

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Untersuchung der Stichproben – Eigenschaften von Hochwasser – Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines

Diplom - Ingenieurs

unter der Leitung von

Em. O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h. c. Dieter Gutknecht

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Herbert Heindl

E222

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Petya Balieva

Matrikel-Nr. 0327320

Wien 2008

Unterschrift:

Inhalt

Abbildungsverzeichniss	4
Tabellenverzeichniss	6
1. Abstract	7
2. Einleitung und Zielsetzung	8
3. Grundgedanken zur Vorgangsweise	10
3.1 Generelle Vorgehensweise bei der HQ_n – Ermittlung	10
3.2 Rolle der Stichprobeneigenschaften	10
3.3 Definition eines Grossereignisses	11
3.3.1 Visuelle Einschätzung	12
3.3.2 Quantifizierung über Relativzahlen	12
3.3.3 Prozesse – Einzugsgebietsbezug	13
3.3.4 Meteorologische Situation – Niederschlagsstruktur	14
3.4 Ausreißer	14
4. Untersuchte Pegel	15
4.1 Lage der Pegel (EZG) bezogen auf das Österreichische Bungesgebiet	15
5. Charakterisierung der Stichproben	18
5.1 Stichprobenmomente	18
5.1.1 Station Sausteinaste – Zembach	18
5.1.2 Station Altenmarkt im Pongau – Enns	21
5.1.3 Station Obermühl – Kleine Mühl	23
5.1.4 Station Haid – Naarn	25
5.1.5 Station Sturmmühle – Klambach	27
5.1.6 Station Neubruck – Jessnitz	29
5.1.7 Station Peutenburg – Grosse Erlauf	31
5.1.8 Station Oberlainsitz – Lainsitz	33
5.1.9 Station Villach – Drau	35
5.2 Untersuchung auf Grossereignisse	37
5.2.1 Anzahl der Ereeignisse in der Stichprobe	37
5.3 Unterscheidung der Stichproben	39
5.3.1 Parameterwerte der Stichproben	39
5.3.2 HQ_n – Schätzwerte	40
5.3.3 Unschärfe	41
5.3.4 Vertrauensbereiche	42
5.3.5 Jährlichkeit des grössten und zweitgrössten Grossereignisse für Pegel mit 1 Grosseregnis und mit zwei Grossereignissen	43

5.4 Relativzahlen als Indikator für das Extreme	44
6. Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf Abflussregime und Gebietseigenschaften	54
6.1 Abflussspende	54
6.2 Abflussbeiwerte als Kenngröße für Abflussintensität der Gebiete	56
6.3 Saisonalität im Kennzeichen des Regimes	59
6.4 Hydrogeologie zur Charakterisierung der Untergrundverhältnisse in den Gebieten	60
7. Zusammenschau und Schlussfolgerungen	61
Literatur	62
Anhang I	63
Anhang II	71
Anhang III	72
Anhang IV	80

Abbildungsverzeichnis

Abb. A: Mittelwert von histogrammierten Daten	10
Abb. B: Schiefe der Stichprobe	11
Abb. C: Hochwasserhäufigkeit	11
Abb. D: Histogramm und Dichtefunktion	12
Abb. E: Verteilungsfunktionen	12
Abb. F: Zeitreihe mit Ausreisser	15
Abb. 1: Zeitreihe Sausteinaste (1956 – 2002)	20
Abb. 2: Hochwasserhäufigkeit Sausteinaste	20
Abb. 3: Zeitreihe Altenmarkt im Pongau (1961 – 2002)	22
Abb. 4: Hochwasserhäufigkeit Altenmarkt im Pongau	22
Abb. 5: Zeitreihe Obermühl (1976 – 2002)	24
Abb. 6: Hochwasserhäufigkeit Obermühl	24
Abb. 7: Zeitreihe Haid (1976 – 2002)	26
Abb. 8: Hochwasserhäufigkeit Haid	26
Abb. 9: Zeitreihe Sturmmühle (1961 – 2002)	28
Abb. 10: Hochwasserhäufigkeit Sturmmühle	28
Abb. 11: Zeitreihe Neubruck (1951 – 2002)	30
Abb. 12: Hochwasserhäufigkeit Neubruck	30
Abb. 13: Zeitreihe Peutenburg (1978 – 2002)	32
Abb. 14: Hochwasserhäufigkeit Peutenburg	32
Abb. 15: Zeitreihe Oberleinsitz (1982 – 2004)	34
Abb. 16: Hochwasserhäufigkeit Oberleinsitz	34
Abb. 17: Zeitreihe Villach (1951 – 2081)	36
Abb. 18: Hochwasserhäufigkeit Villach	36
Abb. 19: Zusammenhang zwischen Variationskoeffizient und Schiefe	38
Abb. 20: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000 ohne Grossereignisse	48
Abb. 21: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000 mit 2 Grossereignissen	48
Abb. 22: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000 mit 1 Grossereigniss	48
Abb. 23: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Sausteinaste	49
Abb. 24: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Villach	49
Abb. 25: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Oberleinsitz	50
Abb. 26: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Haid	50
Abb. 27: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Sturmmühle	50
Abb. 28: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Altenmarkt im Pongau	51
Abb. 29: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Obermühl	51

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Abb. 30: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Neubruck	52
Abb. 31: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Peutenburg	52 53
Abb. 32: $H_q(A_E)$ Diagramm	55
Abb. 33: Abflussbeiwerte	57
Abb. 34: Jahresabflusshöhe	58
Abb. 35: h_A – Abflussbeiwerte	58
Abb. 36: h_A – c_V	58
Abb. 37: c_V – Abflussbeiwerte	68
Abb. A.1: Verteilungsfunktion und Vertrauensbereiche	70
Abb. A.2: Fraktile z_α der Standardnormalverteilung	79
Abb. A.4.1: Durchfluss Neubruck	79
Abb. A.4.2: Mittlerer Abfluss Neubruck	80
Abb. A.4.3: Abflusshöhe Neubruck	80
Abb. A.4.4: Durchfluss Obermühl	80
Abb. A.4.5: Mittlerer Abfluss Obermühl	81
Abb. A.4.6: Abflusshöhe Obermühl	81
Abb. A.4.7: Durchfluss Altenmarkt im Pongau	81
Abb. A.4.8: Mittlerer Abfluss Altenmarkt im Pongau	82
Abb. A.4.9: Abflusshöhe Altenmarkt im Pongau	82
Abb. A.4.10: Durchfluss Sturmmühle	82
Abb. A.4.11: Mittlerer Abfluss Sturmmühle	83
Abb. A.4.12: Abflusshöhe Sturmmühle	83
Abb. A.4.13: Durchfluss Haid	83
Abb. A.4.14: Mittlerer Abfluss Haid	84
Abb. A.4.15: Abflusshöhe Haid	84
Abb. A.4.16: Durchfluss Altenmarkt im Pongau	84
Abb. A.4.17: Mittlerer Abfluss Altenmarkt im Pongau	85
Abb. A.4.18: Abflusshöhe Altenmarkt im Pongau	85
Abb. A.4.19: Durchfluss Oberleinsitz	85
Abb. A.4.20: Mittlerer Abfluss Oberleinsitz	86
Abb. A.4.21: Abflusshöhe Oberleinsitz	86
Abb. A.4.22: Durchfluss Sausteinaste	86
Abb. A.4.23: Mittlerer Abfluss Sausteinaste	87
Abb. A.4.24: Abflusshöhe Sausteinaste	87
Abb. A.4.25: Durchfluss Villach	87
Abb. A.4.26: Mittlerer Abfluss Villach	87
Abb. A.4.27: Abflusshöhe Villach	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pegel (EZG)	16
Tabelle 2: Koordinaten der Station Sausteinaste	18
Tabelle 3: Daten der Station Sausteinaste	18
Tabelle 4: HQ_n – Schätzwerte Sausteinaste	19
Tabelle 5: Koordinaten der Station Altenmarkt im Pongau	21
Tabelle 6: Daten der Station Altenmarkt im Pongau	21
Tabelle 7: HQ_n – Schätzwerte Altenmarkt im Pongau	21
Tabelle 8: Koordinaten der Station Obermühl	23
Tabelle 9: Daten der Station Obermühl	23
Tabelle 10: HQ_n – Schätzwerte Obermühl	23
Tabelle 11: Koordinaten der Station Haid	25
Tabelle 12: Daten der Station Haid	25
Tabelle 13: HQ_n – Schätzwerte Haid	25
Tabelle 14: Koordinaten der Station Sturmmühle	27
Tabelle 15: Daten der Station Sturmmühle	27
Tabelle 16: HQ_n – Schätzwerte Sturmmühle	27
Tabelle 17: Koordinaten der Station Neubruck	29
Tabelle 18: Daten der Station Neubruck	29
Tabelle 19: HQ_n – Schätzwerte Neubruck	29
Tabelle 20: Koordinaten der Station Peutenburg	31
Tabelle 21: Daten der Station Peutenburg	31
Tabelle 22: HQ_n – Schätzwerte Peutenburg	31
Tabelle 23: Koordinaten der Station Oberlainsitz	33
Tabelle 24: Daten der Station Oberlainsitz	33
Tabelle 25: HQ_n – Schätzwerte Oberlainsitz	33
Tabelle 26: Koordinaten der Station Villach	35
Tabelle 27: Daten der Station Villach	35
Tabelle 28: HQ_n – Schätzwerte Villach	35
Tabelle 29: Parameterwerte der Pegel	40
Tabelle 30: HQ_n – Schätzwerte	40
Tabelle 31: Unschärfe	41
Tabelle 32: Vertrauensbereiche	42
Tabelle 33: Jährlichkeiten des grössten Grossereignisses für Pegel mit 1 Grossereignis	43
Tabelle 34: Jährlichkeiten des grössten und des zweitgrössten Grossereignisses für Pegel mit 2 Grossereignissen	44
Tabelle 35: HQ^m Werte	45
Tabelle 36: Relativzahlen HQ^1/HQ^m	46
Tabelle 37: Relativzahlen HQ_n/HQ_{10}	47
Tabelle 38: Abflusspenden	53

1. Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden Stichproben von 9 Pegeln in verschiedenen österreichischen Einzugsgebieten auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern untersucht, die nach der Anzahl der Grossereignissen in der Stichprobe gruppiert werden (Pegel mit 1 Grossereigniss, Pegel mit 2 Grossereignissen und Pegel ohne Grossereignisse).

Durch die Methode der Hochwasserstatistik werden die Grössen der seltenen und damit sehr grossen Hochwasserereignissen (HQ_{100} , HQ_{300} , HQ_{1000}) ermittelt, wobei es festgestellt wurde, dass die Grossereignisse die Parameterwerte der Stichprobe - Schiefe und Variationskoeffizient vergrössern.

Die Ergebnisse werden nach zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel-Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung) verglichen. Die allgemeine Extremwertverteilung reagiert steiler auf Grossereignisse und ergibt höhere Werten im Extrapolationsbereich.

Durch Relativzahlen wird eine Einschätzung der Grossereignisse und eine Untersuchung auf Ausreisser gemacht. Die Hochwässer der Pegel mit einem Grossereignis (Sturmmühle, Haid, Oberleinsitz) werden als Ausreisser erkannt. Die Pegel werden auch in Bezug auf die Prozesse ihrer Einzugsgebiete ausgewertet und es wurde bestätigt, dass die Hochwässer bei den Pegel mit einem Grossereignis Ausreisser sind. Die Pegel ohne Grossereignisse zeigen mittels ihrer Abflussbeiwerte und Abflusshöhe, dass ein Auftreten von Hochwasser möglich ist. Die Pegel mit zwei Grossereignissen (Sausteinaste und Villach) sind regenreiche Gebiete.

1. Abstract

Under this thesis are investigated samples from 9 stations in different Austrian catchments of determinative floods. Through the method of flood statistics are determined the sizes of the rare and maximum flood peaks (HQ_{100} , HQ_{300} , HQ_{1000}).

It is used the programm "Soft Flood". It was created as the software for flood frequency analysis at the Technical University - Vienna (Institute of Hydraulics, Hydrology and Water Management). The analysis of the calculations is based on the results of the statistical parameters that HQ_n - estimates and confidence intervals. The results are compared after two distribution functions (Gumbel distribution and General extreme value distribution).

It is made a subdivision of the stations in according to the number of floods and a characterization of the floods on relative numbers.

The floods are also investigated using flood regime of the catchments. Taking into account topographical, hydrogeological and climatological conditions is made a comparison of the 9 stations too.

2. Einleitung und Zielsetzung

Für die Untersuchung von Risikofragen im Hochwasserschutz ist die Kenntnis der Grösse seltener und damit sehr grosser Hochwasserereignisse (HQ_{100} , HQ_{300} , HQ_{1000}) erforderlich. Bei der Ermittlung der entsprechenden Schätzwerte auf Basis der üblichen Methodik der Hochwasserstatistik können grosse Unsicherheiten auftreten, weil über den durch Beobachtungen belegten Wertebereich hinaus extrapoliert werden muss.

Eine wesentliche Einflussgrösse ist dabei die Aussagekraft der zur Verfügung stehenden Beobachtungsdaten. In der Regel sind dies Reihen von Jahreshöchstwerten der Hochwässer aus einem Zeitabschnitt von etwa 30 bis 50 Jahren zumeist von heute zurück reichend in die Vergangenheit. Wie Untersuchungen gezeigt haben, kann das Auftreten von einem einzigen oder von mehreren grossen Hochwässern („Gross – Ereignisse“) in einem solchen Zeitraum sehr stark die rechnerisch ermittelten Schätzwerte beeinflussen. Wie stark dieser Einfluss ist, ist aber noch wenig untersucht. Eine entsprechende Untersuchung wird im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt.

Es ist zu beurteilen auch die statistische Aussage, die grundsätzlich mit Unsicherheit behaftet ist. Dies zeigt sich bei der Berechnung eines HQ_n z.B. darin, daß der erhaltene Wert je nach verwendeter Stichprobe verschieden groß ist. Geht man gedanklich dazu über, daß beliebig viele Stichproben untersucht werden können, so würde man auch beliebig viele Schätzwerte für das HQ_n erhalten. Deshalb wird auch HQ_n als Zufallsvariable betrachtet, deren Variabilität in einer Dichtefunktion (sog. Querverteilung) Ausdruck findet.

Diese Umstände sind bei der Ermittlung des Bemessungshochwassers zu berücksichtigen. Hinweise dazu enthält die Richtlinie DVWK(1999).

Alle Untersuchungen und Berechnungen werden mit dem Programm „Soft Flood“ – Software for Flood Frequency Analysis durchgeführt, das an der Technische Universität – Wien im Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft erarbeitet wurde. Die notwendigen statistischen theoretischen Grundlagen, mit denen das Programm arbeitet, sind in Anhang I beschrieben. Die Durchführung der statistischen Berechnungen erfolgt unter Beachtung der Anleitung der DVWK. (Details zu den Berechnungen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, werden in Anhang I wieder gegeben).

Der erste Abschnitt dieser Diplomarbeit beinhaltet die Vorgehensweise bei der HW- Statistik zur Ermittlung des n-jährlichen Hochwassers ($n = 50, 100, 300, 1000$) und die Methoden zur Beurteilung des Grossereignisses. Es wird auch eine Charakterisierung der Gebiete in Bezug auf ihre regionalen Eigenschaften (Topographie, Hydrogeologie, Klimatologie) gemacht, die ein anderes Merkmal über das Auftreten der Extreme sind. Dies soll die Basis dazu bilden einen Bezug zwischen den Auftreten von Grossereignissen in kurzen Reihen und dem Hochwasserregime neuzustellen.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Im zweiten Abschnitt werden die 9 Pegel und die Grösse und die Lage ihrer Einzugsgebiete in Österreich vorgestellt.

Im dritten Abschnitt werden die vor Hochwasserereignissen der Jahreshochwässer der 9 Pegel anhand der Ergebnisse für die statistischen Parameter, die HQ_n - Schätzwerte und die Vertrauensbereiche ausgewertet und diskutiert. Die Ergebnisse werden nach zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel-Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung) verglichen. Die Pegel werden je nach Anzahl der Grossereignisse gruppiert. Die Grossereignisse werden auf Grösse und Zeitpunkt ihres Auftretens untersucht. Durch Einführung der Relativzahlen wird eine Klassifizierung der Grossereignisse in Hinblick auf Ausreisser versucht.

Im vierten Abschnitt werden die betrachteten Einzugsgebiete im Hinblick auf die Prozesse (Abflussbeiwerte, Saisonalität, Hydrogeologie, Niederschlag) verglichen.

3. Grundgedanken zur Vorgangsweise

3.1 Generelle Vorgangsweise bei der HQ_n - Ermittlung

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die generelle Vorgehensweise bei der HW-Statistik.

Sie umfasst die folgenden Punkte:

- Zusammenstellung des Datenkollektivs – Jahreshöchstwerte des Durchflusses - Jahresreihe
- Ermittlung der Empirischen Jährlichkeiten HQ_n mit n = 10, 50, 100, 300, 1000
- Wahl der Verteilungsfunktion - 2 verschiedene Verteilungsfunktionen:
Allgemeine Extremwertverteilung(GEV) und Gumbel Verteilung(GU)
- Ablesen der Jährlichkeit
- Beurteilen der Ergebnisse

3.2 Rolle der Stichprobeneigenschaften

Zur Charakterisierung der Eigenschaften einer Stichprobe können die ersten drei Momente der Hochwasserwahrscheinlichkeitsverteilung herangezogen werden. Sie ermöglichen eine quantitative Erfassung der Stichprobe; je nach Grösse der Parameterwerte nimmt die Funktion eine unterschiedliche Form an

→ **Mittelwert**

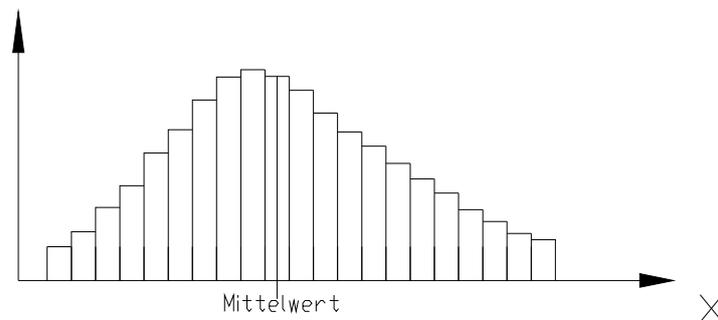


Abb.A: Mittelwert von histogrammierten Daten

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i$$

- zeigt die durchschnittliche Grösse der Stichprobenwerte
- besagt wie gross im Durchschnitt das grösste Hochwasser im Jahr ist

→ **Variationskoeffizient**

$$CV_x = \frac{s_x}{\bar{x}}$$

- lässt das Streuverhalten der Stichprobe unabhängig von der Grösse der Mittelwertes beurteilen
- besagt wie unterschiedlich die Hochwässer von Jahr zu Jahr sind

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Die beiden Momente kennzeichnen das Hochwasserregime und dessen räumliche Verteilung. Aus diesen Momenten und aus der Schiefe lassen sich auch unter Annahme bestimmten Verteilungsfunktionen (Gumbel, GEV) Hochwasserdurchflüsse einer bestimmten Jährlichkeit ($n = 10, 50, 100, 300, 1000$) berechnen.

→ **Schiefe**

- eine Stichprobe wird als schief bezeichnet, wenn ihr Mittelwert vom Modus abweicht

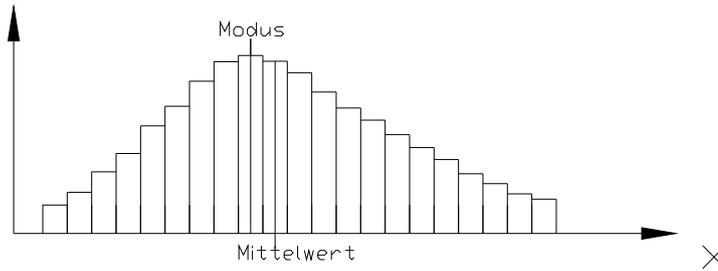


Abb.B: Schiefe der Stichprobe

- in Abhängigkeit von der Verteilungsfunktion ergibt sich eine gewisse Flexibilität bei der Anpassung an gegebene Beobachtungen

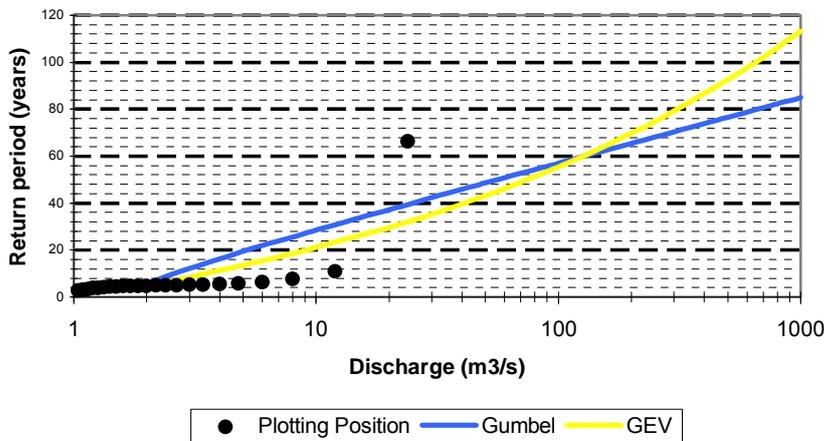


Abb.C: Hochwasserhäufigkeit

- Gumbel – $\gamma = 1,14$ – schwach auf extrem grosse Beobachtungswerte reagieren

- GEV – steiler auf Ausreisser reagieren

→ Wahl des Typs der Verteilungsfunktion – starker Einfluss auf das Verhalten im Extrapolationsbereich (siehe Abb.C).

3.3 Definition eines Grossereignisses

Für Grossereignisse gibt es keine generelle Definition. Im Sinne der für diese Untersuchung gewählten Fragestellung, wird unter einem „Grossereignis“ ein

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Hochwasserereigniss verstanden, das deutlich grösser ist als die anderen aufgetretenen Ereignisse.

