Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 32

Artikel: Extremabflüsse aus vierzig kleinen Einzugsgebieten der Schweiz
Autor: Widmoser, P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72430

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Extremabflüsse aus vierzig kleinen Einzugsgebieten der Schweiz

Von **P. Widmoser**, Zürich [1])

DK 551.482.215.3

1. Abgrenzung der Arbeit

Hoch- und Niederwasserereignisse aus 40 kleinen Einzugsgebieten der Schweiz wurden statistisch untersucht. Die Flächengrösse dieser Einzugsgebiete beträgt im Durchschnitt 77,7 km². Die Hoch- und Niederwasserwerte sind den hydrographischen Jahrbüchern des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft entnommen. Eine Einteilung von 527 Abflussmess-Stationen dieser Jahrbücher nach Grösse der Einzugsgebiete und nach deren Beobachtungsdauer zeigt eine deutliche Messlücke für Gebiete zwischen etwa 10 und 100 km² (Bild 1). Die Tabellen 1 und 2 geben Flächengrösse, Meereshöhe, Angaben über die Geometrie, Vegetation, Vergletscherung, Beobachtungsdauer usw. der hier untersuchten Einzugsgebiete wieder. Bild 2 zeigt deren geographische Verteilung.

Ausgewertet wurden bei Hochwasser (HQ) die augenblicklichen Abfluss-Spitzen, bei Niederwasser (NQ) das minimale Tagesmittel. Alle Wassermengenangaben erfolgen in m³/s. Mögliche Messfehler und -ungenauigkeiten für diese Werte sind:

– *bei HQ:* Mangelhafte Eichkurve für die Beziehung Wasserstand–Wassermenge; ungenaues Erfassen der instationär ablaufenden Hochwasserwelle durch Trägheit im Mess-System; Versanden, Blockieren, Zerstören der Messeinrichtung.

– *bei NQ:* Vereisen der Messeinrichtung

Es ist zu vermuten, dass Hoch- und Niederwasser zu gewissen Gebietsmerkmalen, wie in Tabelle 2 angeführt, in Beziehung stehen. Heutiges Wissen erlaubt es nur sehr annähernd, Art und Ausmass dieser Beziehungen anzugeben. Typisch für «kleine» Einzugsgebiete (die Hydrologie kennt keine grössenmässige Einteilung nach Gebietsfläche) ist

– das Abflussverhalten, das vom einzelnen Regen- und/oder Schneeschmelzereignis geprägt wird,

– das grosse Verhältnis zwischen Abfluss-Spitze und Basisabfluss,

– die Fliessdynamik, die stark vom gerinnelosen Oberflächenabfluss mitbestimmt wird, womit ein Einfluss des Reliefs zu erwarten ist,

– die Anlaufzeiten, die vom zeitlich entferntesten Punkt bis zur Beobachtungsstation innert von wenigen Stunden liegen.

Ziel dieser Arbeit ist eine Aussage über die Häufigkeitsverteilung von Hoch- oder Niederwassermengen in den untersuchten Einzugsgebieten. Weiter sollen einige Einflussgrössen ermittelt werden, welche Höhe und Häufigkeit eines Extremabflusses massgeblich beeinflussen. Die theoretischen Grund-

[1]) Diese Arbeit ist ein Auszug aus der Habilitationsschrift «Mathematische Methoden in der Hydrologie mit besonderer Berücksichtigung von Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten», ETH Zürich, 1973.

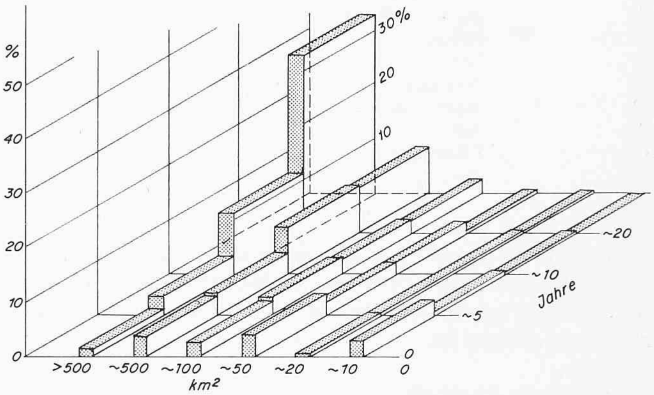


Bild 1. Aufteilung von 527 Abflussmess-Stationen der Schweiz nach Grösse des Einzugsgebietes und Beobachtungsdauer

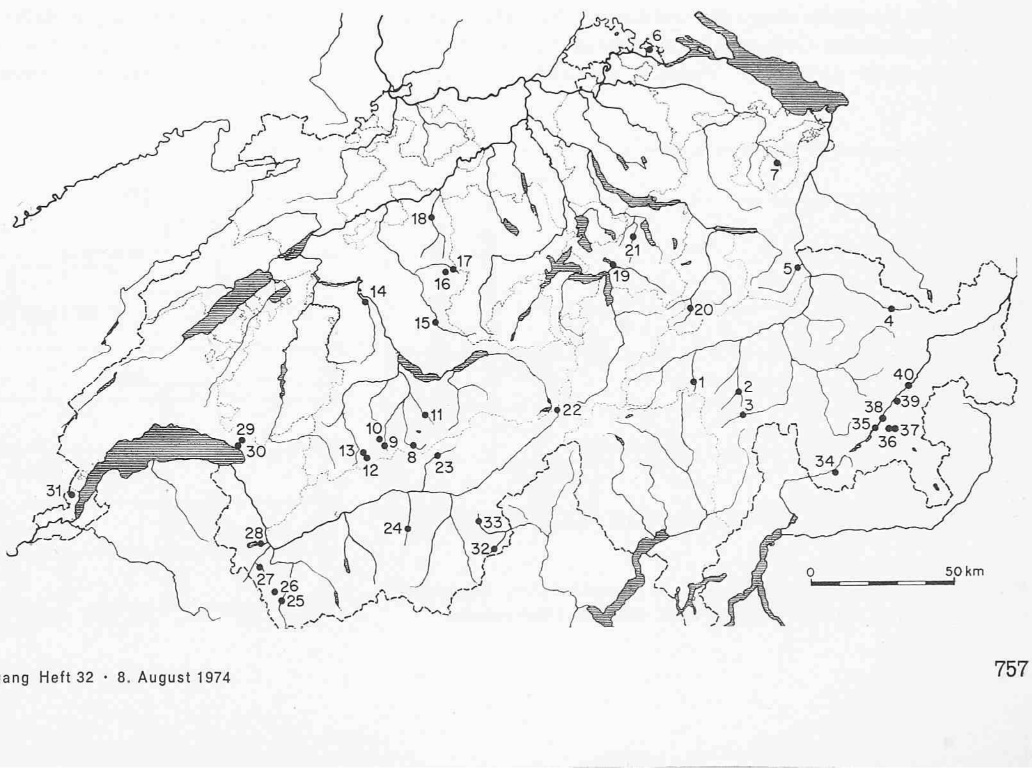


Bild 2. Geographische Verteilung der untersuchten Stationen

Tabelle 1.

