

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 94 (1976)
Heft: 41

Artikel: Tagesregen von vierzehn Stationen der Schweiz
Autor: Widmoser, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73180>

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: 05.04.2026

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

Tagesregen von vierzehn Stationen der Schweiz

Von P. Widmoser, Zürich

DK 551.577.3

1. Daten

Analysen der Häufigkeit, Intensität und Dauer von Regen- oder regenfreien Tagen sind für die Wasserwirtschaft, aber auch für Land- und Forstwirtschaft, das Bauwesen und für den Tourismus von Interesse.

Hier wird eine statistische Untersuchung für Tagesregen von 14 synoptischen bzw. klimatologischen Stationen der Schweiz vorgelegt. Die Daten wurden auf Magnetband von PD Dr. Ginsburg, ETH Zürich, in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt. Die Stationsnamen und die Anzahl der untersuchten Beobachtungsjahre findet man in Tabelle 1. Berücksichtigt wurden für jedes Jahr nur das Sommerhalbjahr, d. h. die Monate April bis September (183 Tage).

Die Ablesung der Werte erfolgte meist um 07.00 h, wodurch durchgehende Regenereignisse auch getrennt werden können. Tage mit Niederschlägen von weniger als 0,2 mm wurden als regenfrei betrachtet. Das Datenmaterial wurde auf grobe Fehler und auf Homogenität hin untersucht.

2. Häufigkeitsverteilung der extremen Tagesregen

Die Höchstwerte (HR) einer Beobachtungsperiode (P) jeden Jahres wurden als unabhängige Zufallsvariable aufgefasst und auf ihre Häufigkeitsverteilung untersucht. Die beobachtete empirische Verteilung wurde mit einer Reihe von theoretischen Verteilungen (Normalverteilung, Gamma-, Weibull-, Gumbel- und Log-Normalverteilung) verglichen.

Bezüglich Regendauer unterscheidet die Untersuchung zwischen zusammenhängenden *Regenperioden* (Auftreten eines Regens an n aufeinanderfolgenden Tagen, $n = 1, 2, \dots$) und *Tagesperioden* (n aufeinanderfolgende Tage werden zusammengefasst, unabhängig davon, ob sie auch regenfreie Tage enthalten, $n = 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 25, 30, 63$ und 100). Die Unterscheidung wird durch Bild 1 verdeutlicht.

Die Tagessummen \bar{R} wurden in beiden Fällen gebildet aus

$$\bar{R}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

(mittlere Regenintensität über n Tage).

Aus allen innerhalb eines Sommerhalbjahres aufgetretenen $\bar{R}(n)$ -Werten wurden für jedes Jahr die Höchstwerte $HR(n)$ und deren empirische Häufigkeitsverteilung ermittelt. Chi²- und Kolmogorofftests (Signifikanzzahl $\alpha = 10\%$), [4], zeigen beim Vergleich der empirischen Verteilungen mit theoretischen Häufigkeiten das Ergebnis von Tabelle 2.

Der Chi²-Test unterschied in weitaus den meisten Fällen schärfer als der Kolmogorofftest. Gumbel- und Log-Normalverteilung stellen für gut 70 bis 90% eine annehmbare Verteilungsfunktion dar. Die Normalverteilung bietet sich vor allem für längere Tagesperioden (etwa $n > 5$) an. Die Tabellen 3 und 4 zeigen Parameter der Normal-, Gumbel- und Log-Normalverteilung für Bern.

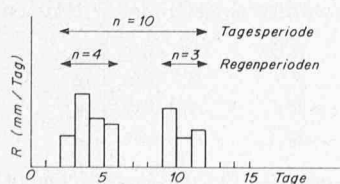


Bild 1. Definition der Begriffe Tagesperiode und Regenperiode

Beispiele:

1. Gesucht ist für Bern (Sommerhalbjahr, April–September) die Regensumme über 7 aufeinanderfolgende Regentage, welche durchschnittlich alle 10 Jahre überschritten wird. Die Gumbelparameter nach Tabelle 3 sind $A = 8,39$ und $B = 2,65$. Damit lässt sich

$$(1) \quad HR(n, z) = n \cdot [A + K(z) \cdot B] \text{ berechnen,}$$

mit

$HR(n, z)$ Überschreitungshäufigkeit über n Tage und der Jährigkeit z

$K(z)$ Faktor für Gumbelverteilung als Funktion der Jährigkeit z , $K(z) = -\ln(-\ln(1 - 1/z))$, siehe auch Tabelle 4a.