3.3.1 Visuelle Einschätzung

Graphische Veranschaulichung der Stichprobe

→ Histogramm

- erfasst die „Verteilung“ des HQ über den Beobachtungsbereich
- durch grösste HQ Beobachtungen beschränkt → Extrapolation in den Bereich extremer Hochwerte nicht möglich

→ Dichtefunktion

- Die Dichtefunktion erlaubt eine Extrapolation in Bereich extremer Hochwässer

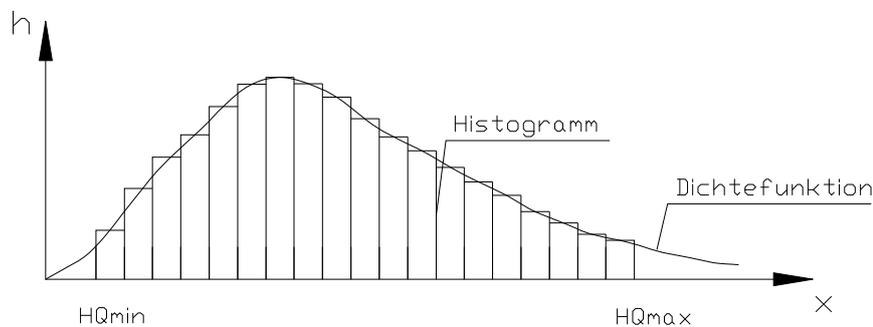


Abb.D: Histogramm und Dichtefunktion

h – Häufigkeit

x – Hochwasserereignisse

- Das Auftreten grösserer Werte ist unwahrscheinlicher als das Auftreten kleinerer Werte

→ Verteilungsfunktion

- weitere Darstellungsform der Wahrscheinlichkeitsverteilung

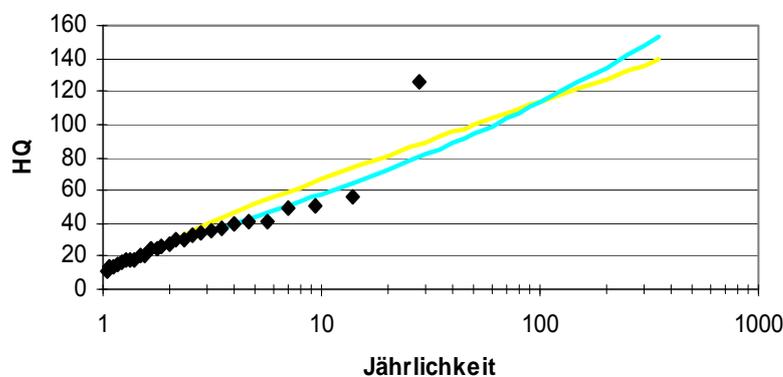


Abb.E: Verteilungsfunktionen

- Der Grossereignis liegt deutlich höher über den zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel und GEV).

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

- Eine objektive Beurteilung des Ergebnisses kann im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Verteilungsfunktionen erfolgen und in der Folge über genauere Untersuchungen über die Zusammensetzung der Stichprobe und das Entstehen von Grossereignissen.

3.3.2 Quantifizierung über Relativzahlen

- Ein quantitatives Kriterium zur Untersuchung von Grossereignissen können

→ Relativzahlen „seltener“ Ereignisse – $\frac{HQ_{100}}{HQ_{10}}$; $\frac{HQ_{300}}{HQ_{10}}$; $\frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}}$

bilden (Evtimova, 2007). Dabei werden einerseits die Werte für die sehr seltenen Hochwässer ($n = 100, 300, 1000$ z.B.) und andererseits die Werte der Grossereignisse der Stichproben auf einen Referenzwert bezogen. Einen solchen kann z.B. das HQ_{10} bilden. HQ_{10} -Werte lassen sich relativ zuverlässig auch aus kleineren Stichproben ermitteln.

Zur Entscheidung über Ausreisser kann auch das Verhältnis zwischen dem höchsten Wert einer Stichprobe (HQ^1) und den nächst grössten Werten untersucht werden (Evtomiva, 2007):

→ Entscheidung über Ausreisser – um wie viel grösser ist ein Wert im Vergleich mit einem Referenzwert, z.B:

- $HQ^1/HQ^m < 1.5$
- $1.5 < HQ^1/HQ^m < 2$
- $HQ^1/HQ^m > 2$

wobei $m = 2, 3, 4, 5$ entsprechend dem Rang der Ereignisse in der Stichprobe einzusetzen ist.

3.3.3 Prozesse Einzugsgebietsbezug

Zusatzinformation über das Hochwasserverhalten zur Beurteilung der Grossereignisse:

→ Information über die verschiedenen Gebiete (siehe 4.)

→ Analyse der Prozesse der Hochwasserentstehung – als Merkmale können herangezogen werden:

- Topographie – Wald, Kulturfläche, Alpines Gebiet, Gletscher
- Bodenübersicht – Gebirgsregionen, Hügelländer, Ebenen und Täler
- Bodenbedeckung – dicht bebaute-, locker bebaute Siedlungsflächen; Acker-, Grünland; Nadel-, Laub- und Mischwälder; Glätscher; Vegetationsarmeflächen; Feuchtflächen

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

- Dauer von Trockenperioden – in Bezug auf Jahreszeit
- Extreme Mehrtagesniederschläge – zwei, drei, vier oder sechs Tage (Augusthochwasser 2002)
(Schneehöhe und Schneebedeckung – Winterdecken, Schneehöhe, Schneedecke
(Gewässernetzdichte – Mass für das Verhältnis von Oberflächenabfluss zu Gerinneabfluss
- Hydrogeologie – Porengrundwasserleiter, Verkarstungsfähige Grundwasserleiter, Poren-, Kluft-, Karstgrundwasserleiter mit lokalen und begrenzten Grundwasservorkommen

Informationen zu diesen Punkten können den Karten und Texten zu den entsprechenden Kartenblättern des Hydrologischen Atlas von Österreich (HAÖ) entnommen werden.

Einen Anhaltspunkt für die möglichen Unterschiede zwischen Gebieten in Österreich liefert die Bearbeitung für das Projekt HORA (Merz R., Blöschl G., Humer G.). Darin wird Österreich unter Berücksichtigung topographischer, hydrogeologischer und klimatologischer Verhältnisse in 28 Teilregionen unterteilt.

Die erhaltenen Informationen können bei der Beurteilung der Abflusspenden der Grossereignisse in Abflusspendendiagrammen und bei der regionalen Einschätzung durch Vergleich der verschiedenen Pegel herangezogen werden.

3.3.4 Meteorologische Situation – Niederschlagsstruktur

Räumliche Verteilung der neun Pegel in Bezug auf verschiedene hydrologische Grössen

- Niederschlag – auslösender Faktor für Hochwasserereignisse
→ Grösse, Verteilung, Auftreten vom Extrema (HAÖ Karten)
- Saisonalität
→ Monatsniederschläge – in ganze Österreich höchsten Monatssummen im Sommer (HAÖ Karten 5.3)

→ Monatsabflüsse – Schneespeicherung im Winter, Schneeschmelze im Frühjahr; Auftreten maximaler Abflüsse, entsprechend der Höhenlage (Bsp. Schneeschmelze im Alpenvorland → Maxima des Monatsabflusses im April).
→ Maximale jährliche Tagesniederschläge – Extremwerte in den meisten Teilen Österreichs - Juli/August (HAÖ Karten 5.3).
→ Jahreshöchstwasser – die räumliche Unterschiede führen zu unterschiedliche Abflussbildungsprozesse je nach Einzugsgebiet und Wettersituation (Bsp. Im Waldviertel – Hochwässer im April bis Juni) (HAÖ Karten 5.3).

Die Analyse der Saisonalität erlaubt wertvolle Aufschlüsse über die wirksamen hydrologischen Prozesse. Eine Häufung der Niederschlagssummen im Sommer

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

bzw. Herbst lässt auf vorherrschende Strömungsbedingungen schliessen (Lage und Zugrichtung der Tiefdruckgebiete – Atlantik/Mittelmeer). (HAÖ 5.3)

Extremwerte

- Sommerhochwässer
- Winterhochwässer
- Schneeschmelzehochwässer

3.4 Ausreisser

Zuverlässigkeit der Wert – ist bei einem beobachteten Kollektiv der Grösstwert wesentlich grösser als die anderen Werte, so sollte diesem Grösstwert nicht automatisch eine empirische Wahrscheinlichkeit (Plotting Position) zugewiesen werden

- Vergleich mit regionalen Hochwasserdaten – regionale Spendendiagramme
- Vergleich mit Niederschlag – aufgrund der Entstehungsmechanismen: Hochwässer zufolge längerer Niederschläge, kürzerer Niederschläge, Gewitter, Regen auf Schnee, Schneeschmelzhochwässer
- Kontrolle des Durchflusswertes (DVWK)

Oberleinsitz - Leinsitz
Stationid: 206037 Area (km²): 87.60

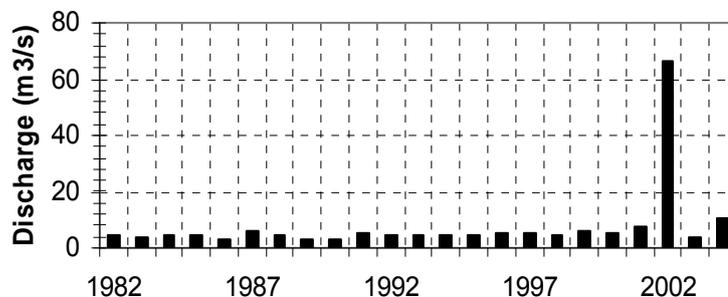


Abb.F: Zeitreihe mit Ausreisser

Bsp.: Oberleinsitz (Leinsitz) - Hochwasser 2002 infolge langer Niederschlag (Abb. im P. 5.1.8)

- Ausreisser bewirkt deutlich grössere mittlere Hochwasserspenden und viel grössere Variationskoeffizienten als das gleiche Kollektiv ohne Ausreisser

4. Untersuchte Pegel

- Es werden 9 Pegel aus verschiedenen Flussgebieten in Österreich untersucht

Lage der Pegel (EZG) bezogen auf das österreichische Einzugsgebiet



Pegel	Pegelnummer	Einzugsgebiet	Einzugsgebietsgrösse [km ²]	Höhe [m.ü.A]
Sausteinaste	201715	Zemmbach	225	909.54
Altenmarkt im Pongau	203711	Enns	134.5	838.96
Obermühl	204883	Kleine Mühl	199.2	284.08
Sturmmühle	206037	Klambach	87.6	231.56
Haid	206029	Naarn	303.1	233.54
Neubruck	207787	Jessnitz	32.2	352.92
Peutenburg	209213	Grosse Erlauf	269.3	355.30
Oberleinsitz	209494	Leinsitz	81.1	621.52
Villach	212571	Drau	5266.4	485.53

Tabelle 1: Pegel (EZG)

(Hydrologischer Atlas Österreich)

Österreich ist in drei Teilen in bezug auf Landschaftsformen unterteilt (Gebirge, Hügelland und Ebene).

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Die Bedeckung der Bodenoberfläche ist eine wichtige Einflussgrösse für den Ablauf hydrologischer Prozesse. Als Produkt von klimatischen, geologischen, morphologischen und anthropogene Bedingungen bestimmt sie, auf welche Weise Niederschlag dem hydrologische Kreislauf zur Verfügung steht.

Die Bodenbedeckung Österreichs wird deutlich von Wäldern dominiert.

Sausteinaste und Altenmarkt im Pongau sind Pegel von Einzugsgebieten der Österreichs Gebirge. Zemmbach liegt in Zentrale Ostalpen und Enns - in Nördliche Ostalpen.

Die Österreichischen Zentralalpen bilden den Alpenhauptkamm der Ostalpen in Österreich. Sie weisen die höchsten Gipfel auf und sind am stärksten vergletschert. Der Zemmbach entsteht aus mehreren Gletscherbächen.

Beide sind Feuchtgebiete, Niederschlag fällt infolge der grossen Seehöhe im überwiegenden Teil in Form von Schnee. Für den Wasserkreislauf hat der Schnee eine besondere Bedeutung, da der gefallene Niederschlag gespeichert wird und erst zu einem späteren – unter Umständen niederschlagfreien Zeitpunkt schmilzt und zum Abfluss beiträgt.

Die Einzugsgebieten von Obermühl, Oberleinsitz, Sturmmühle und Haid liegen im Hügelland, nördlich der Donau. Diese Waldstandorte werden heute vorwiegend landwirtschaftlich genutzt.

Das Mühlviertel liegt als einziges Viertel Oberösterreichs nördlich der Donau. Das Waldviertel ist der nordwestliche Teil des österreichischen Bundeslandes Niederösterreich.

Typische Böden dieser Landschaft sind geringmächtige, verbrauchte und zum Teil durch Niederschläge und chemische Prozesse podsolierten Braunerden entstanden auf sauren kalkfreien Ausgangsgestein.

Die mittleren Jahressummen der Niederschläge betragen nur zwischen 500 mm bis 600 mm. Der Schnee liegt im Normalwinter maximal 30 cm hoch.

Villach ist ein Pegel in Einzugsgebiet von Drau in Südöstliche Voralpen. Das ist das Grösste von betrachteten Einzugsgebieten. In Bezug auf Topographie ist das ein Waldgebiet. Die mittlere maximale Schneehöhe beträgt 100 – 250 cm.

Neubruck und Peutenburg befinden sich in Niederösterreich. Das sind Wald und Kulturflächen mit Laub- und Mischwälder.

Der durchschnittliche Niederschlag liegt in diesem Region bei 1144 mm.

In Bezug auf Hydrogeologie sind dort Verkarstungsfähige Grundwasserleiter - Kalksteine und Karbonatgestein.

5. Charakterisierung der Stichproben

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Stichproben von 9 Pegeln mit unterschiedlicher Hochwasserregime, insbesondere

- Ermittlung der Stichproben- Momente der Hochwasserschätzwerte nach zwei verschiedene Verteilungsfunktionen
- Untersuchung auf Grossereignisse
- Unterscheidung der Stichproben
- Relativzahlen als Indikator für das Extreme

Die Berechnungen umfassen:

- Zusammenstellung des Datenkollektivs
- Ermittlung der Empirischen Jährlichkeiten HQ_n mit $n = 10, 50, 100, 300, 1000$
- 2 verschiedene Verteilungsfunktionen:
Allgemeine Extremwertverteilung(GEV) und Gumbel Verteilung(GU)

5.1 Stichprobenmomente

5.1.1 Station Sausteinaste – Zemmbach

Einzugsgebiet: 225 km², Höhenlage: 909.54 m.

- Länge der Datenreihe - 47 Jahren – von 1956 bis 2002.
- 2 Extremereignisse in den Jahren 1956 und 1965

Tabelle 2: Koordinaten der Station Sausteinaste

	x	y
Koordinaten	284446.7	359336.7
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	281349.5	350505.1
Fernter Punkt	271020.0	348350.0

Tabelle 3: Daten der Station Sausteinaste

ID* der Flussabwärts Nachbarn	201749
Mittlere Fließlänge, m	14.07
Maximale Länge, m	24.50

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 40.7

Mittelwert: 58.87

Standardabweichung: 43.64

CV: 0.741

Schiefte: 2.05

Exzess: 0.167

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Tabelle 4: HQ_n – Schätzwerte

HQ_n	Gumbel	GEV
HQ_{10}	122.9	112.0
HQ_{50}	184.9	178.9
HQ_{100}	211.2	211.2
HQ_{300}	252.6	267.7
HQ_{1000}	297.9	338.0

Sausteinaste verzeichnet die grössten Seehöhe (909.54 m) der untersuchten Einzugsgebiete. Es ist ein Pegel mit einer relativ langen Jahresreihe (47 Jahre). Es treten zwei Grossereignisse in den Jahren 1956 und 1965 auf, die die ersten drei Momente (Median, Mittelwert, Standardabweichung) wesentlich beeinflussen. Die Schiefe ist mit einem Wert von 2.05 auch relativ gross, infolge der zwei Grossereignisse und kleinere Einzugsgebietsgrösse.

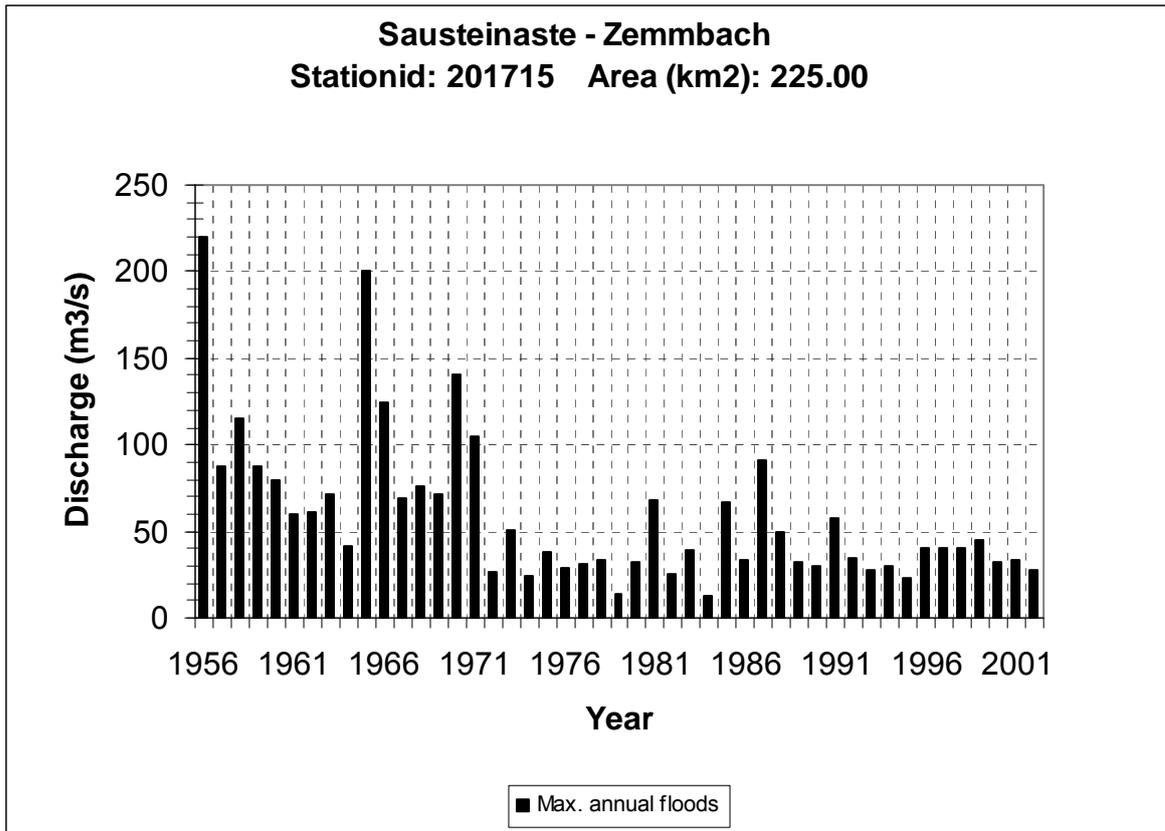


Abb.1 Zeitreihe Sausteinaste (1956 – 2002)

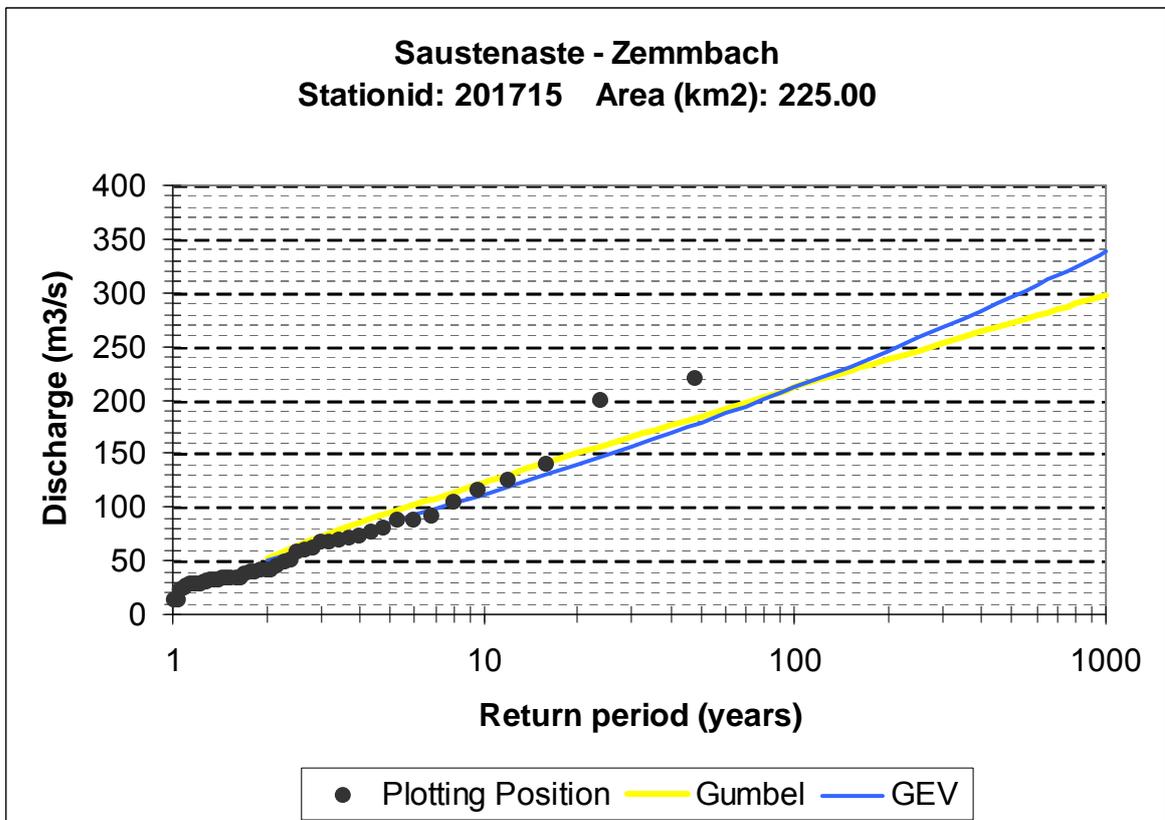


Abb.2 Hochwasserhäufigkeit Sausteinaste

5.1.2 Station Altenmarkt im Pongau – Enns

Einzugsgebiet: 134.5 km², Höhenlage: 838.96 m.

- Länge der Datenreihe - 42 Jahren – von 1961 bis 2002.
- keine Extremereignisse

Tabelle 5: Koordinaten der Station Altenmarkt im Pongau

	x	y
Koordinaten	406981.7	386977.3
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	404616.6	378271.5
Fernter Punkt	404020.0	367600.0

Tabelle 6: Daten der Station Altenmarkt im Pongau

ID* der Flussabwärts Nachbarn	203729
Mittlere Fließlänge, m	14.50
Maximale Länge, m	27.00

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 32.3

Mittelwert: 33.71

Standardabweichung: 10.16

CV: 0.301

Schiefe: 0.206

Exzess: 0.051

Tabelle 7: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	48.9	47.2
HQ ₅₀	63.6	55.6
HQ ₁₀₀	69.8	58.4
HQ ₃₀₀	79.6	61.9
HQ ₁₀₀₀	90.4	65.0

Dieser Pegel befindet sich wieder in einer grossen Seehöhe (838.96 m). Hier treten aber in der betrachteten Datenreihe keine Grossereignisse auf. Die Reihe ist homogen und an die Verteilungsfunktionen gut angepasst. Das ist der Pegel mit den kleinsten Schiefe und Standardabweichung. Dies ist ein Merkmal, dass die Hochwässer von Jahr zu Jahr keine grosse Unterschiede aufweisen. Auffallend ist jedoch das starke Abweichen der berechneten Verteilungsfunktionen im Extrapolationsbereich.