Stations-Nr.	Gewässer	Station	Beobachtungsdauer [Jahre]	Fläche [km²]	Mittlere Meereshöhe [m]
1	Somvixer Rhein	Alp Sutglatscher	38	22,6	2420
2	Peilerbach	Vals	10	31,8	2290
3	Hinterrhein	Hinterrrhein	25	55,0	2390
4	Landquart	Klosters	36	112,0	2300
5	Tamina	Bad Ragaz	38	147,0	1800
6	Biber	Ramsen	34	162,0	570
7	Sitter	Appenzell	45	74,2	1252
8	Kander	Gasterntal	20	40,7	2600
9	Engstligenbach	Engstligenalp	16	14,4	2300
10	Allenbach	Adelboden	20	28,9	1850
11	Gornernbach	Kienta	20	25,6	2270
12	Truebbach	Rätzliberg	17	19,5	2610
13	Simme	Oberwil	20	35,7	2370
14	Gürbe	Belp	48	124,0	837
15	Emme	Eggiwil	38	102,0	1330
16	Sperbelgraben	Wasen	24	0,54	1063
17	Rappengraben	Wasen	25	0,59	1141
18	Langeten	Lotzwil	46	115,0	713
19	Seeweren	Seewen	20	72,1	800
20	Linth	Tierfehd	45	75,5	2330
21	Alp	Trachslau	26	31,1	1200
22	Rhône	Gletsch	14	38,9	2719
23	Lonza	Blatten	14	77,8	2613
24	Turtmänna	Inner Senntum	10	31,1	3040
25	Drance de Ferret	Brache d'en Haut	14	66,8	2340
26	Rense de Saleina	Saleina d'Orsierse	14	24,0	2750
27	Trient	Trient	14	29,1	2370
28	Salanfe	Mont. de Salanfe	21	18,4	2320
29	Baye de Montreux	Les Avants	37	6,9	1410
30	Baye de Montreux	Montreux	37	13,8	1220
31	Versoix	La Batie	14	75,9	400
32	Krummbach	Klusmatten	18	19,8	2276
33	Zwischenbergenbach	Im Fah	18	17,3	2531
34	Albigna	Alp Albigna	29	20,5	2670
35	Inn	St. Moritzbad	47	155,0	2400
36	Rosegbach	Pontresina	16	66,5	2716
37	Berninabach	Pontresina	16	107,0	2617
38	Inn	Samaden	12	382,9	2400
39	Chamuera	Campovasto	16	73,8	2550
40	Inn	Zuoz	16	593,0	2485

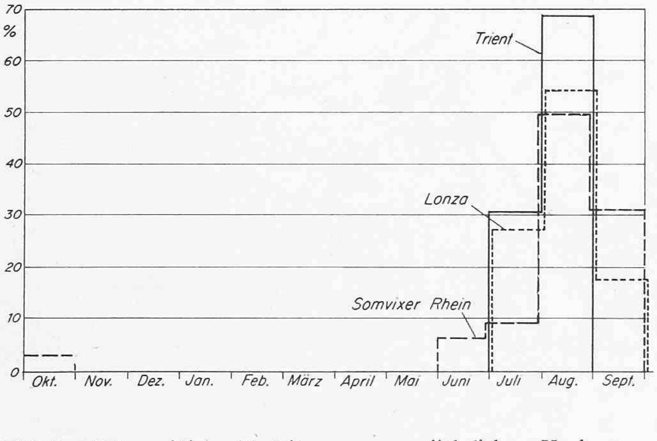
lagen werden an Hand von Beispielen kurz erläutert. Vorweggenommen sei, dass wegen des beschränkten Datenmaterials eine nur sehr grobe Klassierung der massgeblichen Einflussfaktoren gelungen ist.

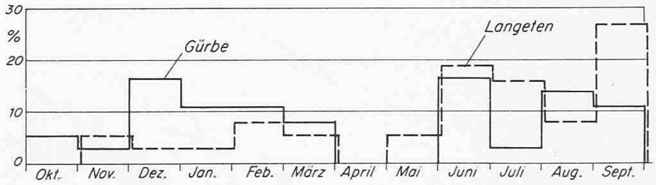
2. Statistische Methodik

2.1 Betrachtung der Hoch- und Niederwassermengen als statistisch unabhängige Zufallsereignisse.

Man ist einerseits wegen des «zufälligen» Verhaltens der abflussverursachenden Grössen (Niederschlag, Schneeschmelze), anderseits auch wegen der Vielzahl der abflussbestimmenden Parameter (etwa bis zu 30) versucht, Abflussereignisse als Zufallsgrössen im Sinne der Statistik aufzufassen. Dies bietet den Vorteil, bekannte und erprobte Ansätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf Abflussbeobachtungen anwenden zu können. Zugleich sind aber auch die Voraussetzungen, auf denen diese Ansätze beruhen, so weit wie möglich einzuhalten. Für unsere Untersuchung wurde u.a. folgendes vorausgesetzt:

a) Die einzelnen Beobachtungen sind voneinander statistisch unabhängig (Definition dafür siehe u.a. [14]). Dies wurde für die Messwerte einer Station dadurch erreicht, dass nur (kalender-) jährliche Extremwerte mit einem zeitlichen





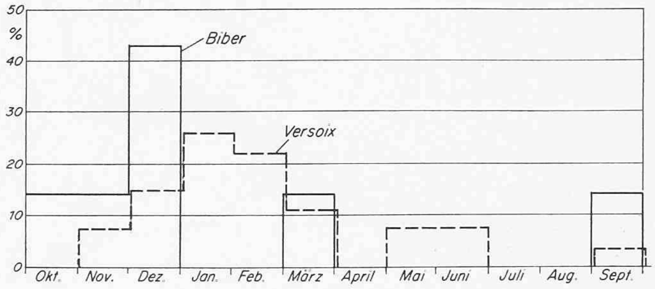


Bild 3. Jahreszeitliche Verteilung von zweijährlichen Hochwasserereignissen für je einen Abflusstyp nach den drei Diagrammen

Tabelle 2.

Stations-Nummer	Fläche km² FL	Umfang km UM	Abstand Station-Schwerpunkt km SP	Tallänge km TL	Gerinnelänge km GL	Mittlere Hangneigung % MH	Mittleres Fliessgefälle % MF	Orientierung der Talhauptachse ° OR	Mittlere Meereshöhe m MM	Nicht vergletscherter Flächenanteil % NG	Regenfaktor $A/(60+B)$ nach [5] $\frac{mm}{min}$ R1	Regenfaktor C nach [5] – R2	Nicht bewaldeter Flächenanteil % NW	Geologie ¹) – GE
	Geometrie				Topographie			Klima		Regen			Vegetation	Geologie
1	22,6	24,0	4,0	7,0	16,4	52	0,8	90	2420	93,4	0,06	0,93	99,0	3
2	31,8	27,5	5,5	8,0	18,3	51	9,7	100	2290	90,6	0,06	0,93	95,0	3
3	55,0	37,0	5,5	7,8	39,3	46	4,7	150	2390	78,4	0,08	0,93	98,0	3
4	112,0	50,0	8,0	10,7	75,0	52	7,6	60	2300	91,9	0,02	0,93	96,0	3
5	147,0	55,5	13,0	23,0	114,7	62	4,5	130	1800	97,9	0,08	1,06	80,0	2
6	162,0	66,0	14,0	25,0	110,0	9	1,1	140	570	100,0	0,06	1,08	80,0	1
7	74,2	40,0	7,0	15,5	98,5	52	3,6	150	1252	99,9	0,08	1,06	75,0	2
8	40,7	30,0	4,5	4,5	9,9	64	11,0	40	2600	56,5	0,09	0,96	97,0	2
9	14,4	15,0	1,5	2,8	12,4	57	23,0	90	2300	89,0	0,09	0,96	100,0	2
10	28,9	21,0	2,5	4,2	24,9	48	8,5	120	1850	99,9	0,09	0,96	83,0	2
11	25,6	20,0	3,0	4,8	20,0	72	12,0	50	2270	82,7	0,09	0,96	96,0	1
12	19,5	21,5	3,0	3,0	7,2	39	33,0	60	2610	41,5	0,09	0,96	98,0	2
13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	124,0	70,0	14,0	17,0	107,9	22	0,8	90	837	100,0	0,09	0,96	80,0	1
15	102,0	55,0	8,0	16,5	128,1	39	2,2	10	1330	100,0	0,09	0,96	70,0	1
16	0,54	3,2	0,8	0,6	2,4	55	13,0	40	1063	100,0	0,09	0,95	1,0	1
17	0,59	3,2	0,7	0,5	2,3	68	15,0	20	1141	100,0	0,09	0,95	69,0	1
18	115,0	47,0	10,0	18,7	111,9	15	1,2	90	713	100,0	0,09	0,95	65,0	1
19	72,1	36,8	2,1	16,0	124,3	28	6,4	130	800	100,0	0,09	1,06	70,0	1
20	75,5	38,0	4,5	8,5	42,1	72	12,0	120	2330	70,2	0,09	0,93	90,0	2
21	31,1	25,2	4,0	7,8	48,2	36	2,3	90	1200	100,0	0,09	0,93	40,0	1
22	38,9	33,0	5,0	5,0	9,5	42	12,5	50	2719	43,6	0,06	0,93	100,0	3
23	77,8	37,0	5,5	6,4	37,8	58	6,0	30	2630	59,4	0,09	0,93	95,0	3
24	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	66,8	35,0	5,0	9,0	64,5	59	6,3	90	2340	87,7	0,03	1,06	92,0	3
26	24,0	23,0	4,0	2,4	9,6	61	28,0	170	2750	50,1	0,03	1,06	95,0	3
27	29,1	24,0	3,5	3,7	13,9	58	14,0	80	2370	65,8	0,03	1,06	88,0	3
28	18,4	18,0	2,0	2,0	7,1	48	17,5	160	2320	93,0	0,09	0,76	100,0	2
29	6,9	13,0	1,5	3,0	23,0	57	15,0	70	1410	100,0	0,09	0,76	50,0	2
30	13,8	17,0	3,0	6,0	37,5	56	13,5	50	1220	100,0	0,09	0,76	40,0	2
31	76,0	38,2	6,0	18,5	34,5	14	1,0	110	400	100,0	0.09	0,79	65,0	1
32	19,8	21,0	2,0	2,2	17,2	47	4,5	110	2276	97,1	0,02	1,06	100,0	3
33	17,3	20,0	2,0	4,3	11,8	58	10,0	150	2531	86,6	0,02	1,06	100,0	3
34	20,5	18,8	2,7	1,5	12,0	57	10,0	90	2670	42,4	0,06	0,93	100,0	3
35	155,0	58,0	8,0	14,0	116,5	23	2,7	130	2400	91,4	0,06	0,93	93,0	3
36	66,5	36,0	8,5	7,4	28,5	53	3,5	100	2716	67,2	0,06	0,93	95,0	3
37	107,0	45,0	8,0	7,8	51,3	48	3,5	20	2617	80,3	0,06	0,93	95,0	3
38	382,9	87,5	11,0	20,0	238,1	47	2,2	110	2400	91,4	0,06	0,93	93,0	3
39	73,8	36,0	7,0	8,1	53,9	51	4,3	30	2550	98,2	0,06	0,93	95,0	3
40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