$$HR(7, 10) = 7 \cdot (8,39 + 2,250 \cdot 2,65) = 100,8 \text{ mm}$$

Tabelle 1. Stationen und untersuchte Beobachtungsjahre

| Station | ausgewertete Beobachtungsjahre | Station | ausgewertete Beobachtungsjahre |
|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Basel | 64 | Montreux-Clarens | 34 |
| La Chaux-de-Fonds | 64 | Sion | 55 |
| Zürich, MZA | 64 | Davos | 64 |
| Bern | 64 | Bever | 64 |
| Neuchâtel | 64 | Lugano | 64 |
| Genève-Cointrin | 64 | Altdorf | 64 |
| Lausanne | 34 | Ragaz Bad | 26 |

Tabelle 2. Prozentanteil der zutreffenden Tests bei 14 Stationen für Tages- und Regenperioden verschiedener Dauer ($\alpha = 10\%$). In Klammern Anzahl der zutreffenden Tests

| | NV | Ga | W | Gu | Log NV |
|------------------------|---|------------|------------|------------|------------|
| <i>Regenperioden:</i> | | | | | |
| Chi ² -Test | 78,6 (99) | 66,7 (76) | 58,0 (65) | 80,2 (101) | 81,7 (103) |
| Kolmogoroff | 87,9 (123) | 97,8 (134) | 96,4 (132) | 97,1 (135) | 96,3 (129) |
| <i>Tagesperioden:</i> | | | | | |
| Chi ² -Test | 79,2 (122) | 54,8 (74) | 57,8 (78) | 70,8 (109) | 91,6 (141) |
| Kolmogoroff | 86,4 (133) | 97,0 (131) | 97,8 (132) | 92,2 (142) | 98,1 (151) |
| NV | = Normalverteilung | | | | |
| Ga | = Gammaverteilung | | | | |
| W | = Weibullverteilung | | | | |
| Gu | = Gumbelverteilung (Extremalverteilung Typ I) | | | | |
| Log NV | = Log-Normalverteilung | | | | |

Tabelle 3. Regenperioden Bern: Parameter der Normal-, Gumbel- und Log-Normalverteilung für Bern

| Tage | Normalverteilung | | Gumbelverteilung | | Log-Normalverteilung | |
|------|------------------|-------|------------------|------|----------------------|-------|
| | A | B | A | B | A | B |
| 1 | 41,99 | 10,44 | 37,16 | 8,57 | 3,707 | 0,248 |
| 2 | 26,31 | 5,88 | 23,58 | 4,86 | 3,244 | 0,231 |
| 3 | 19,99 | 4,47 | 17,93 | 3,67 | 2,970 | 0,227 |
| 4 | 16,18 | 4,04 | 14,31 | 3,33 | 2,752 | 0,258 |
| 5 | 13,48 | 3,84 | 11,69 | 3,18 | 2,555 | 0,331 |
| 6 | 11,64 | 3,51 | 10,01 | 2,89 | 2,406 | 0,326 |
| 7 | 9,89 | 3,23 | 8,39 | 2,65 | 2,234 | 0,354 |
| 8 | 9,12 | 3,11 | 7,67 | 2,57 | 2,147 | 0,376 |
| 9 | 8,10 | 2,76 | 6,80 | 2,32 | 2,023 | 0,403 |
| 10 | 7,41 | 2,36 | 6,29 | 2,01 | 2,376 | 0,345 |

Tabelle 4. Tagesperioden Bern: Parameter der Normal-, Gumbel- und Log-Normalverteilung für Bern