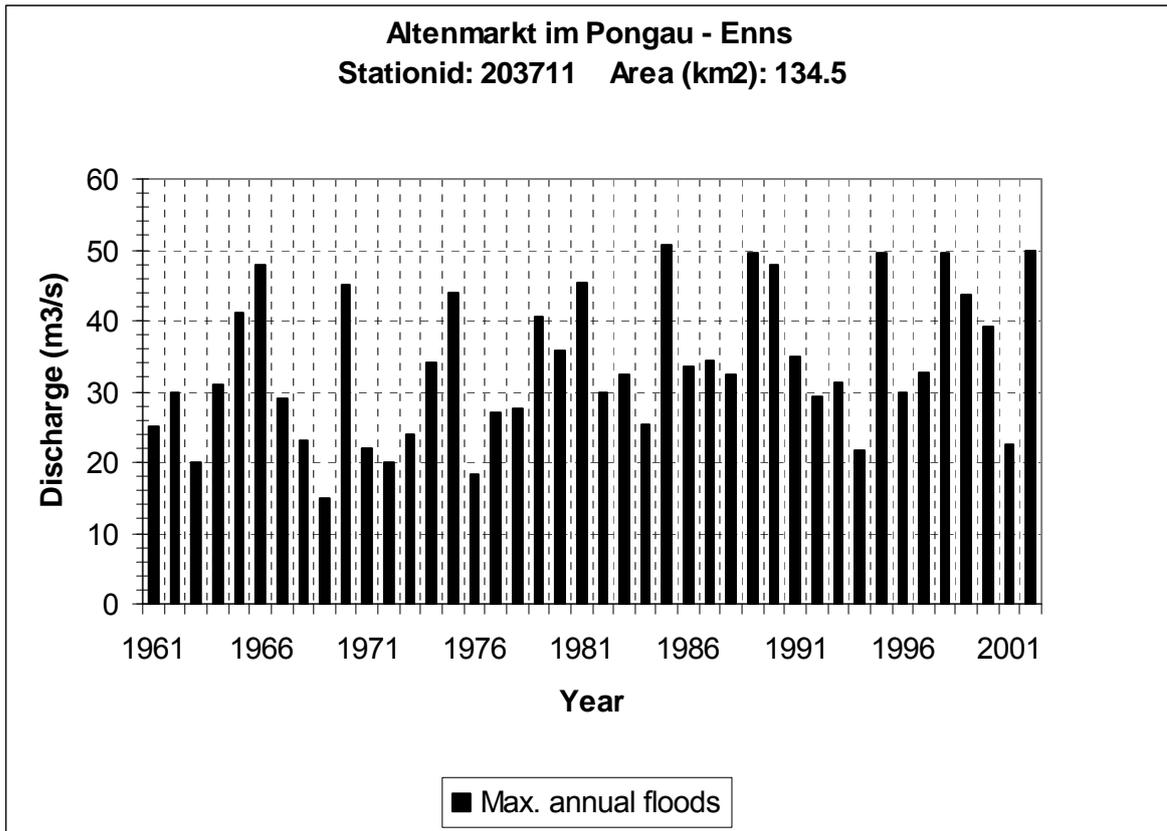


Abb.3 Zeitreihe Altenmarkt im Pongau (1961 – 2002)

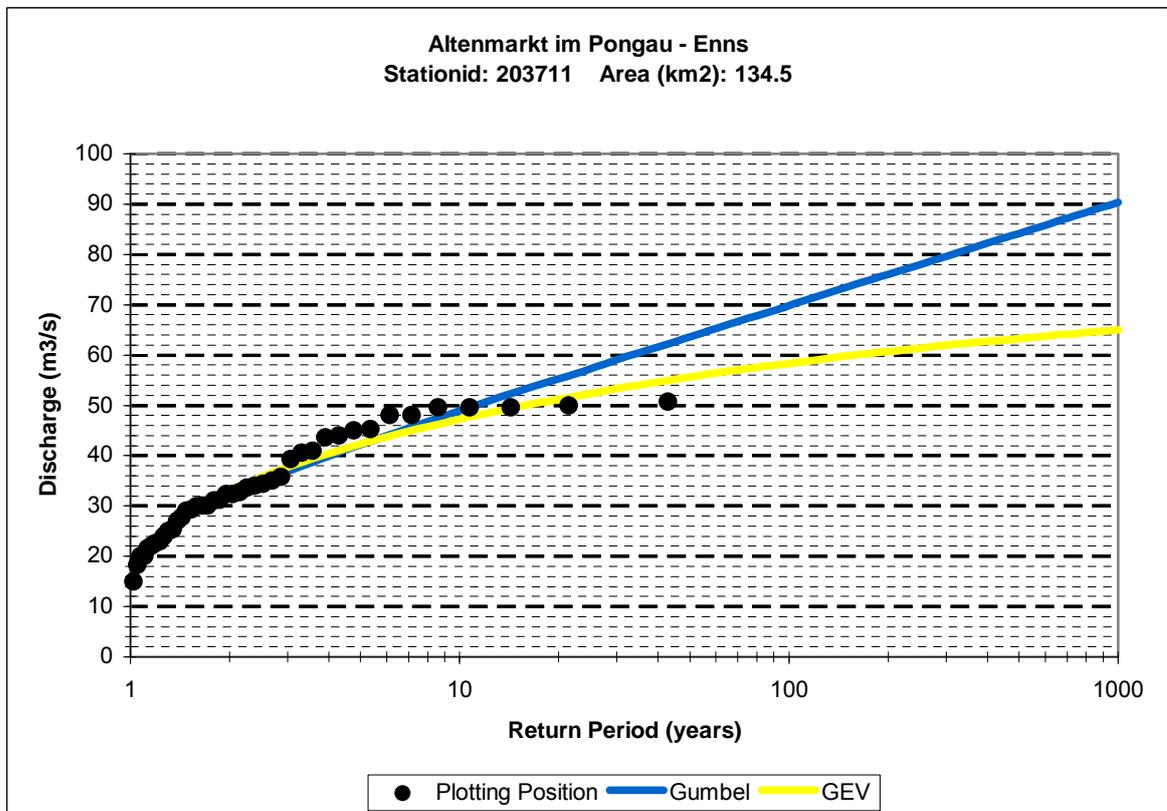


Abb.4 Hochwasserhäufigkeit - Sausteinaste

5.1.3 Station Obermühl – Kleine Mühl

Einzugsgebiet: 199.20 km², Höhenlage: 284.08 m.

- Länge der Datenreihe - 27 Jahren – von 1976 bis 2002.
- keine Extremereignisse

Tabelle 8: Koordinaten der Station Obermühl

	x	y
Koordinaten	443623.4	506617.2
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	442128.9	516950.7
Fernter Punkt	404020.0	367600.0

Tabelle 9: Daten der Station Obermühl

ID* der Flussabwärts Nachbarn	207035
Mittlere Fließlänge, m	-
Maximale Länge, m	-

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 42.7

Mittelwert: 44.00

Standardabweichung: 15.28

CV: 0.347

Schiefe: 0.590

Exzess: 0.122

Tabelle 10: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	67.6	64.4
HQ ₅₀	90.2	80.3
HQ ₁₀₀	99.8	86.3
HQ ₃₀₀	115.0	94.7
HQ ₁₀₀₀	131.5	102.8

Bei diesem Pegel gibt es zwei höheren Werten in den Jahren 1976 und 2001, die sich aber homogen verteilen und sich an die zwei Verteilungsfunktionen gut anpassen. Der mittleren Durchfluss ist relativ gross. Bei den ersten drei Momenten ist das wieder erkennbar. Median, Mittelwert und Standardabweichung haben relative hohe Werten.

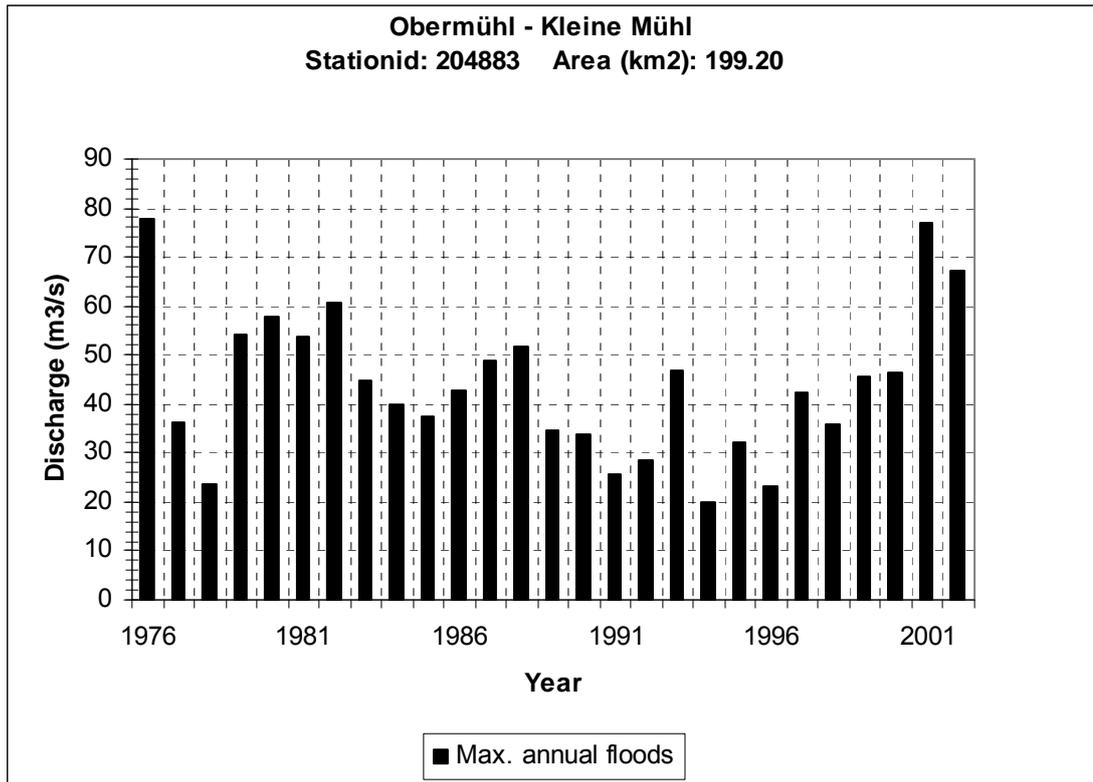


Abb.5 Zeitreihe Obermühl (1976 – 2002)

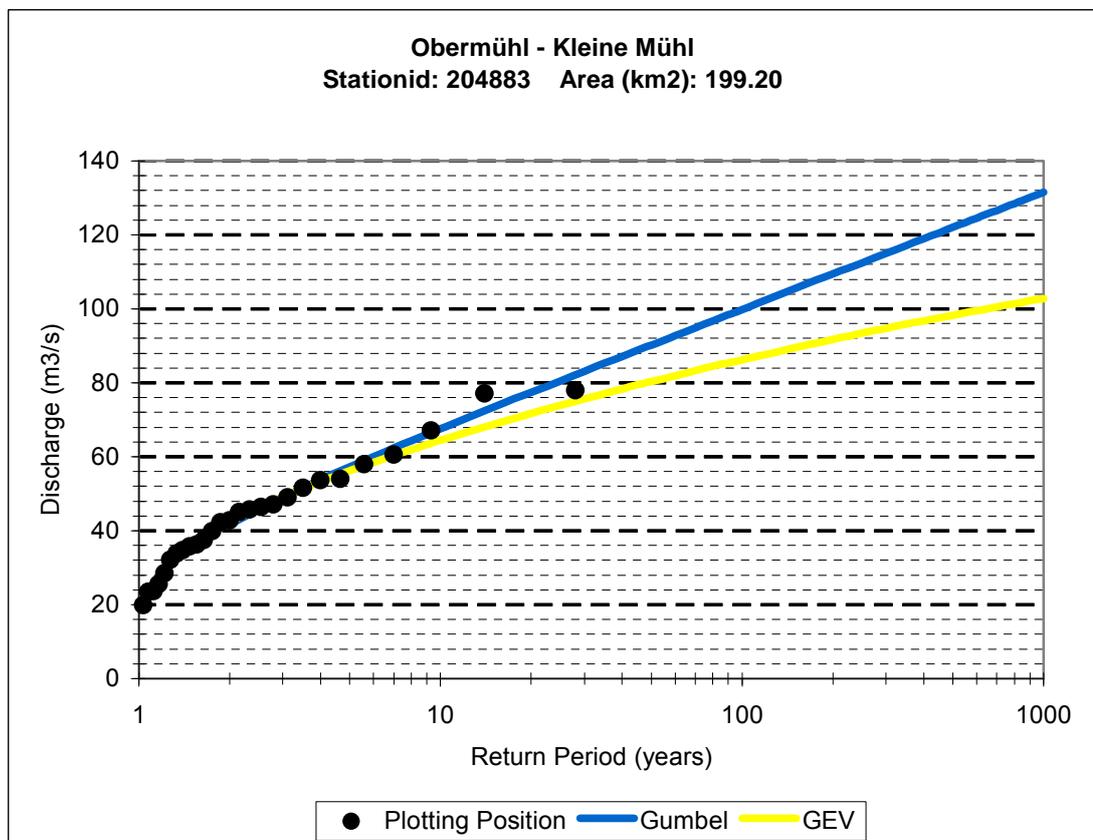


Abb.6 Hochwasserhäufigkeit - Obermühl

5.1.4 Station Haid – Naarn

Einzugsgebiet: 303.1 km², Höhenlage: 233.54 m.

- Länge der Datenreihe - 27 Jahren – von 1976 bis 2002.
- ein Extremereigniss im Jahre 2002

Tabelle 11: Koordinaten der Station Naarn

	x	y
Koordinaten	500354.3	479688.8
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	508063.3	499636.5
Fernter Punkt	512270.0	512850.0

Tabelle 12: Daten der Station Naarn

ID* der Flussabwärts Nachbarn	207126
Mittlere Fließlänge, m	31.54
Maximale Länge, m	49.37

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 27.5

Mittelwert: 32.21

Standardabweichung: 22.30

CV: 0.692

Schiefe: 2.97

Exzess: 0.539

Tabelle 13: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	66.6	57.7
HQ ₅₀	99.7	94.3
HQ ₁₀₀	113.7	113.3
HQ ₃₀₀	135.8	148.3
HQ ₁₀₀₀	159.9	195.2

Bei Naarn fällt das Grosereignis im 2002 ein. Der Pegel befindet sich in einem relativ grossen Einzugsgebiet (303.1). Haid und Obermühl haben eine gleiche Datenreihe. Im Vergleich zu Obermühl aber ist Haid mit einem kleineren mittleren Durchfluss in Bezug auf die Einzugsgebietsgrösse. Die Standardabweichung und die Schiefe sind hier infolge des Grossereignisses grösser als im Obermühl.

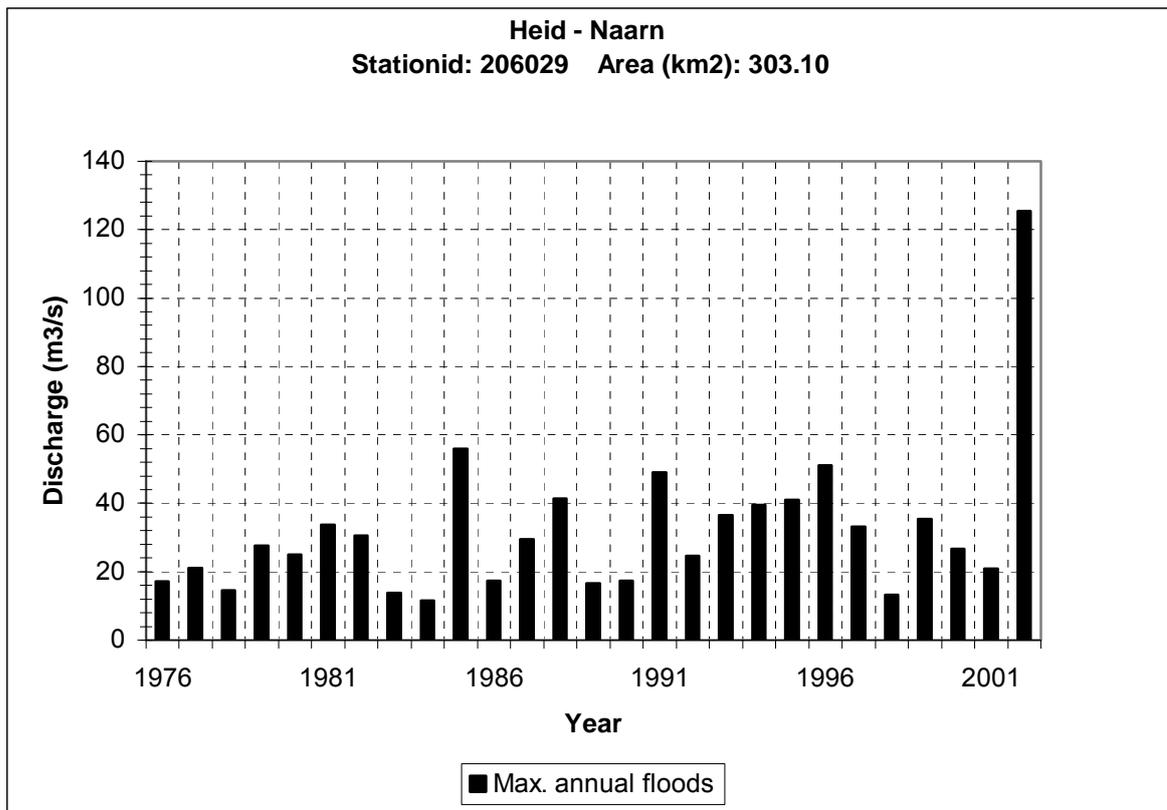


Abb.7 Zeitreihe Haid (1976 – 2002)

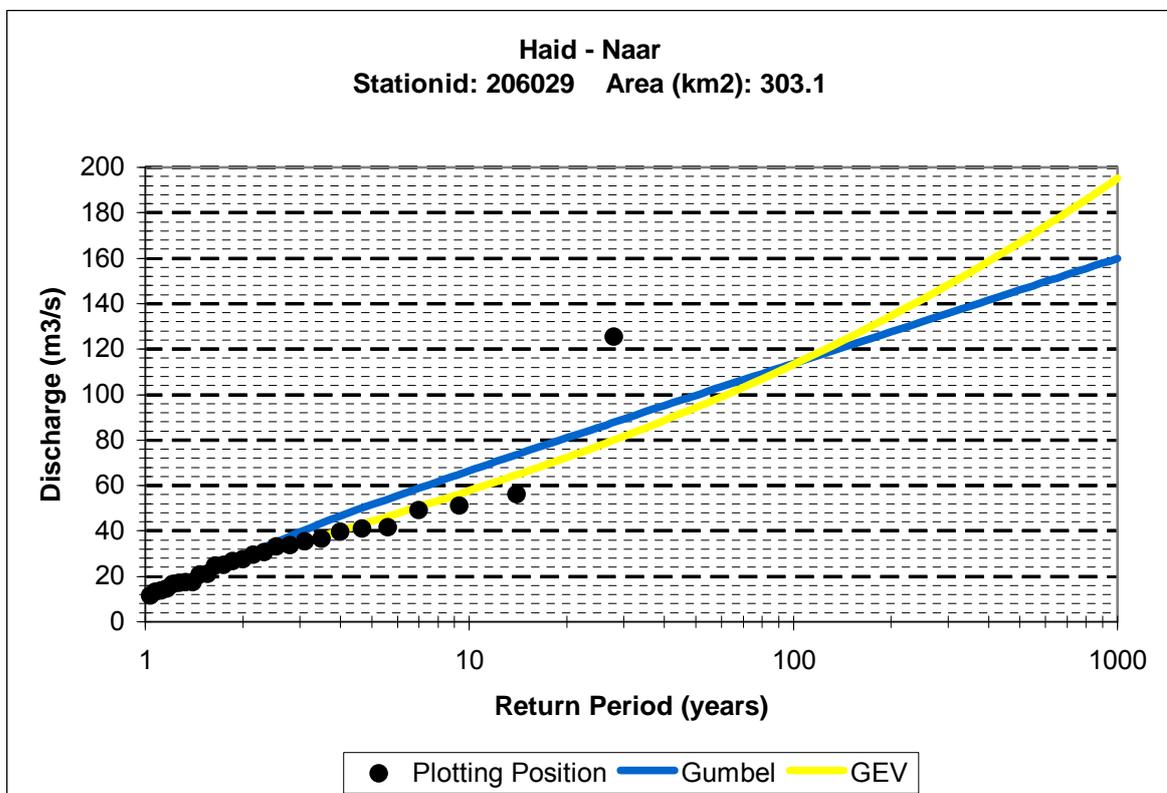


Abb.8 Hochwasserhäufigkeit - Haid

5.1.5 Station Sturmmühle – Klambach

Einzugsgebiet: 87.6 km², Höhenlage: 233.54 m.