¹) 1 = Kristallin, 2 = Flysch, 3 = Kalk

Mindestabstand von vier Wochen in die Untersuchung aufgenommen wurden.

b) Die Messwerte sind homogen, d.h. sie gehören ein und derselben statistischen Grundgesamtheit an.
Die Homogenität kann während der Beobachtungsperiode durch Veränderungen an der Messeinrichtung oder im Einzugsgebiet gestört sein (Umbauten und Verlegung der Mess-Station; Errichten eines Bauwerkes in der Nähe der Mess-Station; Kahlschlag, Verbauung im Einzugsgebiet). Sie kann aber auch durch das Auftreten von «Ausreissern» fraglich werden. Als solche mögen alle beobachteten Abflüsse gelten, welche durch eine «aussergewöhnliche» Konstellation abflussverursachender und -bestimmender Faktoren entstehen. Sie treten im interessierenden Zeitbereich (Planungshorizont zum Beispiel 20 bis 100 Jahre) so selten auf, dass sie sich nicht statistisch erfassen lassen. Als Beispiele seien angeführt: Extremabflüsse als Folge von kurzfristigem, natürlichem Rückstau (Verklausung, Vermurung, Lawine), Ausbruch von Gletscherseen (La Borgne 1952 [13], Grubenseegletscher [10]). Theoretisch bleibt es auch fragwürdig, ob man z.B. Langregen,- Gewitter- und Schneeschmelzhochwasser (letztere wiederum verursacht durch intensive Strahlung, Temperaturanstieg und/oder Föhneinbruch) statistisch derselben Grundgesamtheit zurechnen darf. Die Bilder 3a, b und c zeigen die jahreszeitliche Verteilung von Hochwasserereignissen für drei Abflusstypen der Schweiz. Sie weisen darauf hin, dass vermutlich für alle drei Typen mehrere Abflussursachen zu Hochwasserspitzen führen.

c) Den Zufallsereignissen sind keine deterministischen Anteile überlagert. Dies ist der Fall, wenn z.B. durch Aufforstung, zunehmende Besiedlung oder fortschreitende Tiefenerosion des Gewässers eine trendmässige Verschiebung der Abflüsse eintritt.

Für unsere Untersuchung wurde geprüft, ob die erwähnten Voraussetzungen erfüllt sind. Da Hoch- und Niederwasser auch nicht angenähert normalverteilt auftreten, wurden sogenannte parameterfreie Testverfahren [3] benützt. Es zeigte sich unter anderem folgendes:

- Mehrere Stationen erfüllten die Tests nicht. Meist war die Homogenität gestört.
- Bei den Stationen Klosters und Pontresina traten Ausreisser auf. Erst nachträgliche Auskunft (der Praktiker sollte diese zu Beginn seiner Arbeit einholen) ergab folgenden Tatbestand: 1. Die Station Landquart–Klosters wurde 1954 nach Verklausung des Baches fortgeschwemmt und die angeführte Wassermenge war geschätzt worden. 2. Die Station Rosegbach–Pontresina war ebenfalls 1954 zerstört worden. Ursache dafür war eine «aussergewöhnliche» Hochwasserwelle, welche vermutlich mit einer starken Erosion der den Gletschersee aufstauenden Stirnmoräne in Zusammenhang steht. Dieses Ereignis wurde eingehend beschrieben [12]. Die Hochwassermenge war nachträglich geschätzt worden.
- Für die Stationen Sitter–Appenzell, Sperbelgraben und Rappengraben–Wasen, Lonza–Blatten, Baye de Montreux–Les Avants und Montreux, Berninabach–Pontresina mussten die Beobachtungsreihen so lange gekürzt werden, bis sie den Voraussetzungen entsprachen. Für die Beobachtungsreihen Simme–Obwil, Turtmänna–Inner Sentum, Inn–Zuoz musste auf Hoch- und Niederwasserwerte, für die Reihe Truebbach–Rätzliberg auf die Niederwasserwerte verzichtet werden. Auf Hinweise für mögliche Störungen ist der Verfasser dem Leser dankbar.

Für die weiteren Untersuchungen stehen somit nur noch 37 Stationen für Hochwasser, 36 Stationen für Niederwasser zur Verfügung.

2.2 Die Häufigkeitsverteilung

2.21 Die empirische Verteilung

An Hand der Beobachtungen wurde für jede Station die empirische Verteilungsfunktion (Beziehung zwischen Messwert und dessen Summenhäufigkeit) nach folgender Gleichung ermittelt:

(1) $$H(Q < q(r)) = (r - 0{,}31)/(N + 0{,}38)$$

H Summenhäufigkeit, mit $Q < q(r)$

Q Abfluss als Zufallsvariable

$q(r)$ beobachteter Abfluss mit Rangzahl r

N Anzahl der Beobachtungen

Die Rangzahl r ergibt sich als Platzziffer bei grössenmässigem Ordnen der Abflusswerte, wobei für den kleinsten Wert $r = 1$ gilt. Ableitung und Begründung dieser Gleichung müssen hier fortfallen. In unserer Untersuchung, bei welcher statistisch voneinander unabhängige Jahresextremwerte ausgewertet werden, lässt sich die Jährlichkeit z eines Ereignisses einfach durch die Summenhäufigkeit ausdrücken:

(2) $$z(Q > q) = 1/(1 - H(Q < q(r)))$$

Die Jährlichkeit, ein Begriff der hydrologischen Statistik, gibt das durchschnittliche Zeitintervall in Jahren an, nach welchem ein bestimmtes $HQ(z)$ überschritten, ein bestimmtes $NQ(z)$ unterschritten wird. Für die Station Langeten–Lotzwil ist in Tabelle 3 die empirische Verteilungsfunktion dargestellt.

2.22 Die theoretischen Verteilungsfunktionen

Betreffend Wahl und Auswahlkriterien unter den zahlreichen theoretischen Verteilungsfunktionen (etwa 10) beachte man die Arbeit von [2]. Hier wurde angenommen, dass sich die empirischen Verteilungsfunktionen aller Stationen durch die theoretische Verteilung nach *Gumbel* [4] darstellen lassen. Die Gleichung für die Gumbelverteilung lautet:

(3) $$P(Q < q) = \exp\left[-\exp\left(\pm\frac{A - q}{B}\right)\right]$$

P Unterschreitungswahrscheinlichkeit

Q Abfluss als Zufallsvariable

q beobachteter oder gesuchter Abfluss

A, B Parameter

$\exp(a)$ steht für e^a, im letzten Klammerausdruck steht $+$ für HQ, — für NQ. Dabei entspricht der theoretischen Unterschreitungswahrscheinlichkeit P die im vorigen Abschnitt erwähnte empirische Summenhäufigkeit H.