| Tage | Normalverteilung | | Gumbelverteilung | | Log-Normalverteilung | |
|------|------------------|-------|------------------|------|----------------------|-------|
| | A | B | A | B | A | B |
| 1 | 41,99 | 10,44 | 37,16 | 8,57 | 3,707 | 0,248 |
| 2 | 26,41 | 5,93 | 23,64 | 4,91 | 3,247 | 0,233 |
| 3 | 20,35 | 4,30 | 18,35 | 3,54 | 2,990 | 0,216 |
| 5 | 15,00 | 3,32 | 13,46 | 2,73 | 2,683 | 0,224 |
| 7 | 12,11 | 2,55 | 10,93 | 2,09 | 2,472 | 0,212 |
| 10 | 10,12 | 2,12 | 9,13 | 1,74 | 2,292 | 0,211 |
| 14 | 8,72 | 1,79 | 7,88 | 1,50 | 2,144 | 0,213 |
| 25 | 6,74 | 1,31 | 6,13 | 1,09 | 1,889 | 0,200 |
| 30 | 6,31 | 1,26 | 5,72 | 1,05 | 1,822 | 0,206 |
| 63 | 4,90 | 1,03 | 4,42 | 0,86 | 1,567 | 0,216 |
| 100 | 4,20 | 0,91 | 3,77 | 0,77 | 1,410 | 0,230 |

Tabelle 4a.

| z | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K | 0,367 | 1,500 | 2,250 | 2,674 | 2,970 | 3,199 | 3,384 | 3,541 | 3,676 | 3,902 |

2. Gesucht ist für Bern (Sommerhalbjahr) die Regensumme über 7 aufeinanderfolgende Tage (darunter evtl. auch Trockentage), welche durchschnittlich alle 10 Jahre ($z = 10$) überschritten wird. Die Log-Normalparameter nach Tabelle 4 sind $A = 4,775$ und $B = 0,212$.

Die standardisierte Zufallsvariable $U(F)$ der Normalverteilung mit der Überschreitungshäufigkeit $F = 1 - 1/z = 0,9$ ergibt sich zu $u(0,9) = 1,282$ (siehe Tabelle für Normalverteilung). Daraus folgt:

$$(2) \quad HR(n, z) = n \cdot \exp[A + U(F) \cdot B] \\ = 7 \cdot \exp(4,775 + 1,282 \cdot 0,212) \\ = 108,9 \text{ mm}$$

3. Betrachtung der Regen- und Trockentage als Zeitreihe

Man betrachte die Folge von Regen- und Trockentagen in der beobachteten, zeitlichen Abfolge. Die täglichen Regenhöhen (auch die Regenhöhe Null, wenn $R \leq 0,2$ mm/Tag, wird miteinbezogen) erscheinen als mehr oder weniger voneinander unabhängige Zufallsgrößen.

Ein Mass für eine allfällige Erhaltungsneigung bestimmter Regenintensitäten liefert die Autokorrelation der Zeitreihe [5]. Autokorrelationskoeffizienten (ρ_A) für Zeitverschiebungen $dT = 1, 2, \dots, 18$ Tage wurden für vier Stationen (Basel, La Chaux-de-Fonds, Zürich, Bern) gebildet. Als typisches Beispiel ist in Tabelle 5 das Korrelogramm (Autokorrelationskoeffizient als Funktion der Zeitverschiebung) angeführt.

Tabelle 5. Korrelogramm der Tagesregen von Zürich

| dT Tage | ρ_A | dT Tage | ρ_A |
|------------|----------|------------|----------|
| 1 | 0,1789 | 10 | -0,0071 |
| 2 | 0,0192 | 11 | 0,0079 |
| 3 | -0,0028 | 12 | 0,0072 |
| 4 | -0,0027 | 13 | 0,0058 |
| 5 | -0,0047 | 14 | 0,0036 |
| 6 | -0,0001 | 15 | 0,0063 |
| 7 | -0,0054 | 16 | 0,0057 |
| 8 | 0,0076 | 17 | 0,0081 |
| 9 | 0,0043 | 18 | 0,0072 |

Der Vertrauensbereich für die Hypothese $\rho_A = 0$ liegt nach Anderson [1] für $\alpha = 5\%$ und $N = 64 \cdot 183 = 11712$ zwischen $+0,0181$ und $-0,0179$. Danach ergibt sich für Zürich eine Erhaltungsneigung von Tagesregen über max. 2 Tage. Da diese für 1 Tag wesentlich ausgeprägter ist, scheint der Versuch berechtigt, die Folge von Tagesregen bezüglich ihrer Häufigkeiten durch ein lineares Markoff-Modell 1. Ordnung zu beschreiben.

Für die anderen Stationen zeigte sich ähnliches Verhalten, wie es nach Literaturangaben für Stationen ausserhalb der Schweiz auch zu erwarten war.