- Länge der Datenreihe - 42 Jahren – von 1961 bis 2002.
- ein Extremereigniss im Jahre 2002

Tabelle 14: Koordinaten der Station Sturmmühle

	x	y
Koordinaten	507381.8	480278.4
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	507612.6	489395.7
Fernter Punkt	509270.0	495350.0

Tabelle 15: Daten der Station Sturmmühle

ID* der Flussabwärts Nachbarn	207126
Mittlere Fliesslänge, m	11.74
Maximale Länge, m	21.15

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 9.90

Mittelwert: 12.52

Standardabweichung: 10.77

CV: 0.860

Schiefe: 3.93

Exzess: 0.538

Tabelle 16: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	28.6	24.2
HQ ₅₀	44.2	42.4
HQ ₁₀₀	50.8	52.3
HQ ₃₀₀	61.2	71.2
HQ ₁₀₀₀	72.6	97.7

Das ist ein relativ kleineres Einzugsgebiets mit niedrigerer Höhenlage und kleinerem Durchfluss (Mittelwert: 12.52). Die Momente sind vom Grossereigniss 2002 beeinflusst. Das ist eine stark unhomogene Reihe, wobei die Schiefe relativ gross ist.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

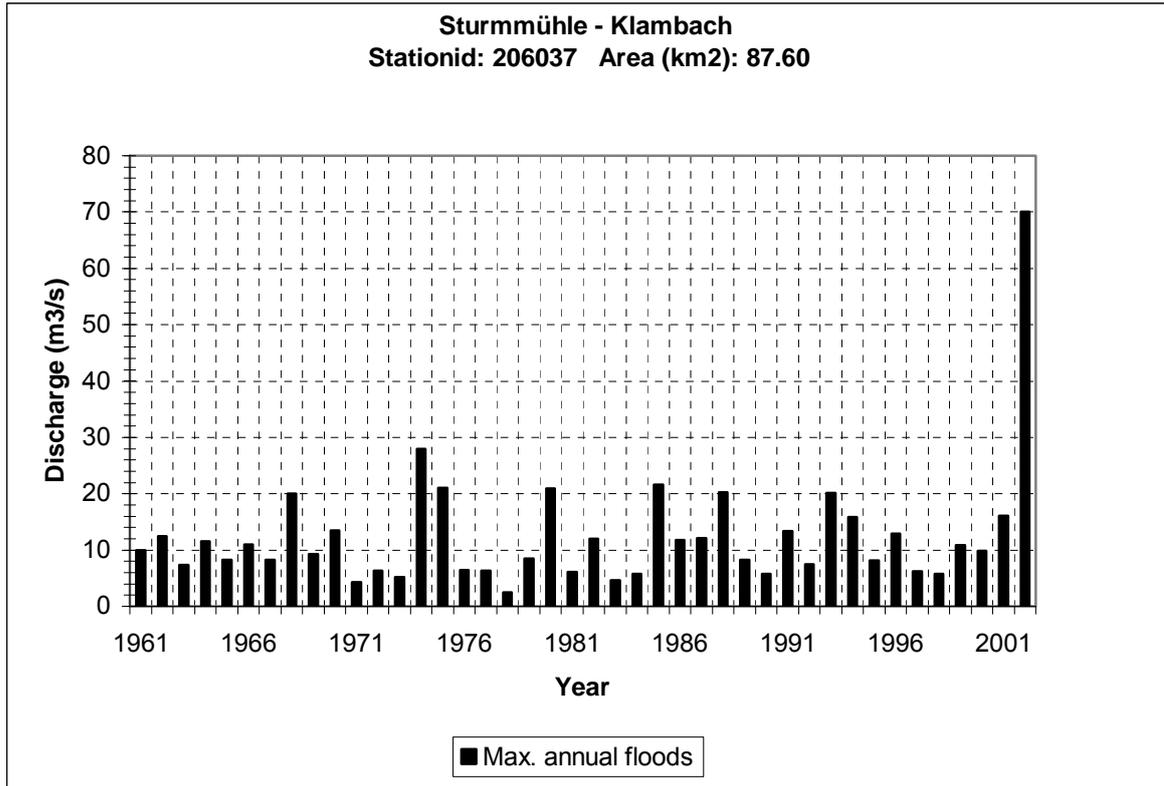


Abb.9 Zeitreihe Sturmmühle (1961 – 2002)

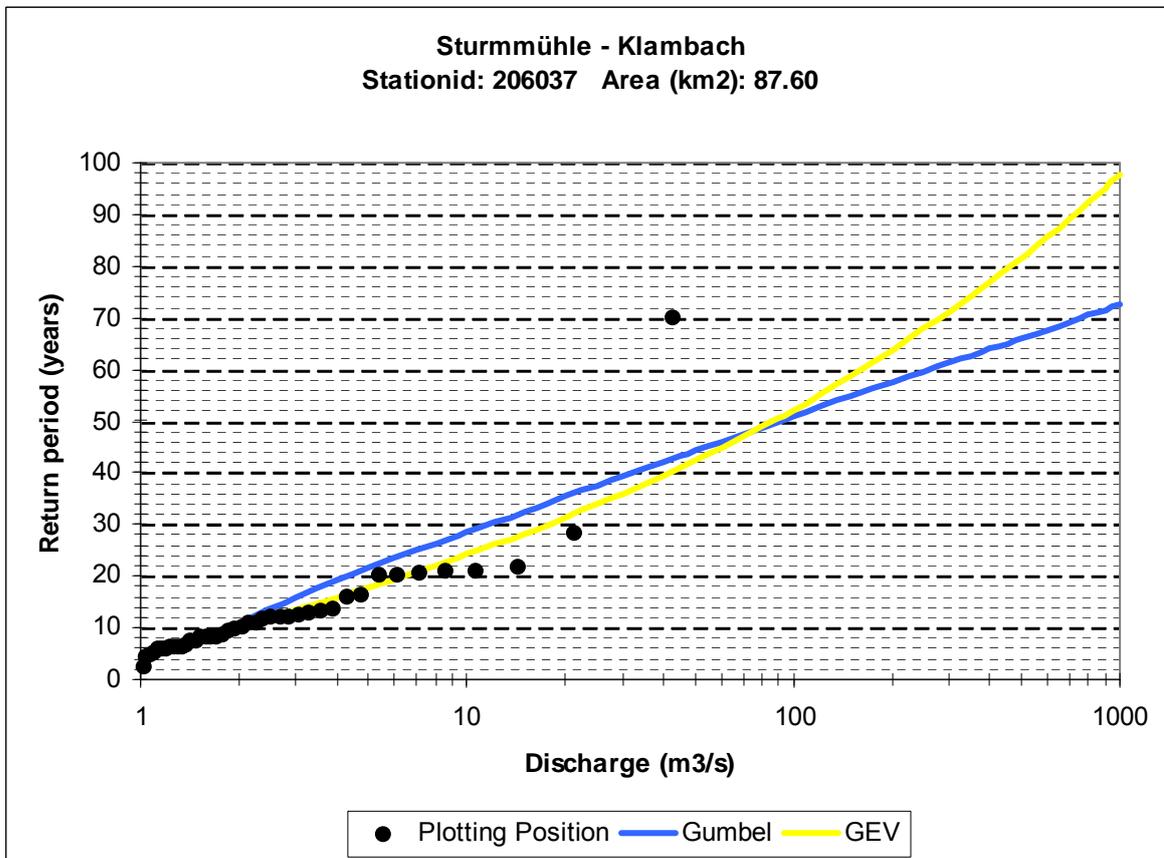


Abb.10 Hochwasserhäufigkeit - Sturmmühle

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

5.1.6 Station Neubruck – Jeßnitz

Einzugsgebiet: 32.2 km², Höhenlage: 352.92 m.

- Länge der Datenreihe- 52 Jahren – von 1951 bis 2002.
- keine Extremereignisse

Tabelle 17: Koordinaten der Station Neubruck

	x	y
Koordinaten	538612.9	454353.7
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	540908.4	452492.3
Fernter Punkt	543270.0	450600.0

Tabelle 18: Daten der Station Neubruck

ID* der Flussabwärts Nachbarn	207803
Mittlere Fliesslänge, m	5.04
Maximale Länge, m	8.70

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 12.32

Mittelwert: 14.28

Standardabweichung: 7.23

CV: 0.507

Schiefe: 1.068

Exzess: 0.0678

Tabelle 19: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	24.9	23.8
HQ ₅₀	35.2	32.7
HQ ₁₀₀	39.5	36.7
HQ ₃₀₀	46.4	42.6
HQ ₁₀₀₀	53.9	49.0

Das ist der Pegel mit der längsten Jahresreihe (52 Jahren). Die grosse Spenden hier mit kleineren Variationskoeffizienten und kleineren Schiefen verbunden. Bei der Verteilung sind keine Extremwerte zu sehen.

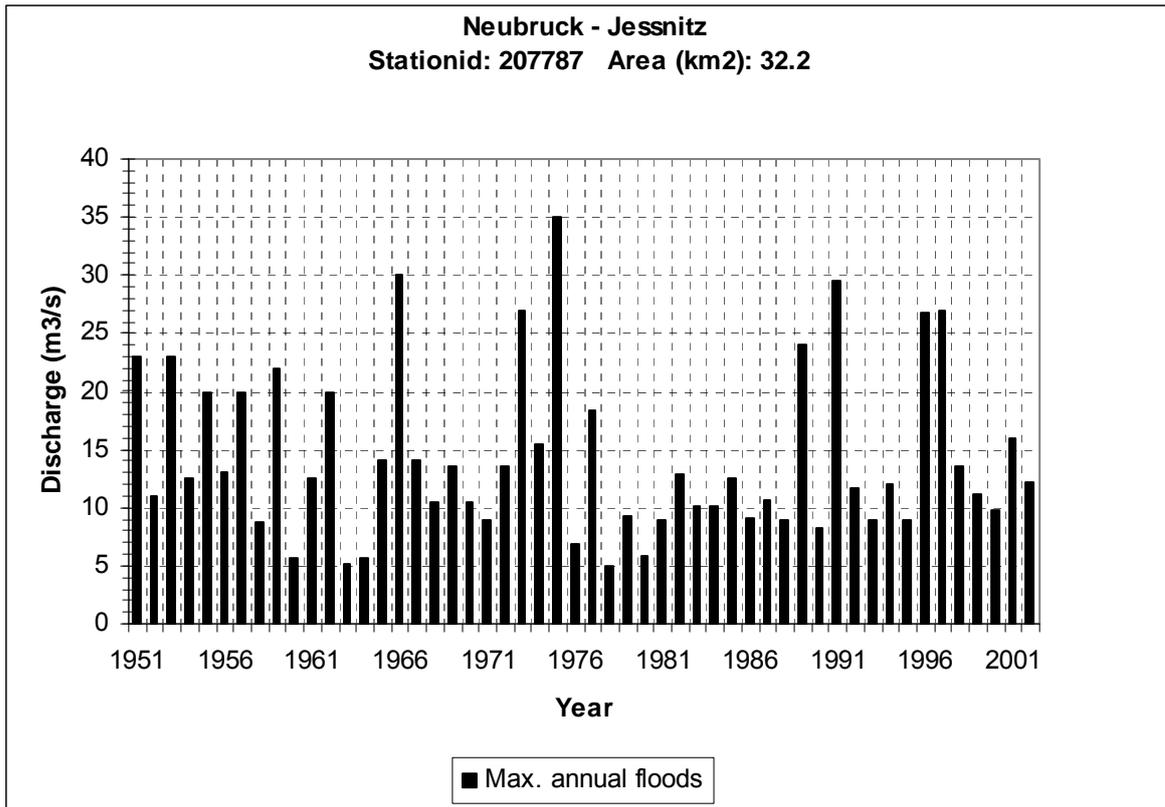


Abb.11 Zeitreihe Neubruck (1951 – 2002)

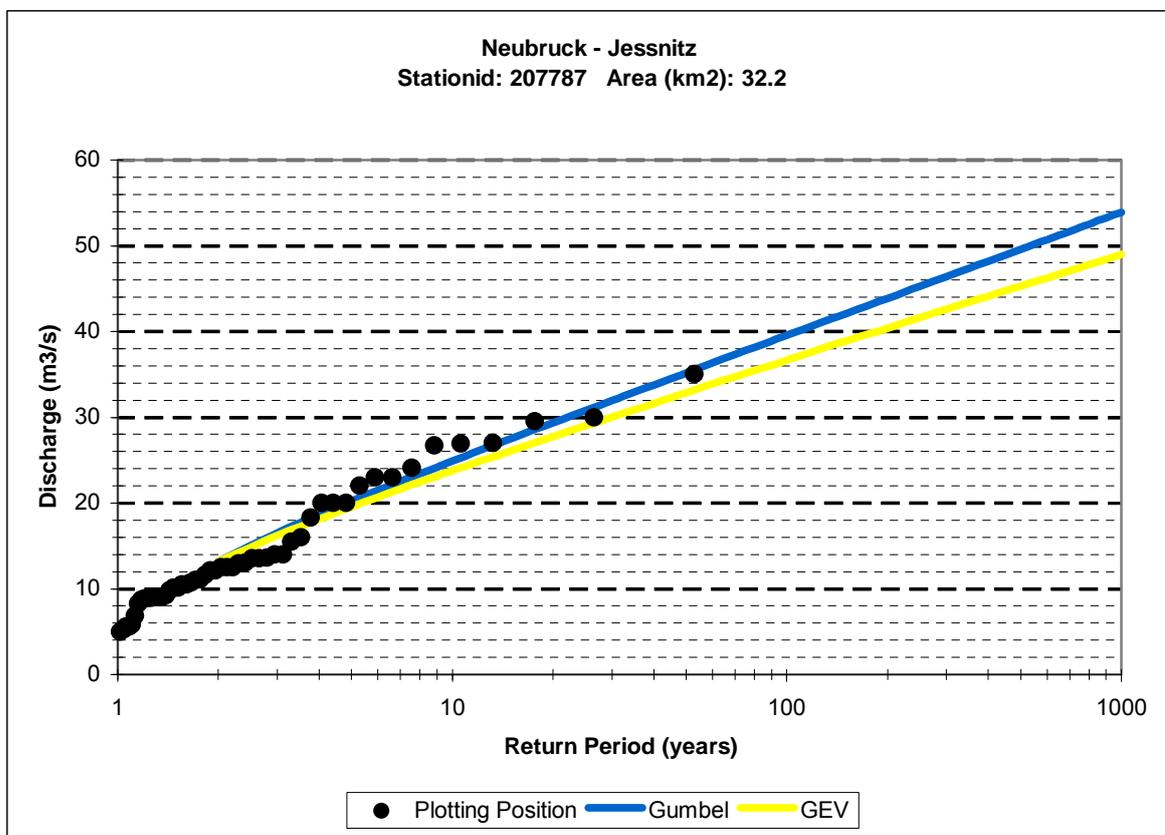


Abb.12 Hochwasserhäufigkeit - Neubruck

5.1.7 Station Peutenburg – Grosse Erlauf

Einzugsgebiet: 269.3 km², Höhenlage: 355.3 m.

- Länge der Datenreihe- 16 Jahren – von 1978 bis 2002.
- keine Extremereignisse
- Fehlende Jahren - 9

Tabelle 20: Koordinaten der Station Peutenburg

	x	y
Koordinaten	536822.0	452921.5
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	540945.2	443517.1
Fernter Punkt	541270.0	436350.0

Tabelle 21: Daten der Station Peutenburg

ID* der Flussabwärts Nachbarn	207803
Mittlere Fließlänge, m	21.43
Maximale Länge, m	39.42

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 72.7

Mittelwert: 85.91

Standardabweichung: 40.29

CV: 0.469

Schiefe: 1.576

Exzess: 0.343

Tabelle 22: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	151.4	136.8
HQ ₅₀	214.0	194.5
HQ ₁₀₀	240.4	220.7
HQ ₃₀₀	282.2	264.7
HQ ₁₀₀₀	327.9	316.4

Peutenburg weist eine lückenhafte Datenreihe auf. Die Werte von 1992 bis 2000 fehlen. Das beeinflusst vor allem wieder die ersten drei Parameterwerte. So eine Reihe die Lücken aufweist kann nicht zuverlässig sein. Es gibt drei höhere Werte (1989, 1991, 2002), die aber von der Verteilung als keine Extremereignisse eingeschätzt werden.

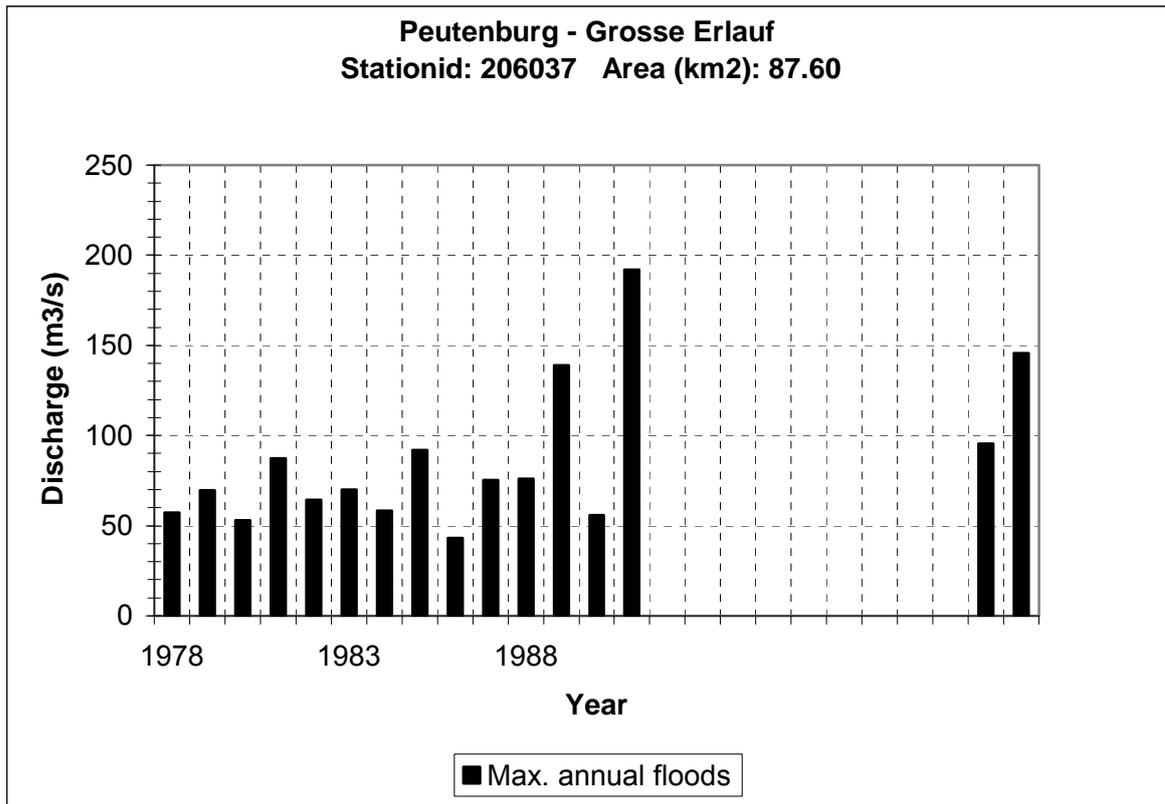


Abb.13 Zeitreihe Peutenburg (1978 – 2002)

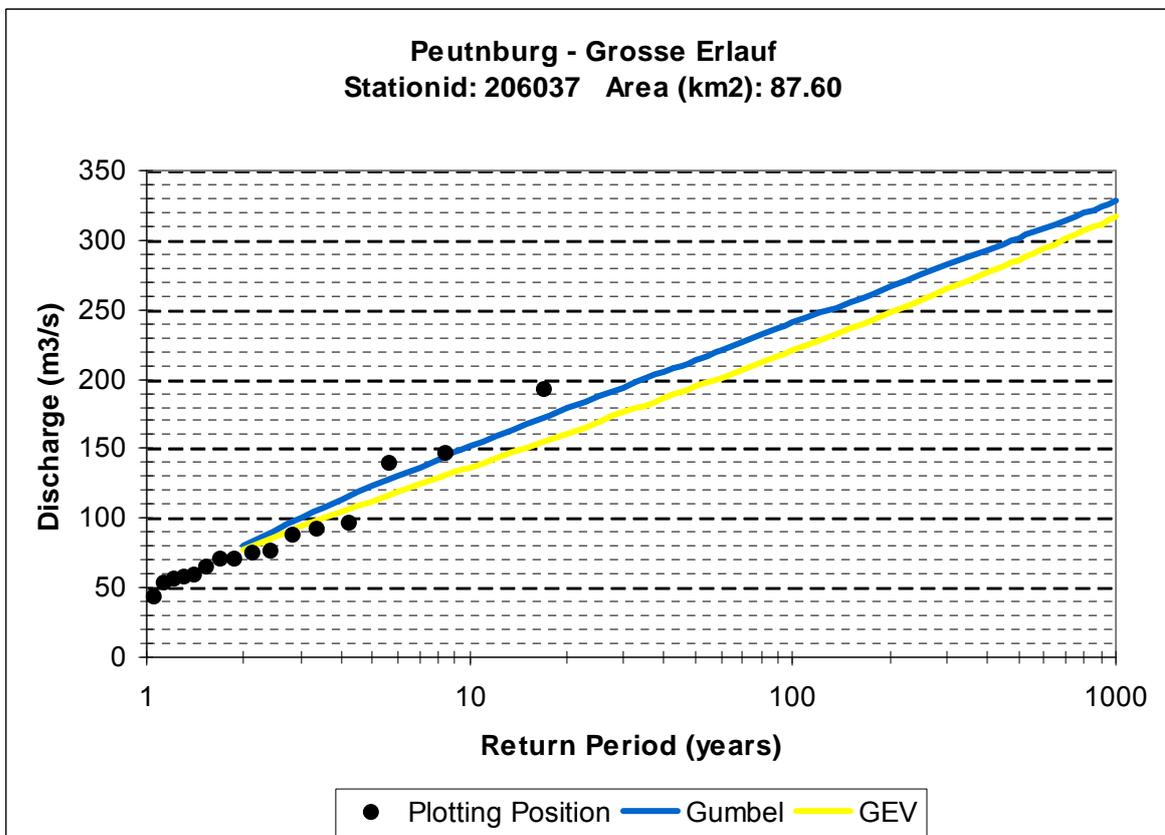


Abb.14 Hochwasserhäufigkeit - Peutenburg

5.1.8 Station Oberlainsitz – Lainsitz

Einzugsgebiet: 81.1 km², Höhenlage: 621.52 m.

- Länge der Datenreihe- 23 Jahren – von 1982 bis 2004.
- ein Extremereigniss im Jahre 2002

Tabelle 23: Koordinaten der Station Oberleinsitz

	x	y
Koordinaten	511138.0	528127.4
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	505940.4	525785.9
Fernter Punkt	543270.0	450600.0

Tabelle 24: Daten der Station Oberleinsitz

ID* der Flussabwärts Nachbarn	208462
Mittlere Fließlänge, m	8.53
Maximale Länge, m	17.82

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 4.7

Mittelwert: 7.6

Standardabweichung: 12.87

CV: 1.694

Schiefe: 4.673

Exzess: 1.067

Tabelle 25: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	28.5	21.1
HQ ₅₀	48.5	43.2
HQ ₁₀₀	57.0	55.4
HQ ₃₀₀	70.3	79.2
HQ ₁₀₀₀	84.9	113.3

Von der Graphik der Zeitreihe kann man gleich bemerken, dass Oberleinsitz ein trockenes Gebiet ist mit einem sehr niedrigen Durchfluss durch die ganze Beobachtungsperiode. Eine Ausnahme ist wieder 2002. Dieser Grossereigniss ist hier am stärksten ausgeprägt. Entsprechend gross sind der Variationskoeffizient und die Schiefe.