Zur Überprüfung der oben angeführten Annahme (Hypothese) wurden der Chi²- und *Kolmogoroff*-Test [7], [14] benützt. Bei einer gewählten Vertrauensgrenze von $\alpha = 10\%$ (hoch gewählt, um Fehler zweiter Art, nämlich Annahme der falschen Hypothese, zu vermeiden) entsprachen der Gumbelverteilung bei Hochwasserwerten 35 Stationen, bei Niederwasser 26 Stationen. Für die Niederwassermengen wurden auch andere theoretische Verteilungen untersucht: die *Log-Normalverteilung* (Verteilung von *Gibrat* bei [2]) konnte in 32 Fällen, die *Weibull*-Verteilung ([1]) in 33 Fällen akzeptiert werden.

Tabelle 3.

Rangzahl r	HQ [m³/s] geordnet	H (HQ) [1])	HQ [m³/s] Chronologisch ab 1924
1	6,7	0,014	15,2
2	7,1	0,035	25,0
3	7,7	0,056	16,4
4	8,4	0,076	30,0
5	8,7	0,097	9,3
6	9,3	0,118	17,7
7	9,9	0,138	17,1
8	10,8	0,159	8,7
9	11,6	0,180	17,2
10	12,9	0,200	36,0
11	13,3	0,221	13,3
12	13,3	0,242	18,1
13	13,9	0,262	10,8
14	15,2	0,283	21,0
15	16,3	0,304	28,0
16	16,4	0,324	13,3
17	16,6	0,345	20,0
18	17,0	0,366	20,0
19	17,0	0,386	16,3
20	17,1	0,407	22,0
21	17,1	0,428	13,9
22	17,2	0,448	29,0
23	17,7	0,469	6,7
24	18,1	0,490	27,0
25	19,0	0,510	29,0
26	19,0	0,531	28,0
27	20,0	0,552	27,0
28	20,0	0,572	35,0
29	21,0	0,593	11,6
30	22,0	0,614	19,0
31	22,2	0,634	9,9
32	24,1	0,655	39,0
33	25,0	0,676	19,0
34	27,0	0,696	36,0
35	27,0	0,717	34,0
36	28,0	0,738	17,0
37	28,0	0,758	30,0
38	28,8	0,779	7,1
39	29,0	0,799	7,7
40	29,0	0,820	28,8
41	30,0	0,841	36,5
42	30,0	0,862	17,1
43	34,0	0,882	8,4
44	35,0	0,903	17,0
45	36,0	0,924	22,2
46	36,0	0,944	24,1
47	36,5	0,965	16,6
48	39,0	0,986	12,9

[1]) Der theoretischen Unterschreitungswahrscheinlichkeit P entspricht die empirische Summenhäufigkeit H.

Für die «bestmögliche» Wahl der Parameter der theoretischen Verteilungsfunktionen wurde hier die Methode der kleinsten Quadrate gewählt. Tabelle 4 zeigt für jede Station mit positivem Kolmogoroff-Test die Parameter A und B. Die Bilder 4 und 5 zeigen Dichte und Verteilungsfunktion zweier Gewässer. In Bild 5a und 5b wurde die x-Achse (Wahrscheinlichkeit) so transformiert, dass die theoretische Verteilungsfunktion nach Gumbel auf eine Gerade zu liegen kommt. Zugleich geben sie schraffiert den 66%-Vertrauensbereich an. Man beachte:

- die stark zunehmende Breite des Vertrauensbereiches für seltene Ereignisse («Alphornform» des Vertrauensbereiches)
- für gleich genaue Aussage genügt bei Beobachtungsreihen mit geringer Streuung eine kürzere Beobachtungsdauer als für Reihen grösserer Streuung. Man vergleiche dazu die HQ-Verteilung der Kander und Langeten in Bild 5a
- die NQ-Werte werden für die Kander gut, für die Langeten nur schlecht durch eine Gumbelverteilung repräsentiert.

Die Parameter A und B bestimmen die erwähnten theoretischen Verteilungsfunktionen mathematisch eindeutig. Gemäss den getroffenen Annahmen geben diese zwei Zahlenwerte vermutlich eine Schätzung der «wahren» Verteilungsfunktion. Der Parameter A stellt den häufigsten Wert, der Parameter B ein Mass für die Streuung der theoretischen Verteilungsfunktion dar.

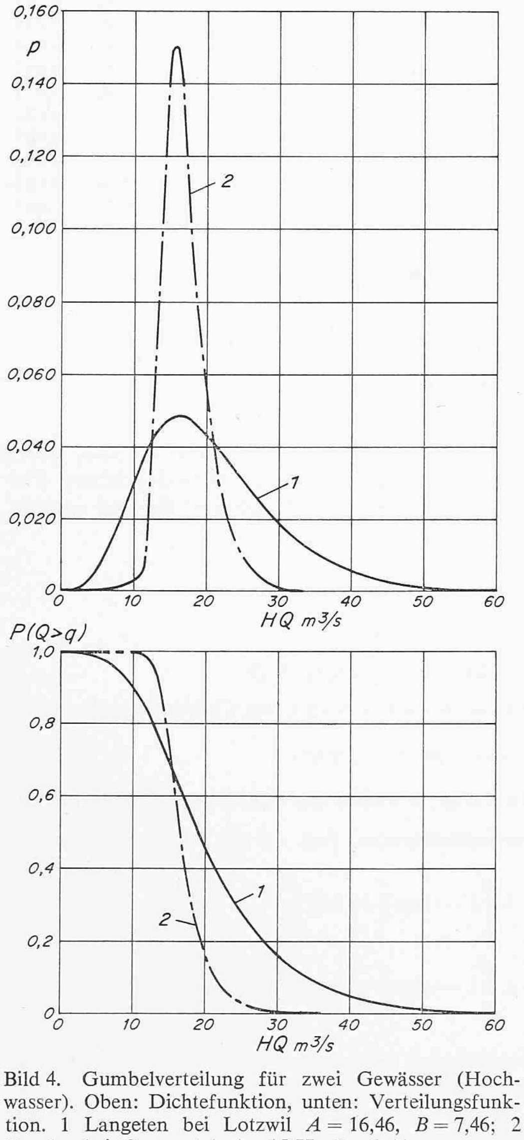
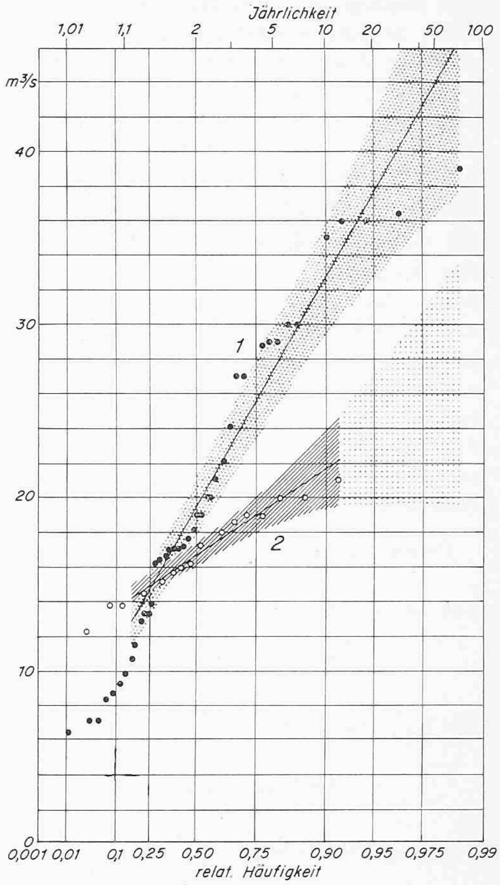