4. Folgen von Regen- und/oder Trockentagen

In Abschnitt 3 wurde gezeigt, dass bei Beachtung der zeitlichen Reihenfolge $R_{t-1}, \dots, R_{t-1}, R_t$ eine statistische Abhängigkeit jeweils zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Ereignissen R_{t-1}, R_t besteht. Hingegen scheint diese zumindest in erster Näherung vernachlässigbar für Ereignisse, die weiter auseinanderliegen (R_{t-k}, R_t mit $K \geq 2$).

Zunächst wurde, ohne die Regenintensitäten genauer zu unterscheiden, nur zwischen den Ereignissen Trockentag (R_0 mit $R \leq 0,2$ mm) und Regentag (R_1) unterschieden.

Es werden für die bedingten Wahrscheinlichkeiten $p(R_t / R_{t-1})$ (d. h. Wahrscheinlichkeit des Eintreffens von R_t , wenn am Vortag R_{t-1} gegeben ist), die abgekürzten Bezeichnungen

- $p(0/0)$ Wahrscheinlichkeit für:
Trockentag folgt Trockentag
 - $p(0/1)$ Wahrscheinlichkeit für:
Trockentag folgt Regentag
- eingeführt.

Bei Gültigkeit des Markoff-Modelles, d. h. wenn zur wahrscheinlichkeitsmässigen Beschreibung aller R_t (Zeitabschnitte $t = 1, 2, \dots$) die Kenntnis von $p(R_t / R_{t-1})$ allein ausreicht, dann lassen sich die Wahrscheinlichkeiten von beliebigen Folgen von Trocken- und Regentagen einfach berechnen.

Für eine Folge z. B. von

- (4) k Trockentagen gilt $p_0^k = [1 - p(0/0)] \cdot p(0/0)^{(k-1)}$
- (5) k Regentagen gilt $p_1^k = p(0/1) \cdot [1 - p(0/1)]^{(k-1)}$
d. h. die geometrische Verteilung (siehe z. B. [3]).

Die absoluten und bedingten Wahrscheinlichkeiten für 20 Stationen sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die absoluten Wahrscheinlichkeiten zeigen, dass für die Saison April-September die Anzahl der Regentage annähernd jener der Trockentage ist (p 50%). Trockentage sind deutlich häufiger in Genf und Sion, Regentage am Säntis. Die bedingte Wahrscheinlichkeit $p(0/0)$ für das Eintreffen eines Trockentages bei vorangegangenen Trockentag ist in allen Fällen höher als die absolute Wahrscheinlichkeit p_0 für einen Trockentag. Durch diese innere Abhängigkeit (Erhaltungsneigung) kommt statistisch die physikalische Tatsache zum Ausdruck, dass bestimmte Wetterlagen häufig über mehrere Tage hin beständig sind.

Für die Stationen Bern und Davos werden in Bild 2 die berechneten Werte den beobachteten gegenübergestellt. Die Übereinstimmung ist überraschend gut.

Tagesfolgen bei Unterteilung der Regen in vier Intensitäten: Die Regenintensitäten wurden eingeteilt in die Klassen

- 0 kein Regen $R_0 < 0,2$ mm/Tag
- 1 Schwachregen $0,2 \leq R_1 < 0,5$ mm/Tag
- 2 Mittelregen $0,5 \leq R_2 < 4,0$ mm/Tag
- 3 Starkregen $4,0 \leq R_3$ mm/Tag

Tabelle 7a zeigt ein Beispiel der für die Station Davos beobachteten Übergangsmatrizen für die Ordnungen 1 bis 5, d. h. die bedingten Wahrscheinlichkeiten wurden für eine

Zeitverschiebung von 1, 2, ... 5 Tagen ermittelt. Bei Gültigkeit des Markoff-Modells lassen sich die Übergangsmatrizen höherer Ordnung aus jener der 1. Ordnung berechnen nach

$$M^{(k)} = (M^{(1)})^k$$

Dies ist für alle Stationen geprüft worden.

Tabelle 7b zeigt die berechneten Matrizen der Ordnung 1 bis 5 für Davos. Die Übereinstimmung ist für alle Stationen befriedigend, für einzelne sehr gut.

5. Extreme Trocken- und Regenperioden

In diesem Abschnitt wird nicht die Regenintensität, sondern die Dauer (D in Tagen) von aufeinanderfolgenden Trocken- oder Regentagen als Zufallsvariable behandelt.