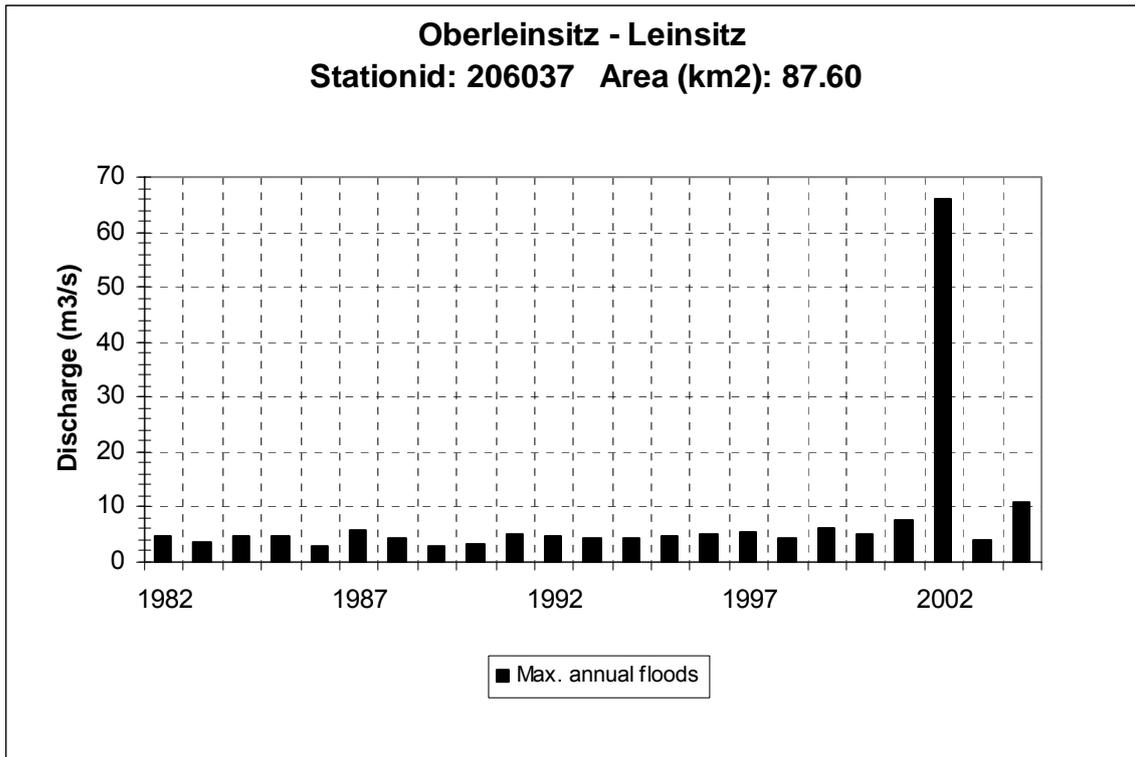


Abb.15 Zeitreihe Oberleinsitz (1982 – 2004)

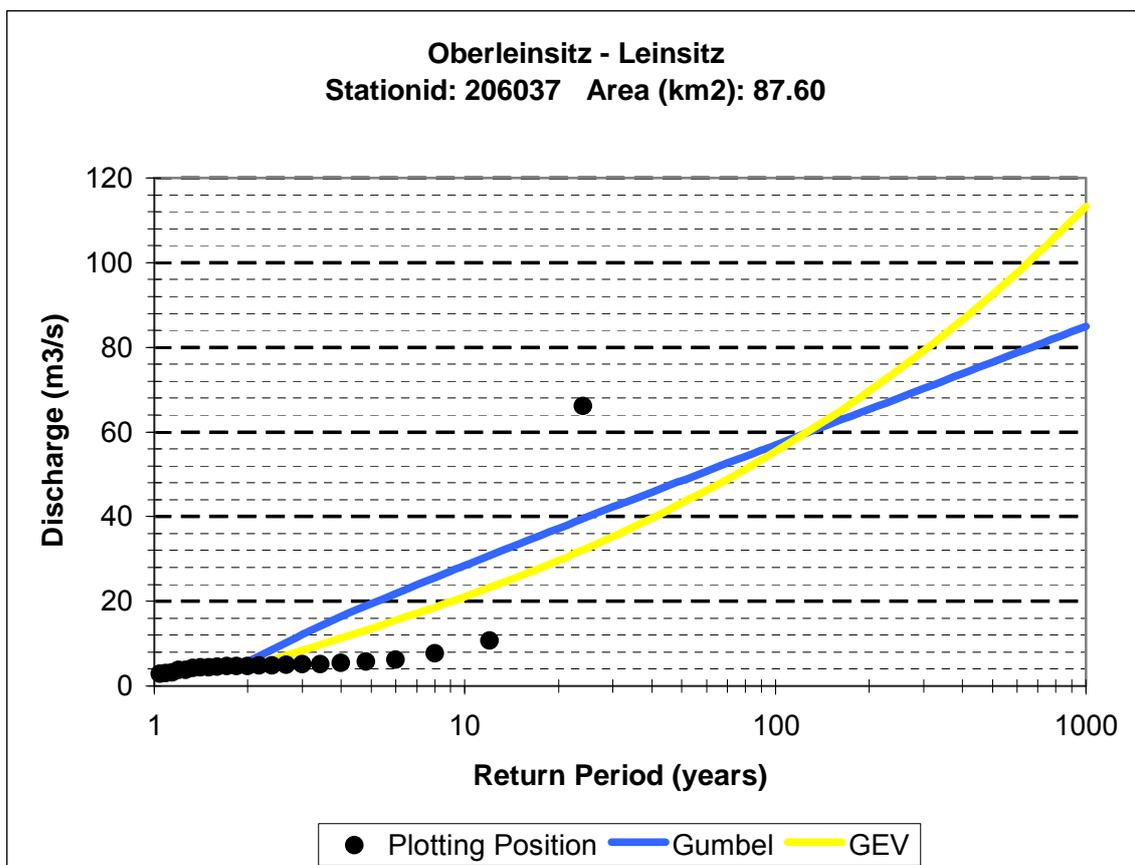


Abb.16 Hochwasserhäufigkeit - Oberleinsitz

5.1.9 Station Villach – Drau

Einzugsgebiet: 5266.40 km², Höhenlage: 485.53 m.

- Länge der Datenreihe- 31 Jahren – von 1951 bis 1981.
- zwei Extremereignisse im Jahren 1965 und 1966

Tabelle 26: Koordinaten der Station Villach

	x	y
Koordinaten	438939.7	301931.8
Schwerpunkt des Einzugsgebietes	374102.6	331265.8
Fernter Punkt	-	-

Tabelle 27: Daten der Station Villach

ID* der Flussabwärts Nachbarn	212845
Mittlere Fließlänge, m	-
Maximale Länge, m	-

ID- Nummer der Station

Momente

Median: 650

Mittelwert: 734.55

Standardabweichung: 302.57

CV: 0.412

Schiefte: 2.584

Exzess: 0.354

Tabelle 28: HQ_n – Schätzwerte

HQ _n	Gumbel	GEV
HQ ₁₀	1200.8	1089.4
HQ ₅₀	1650.0	1575.5
HQ ₁₀₀	1840.0	1820.8
HQ ₃₀₀	2139.7	2265.0
HQ ₁₀₀₀	2467.5	2844.3

Das Einzugsgebiet von Villach ist viel grösser und entsprechend mit dem grössten Durchfluss im Vergleich mit den anderen acht Pegeln. Alle Ergebnisse, die aus dem Programm "Soft Flood" bekommen werden, sind ausgeprägt gross. Eine Ausnahme macht nur den Variationskoeffizienten (CV = 0.412), der im Vergleich mit den anderen relativ klein ist.

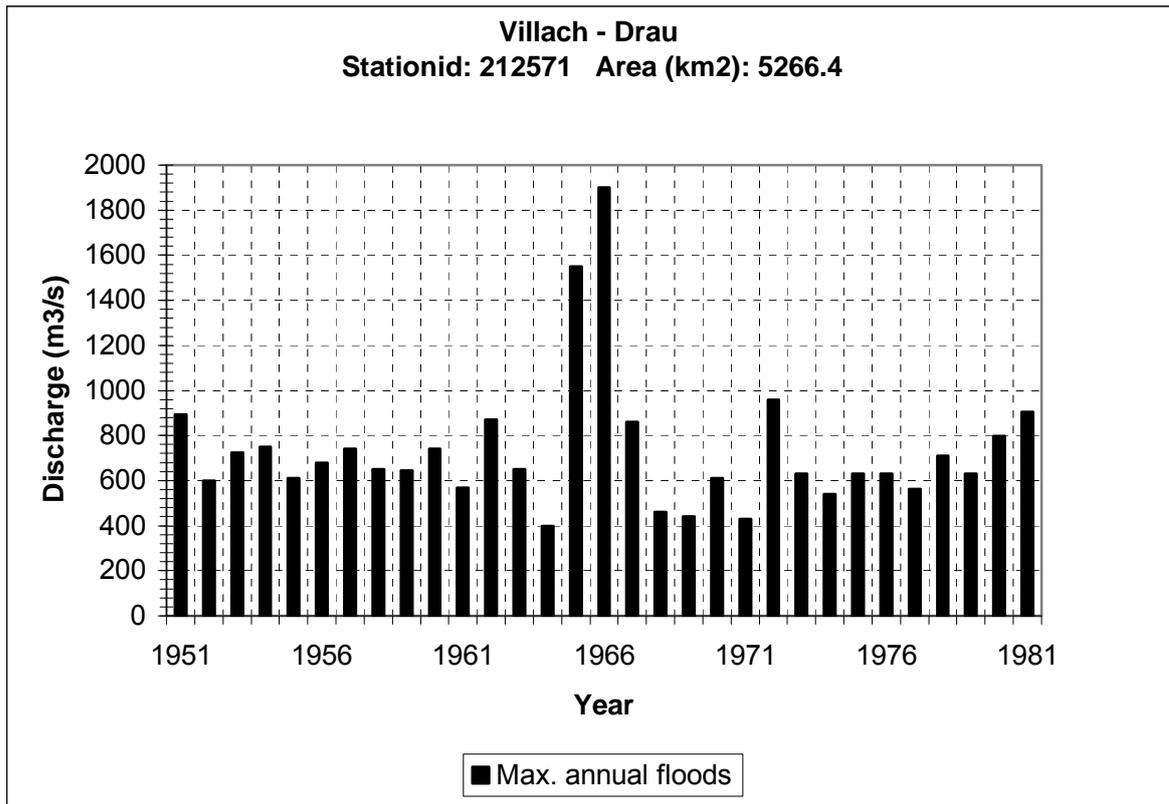


Abb.17 Zeitreihe Villach (1951 – 2081)

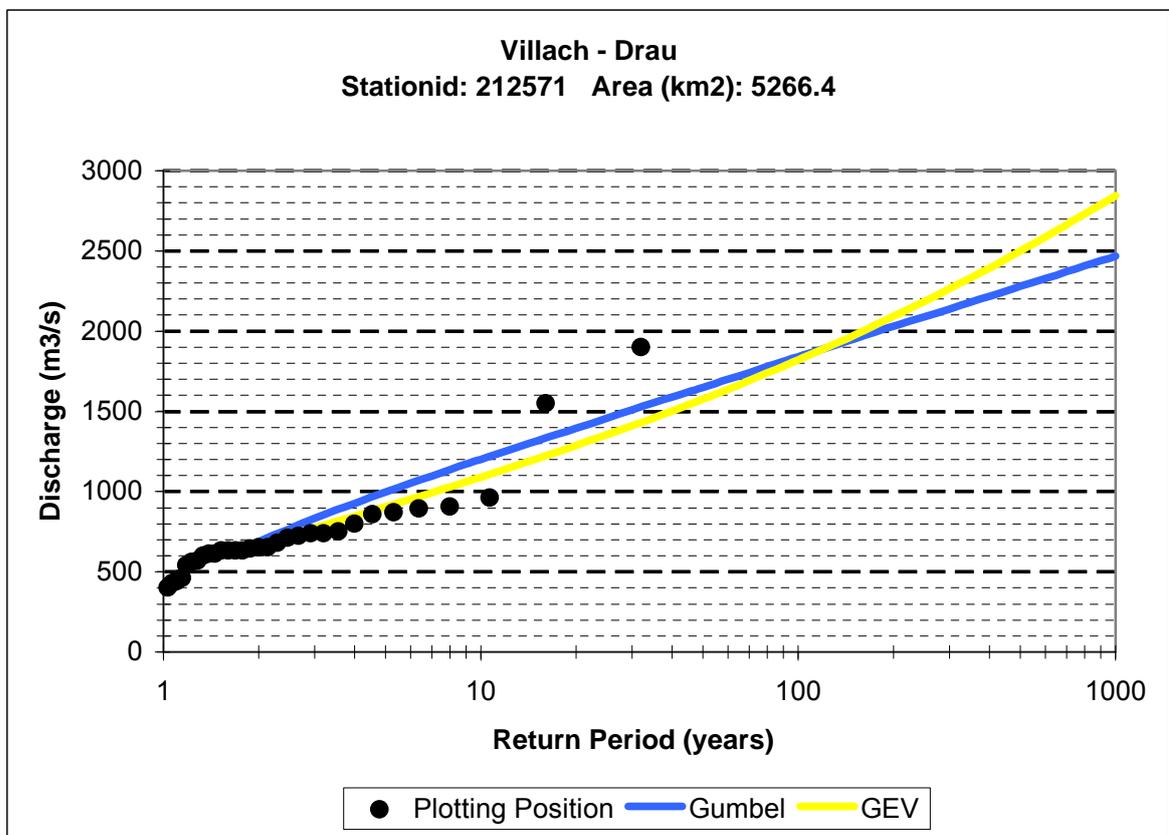


Abb.18 Hochwasserhäufigkeit - Villach

5.2 Untersuchung der Stichproben auf Grossereignisse

In diesem Punkt wird mit Hilfe von Häufigkeitsdiagrammen eine visuelle Beurteilung der Stichproben gemacht, wobei sich die Pegeln in drei Gruppen in Abhängigkeit von der Anzahl der Grossereignisse unterteilen lassen.

Die erste Gruppe umfasst die Pegeln ohne Grossereignisse, die zweite und die dritte Gruppen weisen ein Grossereignis bzw. zwei Grossereignisse auf, die im Frequenzdiagramm deutlich über der Verteilung der übrigen Ereignisse liegen.

5.2.1 Anzahl der Ereignisse in der Stichprobe

- Pegel mit beobachteten Datenreihen ohne Grossereignisse - Die Ausgleichskurven laufen entlang aller Punkte der gegebenen Werte.
 - Peutenburg - Grosse Erlauf
 - Neubruck - Jessnitz
 - Obermühl - Kleine Mühl
 - Altenmarkt im Pongau - Enns

- Pegel mit beobachteten Datenreihen mit 1 Grossereignis
 - Sturmmühle - Klambach - Beobachtungszeitraum von 1961 bis 2002 - Hochwasser im 2002
 - Haid - Naarn - Beobachtungszeitraum von 1976 bis 2002 -Hochwasser im 2002
 - Oberleinsitz - Leinsitz - Beobachtungszeitraum von 1982 bis 2004 - Hochwasser im 2002

- Pegel mit beobachteten Datenreihen mit 2 Grossereignissen
 - Villach - Drau - Beobachtungszeitraum von 1956 bis 2002 -Hochwasser im 1965 und 1966
 - Sausteinaste - Zemmbach - Beobachtungszeitraum von 1951 bis 1981 - Hochwasser im 1956 und 1965

Es fällt auf, dass bei den Pegeln mit einem Grossereignis die Hochwässer in ein und demselben Jahr (2002) auftreten. Die drei Pegel (Sturmmühle, Haid, Oberleinsitz) befinden sich im Wald- und Mühlviertel. Das ist einer der am stärksten betroffenen Regionen Österreichs Beim Hochwasserereignis im August 2002, wo die Niederschläge bei über 300 mm gelegen haben. Es sind zwei Hochwasserwellen gewesen, die im Laufe von etwa 5 Tagen, 50- und gebietsweise weit über 100-jährliche Ereignisse verursachen (**„Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002“ – Floodrisk**)

Vergleicht man die Situation im Jahr 2002 mit den Grossereignissen im Jahre 1965 und 1966, so wird deutlich, dass 2002 keine extreme

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Niederschläge bei den österreichischen Südalpen (Villach und Sausteinaste) beobachtet wurden.

Im Jahre 1965 (September) treten aussergewöhnliche Niederschlagsmengen auf, die durch Schneeschmelzwässer und durchnassten Böden erhöht werden. An der Villach ist dieser Ereigniss als ein 100-jährliches Ereigniss angesehen werden.

Im Jahre 1966 erfolgen vor allem in Süden Österreichs noch zwei ausserordentlichen Hochwasserkatastrophen (August und November). Die drei Hochwässer haben ähnlichen Charakter – Gegenstoss von Kaltluft aus dem Norden und feuchte Warmluft aus dem Süden.

(„Österreichische Wasserwirtschaft“ – Katastrophenjahr 1965, 1966)

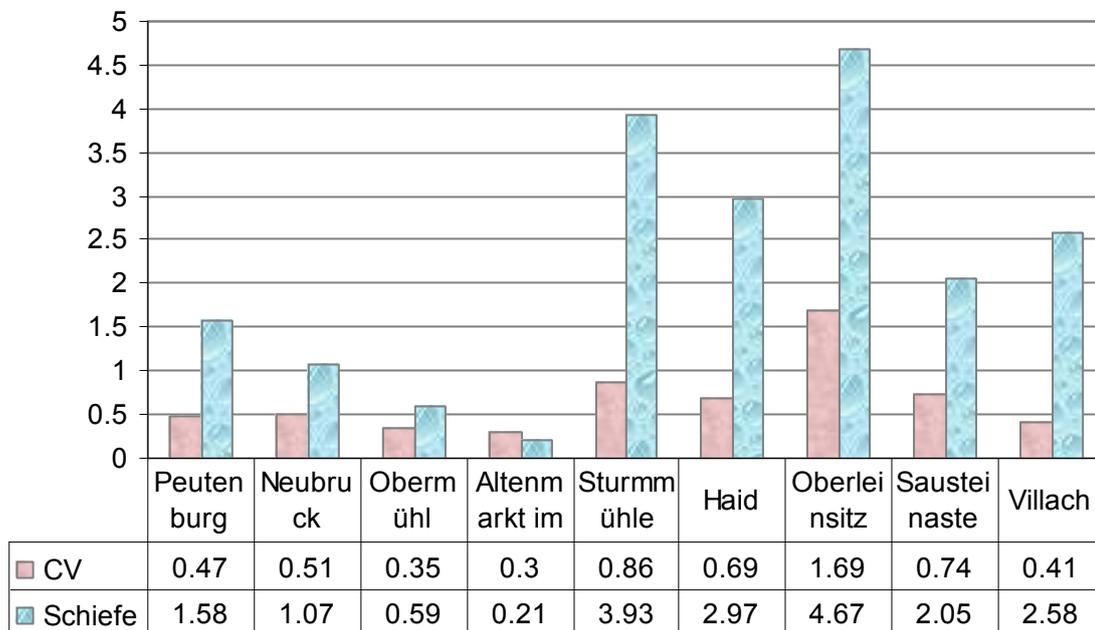


Abb.19: Zusammenhang zwischen Variationskoeffizient und Schiefe

Das Verhalten der Parameter Variationskoeffizient und Schiefe ist von der Anzahl der Grossereignisse abhängig. Sie sind am kleinsten für die Pegel ohne Großereignisse (Peutenburg, Neubruck, Obermühl, Altenmarkt im Pongau) und am grössten für die Pegel mit 1 Grossereignis (Sturmmühle, Haid, Oberleinsitz). Die Werte dieser beiden Parameter sind größer an den Stationen mit kleineren Einzugsgebieten (Sturmmühle, Oberleinsitz). Hier ist der Einfluss der Gebietsgröße wiederum erkennbar.

5.3 Unterscheidung der Stichproben

5.3.1 Parameterwerte der Stichproben

Tabelle 29: Parameterwerte der Pegel

Momente	Sausteinaste	Altenmarkt im Pongau	Obermühl	Haid	Sturmmühle	Neubruck	Peutenburg	Oberleinsitz	Villach
Median	40.70	32.30	42.70	27.50	9.90	12.32	72.70	4.70	650.00
Mittelwert	58.87	33.71	44.00	32.21	12.52	14.28	85.91	7.60	734.55
Standardabweichung	43.64	10.16	15.28	22.30	10.77	7.23	40.29	12.87	302.57
CV	0.741	0.301	0.347	0.692	0.860	0.507	0.469	1.694	0.412
Schiefe	2.050	0.206	0.590	2.970	3.930	1.068	1.576	4.673	2.584
Exzess	0.167	0.051	0.122	0.539	0.538	0.068	0.343	1.067	0.354
A_E [km ²]	225.0	134.5	199.2	303.1	86.7	32.2	269.3	81.1	5266.4
N	47	42	27	27	42	52	16	23	31

Die Parameter Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient sind für die Sausteinaste und Villach grösser wegen des grösseren Beobachtungszeitraumes und der grösseren Einzugsgebiete. In den beiden Stationen gibt es zwei Grossereignisse, die auch die Grösse der ersten drei Parameter beeinflussen. Das Fehlen solcher Grossereignisse drückt sich in niedrigeren Werten (Altenmarkt im Pongau, Obermühl, Neubruck, Peutenburg) aus. Das Auftreten der Grossereignisse führt zu einer grösseren Schiefe. Bei den Stationen mit Grossereignissen gibt es noch einen Zusammenhang zwischen dem CV und dem Mittelwert. Je kleiner der Mittelwert ist, desto grösser wird der Variationskoeffizient CV.

Bei Peutenburg umfasst die Reihe den Zeitraum von 1978 bis 2002, in dem Beobachtungen für 9 Jahren fehlen. Eine solche Beobachtungsreihe, die mitunter Lücken aufweist, beeinflusst die Ergebnisse. Die ersten drei Parameter dieser Station haben wesentlich höhere Werten.

Villach fällt mit der Grösse ihrer Parameter auf. Das ist das grösste von den betrachteten 9 Einzugsgebieten mit dem grössten Durchfluss.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

5.3.2 HQ_n – Schätzwerte

Tabelle 30: HQ_n - Schätzwerte

HQ_n	Sausteinaste		Altenmarkt im Pongau		Obermühl		Haid	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
HQ_{10}	122.9	112.0	48.9	47.2	67.6	64.4	66.6	57.7
HQ_{50}	184.9	179.0	63.6	55.6	90.2	80.3	99.7	94.3
HQ_{100}	211.2	211.2	69.8	58.4	99.8	86.3	113.7	113.2
HQ_{300}	252.6	267.7	79.6	61.9	115.0	94.7	135.8	148.3
HQ_{1000}	297.9	338.0	90.4	65.0	131.5	102.8	159.9	195.1
Abweichung von MW in %	-6.29	6.29	16.35	-16.35	12.25	-12.25	-6.29	6.29
Mittelwert	317.951		77.663		117.1906		177.515	

HQ_n	Sturmmühle		Neubruck		Peutenburg		Oberleinsitz		Villach	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
HQ_{10}	28.6	24.2	24.9	23.8	151.4	136.8	28.5	21.1	1200.8	1089.4
HQ_{50}	44.2	42.4	35.2	32.9	214.0	194.5	48.5	43.2	1650.0	1575.5
HQ_{100}	50.8	52.3	39.5	36.7	240.4	220.7	57.0	55.4	1839.9	1820.8
HQ_{300}	61.2	71.2	46.4	42.6	282.2	264.7	70.3	79.2	2139.7	2265.0
HQ_{1000}	72.6	97.7	53.9	49.0	327.9	316.4	84.9	113.3	2467.5	2844.3
Abweichung von MW in %	-9.91	9.91	-14.73	14.73	4.81	-4.81	1.78	-1.78	-14.31	14.31
Mittelwert	85.1147		51.4375		322.14		99.1035		2655.905	

Bei einem Vergleich der Gumbel- und GEV- Verteilungsfunktionen sind die Werte für die Stationen mit Grossereignissen für HQ_{10} , HQ_{50} und HQ_{100} grösser für Gumbel, solange die GEV Werte für HQ_{300} und HQ_{1000} grösser sind.

Bei Stationen ohne Grossereignisse sind die Gumbel- Durchflusswerte grösser für alle Jährlichkeiten.

Diese Ergebnisse zeigen die unterschiedliche „Reaktion“ der zwei Verteilungsfunktionen auf Grossereignisse. So ist die Gumbelverteilung wegen ihrer konstanten Schiefe ($\gamma = 1,14$) im Extrapolationsbereich schwach vom Grossereignis beeinflusst.

Die Prozentzahlen sind nur für HQ_{1000} als Beispiel dargestellt. Die Mittelwerte sind die Werte zwischen den beiden Verteilungen. Die Ergebnisse der Gumbel – Verteilung sind auch grösser als diese der Allgemeinen Extremwertverteilung.