Bild 4. Gumbelverteilung für zwei Gewässer (Hochwasser). Oben: Dichtefunktion, unten: Verteilungsfunktion. 1 Langeten bei Lotzwil $A = 16{,}46$, $B = 7{,}46$; 2 Kander bei Gasterntal $A = 15{,}77$, $B = 2{,}44$

3. Massgebende Einflüsse auf die Verteilungsfunktionen extremer Wasserführung

Der Gedanke liegt nahe, die Verteilungsparameter mit Charakteristika der Einzugsgebiete zu korrelieren. Dabei würde man ein Mass für die Abhängigkeit der Verteilungsfunktionen von bestimmten Gebietscharakteritika (wie etwa in Tabelle 2 zusammengestellt) erhalten: die auf die rund 30



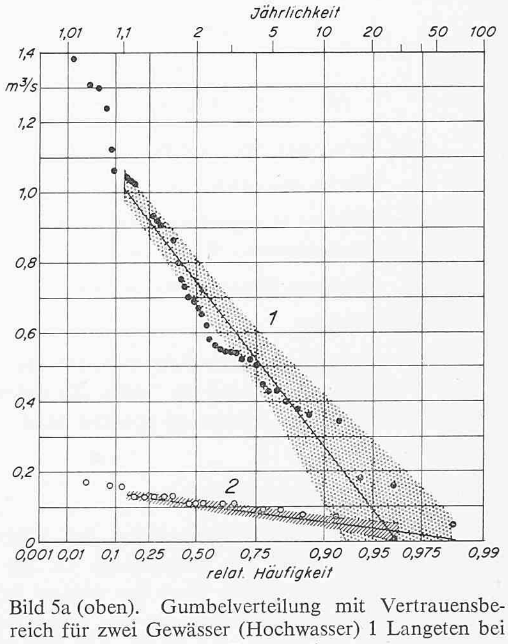


Bild 5a (oben). Gumbelverteilung mit Vertrauensbereich für zwei Gewässer (Hochwasser) 1 Langeten bei Lotzwil, 2 Kander bei Gasterntal

Bild 5b (unten). Gumbelverteilung mit Vertrauensbereich für zwei Gewässer (Niederwasser) 1 Langeten bei Lotzwil, 2 Kander bei Gasterntal

Einzugsgebiete beschränkten Aussagen liessen sich dann auf andere Gebiete näherungsweise übertragen. Diesem Wunsch stehen jedoch folgende Schwierigkeiten entgegen:

- Die teilweise kurzen Beobachtungsdauern ermöglichen nur eine grobe Schätzung der «wahren» Parameter A und B.
- Die geringe Anzahl der untersuchten Gebiete repräsentiert die Vielfalt der möglichen Kombinationen nur mangelhaft.
- Die Gebietcharakteristika sind untereinander nicht unabhängig. So bestehen etwa Zusammenhänge zwischen Fläche und Umfang der Einzugsgebiete, zwischen Fläche, Meereshöhe, Steilheit, Bewaldung, Vergletscherung usw. Bei einer sorglosen Auswertung besteht die Gefahr der Multikollinearität ([14]).
- Der lokale klimatologische Einfluss lässt sich nur schlecht beschreiben. Allein die Regenintensitäten nach [5], die Exposition, sowie die mittlere Meereshöhe stehen als leicht zugängliche Information zur Verfügung.

Erheblicher mathematischer Einsatz (Berechnung partieller Korrelationskoeffizienten, schrittweise Mehrfachregression, Faktorenanalyse) führte zu folgenden, nur mit Vorbehalt aufzunehmenden Schlüssen:

- Für Hochwasser zeigen sich A und B weitgehend von Geometrie- und Gefällsverhältnissen des Einzugsgebietes abhängig.
- Für Niederwasser besteht ein statistischer Zusammenhang von A und B mit Geometrie, Hangneigung und mittlerer Meereshöhe.

Formelmässig lassen sich die Beziehungen angeben mit:

$$(4.1\text{a})\quad A_{HQ} = 0{,}0531 \cdot \frac{km^{0,732} \cdot HN^{0,939}}{FG^{0,295}}$$

(87,8% der Varianz erklärt)

$$(4.2\text{a})\quad B_{HQ} = 0{,}002\,457 \cdot \frac{UM^{1,241} \cdot HN^{1,203}}{FG^{0,498}}$$

(75,6% der Varianz)

$$(4.1\text{b})\quad A_{NQ} = 0{,}041\,57 \cdot \frac{km^{1,378}}{SP^{0,710} \cdot MH^{0,321}}$$

(92,4% der Varianz)

$$(4.2\text{b})\quad B_{NQ} = 0{,}124\,81 \cdot \frac{TL^{0,3007} \cdot km^{0,7521}}{MH^{0,5901}}$$

(91,7% der Varianz)

A, B	Parameter der Gumbelverteilung	[m³/s]
km	Fläche des Einzugsgebietes	[km²]
HN	Mittlere Hangneigung, einzusetzen in (Ermittlung s.z.B. [1], 4–16)	[%]
FG	Mittleres Fliessgefälle, einzusetzen in	[%]
UM	Umfang	[km]
SP	Distanz zwischen Schwerpunkt des Einzugsgebietes und der Stelle, für welche die Extrem wassermenge gesucht wird.	[km]
TL	Tallänge	[km]
MH	Mittlere Meereshöhe	[m]

Schrittweise Mehrfachregression mit Einbezug weiterer Charakteristika hätte die Anpassung an die vorhandenen Daten verbessert. Sie hätte aber, wie weitere Untersuchungen andeuten, nicht zu einer Verbesserung allgemeingültiger Aussagen geführt. Auch bedeuten die empirischen Gleichungen (4a) und (4b) nicht unbedingt, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen den dort angeführten Charakteristika bestehen *muss*.

Tabelle 4a.

Stations-	Gumbelverteilung				Ln-Normalverteilung			
Nr.	A	B	A/km²	B/km²	A	B	A/km²	B/km²
1	26,9	10,5	1,19	0,46	30,5	0,38	1,35	0,017
2	10,4	9,3	0,33	0,29	12,0	0,81	0,38	0,025
3	51,6	19,9	0,94	0,36	58,0	0,40	1,05	0,007
4	32,8	11,2	0,29	0,10	37,1	0,28	0,33	0,003
5	49,0	15,5	0,33	0,11	54,8	0,31	0,37	0,002
6	12,8	5,1	0,08	0,03	14,2	0,45	0,08	0,003
7	56,4	23,2	0,76	0,31	64,6	0,35	0,87	0,005
8	15,7	2,4	0,38	0,06	16,8	0,16	0,41	0,004
9	6,9	0,9	0,48	0,06	7,4	0,13	0,51	0,009
10	14,4	8,1	0,49	0,28	16,9	0,47	0,58	0,016
11	11,0	3,4	0,43	0,13	12,3	0,30	0,48	0,012
12	–	–	–	–	–	–	–	–
13	–	–	–	–	–	–	–	–
14	25,7	9,4	0,21	0,08	28,9	0,37	0,23	0,003
15	83,1	32,1	0,81	0,31	94,3	0,37	0,92	0,004
16	0,569	0,393	1,05	0,73	0,665	0,0006	1,23	0,001
17	0,562	0,193	0,95	0,32	0,632	0,0003	1,07	0,001
18	16,4	7,6	0,14	0,07	18,5	0,48	0,16	0,004
19	11,4	3,1	0,16	0,04	12,6	0,27	0,17	0,004
20	45,0	13,7	0,60	0,18	50,2	0,31	0,66	0,004
21	37,2	12,3	1,20	0,40	41,9	0,30	1,35	0,010
22	17,6	2,9	0,45	0,07	18,8	0,18	0,48	0,005
23	27,6	7,1	0,35	0,09	29,9	0,31	0,38	0,004
24	–	–	–	–	–	–	–	–
25	23,0	5,7	0,34	0,09	25,3	0,22	0,38	0,003
26	9,2	6,4	0,38	0,27	11,0	0,46	0,46	0,019
27	14,7	7,8	0,51	0,27	17,0	0,48	0,58	0,016
28	6,1	2,6	0,33	0,14	7,0	0,37	0,38	0,020
29	5,7	5,8	0,83	0,84	7,0	0,66	1,01	0,096
30	7,0	6,2	0,51	0,45	8,6	0,59	0,62	0,043
31	19,4	10,2	0,26	0,13	21,7	0,57	0,29	0,008
32	7,3	2,9	0,37	0,15	8,3	0,37	0,42	0,019
33	8,0	7,8	0,46	0,45	9,9	0,60	0,57	0,035
34	11,3	4,1	0,55	0,20	12,8	0,27	0,62	0,013
35	27,0	8,8	0,17	0,06	30,2	0,29	0,19	0,002
36	21,4	12,8	0,32	0,19	25,4	0,38	0,38	0,005
37	41,8	34,1	0,39	0,32	50,4	0,60	0,47	0,005
38	78,2	52,1	0,20	0,14	93,4	0,48	0,24	0,001
39	22,1	15,5	0,30	0,21	26,4	0,54	0,36	0,007
40	–	–	–	–	–	–	–	–