Wieder interessieren die Extremwerte mit eher durchschnittlicher Wiederkehrperiode (Jährlichkeit) von mehr als einem Jahr. Allein aus methodischem Interesse wurden die Wahrscheinlichkeiten ihres Auftretens für Trocken- und Regenperioden nach zwei verschiedenen Wegen geschätzt.

Bei den Trockenperioden gilt als Zufallsvariable die Dauer, welche eine gewählte Mindestdauer (rd. 0,5- bis 1,0-jähriges Ereignis) überschreitet. Sie wird mit der Exponentialverteilung verglichen.

Bei den Regenperioden hingegen werden, wie in den vorangegangenen Abschnitten, die jährlichen Höchstwerte als Zufallsvariable eingeführt. Deren beobachtete Häufigkeitsverteilung wird mit der Gumbel- und Log-Normalverteilung verglichen.

Zwischen Exponential- und Gumbelverteilung bestehen nach [2] und [6] bestimmte Zusammenhänge.

5.1 Trockenperioden

Tabelle 8 gibt die Parameter A der Exponentialverteilung für 14 Regenstationen nebst Ortskonstanten (f, d) und den Höchstwert HD der Beobachtungsperiode wieder.

Tabelle 6. Folge von Trocken-/Regentagen. Absolute und bedingte Wahrscheinlichkeiten

| Station | p_0 | p_1 | $p_{(0/0)}$ | $p_{(0/1)}$ |
|-------------------|--------|--------|-------------|-------------|
| Basel | 0,5260 | 0,4740 | 0,688 | 0,346 |
| La Chaux-de-Fonds | 0,4748 | 0,5252 | 0,658 | 0,309 |
| Zürich, MZA | 0,4612 | 0,5388 | 0,661 | 0,290 |
| Bern | 0,5151 | 0,4849 | 0,681 | 0,340 |
| Neuchâtel | 0,5389 | 0,4611 | 0,693 | 0,359 |
| Genève-Cointrin | 0,6011 | 0,3989 | 0,726 | 0,413 |
| Lausanne | 0,5596 | 0,4404 | 0,707 | 0,372 |
| Montreux-Clarens | 0,5526 | 0,4474 | 0,696 | 0,376 |
| Sion | 0,6389 | 0,3611 | 0,727 | 0,483 |
| Davos | 0,4765 | 0,5235 | 0,622 | 0,343 |
| Bever | 0,5566 | 0,4433 | 0,673 | 0,410 |
| Rigi-Kulm | 0,4613 | 0,5387 | 0,639 | 0,309 |
| Säntis | 0,4275 | 0,5725 | 0,622 | 0,282 |
| Lugano | 0,5909 | 0,4091 | 0,733 | 0,386 |
| St. Gotthard | 0,4619 | 0,5381 | 0,638 | 0,311 |
| Altdorf | 0,4817 | 0,5183 | 0,650 | 0,325 |
| Marsens | 0,5529 | 0,4471 | 0,692 | 0,380 |
| Château-d'Œx | 0,5294 | 0,4706 | 0,673 | 0,368 |
| Leysin | 0,5313 | 0,4687 | 0,670 | 0,374 |
| Ragaz Bad | 0,5293 | 0,4707 | 0,675 | 0,365 |

p_0 = absolute Wahrscheinlichkeit für Eintreffen eines Trockentages
 p_1 = absolute Wahrscheinlichkeit für Eintreffen eines Regentages
 $p_{(0/0)}$ = bedingte Wahrscheinlichkeit für Eintreffen Trockentag nach Trockentag
 $p_{(0/1)}$ = bedingte Wahrscheinlichkeit für Eintreffen Trockentag nach Regentag