5.3.3 Unschärfe

Tabelle 31: Unschärfe

HQ _n	Sausteinaste	Altenmarkt im Pongau	Obermühl	Haid	Sturmmühle	Neubruck	Peutenburg	Oberleinsitz	Villach
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
HQ ₁₀	10.82	1.66	3.12	8.87	4.44	1.13	14.57	7.42	111.39
HQ ₅₀	5.99	8.00	9.90	5.35	1.78	2.32	19.50	5.37	74.46
HQ ₁₀₀	0.03	11.47	13.59	0.48	1.51	2.87	19.70	1.62	19.11
HQ ₃₀₀	15.02	17.72	20.28	12.53	10.01	3.82	17.54	8.85	125.34
HQ ₁₀₀₀	40.03	25.40	28.70	35.17	25.07	4.95	11.48	28.37	376.81
%	12.59	32.71	24.49	19.81	29.46	9.63	3.56	28.63	14.19

Als „Unschärfe“ wird hier der Unterschied zwischen den Ergebnissen der zwei verwendeten Verteilungsfunktionen definiert. Die Prozentwerte sind in Bezug auf den Mittelwert berechnet und sind auch nur für HQ₁₀₀₀ als ein Beispiel dargestellt. Für HQ₁₀₀₀ ergeben sich die grössten Werte der Unschärfe, die Differenz zwischen den Schätzwerten nach den beiden Verteilungen wird – erwartungsgemäß – mit Fortschreiten in den Extrapolationsbereich größer.

Hier spielt die Länge der Reihe eine Rolle bei ihrer Verlässlichkeit. Die am besten repräsentative Reihe ist in diesem Fall bei Neubruck (52 Jahren).

Bei den Pegeln ohne Grossereignisse steigen die Werte mit Erhöhung der HQ_n auf, während bei den anderen Pegeln HQ₁₀₀ der kleinere Wert ist.

Eine Ausnahme ist hier Peutenburg, bei dem die Werte mit Vergrößerung der HQ_n niedrig werden. Das ist die kürzeste Reihe ohne Grossereignisse und die Gumbel und GEV Verteilungen nähern sich im Extrapolationsbereich.

5.3.4 Vertrauensbereiche

$\alpha = 90\% = 0.90 \rightarrow t_\alpha = 1.645, z_\alpha = 1.282$ (abgelesen von der Tabelle 1.3: Fraktile zu der Standardnormalverteilung, aus den Kursmaterialien „Hydrologische Statistik – Hochwasserwahrscheinlichkeit“)

z_α - Fraktile

s_x - Standardabweichung

\bar{x} - Mittelwert (Tabelle 29)

N – Stichprobenumfang (Tabelle 29)

Tabelle 32: Vertrauensbereiche

X	GUMBEL								
	Sausteinaste			Altenmarkt im Pongau			Obermühl		
	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀
HQ _n	211.20	252.63	297.94	69.82	79.64	90.36	99.84	114.98	131.54
k	3.49	4.44	5.48	3.55	4.52	5.58	3.65	4.65	5.73
δ	4.29	5.27	6.34	4.35	5.35	6.45	4.46	5.48	6.61
s _n	27.29	33.53	40.39	6.82	8.39	10.11	16.12	16.12	19.42
OG	256.09	307.78	364.37	81.05	93.43	106.99	126.35	141.49	163.49
UG	166.31	197.47	231.50	58.60	65.84	73.74	73.33	88.47	99.59
ΔQ	89.79	110.31	132.87	22.45	27.60	33.25	53.02	53.02	63.91
%	42.51	43.67	44.60	32.16	34.65	36.80	53.10	46.11	48.58

X	GUMBEL								
	Haid			Sturmmühle			Neubruck		
	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀
HQ _n	113.68	135.77	159.93	50.81	61.21	72.58	39.53	46.40	53.91
k	3.65	4.64	5.73	3.56	4.53	5.59	3.49	4.44	5.48
δ	4.45	5.48	6.60	4.36	5.36	6.46	4.29	5.27	6.35
s _n	19.12	23.51	28.34	7.23	8.89	10.71	4.30	5.28	6.37
OG	145.13	174.45	206.55	62.70	75.83	90.20	46.61	55.09	64.38
UG	82.23	97.09	113.31	38.91	46.58	54.96	32.46	37.71	43.44
ΔQ	62.90	77.36	93.24	23.79	29.24	35.24	14.15	17.38	20.94
%	55.33	56.98	58.30	46.83	47.78	48.55	35.79	37.47	38.84

Technische Universität – Wien
 Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

X	GUMBEL								
	Peutenburg			Oberleinsitz			Villach		
	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	HQ ₁₀₀₀
HQ_n	240.43	282.20	327.88	56.97	70.32	84.92	1839.9	2139.70	2467.50
k	3.84	4.87	6.01	3.85	4.88	6.02	3.65	4.64	5.73
δ	4.64	5.72	6.89	4.65	5.73	6.91	4.45	5.48	6.60
s_n	46.76	57.56	69.43	12.46	15.34	18.50	242.08	297.73	358.87
OG	317.35	376.89	442.10	77.47	95.55	115.35	2238.1	2629.47	3057.85
UG	163.51	187.51	213.66	36.48	45.09	54.48	1441.7	1649.93	1877.15
ΔQ	153.84	189.39	228.44	40.98	50.46	60.87	796.44	979.53	1180.70
%	63.98	67.11	69.67	71.93	71.75	71.68	43.29	45.78	47.85

Die Tabelle gibt die OG(obere Grenze), die UG (untere Grenze) und die Differenz zwischen diesen beiden Grenzen ΔQ wieder. Die Bereiche zwischen der oberen und der unteren Grenze werden erwartungsgemäß grösser mit der Vergrößerung des Wiederkehrintervalls.

Hier ergeben sich für die verschiedenen HQ_n verschiedene Größen der ΔQ. Je größer n ist, desto größer wird das entsprechende HQ_n und natürlich der Vertrauensbereich.

Die größten Bereiche sind bei Villach festzustellen, weil diese Reihe die größten Werte der Abflüsse enthält. Die größten Werte der ΔQ ergeben sich für HQ₁₀₀₀ und die kleinsten für HQ₁₀.

5.3.5

Jährlichkeit des grössten Grossereignisses für Pegel mit 1 Grossereignis

Haid		Sturmmühle		Oberleinsitz	
$Q_1=125.5$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 190$ $n_{GEV} = 160$	$Q_1=70$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 710$ $n_{GEV} = 270$	$Q_1=66.17$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 201$ $n_{GEV} = 175$

Tabelle 33

Jährlichkeit des grössten und des zweitgrössten Grossereignisses für Pegel mit 2 Grossereignissen

Sausteinaste		Villach	
$Q_1 = 220$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 132$ $n_{GEV} = 120$	$Q_1 = 1900$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 127$ $n_{GEV} = 126$
$Q_2 = 200$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 75$ $n_{GEV} = 80$	$Q_2 = 1550$ [m ³ /s]	$n_{Gum.} = 34$ $n_{GEV} = 46$

Tabelle 34

Aus der Graphiken der Hochwasserhäufigkeitsverteilung werden die Jährlichkeiten (n) der Grossereignissen (Q) nach den zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel und

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

GEV) abgelesen. Bei manchen Pegeln ergeben sich grosse Unterschiede. Bei Sturmmühle z.B. ist die Jährlichkeit nach Gumbel wesentlich grösser ($n_{\text{Gum.}} = 710$).

So eine Einschätzung ist ungewisst, weil die Werte sehr unterschiedlich sind. Die Werten bei den Pegeln mit zwei Grossereignissen haben kleinere Unterschiede nach den zwei Verteilungen. Die Jährlichkeiten der Q1 sind ähnlicher für die zwei Pegel als die Jährlichkeiten der Q2

5.4. Relativzahlen als Indikator für das Extreme

In den Stichproben der Jahreshöchstabflüsse können wesentlich grössere Werte auftreten, die im Frequenzdiagramm deutlich über den Ausgleichskurven liegen. Im folgenden Kapitel wird mit Hilfe von Relativzahlen eine quantitative Abschätzung gemacht, ob diese Grossereignisse als Ausreisser klassifiziert werden können.

Eine Möglichkeit ist Relativzahlen gebildet aus dem Verhältnis von grösstem HQ^1 zu zweit- (HQ^2), dritt- (HQ^3), viert- (HQ^4), fünft- grösstem (HQ^5)-Ereignis.

Für die Entscheidung über einen Ausreißer sind Kriterien festzulegen, ab welcher Grösse der Relativzahl über einen Ausreißer gesprochen werden kann.

So gilt z.B. für die Relativzahlen:

- 1) $HQ^1/HQ_n < 1.5$
- 2) $1.5 > HQ^1/HQ_n > 2$
- 3) $HQ^1/HQ_n \gg 2$

Tabelle 35: HQ^m Werte

	Peuten- burg	Neubruck	Obermühl	Altenmarkt im Pongau	Sturm- mühle	Haid	Oberlein- sitz	Sausten- aste	Villach
HQ^1	192.0	35.0	77.9	50.7	70.0	125.5	66.2	220.0	1900.0
HQ^2	145.6	30.0	77.1	50.0	28.0	56.0	10.8	200.0	1550.0
HQ^3	139.0	29.5	67.0	49.6	21.6	51.1	7.7	140.0	960.0
HQ^4	95.5	27.0	60.5	49.6	21.0	49.0	6.2	125.0	904.0
HQ^5	91.8	26.9	58.0	49.5	20.9	41.4	5.7	115.0	895.0

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Tabelle 36: Relativzahlen HQ^1/HQ^m

	Peutenburg		Neubruck		Obermühl		Altenmarkt im Pongau		Sturmmühle		Haid		Oberleinsitz		Saustenaste		Villach	
HQ^1, HQ^2	1.32		1.17		1.01		1.01		2.50		2.24		6.16		1.10		1.23	
HQ^1, HQ^3	1.38		1.19		1.16		1.02		3.24		2.46		8.61		1.57		1.98	
HQ^1, HQ^4	2.01		1.30		1.29		1.02		3.33		2.56		10.71		1.76		2.10	
HQ^1, HQ^5	2.09		1.30		1.34		1.02		3.35		3.03		11.67		1.91		2.12	
HQ^1/HQ_{10} GUM/GEV	1.27	1.40	1.41	1.47	1.15	1.21	1.04	1.07	2.45	2.89	1.88	2.17	2.32	3.14	1.79	1.96	1.58	1.74

Von den in der Tabelle erhaltenen Ergebnissen kann eine visuelle Auswertung der Werte zwischen den Stationen erfolgen. Die ersten vier Pegel, wo es keine Grossereignisse gibt, sind die Werte entsprechend kleiner als 1.5. Eine Ausnahme macht nur Peutenburg mit $HQ_1/HQ_4 > 2$ und $HQ_1/HQ_5 > 2$. Es kann eine Vermutung gemacht werden, dass es ein Ausreisser in dieser Reihe gibt. Bei der Verteilungsfunktionen von Gumbel und GEV gibt es für diese Station keine Extremwerte. Daraus folgt es, dass es kein ausserordentliches Ereignis ist. Die Relativzahlen bei Altenmarkt im Pongau sind ganz gleich bei verschiedenen Verhältnissen. Bei den Verteilungsfunktionen sind die Werten ganz gleichmässig verteilt.

Die nächsten drei sind Pegel mit 1 Grossereigniss. Relativzahlen die grösser als 2 sind zeigen, dass es um ein Ausreißer handelt. Die Werte von Oberleinsitz übersteigen stark den Grenzwert von 2. Es gilt für die Relativzahlen, dass je grösser das Verhältnis ist, umso stärker weicht das betrachtete Grossereignis von den anderen Hochwasserwerten ab und daher eher angenommen werden kann, dass dieses Ereigniss ausserordentlich ist und im Vergleich zu den anderen Hochwässern als Ausreißer eingestuft werden kann.

Sausteinaste und Villach sind Pegel mit zwei Grossereignissen. Das ist beim zweiten Pegel besonders bemerkbar, wo HQ_1/HQ_4 und $HQ_1/HQ_5 > 2$ sind. Im Falle einer Stichprobe mit zwei Grossereignissen würden die Werte erst dann als Ausreißer angesehen werden, wenn das Kriterium für Relativzahl auf ca. 2,5 gesetzt würde. Daraus folgt, dass die beiden Pegel keine Ausreißer enthalten.

Das HQ_1/HQ_{10} Verhältnis folgt das Tendenz der anderen Verhältnisse, wobei die drei Pegeln (Sturmmühle, Haid und Oberleinsitz) mit 1 Grossereignis Werte über zwei ergeben. Bei GEV, wo die Werte > 2.5 sind, können sie deutlich als Ausreisser klassifiziert werden. Überall zeigen die Relativzahlen von GEV grössere Werte als diese von Gumbel.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Im Hinblick auf die Aussage eines Bemessungshochwassers für die wasserbauliche Aufgabe ist die Jährlichkeit eines Ereignisses von großer Bedeutung. Von daher ist es von Interesse, welche Jährlichkeit einem aus einer Stichprobe abgeleiteten Bemessungswert zugeordnet wird. Ein Ereignis wird umso eher als ein „Ausreißer“ interpretiert werden können, je größer das Wiederkehrintervall ist, das diesem Ereignis auf Basis der vorhandenen Stichprobe zugeteilt wird. Zum Beispiel: Wenn sich für ein Ereignis rechnerisch ein Wiederkehrintervall von z.B. 2000 Jahren ergibt, so wird dieses Ereignis eher als Ausreißer angesehen werden als wenn es nur einem 200-jährlichen Ereignis zugeordnet wird. Unter diesem Aspekt könnten Relativzahlen zwischen einem 100-, 300- bzw. 1000-jährlichen Hochwasser und dem 10-jährlichen Hochwasser ein Maßstab für die Einstufung sein. Im Folgenden werden diese Relativzahlen gebildet und mit den im vorangegangenen Abschnitt berechneten Relativzahlen verglichen.

$$\text{Relativzahlen „seltener“ Ereignisse} = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}}; \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}}; \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}}$$

Tabelle 37: Relativzahlen HQ_n/HQ_{10}

	Peutenburg		Neubruck		Obermühl		Altenmarkt im P.		Sturmmühle		Heid		Oberleinsitz		Sausteinaste		Villach	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
HQ_{100}/HQ_{10}	1.59	1.61	1.59	1.54	1.48	1.34	1.43	1.24	1.78	2.16	1.71	1.96	2.00	2.63	1.72	1.89	1.53	1.67
HQ_{300}/HQ_{10}	1.86	1.93	1.86	1.79	1.70	1.47	1.63	1.31	2.14	2.94	2.04	2.57	2.47	3.75	2.06	2.39	1.78	2.08
HQ_{1000}/HQ_{10}	2.17	2.31	2.16	2.06	1.95	1.60	1.85	1.38	2.54	4.04	2.40	3.38	2.98	5.37	2.42	3.02	2.05	2.61

Grenzbereiche für die Relativzahlen:

- 1) $HQ_n/HQ_{10} < 1.5$
- 2) $1.5 > HQ_n/HQ_{10} > 2$
- 3) $HQ_n/HQ_{10} \gg 2$

Bei den drei Pegeln (Sturmmühle, Haid und Oberleinsitz) mit 1 Grossereignis zeigt die GEV Verteilung für HQ_{300} und HQ_{1000} deutlicher, dass es Ausreisser gibt.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Für die Pegel mit zwei Grossereignissen Sausteinaste und Villach sind diese in Bezug auf 300- und 1000-jährliche Hochwässer Ausreisser.

Die unten dargestellten Graphiken zeigen, dass im Fall eines oder zwei Grossereignisses die GEV Verteilung immer über Gumbelverteilung steht. Die Anpassung der zwei Verteilungsfunktionen ist an Grossereignissen verschieden. Bei Gumbel, wo die Schiefe mit einem Wert von $\gamma=1,14$ fixiert ist, kann die Verteilung an Hochwasser sehr gedämpft reagieren im Vergleich zu den GEV Verteilung, die stark auf Ausreisser reagiert. Bei Peutenburg und Neubruck zeigen die Werte für HQ_{1000} nach den zwei Verteilungen, dass es um ein Ausreisser handelt.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

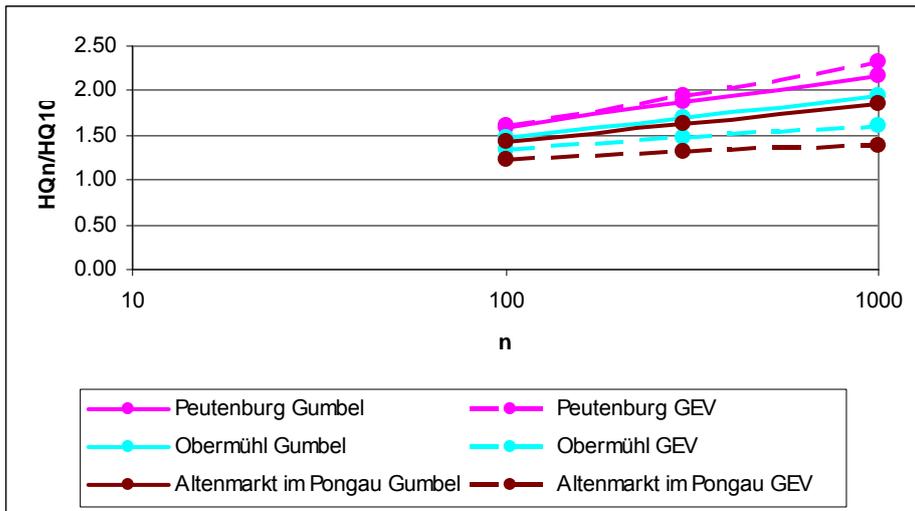


Abb. 20: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000

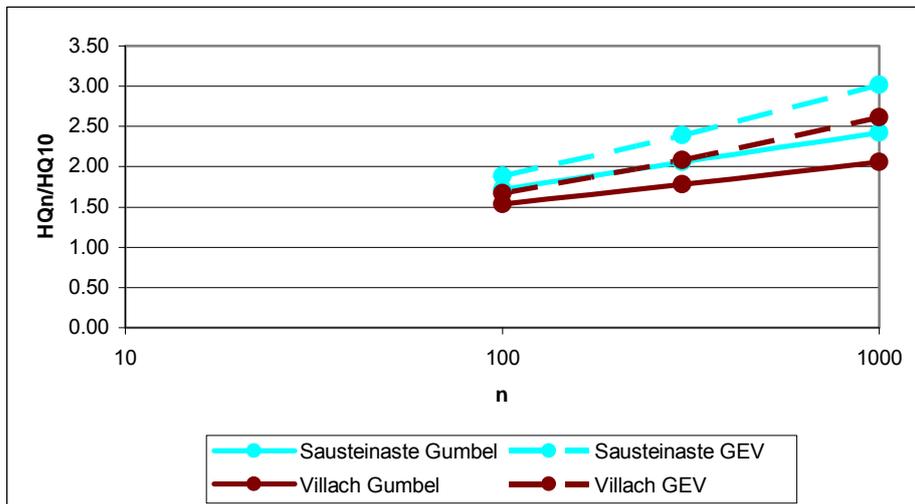


Abb. 21: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000

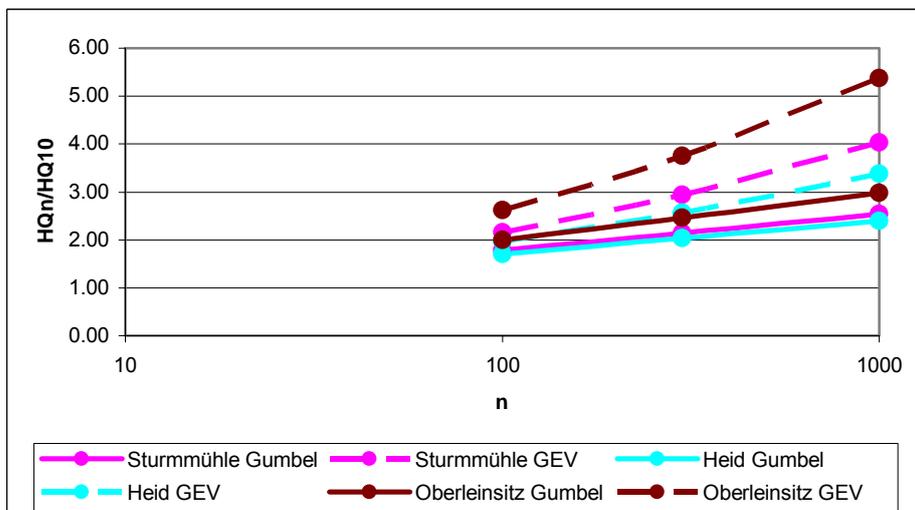


Abb. 22: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000

n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Stationen mit zwei Grossereignissen