A, B in [m³/s]; A/km², B/km² in [m³/s km²]

4. Anwendung und Folgerung

4.1 Schätzen von extremen Abflüssen

Die Gleichungen (4a) und (4b) können für eine grobe Abschätzung von Extremabflüssen aus Schweizerischen Einzugsgebieten zwischen etwa 10 und 200 km² benützt werden. Es gilt

$$(5\text{a})\quad HQ_z = A_{HQ} + k \cdot B_{HQ}$$

$$(5\text{b})\quad NQ_z = A_{NQ} - k \cdot B_{NQ}$$

z Jährlichkeit von HQ bzw. NQ

k Faktor als Funktion von z; bei Gumbelverteilung

$$k = -\ln(-\ln(1 - 1/z))$$

Tabelle 5 gibt einige k-Werte für die Gumbelverteilung an.

Die Umkehrfunktionen von Gl (5a) und (5b) lauten:

$$(6\text{a})\quad z_{HQ} = 1 \Big/ \left[1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{q - A}{B}\right)\right)\right]$$

$$(6\text{b})\quad z_{NQ} = 1 \Big/ \left[1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{A - q}{B}\right)\right)\right]$$

Bei dieser Abschätzung können Fehler bis $\pm$ 100%, in Sonderfällen und insbesondere bei seltenen Ereignissen ($z > 20$) wohl auch darüber, auftreten. Dennoch stellen diese Abschätzformeln gegenüber den derzeit angewandten «empiri-

Tabelle 4b.

Stations-Nr.	Gumbelverteilung A	B	A/km²	B/km²	Ln-Normalverteilung A	B	A/km²	B/km²	Weibull-Verteilung A	B	A/km²	B/km²
1	0,101	0,025	4,4	1,1	0,08	0,399	3,5	17,6	1,842	0,067	81,5	3,0
2	0,089	0,024	2,7	0,7	0,07	0,433	2,2	13,6	1,793	0,060	56,4	1,9
3	–	–	–	–	0,24	0,363	4,3	6,6	2,282	0,187	41,5	3,4
4	0,761	0,137	6,7	1,2	0,65	0,300	5,8	2,6	2,488	0,631	22,2	5,6
5	0,826	0,168	5,6	1,1	0,70	0,326	4,7	2,2	2,404	0,607	16,4	4,1
6	–	–	–	–	0,15	0,867	0,9	5,3	1,640	0,220	10,1	1,4
7	0,389	0,081	5,2	1,0	0,33	0,305	4,4	4,1	1,450	0,167	19,5	2,3
8	0,129	0,028	3,1	0,6	0,11	0,386	2,7	9,4	4,226	0,108	103,8	2,7
9	0,091	0,015	6,3	1,0	0,08	0,238	5,5	16,5	3,500	0,051	243,1	3,5
10	0,241	0,038	8,3	1,3	0,22	0,223	7,6	7,7	1,857	0,112	64,3	3,9
11	–	–	–	–	0,07	0,331	2,7	12,9	1,587	0,041	62,0	1,6
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,782	0,208	6,3	1,6	0,60	0,466	4,8	3,7	2,418	0,653	19,5	5,3
15	0,399	0,138	3,9	1,3	–	–	–	–	1,616	0,356	15,8	3,5
16	0,002	0,001	3,7	1,8	0,001	0,001	2,2	1,5	0,002	0,002	3,7	3,7
17	0,002	0,001	3,3	1,6	0,001	0,001	1,5	2,1	0,002	0,002	3,4	3,4
18	0,858	0,265	7,4	2,3	0,62	0,576	5,3	5,0	1,430	0,828	12,4	7,2
19	0,680	0,204	9,4	2,8	0,51	0,537	7,0	7,4	2,343	0,558	32,5	7,7
20	0,373	0,059	4,9	0,7	0,33	0,228	4,3	3,0	2,224	0,188	29,5	2,5
21	–	–	–	–	0,13	0,775	4,1	24,9	1,723	0,183	55,4	5,9
22	0,146	0,034	3,7	0,8	0,12	0,360	3,0	9,2	2,791	0,094	71,7	2,4
23	–	–	–	–	0,45	0,064	5,7	0,8	–	–	–	–
24	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	0,273	0,052	4,0	0,7	0,24	0,272	3,5	4,0	1,743	0,116	26,1	1,7
26	0,125	0,015	5,2	0,6	0,12	0,162	5,0	6,7	1,651	0,034	68,8	1,4
27	0,185	0,028	6,3	0,9	0,17	0,209	5,8	7,1	1,337	0,052	45,9	1,8
28	0,131	0,016	7,1	0,8	0,12	0,172	6,5	9,3	1,965	0,004	10,7	2,2
29	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
30	–	–	–	–	–	–	–	–	1,936	0,059	14,0	4,3
31	1,427	0,376	18,8	5,0	1,15	0,398	15,2	5,2	1,139	0,692	15,0	9,1
32	0,124	0,014	6,2	0,7	0,11	0,157	5,5	7,9	2,266	0,036	11,4	1,8
33	–	–	–	–	0,17	0,126	9,8	7,2	1,887	0,038	10,9	2,2
34	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	0,923	0,167	5,9	1,0	0,80	0,243	5,1	1,5	2,478	0,531	16,0	3,4
36	0,140	0,034	2,1	0,5	0,11	0,374	1,6	5,6	1,672	0,083	25,1	1,2
37	0,360	0,066	3,3	0,6	0,31	0,259	2,8	2,4	1,348	0,137	12,6	1,3
38	1,561	0,125	4,0	0,3	1,49	0,104	3,8	0,2	1,546	0,287	4,0	0,7
39	–	–	–	–	0,58	0,170	7,8	2,3	1,373	0,170	18,6	2,3
40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

A, B in [m³/s]; A/km², B/km² in [1/s km²]

schen» Formeln von *Hofbauer*, *Kürsteiner*, *Salcher*, ([6], [8], [11]), *Melli* und *Müller* einen gewissen Fortschritt dar:

- Sie liefern mit zumindest gleichwertiger Genauigkeit die Schätzung einer Häufigkeitsverteilung
- Sie beruhen auf Beobachtungen aus Schweizerischen Einzugsgebieten bis zum Jahre 1970
- Sie erlauben auch ein Abschätzen von Niederwassermengen

Man befindet sich dabei etwa in der Lage eines Bergwanderers in einem Schweizerischen Seitental: statt einer Karte Mitteleuropas erhält er zu seiner Orientierung eine neue Übersichtskarte der Schweiz. Für gewagte Klettertouren wird diese nicht ausreichen! Zusätzliche Beobachtungen und Überlegungen über mögliche Sondereinflüsse (Karsterscheinungen; Stauseen; extremes Relief usw.) sollten keinesfalls vernachlässigt werden.

Höhere Genauigkeit erfordert heutzutage meist noch bedeutenden Zeit- und Geldaufwand: Durchführen von kurzfristigen Messkampagnen und anschliessendes Einpassen der Beobachtungen in ein gewähltes hydrologisches Modell oder langzeitige Beobachtungsreihen und deren mathematische Analyse.