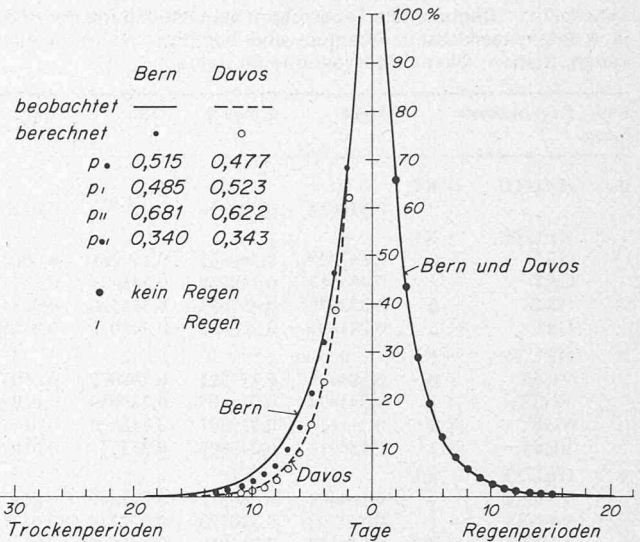


Bild 2. Berechnete und beobachtete Werte der Folge von Regen- und Trockentagen für die Stationen Bern und Davos

Beispiele:

1. Gesucht ist die Schätzung der zweijährlichen Trockenperiode $D(z=2)$ im Sommerhalbjahr für Basel. Mit:

$$(6) \quad D(z) = d + \ln(z/f) / A \quad \text{folgt}$$

$$D(2) = 13 + \ln(2/0,471) / 0,242 = 19,0 \text{ Tage}$$

2. Gesucht ist die Häufigkeit einer 14tägigen Trockenperiode im Sommerhalbjahr in Basel. Mit:

$$(7) \quad z(D) = f \cdot \exp[A \cdot (D - d)] \quad \text{folgt}$$

$$z(30) = 0,471 \cdot \exp[0,242(14 - 13)] = 0,6 \text{ Jahre (also durchschnittlich 5mal in 3 Jahren)}$$

Tabelle 7a. Beobachtete Tagesfolgen bei Unterteilung der Regen in vier Intensitätsklassen. Absolute und bedingte Wahrscheinlichkeiten. Station: Davos; Messperiode 64 Jahre

| Ordnung | Regenklassen | kein 0 | schwach 1 | mittel 2 | stark 3 |
|---------|--------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| 0 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 0,558084 | 0,209154 | 0,220703 | 0,012058 |
| 1 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | GST = 0 | 0,663725 | 0,160682 | 0,170268 | 0,006086 |
| | GST = 1 | 0,487617 | 0,249289 | 0,248071 | 0,014210 |
| | GST = 2 | 0,372836 | 0,287033 | 0,315506 | 0,023471 |
| | GST = 3 | 0,281690 | 0,330986 | 0,345070 | 0,042254 |
| 2 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VGST = 0 | 0,578515 | 0,193396 | 0,218959 | 0,010651 |
| | VGST = 1 | 0,540804 | 0,232237 | 0,215591 | 0,010962 |
| | VGST = 2 | 0,526741 | 0,224317 | 0,228934 | 0,016160 |
| | VGST = 3 | 0,485915 | 0,260563 | 0,239437 | 0,021127 |
| 3 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVGST = 0 | 0,568777 | 0,206482 | 0,215460 | 0,012021 |
| | VVGST = 1 | 0,547706 | 0,218433 | 0,218433 | 0,012992 |
| | VVGST = 2 | 0,542516 | 0,207772 | 0,233936 | 0,010773 |
| | VVGST = 3 | 0,528169 | 0,197183 | 0,260563 | 0,021127 |
| 4 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVVVGST = 0 | 0,562082 | 0,211503 | 0,217133 | 0,012325 |
| | VVVVGST = 1 | 0,558668 | 0,205847 | 0,220463 | 0,012992 |
| | VVVVGST = 2 | 0,544825 | 0,208542 | 0,230473 | 0,010389 |
| | VVVVGST = 3 | 0,605634 | 0,169014 | 0,211268 | 0,014085 |
| 5 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVVVGST = 0 | 0,563755 | 0,207547 | 0,219720 | 0,011564 |
| | VVVVGST = 1 | 0,555420 | 0,215997 | 0,216809 | 0,011774 |
| | VVVVGST = 2 | 0,543671 | 0,211235 | 0,225087 | 0,013467 |
| | VVVVGST = 3 | 0,605634 | 0,126761 | 0,253521 | 0,014085 |