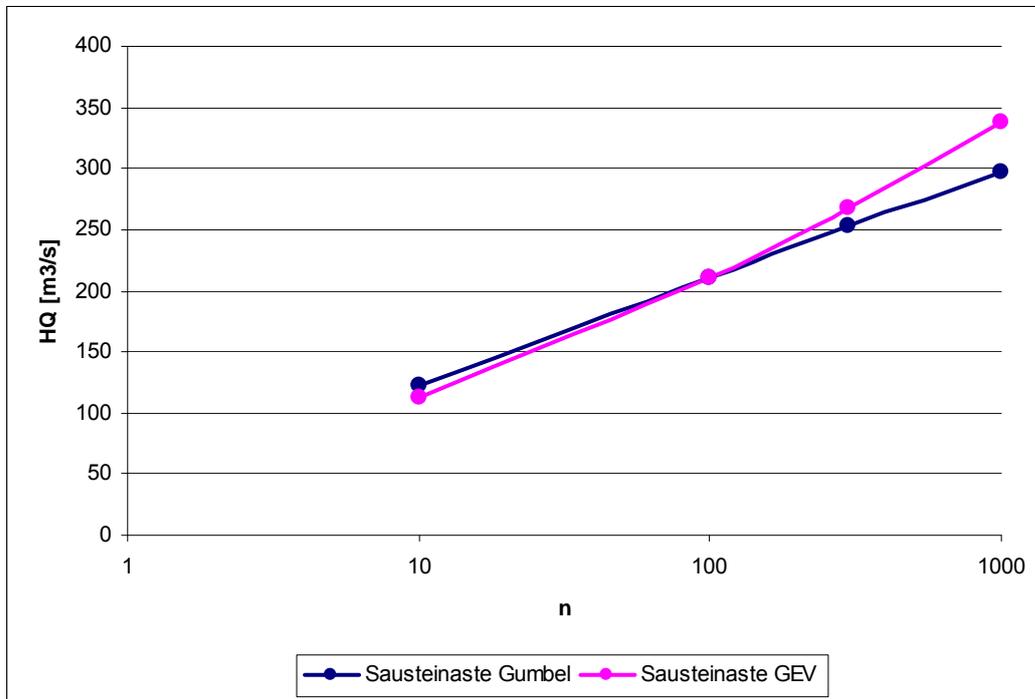


Abb. 23: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Sausteinaste

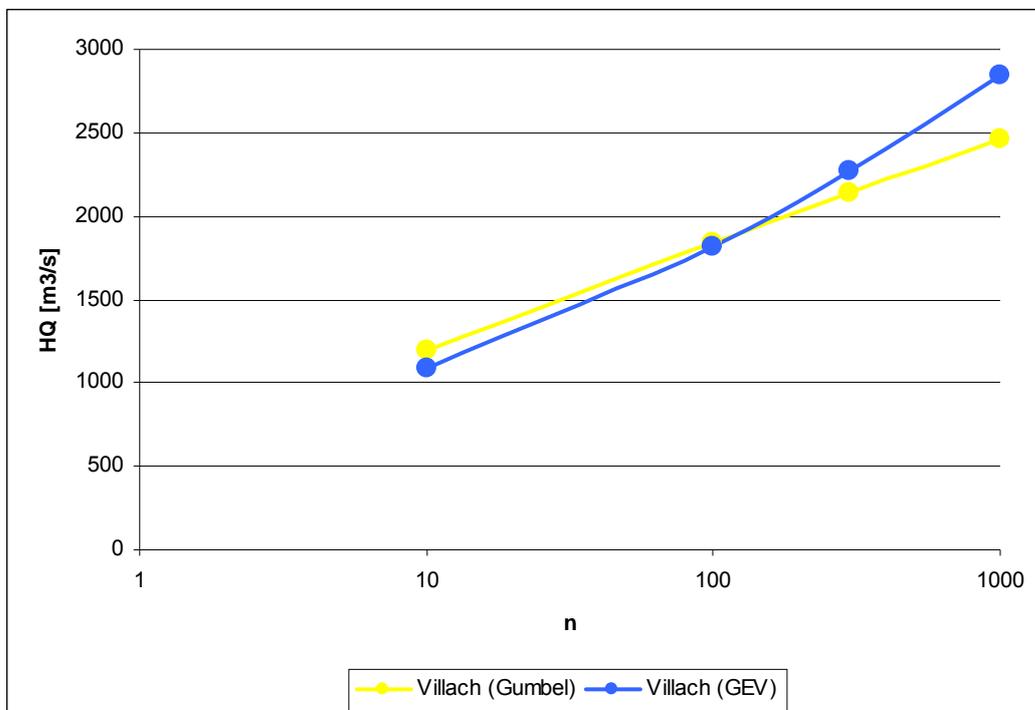


Abb. 24: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Villach

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

n-jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Stationen mit 1

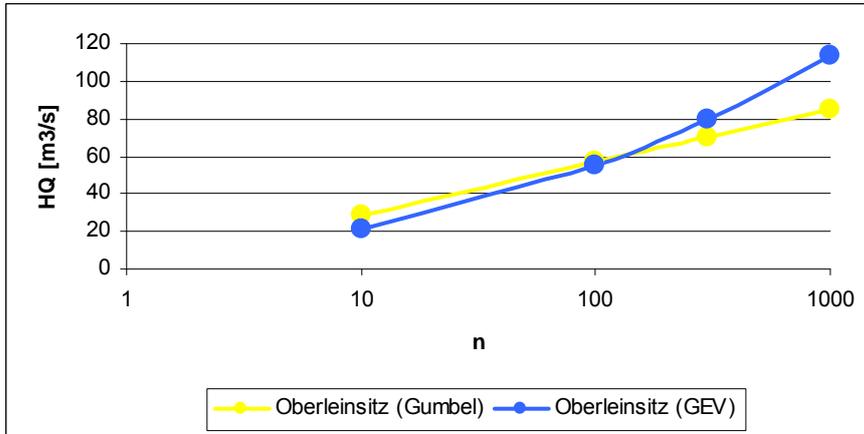


Abb. 25: n-jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Extremwertverteilung an Oberleinsitz

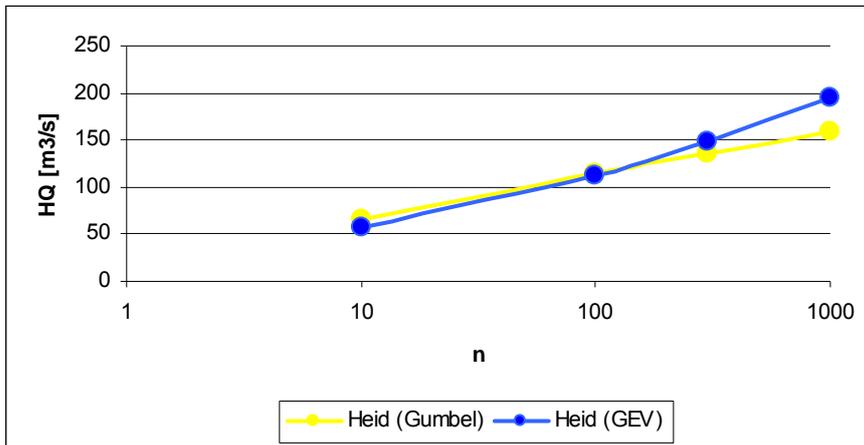


Abb. 26: n-jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Heid

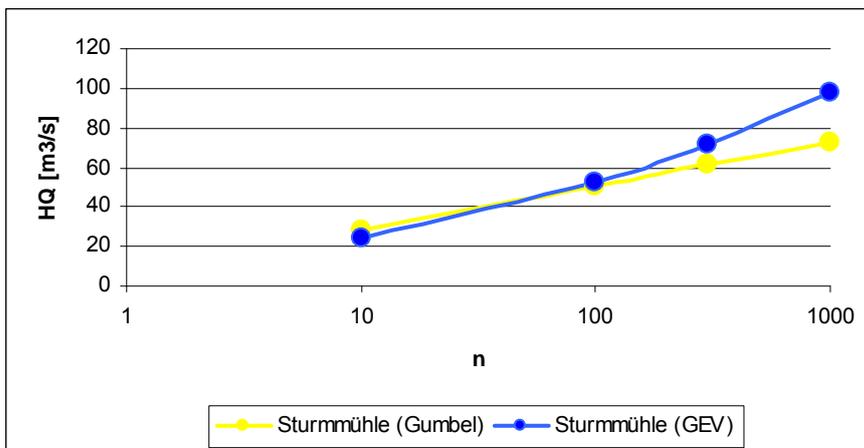


Abb. 27: n-jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Sturmmühle

n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Stationen ohne Grossereignissen

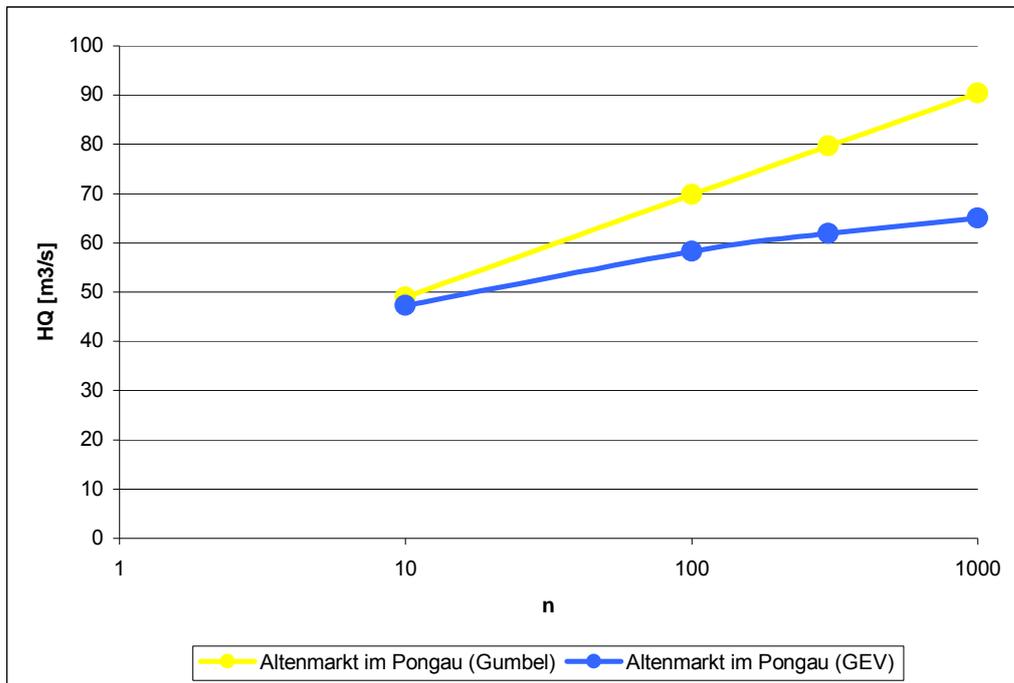


Abb.28: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Altenmarkt im Pongau

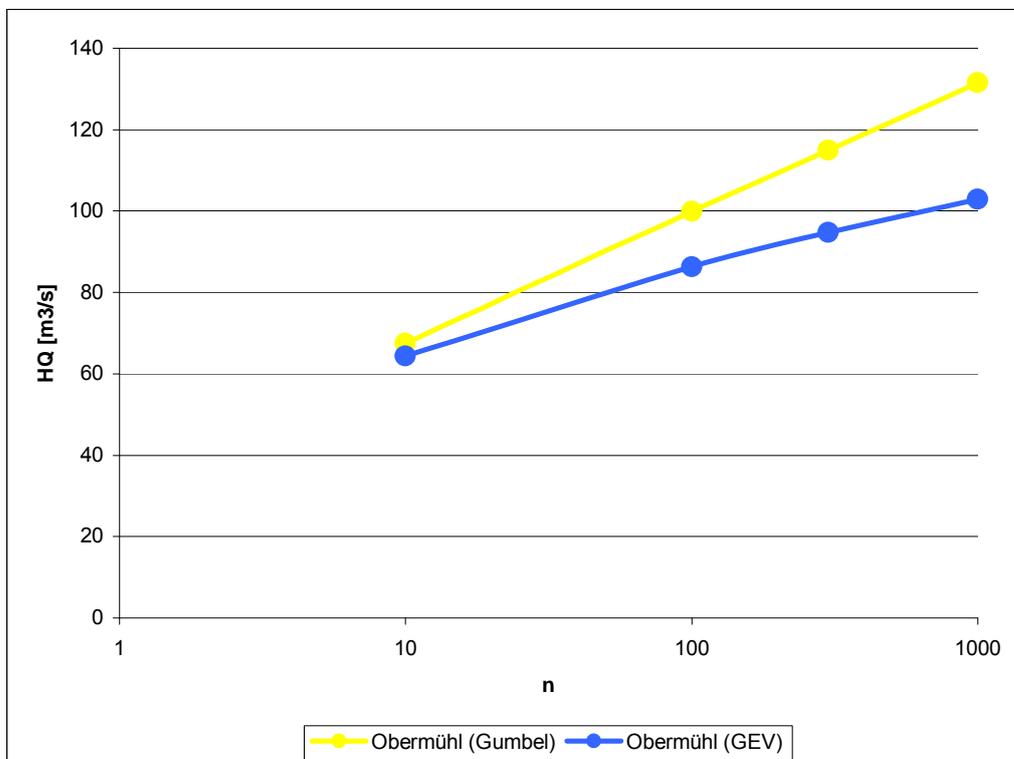


Abb.29: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Obermühl

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

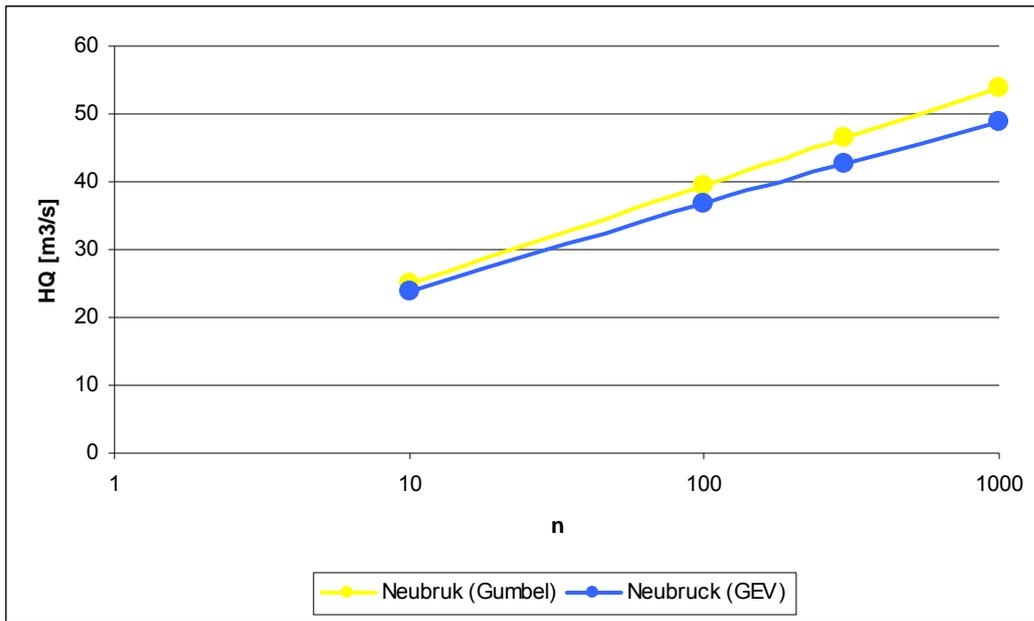


Abb.30: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Neubruck

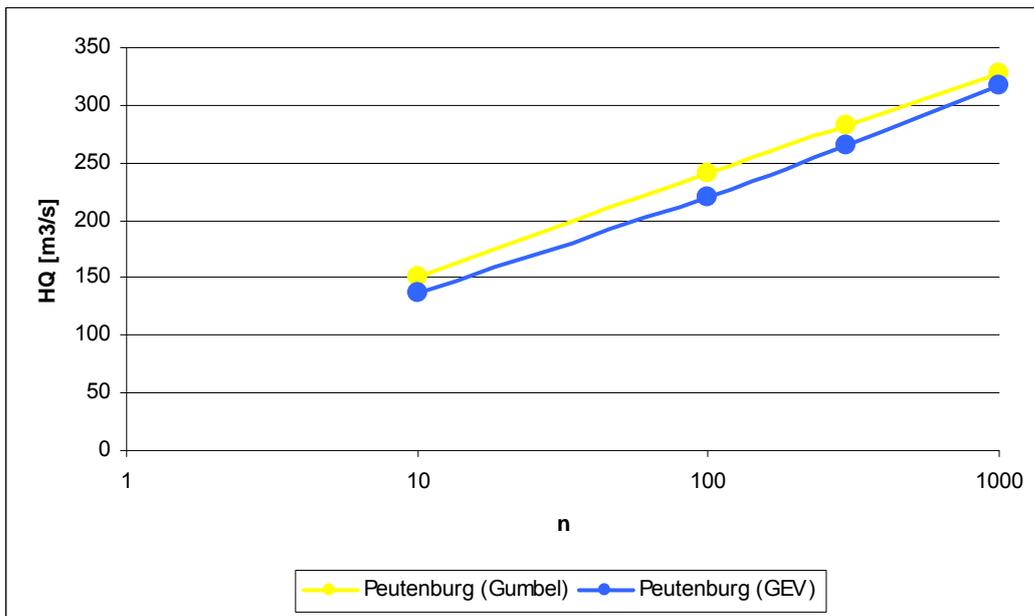


Abb.31: n- jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbelverteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an Peutenburg

6. Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf Abflussregime und Gebietseigenschaften

6.1 Abflusssspende

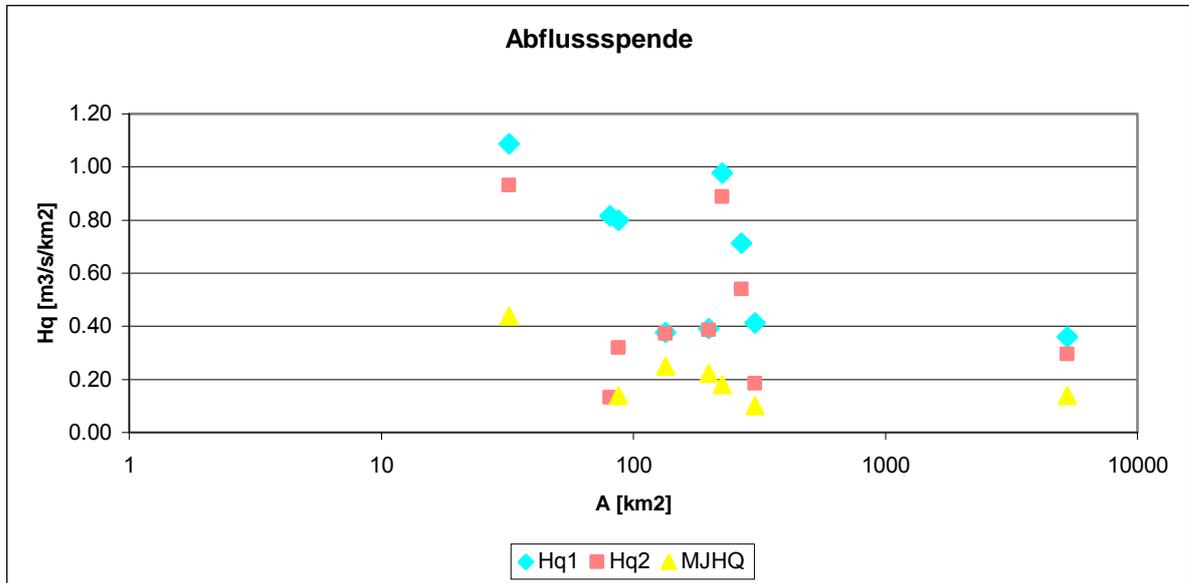


Abb.32: $H_q(A_E)$ Diagramm

Tabelle 38: Abflusssspenden

	Neu-bruck	Ober-leinsitz	Sturm-mühle.	Altenmarkt im P.	Ober-mühl	Saustein-aste	Peuten-burg	Haid	Villach
HQ^1	35.0	66.2	70.0	50.7	77.9	220.0	192.0	125.5	1900.0
HQ^2	30.0	10.8	28.0	50.0	77.1	200.0	145.6	56.0	1550.0
A [km ²]	32.2	81.1	87.6	134.5	199.2	225.0	269.3	303.1	5266.4
Hq^1 [m ³ /s/km ²]	1.09	0.82	0.80	0.38	0.39	0.98	0.71	0.41	0.36
Hq^2 [m ³ /s/km ²]	0.93	0.13	0.32	0.37	0.39	0.89	0.54	0.18	0.29
MJHQ [m ³ /a/km ² /]	0.44	0.10	0.14	0.25	0.22	0.18	-	0.10	0.14

Das Abflusssspendendiagramm wird zur Überprüfung der Ergebnisse von der statistischen Methode benutzt.

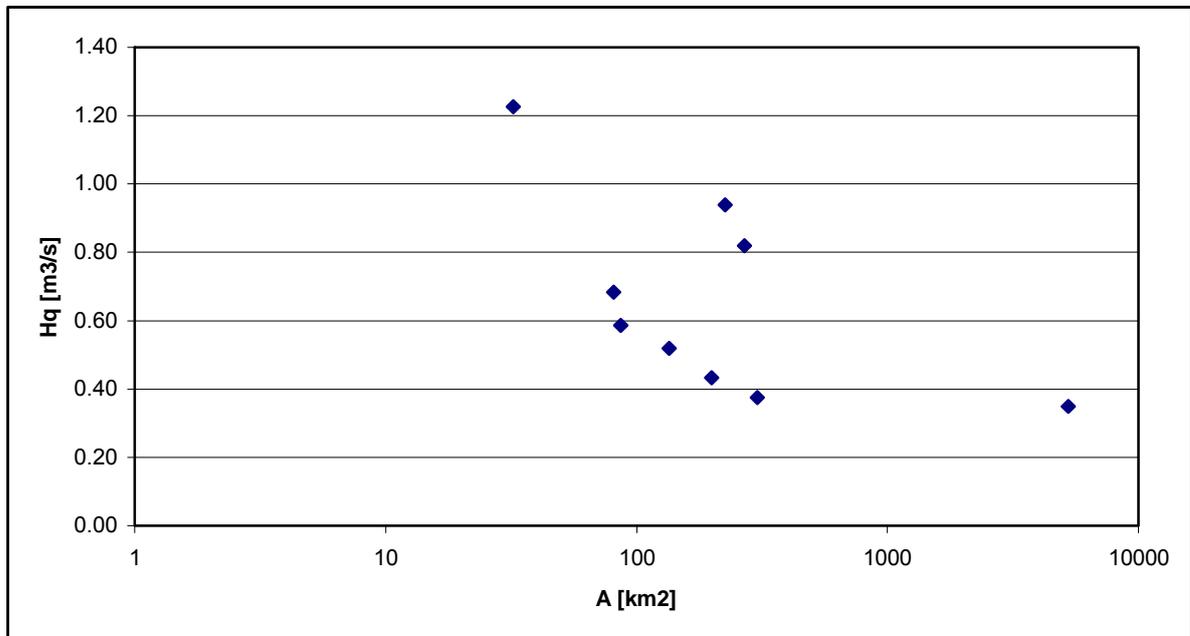
In der Regel nehmen die Hochwasserdurchflüsse wegen der zunehmenden Gebietsfläche und den damit verbundenen zunehmenden Wasservolumina entlang eines Flusslaufes zu. Hochwasserspenden nehmen hingegen meist entlang eines Flusslaufes bzw. mit der Einzugsgebietsfläche ab.

Das Diagramm der Abflusssspenden ist für das erst- (HQ^1) und das zweit- grösste Ereignis und für den mittleren jährlichen Hochwasserdurchfluss (MJHQ) gebildet. Die Ergebnisse zeigen eine generelle Tendenz bei der Verteilung der Werte. Die Abflusssspenden nehmen mit der Vergrößerung des Gebietes ab.

Die Grossereignisse spielen hier eine Rolle. Die Pegel mit einem Grossereignis (Oberleinsitz, Sturmmühle, Haid) zeigen grössere Differenzen zwischen HQ^1 und

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

HQ^2 . Das ist besonders bei Oberleinsitz ausgeprägt, wo der Ausreisser um etwa 10-fach grösser ist als alle anderen Werte dieser Datenreihe. Der Wert für Sausteinaste ist entsprechend seiner Grösse des Einzugsgebiets höher. Hier spielt die Seehöhe (909.54m.ü.A) der Einzugsgebiet eine Rolle..



	Neu-bruck	Ober-leinsitz	Sturm-mühle.	Altenmarkt im P.	Ober-mühl	Saustein-aste	Peuten-burg	Haid	Villach
$HQ_{100} \text{ m}^3/\text{s}$	39.5	55.4	50.8	69.8	86.3	211.2	220.7	113.7	1840
$A_E \text{ km}^2$	32.2	81.1	86.7	134.5	199.2	225.0	269.3	303.1	5266.4
$H_q \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	1.23	0.68	0.59	0.52	0.43	0.94	0.82	0.38	0.35

Hier wird HQ_{100} als ein Referenzwert gewählt und die Abflussspenden berechnet. Die Tendenz der Werte stimmt mit dieser in der oberen Tabelle überein. Neubruck zeichnet sich mit einem Wert >1 aus. Auf der Abbildung fallen Peutenburg und Sausteinaste auf. Wegen der höheren Durchfluss ergeben sich hier höhere Werte. Das Diagramm zeigt die deutlich unterschiedlichen Regime der Gebiete. So kann man abflussintensive und niederschlagsarme Gebiete unterschieden werden. Die höchstliegenden Punkten entsprechen den Pegel Neubruck, Sausteinaste und Peutenburg. Als wenig abflussintensiv gelten hier Haid und Villach.