Tabelle 5. *k*-Werte für die Gumbelverteilung

z	2	5	10	15	20	25	30
$k(z)$	0,367	1,500	2,250	2,674	2,970	3,199	3,384

4.2 Eigenschaften der Gumbelverteilung

Aufgrund der Untersuchung kann geschlossen werden, dass die Gumbelverteilung das statistische Verhalten zumindest von Hochwasserereignissen recht gut wiedergibt [2]). Deshalb sei diese Verteilung noch etwas näher betrachtet, und zwar im Hinblick auf eine Aussage über die zeitliche Aufeinanderfolge von Abflussextremen und auf eine Langzeitstrategie gegenüber Extremabflüssen.

4.21 Die zeitliche Aufeinanderfolge von Extremabflüssen

Die theoretischen Verteilungen wurden aus der jeweils pro Kalenderjahr höchsten, bzw. niedersten Wassermenge ermittelt. Gl. (2) liefert das dazu entsprechende durchschnittliche Wiederkehrintervall (Jährlichkeit). Es mögen nun die Wiederkehrintervalle all jener Extremabflüsse interessieren, welche einen bestimmten Grenzwert q_g (z. B. Beginn der Ausuferung) überschreiten, bzw. unterschreiten (Bild 6). Solche Extreme können pro Jahr mehrmals, einmal oder auch gar nicht auftreten. Für diese Extremwerte ergibt sich das durchschnittliche Wiederkehrintervall τ [genauer: der Erwartungswert $E(T)$ der Zufallsvariablen (T)] als Funktion von q_g.

Für die Hochwasser der Langeten wurde nachgewiesen, dass die Häufigkeitsverteilung von τ (genauer: der Zufallsvariablen T) einer Exponentialverteilung entspricht.

[2]) Für die Niederwasserereignisse scheint sich allerdings die Weibull-Verteilung besser zu eignen. Zeitmangel verhinderte eine Erweiterung der Betrachtung auch auf diese Verteilung.

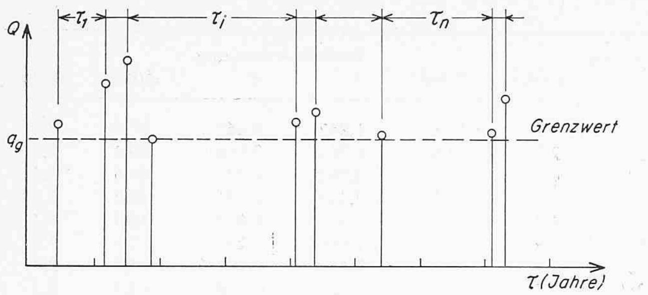


Bild 6. Extremabflüsse, die den Grenzwert q_g überschreiten

(7) $P(T \leq \tau) = 1 - e^{-a\tau}$

$P(T \leq \tau)$ Wahrscheinlichkeit, dass Zufallsvariable $T \leq \tau$

T Zeitintervall als Zufallsvariable

τ vorgegebenes Zeitintervall

a Parameter

Für statistisch voneinander unabhängige Extremwerte gilt dann für das Auftreten von r Extremen (HQ $> q_g$, bzw. NQ $< q_g$) innerhalb *eines* Jahres die Poissonverteilung (Nachweis z.B. bei [14]).

(8) $P(R = r) = e^{-a} \cdot \dfrac{a^r}{r!}$

a Parameter

r 0, 1, 2...

Speziell für $r = 0$ gilt $P(R = 0) = e^{-a}$. Auch dieser Zusammenhang wurde für die Langeten zur Kontrolle überprüft und als statistisch gesichert gefunden.

Der Verfasser [15] fand nun die folgende Beziehung zwischen dem in Gl. (7) und Gl. (8) auftretenden Parameter a und der Gumbelverteilung

(9) $a = \exp\left(-\dfrac{q_g - A}{B}\right)$

a Parameter der Exponential-, bzw. Poissonverteilung; Einheit: 1/Jahr

A, B Parameter der Gumbelverteilung

Weiters gilt auch

$$t = \frac{1}{a}, \quad z = 1/(1 - e^a) \quad \text{und} \quad a = -\ln(1 - 1/z)$$

z Jährlichkeit

a Parameter wie oben

t durchschnittliches Wiederkehrintervall für Exponentialverteilung

Es lässt sich leicht zeigen, dass t immer kleiner ist als das zugehörige z (Ausnahme: für a = o sind z und $t = \infty$). Für $z > 10$ sind die Unterschiede jedoch nur noch gering (siehe dazu auch [9]).

Aus diesen theoretischen Überlegungen lässt sich z.B. folgendes ableiten:

- Es dürfen Risiko-Betrachtungen, wie etwa bei [2] erwähnt, angestellt werden.
- Das Risiko, dass z-jährliche Extreme bereits vor Ablauf von z Jahren auftreten, steht etwa bei 64 zu 100.
- Es besteht durchaus die Möglichkeit zeitlicher Häufung von Extremwasserabflüssen, ohne dass dies von vornherein einem katastrophalen Trend zugeschrieben werden muss.

4.22 Eine Langzeitstrategie gegenüber Extremabflüssen

Extremabflüsse interessieren vor allem im Zusammenhang mit zu erwartenden Schäden (Überschwemmungen, erhöhte Abwasserbelastung bei Niederwasserführung usw.). Ist die Beziehung zwischen Extremabfluss und Schadenskosten (Schadensfunktion) bekannt, so lässt sich für jede Häufigkeitsverteilung des Extremabflusses der langzeitig zu erwartende Gesamtschaden (Schadenserwartungswert) berechnen (siehe dazu [16]). Für die Gumbelverteilung und lineare Schadensfunktion wurde die folgende Beziehung abgeleitet:

(10) $SE = b \cdot B \cdot I(z_a, z_a)$

SE Schadenserwartungswert [Fr.]

b Steigung der linearen Schadensfunktion [Fr. s/m³]

B Parameter der Gumbelverteilung [m³/s]

$I(z_a, z_e)$ Faktor, abhängig vom Hochwasser der Jährlichkeit z_a, bei welchem der Schaden einsetzt, und dem Hochwasser der Jährlichkeit z_e, von dem ab kein zusätzlicher Schaden zu erwarten ist.

Gl. (10) zeigt die lineare Abhängigkeit des Schadenserwartungswertes vom Streuungsparameter B und der Steigung der Schadensfunktion. Die Werte für $I(z_a, z_e)$ sind dem Bild 7 zu entnehmen. Dort lässt sich z.B. ablesen, dass der Ausbau eines vorgegebenen Gewässers vom derzeitigen zehnjährlichen Schadensfall auf ein hundertjährliches Schadensereignis den Schadenserwartungswert auf 1/10 herabsetzt. Dies gilt aber *nur dann*, wenn die Schadensfunktion stetig ansteigt ($z_e = \infty \cong 10^5$). Wäre jedoch z.B. vom 200-jährlichen Schadensereignis an auch ohne Ausbau kein zusätzlicher Schaden mehr zu erwarten ($z_e = 200$), so verringert sich der Schadenserwartungswert auf 1/50.

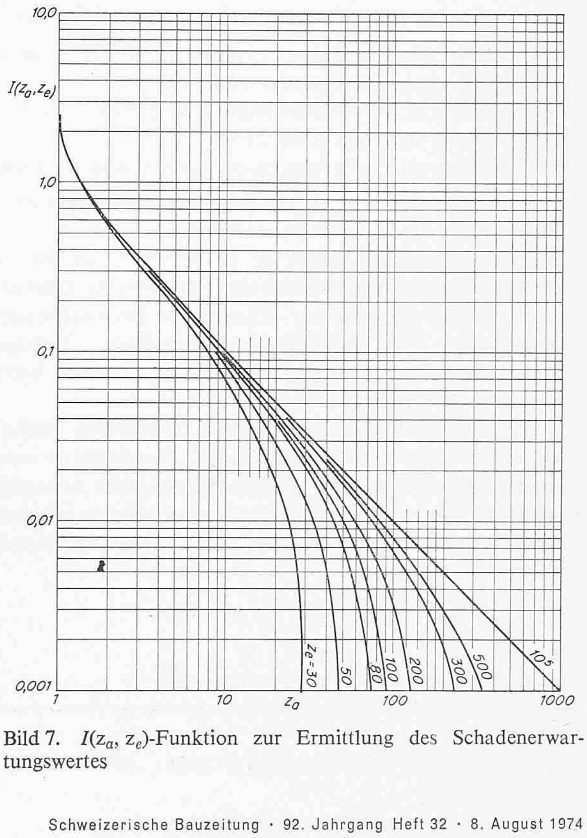


Bild 7. $I(z_a, z_e)$-Funktion zur Ermittlung des Schadenerwartungswertes

An solchen Vergleichen kann sich eine Strategie für die Verteilung von öffentlichen Geldmitteln zur Schadensverhütung orientieren. Sie könnte auch die Grundlage für eine Hochwasser-Versicherung liefern, wie sie etwa derzeit für den Bodensee diskutiert wird.