Tabelle 7b. Beobachtete Tagesfolgen bei Unterteilung der Regen in 4 Intensitätsklassen. Absolute und bedingte Wahrscheinlichkeiten. Station: Davos; Messperiode 64 Jahre

| Ord- nung | Regenklassen | klein 0 | schwach 1 | mittel 2 | stark 3 |
|--------------|--------------|------------|--------------|-------------|------------|
| 0 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 0,558084 | 0,209154 | 0,220703 | 0,012058 |
| 1 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | GST = 0 | 0,663725 | 0,160682 | 0,170268 | 0,006086 |
| | GST = 1 | 0,487617 | 0,249289 | 0,248071 | 0,014210 |
| | GST = 2 | 0,372836 | 0,287033 | 0,315506 | 0,023471 |
| | GST = 3 | 0,281690 | 0,330986 | 0,345070 | 0,042254 |
| 2 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VGST = 0 | 0,584078 | 0,197592 | 0,208692 | 0,010577 |
| | VGST = 1 | 0,541694 | 0,216405 | 0,228039 | 0,012933 |
| | VGST = 2 | 0,511666 | 0,229791 | 0,242330 | 0,014745 |
| | VGST = 3 | 0,488916 | 0,240806 | 0,253523 | 0,016302 |
| 3 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVGST = 0 | 0,564804 | 0,206511 | 0,217960 | 0,011708 |
| | VVGST = 1 | 0,553722 | 0,210723 | 0,222327 | 0,012271 |
| | VVGST = 2 | 0,546158 | 0,213937 | 0,225669 | 0,012690 |
| | VVGST = 3 | 0,541041 | 0,216756 | 0,228597 | 0,013037 |
| 4 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVVGST = 0 | 0,560133 | 0,208671 | 0,220205 | 0,011983 |
| | VVVGST = 1 | 0,556619 | 0,209381 | 0,220935 | 0,012101 |
| | VVVGST = 2 | 0,554530 | 0,210065 | 0,221644 | 0,012197 |
| | VVVGST = 3 | 0,553698 | 0,210900 | 0,222515 | 0,012289 |
| 5 | HEUTE = KL | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | VVVVGST = 0 | 0,559002 | 0,209195 | 0,220749 | 0,012049 |
| | VVVVGST = 1 | 0,557321 | 0,209056 | 0,220598 | 0,012060 |
| | VVVVGST = 2 | 0,556559 | 0,209126 | 0,220669 | 0,012078 |
| | VVVVGST = 3 | 0,556765 | 0,209481 | 0,221041 | 0,012109 |

5.2 Regenperioden

In Tabelle 9 sind die geschätzten Parameter der Gumbel- und Log-Normalverteilung für 14 Regenstationen, sowie Extremwertmittel \overline{HD} und beobachteter Höchstwert HD angeführt.

Beispiele:

Wie gross ist die Jährlichkeit z einer 14tägigen Regenperiode (Sommerhalbjahr) in Basel?

a) nach Gumbel:

$$(8) \quad z(D) = 1 / \left[1 - \exp \left(- \exp \left(\frac{A - D}{B} \right) \right) \right] =$$

$$z(14) = 1 / \left[1 - \exp \left(- \exp \left(\frac{8,35 - 14}{2,92} \right) \right) \right] =$$

= 7,4 Jahre

(also viel seltener als eine gleich lange Trockenperiode, siehe Beispiel 2 in Abschnitt 5.1)

b) nach Log-Normalverteilung:

$$(9) \quad z(D) = 1 / [F(u)]$$

mit

$$u = \frac{A - \ln(D)}{B} \text{ und}$$

$F(u)$ = Verteilungsfunktion der Normalverteilung für die standardisierte Zufallsvariable U (aus Tabellen für Normalverteilung)

$$u = \frac{2,244 - \ln(14)}{0,340} = -1,162$$

$$F(-1,162) = 1,0 - F(1,162) = 1,0 - 0,877 = 0,123$$

$$z(D) = 1/0,123 = 8,1 \text{ Jahre}$$

Tabelle 8. Trockenperioden in Tagen für 14 Regenstationen. Parameter A für Exponentialverteilung, Ergebnis Chi²-Test ($\alpha = 10\%$). Ortskonstante f und d , sowie Höchstwert der Beobachtungsperiode HD

