.248 \left(\ln \frac{A \cdot t^a}{C \cdot t^b}\right) (y(T) - 0.577)\right)$$

So beträgt in diesem Beispiel der 50-jährliche 24-Stunden-Intensitäts-Wert $i_{24,50} = 6.6$ mm/h (1. Extremalverteilung; s. Fig. 3). Der zulässige Inter- und Extrapolationsbereich, der mit Hilfe der ergänzenden Karte bestimmt werden kann, gibt darüber Auskunft, in welchem Bereich des Intensitätsdiagramms die Punkte gleicher Wiederkehrperiode durch eine Gerade verbunden werden können. In diesem Fall liegt dieser Bereich zwischen 10 Minuten und 24 Stunden.

Literatur

- [1] **Geiger, H. (1988):** Starkniederschlagskarten und –ganglinien als Dimensionierungsgrundlage für den Hochwasserschutz in der Schweiz. In: Intraprävent 1988, Band 4:7-28, Graz.
- [2] **Geiger, H., Stehli, A., Castellazzi, U. (1986):** Regionalisierung der Starkniederschläge und Ermittlung typischer Niederschlagsganglinien. In: Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie, Nr. 33:141-193, Bern.
- [3] **Grebner, D., Richter, K.G. (1990):** Gebietsniederschlag-Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen für Starkniederschläge. Geographisches Institut der ETH, Zürich.
- [4] **Weiss, L. (1964):** Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. Journal of the Hydraulics Division, HY 1, New York.
- [5] **Zeller, J., Geiger, H., Röthlisberger, G. (1976-1992):** Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Band 1-7, Birmensdorf.