Adresse des Verfassers: Dr. *P. Widmoser*, Privatdozent, Institut für Kulturtechnik, ETH Zürich, Leonhardstr. 33, CH-8006 Zürich

Literatur

[1] *Chow, V.T.:* Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, 1964.

[2] *Bruschin, J.* und *Estéve, R.:* Utilisation de l'analyse fréquentielle des crues pour la determination de la crue de projet. «Schweiz. Bauzeitung» *91* (1973), H. 32 und 33, S. 777–790.

[3] *Eggers, H.:* Parameterfreie statistische Methoden zur Analyse von Datenreihen. Mitt. d. Theodor-Rehbock-Flussbaulaboratoriums (1970), H. 158.

[4] *Gumbel, E. J.:* Statistics of Extrems (1958), Columbia Univ. Press New York.

[5] *Hörler, A.* und *Rhein, M. R.:* Die Intensität der Starkregen der Schweiz. «Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie» *24* (1962). S. 291–352.

[6] *Hofbauer, R.:* Eine neue Formel für die Ermittlung der grössten Hochwassermengen «Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst». (1916), H. 3.

[7] *Kreyszig, E.:* Statistische Methoden und ihre Anwendung. Göttingen 1968, Vandenhoeck und Ruprecht.

[8] *Kürsteiner, W.:* Das Elektrizitätswerk der Stadt Chur. «Schweiz. Bauzeitung» Bd. *69* (1917), H. 1, S. 4, H. 2, S. 13, H. 3, S. 35.

[9] *Lauterbach, D.:* Betrachtungen zur Wahl von Verteilungsfunktionen für die Berechnung von Hochwasserdurchflüssen. «Wasserwirtschaft, Wassertechnik» 1968, H. 1.

[10] *Lichtenhahn, C.:* Stollen im Eis zur Verhinderung von Ausbrüchen eines Sees im Grubengletschergebiet (Wallis). Villach, Interpraevent (1971), S. 465–469.

[10a] *Melli, E.:* Die Dimensionierung städtischer Kanäle. «Schweiz. Bauzeitung» Bd. *84* (1924), H.12, S. 137–141.

[10b] *Müller, R.:* Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauungen. Mitteilung Nr. 4 aus der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich, 1943.

[11] *Salcher, E.:* Zur Berechnung von Hochwasserabflüssen. «Wasserwirtschaft und Technik», 1936, H. 28–30.

[12] *Töndury, G. A.:* Ursachen und Bekämpfungsmöglichkeiten der zunehmenden Hochwassergefahr im Engadin. «Wasser und Energiewirtschaft» *46* (1954). H. 12, S. 308–323.

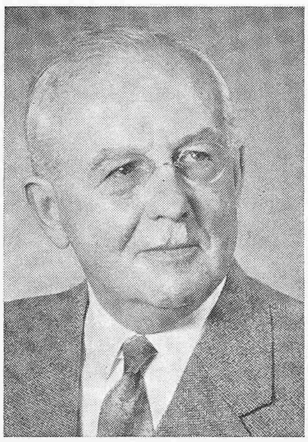
[13] *Walser, M. E.:* La crue de la Borgne le 4 août 1952. «Wasser und Energiewirtschaft» *44* (1952). H. 9, S. 179–183.

[14] *Weinberg, F.:* Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik sowie Anwendung im Operations Research. Berlin–Heidelberg–New York, 1968. Springer-Verlag.

[15] *Widmoser, P.:* Mathematische Methoden in der Hydrologie mit besonderer Berücksichtigung von Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten. Habilitationsschrift ETH Zürich (1973).

[16] *Widmoser, P.:* Die Schadenserwartung von Hochwasserschäden. Villach, Interpraevent (1971), S. 105–113.

Nekrologe



ADOLF MEIER-MANTEL
dipl. Bauingenieur
1895 1974

Adolf Meier-Mantel, dipl. Bauingenieur, geboren am 28. März 1895, ist, wie wir im Heft 23, S. 570, kurz erwähnten, am 1. Mai gestorben.

Obwohl ihm seine Gesundheit seit mehreren Jahren viel zu schaffen machte und es beruflich stiller um ihn geworden war, wurden alle seine Freunde von seinem plötzlichen Hinschied schmerzlich überrascht.

Wie es der Welt Lauf ist: Nach den Studienjahren kamen wir alle nach den persönlichen Verpflichtungen mehr oder weniger auseinander. Dies um so mehr, als unsere Generation 1914 ins «Poly» eintrat und unsere Studienzeit durch die militärischen Instruktions- und Aktivdienste besonders erschwert wurde. Adolf Meier ist überdies im Militärdienst an einer Lungen- und Brustfellaffektion erkrankt, die seine Studienzeit rigoros unterbrach und einen fünfjährigen Kuraufenthalt in Leysin verlangte. Es zeugt von seiner Zuversicht und Willenskraft, dass er nachher sein Studium erneut aufnahm und 1924 erfolgreich abschloss.

Das Jahr darauf finden wir ihn zuerst im Meliorationsamt des Kantons Zürich und nachher zwei Jahre im Ingenieurbüro Rathgeb. Nach vorübergehender Arbeit in privaten Ingenieurbüros in Luzern und Basel, war er dann dauernd während vier Jahren im Ingenieurbüro Carl Erni in Luzern tätig. Nach nahezu zehn Jahren der praktischen Ausbildung in allen Sparten des Tiefbaus und des Eisenbetons eröffnete Adolf Meier in seinem angestammten Wädenswil sein eigenes Ingenieurbüro. Eisenbeton und Tiefbau waren stets seine bevorzugten Tätigkeitsgebiete, und mit namhaften Architekten hat er in Zusammenarbeit auch bedeutende Hochbauten projektiert und ausgeführt. Ein grosses Geschick und Einfühlungsvermögen halfen ihm, die Fährnisse seiner Gesundheit zu überwinden. Freudig ist er im letzten Herbst noch einem Rufe zu einer Zusammenkunft ehemaliger Kurskollegen gefolgt. In langjähriger, glücklicher Ehe, von seiner Ehegattin, ebenfalls eine Wädenswilerin, fürsorgend betreut, hat sich bei Adolf Meier eine erfolgreiche Laufbahn als Lebenswerk eines Bauingenieurs abgeschlossen. Seinen Berufskollegen und Freunden bleibt er unvergessen. *Ernst Züttel,* Küsnacht

† **Karel Branberger,** Maschineningenieur, Prof., von Prag, Tschechoslowakei, geboren am 4. November 1882, ETH 1905–1906, ist am 24. Juni gestorben. Der Verstorbene war Professor an höheren Staatsgewerbeschulen und Dozent an der Technischen Hochschule Brno, Zivilingenieur und Rat des Patentgerichtes in Prag, Mitglied der Masaryk-Arbeits-Akademie und der tschechischen Landwirtschafts-Akademie; er wohnte in Prag.

† **Ernst Gehrig, Maschineningenieur,** geb. 1. März 1885, von Solothurn, ETH 1904 bis 1908, SIA, GEP, ist kürzlich gestorben. 1910/11 und von 1924 bis zu seinem Rücktritt 1951 arbeitete der Verstorbene für die von Rollschen Eisenwerke. Zuletzt war er Direktor des Eisenwerkes Choindez. Er wohnte in Solothurn.

† **Emile Dujardin,** Maschineningenieur, von Lille, Frankreich, ETH 1907 bis 1911, GEP, ist am 11. Juni gestorben. Der Verstorbene war Delegierter des Verwaltungsrates der Société Dujardin & Cie, Constructeurs à Lille. Seit 1945 war er Generaldirektor der Association des Industries du Nord de la France à Lille. Seit 1963 wohnte er in Paris.