| Station | A | Chi ² -Test | f | d Tage | HD Tage |
|----------------|-------|------------------------|-------|-------------|--------------|
| Basel | 0,242 | + | 0,471 | 13 | 32 |
| Chaux-de-Fonds | 0,341 | + | 0,454 | 11 | 32 |
| Zürich | 0,291 | — | 0,485 | 11 | 33 |
| Bern | 0,316 | — | 0,395 | 12 | 33 |
| Neuchâtel | 0,315 | + | 0,390 | 13 | 29 |
| Genève | 0,366 | + | 0,438 | 15 | 32 |
| Lausanne | 0,719 | + | 0,493 | 13 | 21 |
| Montreux | 0,528 | + | 0,354 | 12 | 21 |
| Sion | 0,433 | + | 0,433 | 15 | 32 |
| Davos | 0,444 | — | 0,444 | 11 | 21 |
| Bever | 0,427 | + | 0,427 | 11 | 23 |
| Lugano | 0,467 | + | 0,467 | 16 | 32 |
| Altdorf | 0,416 | + | 0,416 | 10 | 27 |
| Bad Ragaz | 0,464 | + | 0,464 | 12 | 22 |

Tabelle 9. Regenperioden in Tagen für 14 Regenstationen. Parameter A und B für Gumbel- und Log.-Normalverteilung, Ergebnis Chi²-Test ($\alpha = 10\%$), Extremwertmittel \overline{HD} und beobachteter Höchstwert HD

| Station | Gumbelverteilung | | LN-Normalverteilung | | \overline{HD} Tage | HD Tage | | |
|----------------|------------------|------|---------------------|-------|-------------------------|--------------|------|----|
| | A | B | Chi ² | A | | | B | |
| Basel | 8,35 | 2,92 | + | 2,244 | 0,340 | + | 10,0 | 21 |
| Chaux-de-Fonds | 10,09 | 2,90 | — | 2,416 | 0,299 | + | 11,7 | 22 |
| Zürich | 9,88 | 3,64 | + | 2,418 | 0,359 | + | 12,0 | 31 |
| Bern | 8,75 | 2,54 | + | 2,278 | 0,306 | + | 10,2 | 33 |
| Neuchâtel | 8,15 | 2,50 | + | 2,215 | 0,299 | + | 9,6 | 23 |
| Genève | 7,01 | 2,18 | + | 2,058 | 0,332 | + | 8,3 | 17 |
| Lausanne | 7,71 | 2,63 | + | 2,159 | 0,349 | + | 9,2 | 17 |
| Montreux | 7,48 | 2,64 | + | 2,131 | 0,369 | + | 9,0 | 18 |
| Sion | 5,74 | 1,49 | — | 1,848 | 0,271 | — | 6,6 | 12 |
| Davos | 8,81 | 2,47 | + | 2,285 | 0,270 | + | 10,2 | 21 |
| Bever | 6,50 | 2,42 | + | 2,007 | 0,321 | + | 7,9 | 21 |
| Lugano | 7,21 | 2,20 | + | 2,086 | 0,314 | + | 8,5 | 18 |
| Altdorf | 8,81 | 2,80 | + | 2,300 | 0,279 | + | 10,4 | 27 |
| Bad Ragaz | 7,74 | 2,23 | — | 2,157 | 0,268 | — | 9,0 | 16 |

Literaturverzeichnis

- [1] R.L. Anderson: Distribution of the Serial Correlation Coefficient. «Ann. of Math. Statistics» 13, 1942.
- [2] R. Draschhoff: Häufigkeitsanalyse langfristiger Niederschlagsbeobachtungen als Grundlage der Abfluss-Statistik kleiner Vorfluter. Diss. Hannover, 1972.
- [3] K.R. Gabriel und J. Neumann: A Markov-Chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. «Quart. Journal of the Royal Meteor. Society» 88; 90-95, 1962.
- [4] E. Kreyszig: Statistische Methoden und ihre Anwendung. Vandenhoeck und Eprecht, Göttingen, 1968.
- [5] P. Widmoser: Math. Methoden in der Hydrologie mit besonderer Berücksichtigung von Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten. Habil. Schrift ETH-Zürich, 1973.
- [6] P. Widmoser: Extremabflüsse aus 40 kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. «Schweiz. Bauzeitung» 1974, H. 32, S. 757-765.

Adresse des Verfassers: PD Dr. P. Widmoser, Institut für Kulturtechnik der ETH Zürich, derzeit Assoc. Prof. am Civil Engineering Dept., Universität Dar es Salaam, P. O. Box 35131, Tanzania.