6.2 Abflussbeiwerte als Kenngrösse für Abflussintensität der Gebiete

- Bestimmung welcher Anteil des Niederschlages und der Schneesmelze zum Abfluss kommt.

$$\psi = \frac{RD}{N}$$

RD – direkter Abfluss

N – Niederschlag

$$0 \leq \psi \leq 1$$

$\psi = 0 \rightarrow$ der gesamte Niederschlag im Einzugsgebiet zurückgehalten wird

Für ein natürliches Einzugsgebiet $\psi < 1$

- Abflussbereitschaft verschiedener Einzugsgebiete in Abhängigkeit von:
- Kenngrößen des Ereignisniederschlages (Menge, Dauer, räumliche und zeitliche Verteilung)
 - Gebietsbeschaffenheit (Topographie, Boden)
 - Gebietszustand beim Niederschlagsereignis (Bodenfeuchte, Vegetation)

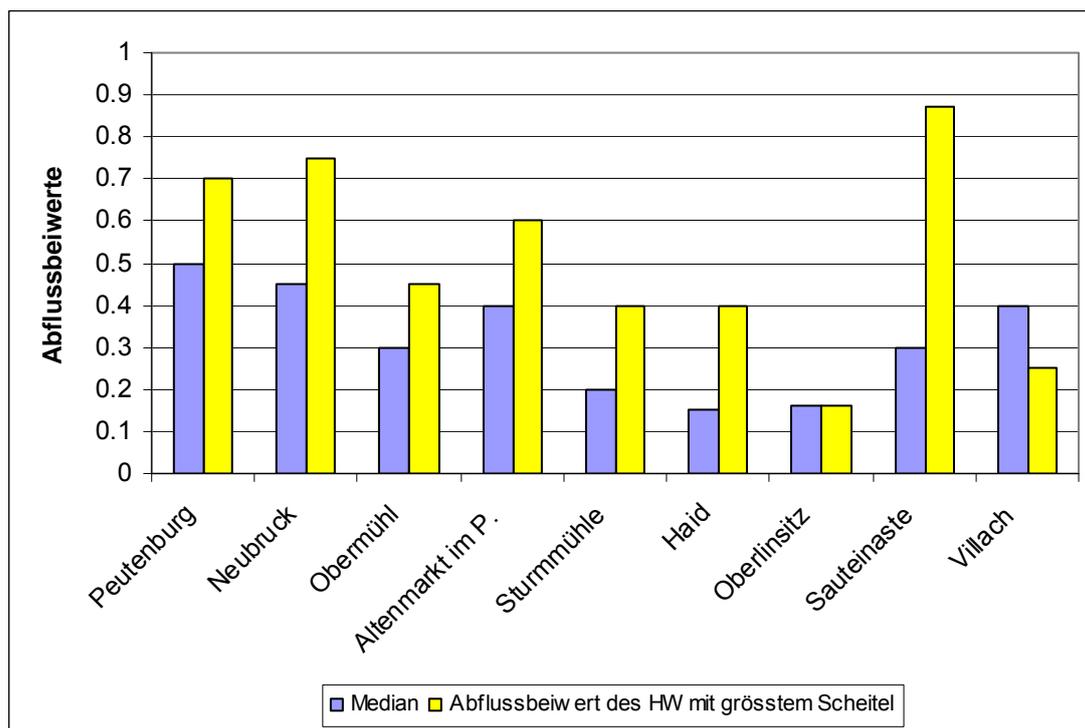


Abb.33: Abflussbeiwerte (HAÖ: 5.9 Ereignisbezogene Abflussbeiwerte)

Die neun werden Pegel in Bezug auf die Abflussbereitschaft ausgewertet.

Sausteinaste befindet sich in den hochalpinen Gebiet Tirol. Das ist ein regenreichen Region mit vorbefeuchtetem Boden. Die grosse Differenz zwischen dem Abflussbeiwert des Hochwassers und dem Median zeigt, dass Grossereignisse hier auftreten.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Villach ist ein Pegel in südlichen Kärnten, wo im Prinzip viel Niederschlag fällt. Die potentielle Verdunstung ist hier gross. Der Scheitel des Hochwassers liegt niedriger als das Median.

Die Pegel ohne Grossereignisse Peutenburg und Neubruck haben ähnliche Werte. Die beiden Pegel liegen in der Nähe einander. Einen grossen Durchfluss gibt es aber im Peutenburg. Seine Seehöhe ist grösser (269,3). Seine Abflussbereitschaft ist höher. Die beiden Pegel sind wenig vorbefeuhtet.

Obermühl, Sturmmühle und Haid haben ähnliche Abflussbeiwerte. Ihre Einzugsgebiete liegen auf Kulturflächen in Oberösterreich in relativ gleicher Seehöhe. Obermühl zeichnet sich mit grösseren Niederschlagsmengen und hohen Abfluss im Frühjahr. Hier gibt es ein Grossereigniss (2002), der den Abflussbeiwert erhöht.

Oberleinsitz befindet sich im waldigen Gebiet und zeichnet sich mit einem relativ kleinen Abfluss aus. Das Median und der Abflussbeiwert des Hochwassers haben dasselbe Wert von 0,16.

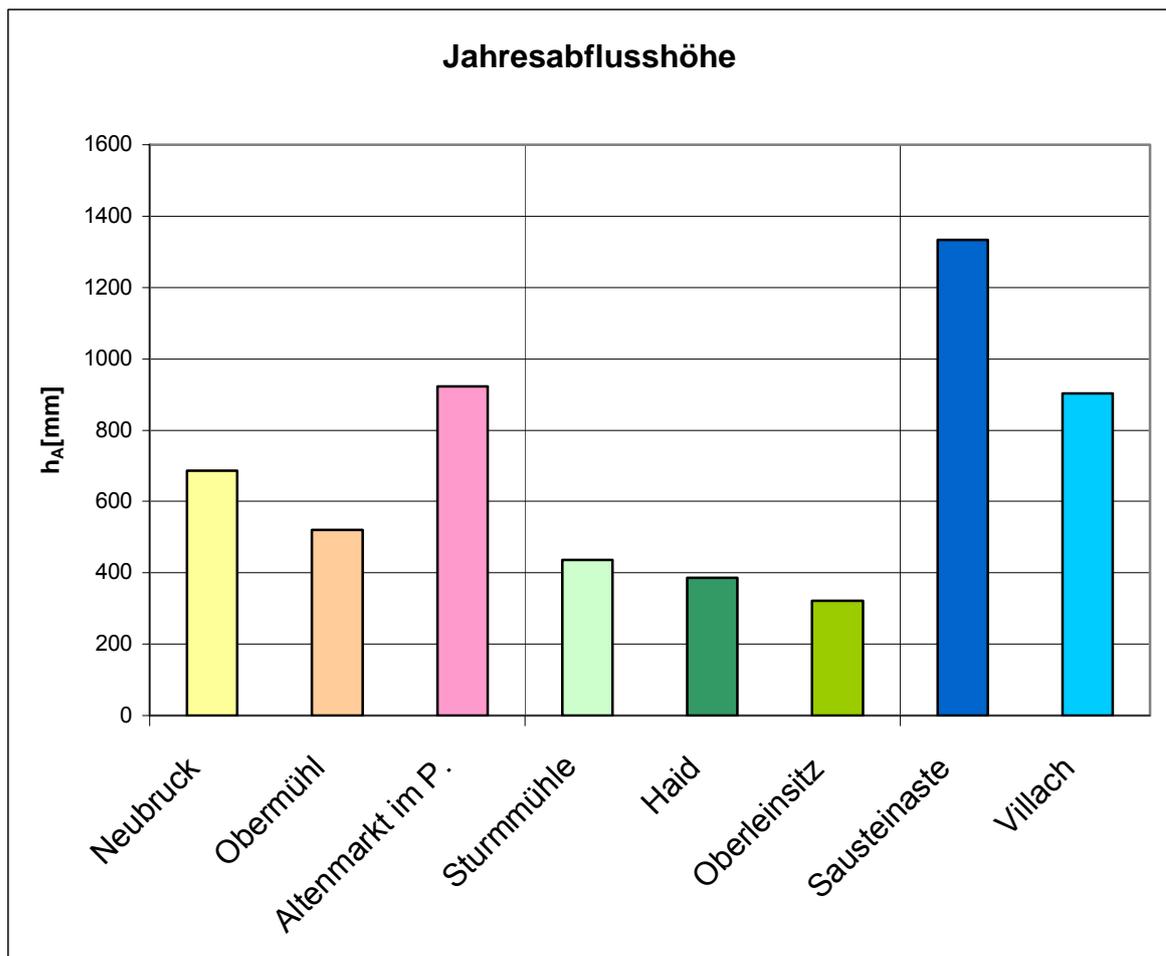


Abb.34: Jahresabflusshöhe

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

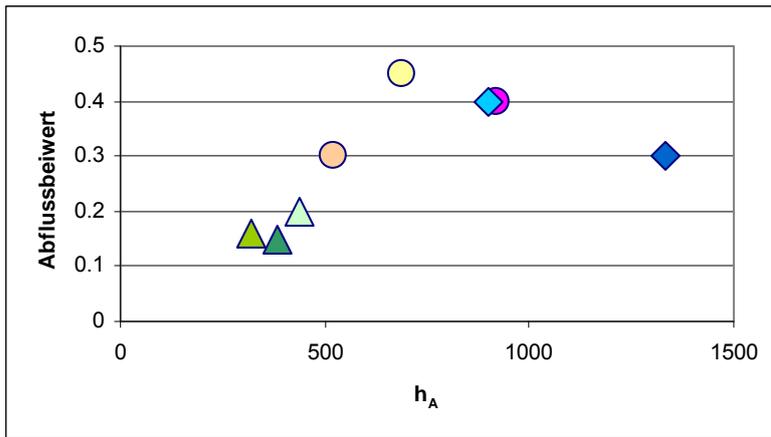


Abb.35

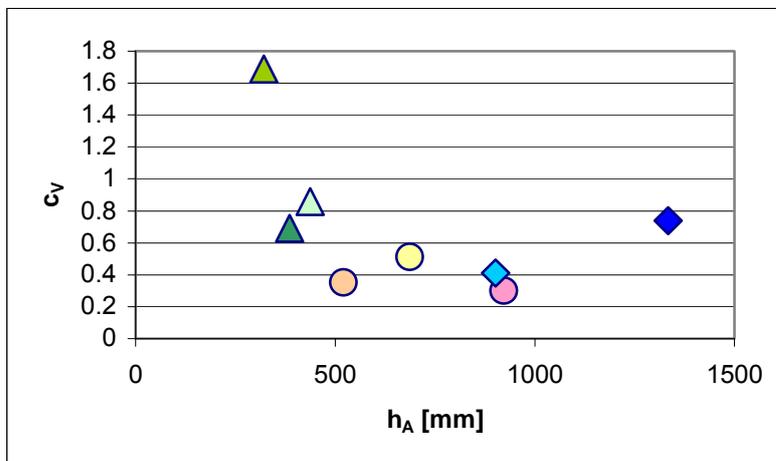


Abb.36

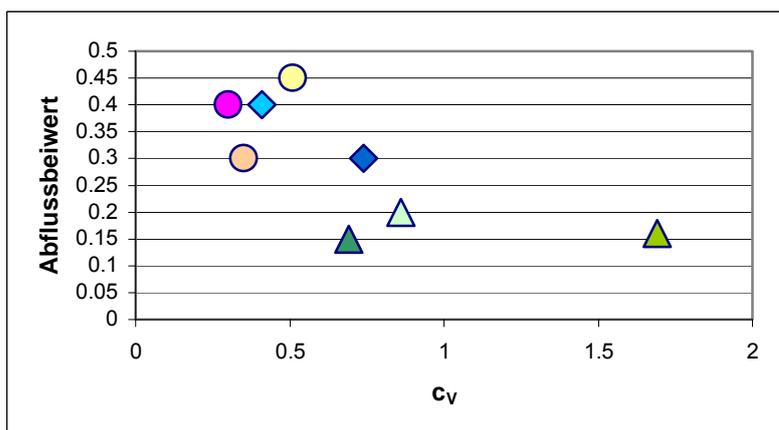


Abb.37

Aus dem Diagramm der Jahresabflusshöhe kann man sehen, dass die Pegel mit zwei Grossereignissen die höchsten Werten aufweisen. Die grosse Einzugsgebietsfläche von Villach und die grossen Abfluss und Vorbefeuchtung bei Sausteinaste spielen hier eine Rolle.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Die Pegel mit einem Grossereignis erweisen hier niedrigere Werten. Im Abb. 36 haben alle höhere Werten für Standartabweichung (c_v) bei kleineren Hochwasserabfluss. Die drei Pegel befinden sich in Gebieten der Waldviertel und haben ähnliche Eigenschaften. Das ist auch im Abb. 35 erkennbar. Alle drei haben niedrigere Werten der Abflussbeiwert. In Abb. 36 und Abb.37 weicht aber die Standartabweichung der Oberleinsitz wegen der Grossereigniss nach oben ab. Aus den Pegel ohne Grossereignisse liegt Altenmarkt im Pongau am höchsten wegen seiner grösseren Seehöhe (838,96).

6.3 Saisonalität (Neiderschlag und Abfluss)

→ Saisonalität des mittleren Abflusses verschiedener Gebieten in Hinblick auf den Betrag von Regen, Schnee und Verdunstung im Vergleich mit der Saisonalität des Niederschlags

Extremerte

- Sommerhochwässer - Niederschlag unterschiedlicher Dauer
- Winterhochwässer - Niederschlag auf eine vorhandene Schneedecke
- Schneeschmelzehochwässer

$$h_A [mm/a] = \frac{MQ [m^3/s] * 31.5 * 10^6}{A_E [km^2] * 10^6} * 100$$

h_A – Abflusshöhe

h_N – Niederschlagshöhe

$$a = \frac{h_A}{h_N}$$

Der Abflusskoeffizient gibt eine Auskunft über die Abflussproduktion der Einzugsgebiete und lässt Aussagen über ihre Abflussbereitschaft machen.

(Anhang IV - Graphiken)

Sausteinaste ist entsprechend seiner Lage im Hochgebirge mit einem Maximum der Monatsabflüsse im Juli. Schnee und Gletscherschmelze treten in dieser Region im Juni und Juli auf. Die Maxima der Niederschläge treten im April und Juli auf.

Haid liegt in Waldviertel und hat ein Maximum der Niederschläge im August. Die Graphiken zeigen, dass es im März eine grosse Abflussproduktion gibt.

Sturmmühle befindet sich in der Nähe von Haid aber auf eine niedrigere Seehöhe (81.1 m.ü.A). Die Verteilungen dieser Pegel sind dem Haid ähnnlich. Hier gibt es nur wegen der ebenen Relief kleineren Durchflüsse.

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Neubruck entsprechend seiner Lage im Niederösterreich hat ein relativ niedriger Durchfluss. Der grössten Abfluss tritt in ersten drei Monaten auf.

Die Monatsniederschläge für Oberleinsitz sind für das ganze Jahr fast gleich. Ein Jahreshöchstwasser tritt im August auf und verursacht extreme Abflüsse in diesem Monat. Die Abflusshöhen haben im März und April auch höhere Werten. Die Abflussbereitschaft ist in diesen Monaten niedrig.

Bei Obermühl kann man aus den Graphiken sehen, dass die grössten Durchflüsse im Dezember, Januar und August auftreten, den grössten Abfluss bildet sich aber im Februar und März.

Altenmarkt im Pongau hat im Sommer ein gleich verteilter Durchfluss, deren Werte für das ganze Jahr am höchsten sind. Die Monatsabflüsse haben eine Spitze im Mai. Die Werten der Abflusshöhe steigen entsprechend bis diesem Monat auf und dann fallen gleichmässig nach unten.

Villach hat ein Maximum der Niederschläge im August. Der Scheitel den Abfluss tritt früher auf.

6.4 Hydrogeologie zur Charakterisierung der Untergrundverhältnisse in den Gebieten

Die Bodenart, seine Durchlässigkeit und das Gefälle spielen eine grosse Rolle bei der Abflussbereitschaft des Gebietes.

In diesem Zusammenhang gibt es Böden, die Wasser schnell aufnehmen und auch schnell wieder abgeben können (Porengrundwasserleiter – Kies, Sand, Schotter).

Andere Böden können grössere Mengen Wasser aufnehmen und diese länger gespeichert werden (Feinsande, Löss, grobkörnige, verwitterte Granite).

Es gibt auch Böden, die gegenüber Niederschläge beinahe undurchlässig sind und daher nach kurzer Zeit zu hohen Abflussmengen an der Erdoberfläche führen (Lehm, Ton, Mergel, dichte Sandsteine, Granite usw.).

(aus "Plattform Hochwasser")

7. Zusammenfassung Schlussfolgerungen

Im Rahmen den Kapiteln 5 und 6 werden die 9 Pegel verschiedener Einzugsgebiete Österreichs durch die statistischen Methode und der Zusatzinformationen ausgewertet.

Die statistische Auswertung erfolgt bei der 9 Pegel für verschiedene Längen der Datenreihe und verschiedene Stichproben - Eigenschaften in Bezug auf der Anzahl der Grossereignisse. Die Zuverlässigkeit dieser Datenreihen wird mit Hilfe von Zusatzinformation beurteilt.

Bei Pegel mit Grossereignissen (Sturmmühle, Haid, Oberleinsitz, Sausteinaste und Villach) wird die Jährlichkeit nach den zwei Verteilungen eingeschätzt. Bei Sturmmühle hat diese Einschätzung sehr ungewiss erwiesen ($n_{\text{Gum.}} = 710$, $n_{\text{GEV}} = 270$).

Die Verteilungsfunktionen werden für alle Pegel im Extrapolationsbereich betrachtet.

Mit Hilfe der Abbildungen: HQ_n/HQ_{10} Verhältniswerte für die Jährlichkeiten 100, 300, 1000 (siehe 5.4) sieht man die verschiedene Reaktion der zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel und GEV) in diesem Bereich. Die Gumbelverteilung wegen seiner konstanten Schiefe ($\gamma = 1.14$) liegt für die Pegel mit Grossereignissen immer unter GEV Verteilung.

Als zusätzliche Beurteilung der Ergebnisse werden die Abflussbeiwerte und die Jahresabflusshöhen verglichen, wobei die Werten mit einem Grossereignis in beiden Fällen niedrigere Werten aufgewiesen haben. Daraus folgt, dass bei den Pegel ohne Grossereignisse und mit höheren Werten der beiden Parameter eine grössere Wahrscheinlichkeit über Hochwasser existiert.

Bei einem Vergleich der Abflussbeiwerten- und Abflussspendendiagrammen kann deutlich festgestellt werden, dass die niederschlagsreichsten Gebiete Neubruck, Sausteinaste und Peutenburg sind. Kleinere Hochwässer sind hier möglich.

Die für Oberleinsitz betrachteten Eigenschaften haben gezeigt, dass es ein weniger feuchtes Gebiet ist mit niedrigeren Abflussbeiwert und Jahresabflusshöhe, wobei der Hochwasserereignis als ausserordentlich betrachtet werden kann. Die Abflussspende hat aber einen relativ höheren Wert von $0,68 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Hier spielt die grössere Höhe des Gebietes (621.52 m.ü.A) für das Abfliessen des Wassers eine Rolle.

Es wurde festgestellt, dass für das Auftreten von Grossereignissen, die Niederschlagsdauer und die Abflusbereitschaft der Gebiete eine wesentliche Rolle spielen. Die Besonderheit der Hochwasser des Jahres 2002 liegt gerade in Ausmass und Intensität der Niederschlagsereignisse, der Höhe der Scheitelabflüsse, der Jahreszeit ihres Auftretens und der Schnelligkeit des Hochwasseranstieges.

Literatur

DVWK (1999) : Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen

Kirnbauer, R., Schnatter, S., Gutknecht D. : Kursmaterial zum Kurs
“Hydrologische Statistik - Hochwasserwahrscheinlichkeit” des Instituts für
Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft

Gutknecht D., Blöschl, G. : Studienblätter zu Vorlesung “Ingenieurhydrologie”

Ralf März: Wiener Mitteilungen Band 197: Methoden der Hydrologischen Regionalisierung: Regionalisierung von statistischen Hochwasserkenngößen

Merz R., Blöschl G., Humer G.: Hochwasserabflüsse in Österreich – das HORA – Projekt

Hydrologischer Atlas Österreichs

Ao. Univ. Prof. DI Dr. Helmut Habersack. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2005, 1981

Plattform Hochwasser: Ereignisdokumentation Hochwasser August 2002

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2004): Analyse der Hochwasserereignisse von August 2002 – Floodrisk (Die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 in Österreich (Originalarbeit) Godina R., Lalk P., Lorenz P., Müller G., Weilguni V.)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich

Zettl H., Schreiber H.: Hydrographische Charakteristik der Hochwasserereignisse der Jahren 1965, 1966 in Österreich

Grundlagen der Hydrologie

Ljubomira Evtimova: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserberechnung (Diplomarbeit 2007 – TU-Wien)

Internet: Die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 in Österreich [PDF]

Anhang I

1. Prüfung der Stichprobe

Stichproben können dargestellt werden als empirische Verteilungsfunktion im Wahrscheinlichkeitspapier, als Histogramm und in Ganglinienform. Bei der statistischen Analyse von Hochwasserabflüssen wird davon ausgegangen, dass die verwendete Stichprobe:

- frei von echten Fehlern ist,
- nur voneinander unabhängige Elemente enthält,
- nicht durch Veränderungen im Gebiet oder am Gewässer beeinflusst ist.

Außerdem ist es auf sogenannte Ausreißer zu achten – Stichprobenelemente, die deutlich außerhalb der Schwankungsbreite der übrigen Werte liegen. (DVWK, 1999)

Zur Prüfung der Stichprobe auf Homogenität, Unabhängigkeit und das Vorhandensein von Ausreißern sollten als erstes die Stichprobenelemente in ihrer zeitlichen Abfolge aufgetragen werden. Diese Darstellung gibt Hinweise auf Ausreißer und auf mögliche sprunghafte oder kontinuierliche Veränderungen des Abflussverhaltens innerhalb des Beobachtungszeitraumes (DVWK, 1999).

Vor jeder statistischen Analyse von Datenmaterial sollte eine graphische Veranschaulichung der Stichprobe erwogen werden. Der optische Eindruck, der sich dabei ergibt, ermöglicht eine kritische Beurteilung sowohl des Datenmaterials in Hinblick auf Datenfehler als auch von später automatisch berechneten Ergebnisse.

Wesentliche Punkte daraus sind:

1. Unabhängigkeit

Durch die Berücksichtigung nur eines Wertes pro Jahr ist die Unabhängigkeit der Stichprobenelemente weitgehend gesichert. Eine Prüfung ist erforderlich, wenn die zu verwendenden Hochwasserereignisse zeitlich dicht zusammenliegen und durch den Jahreswechsel getrennt sind (DVWK, 1999).

2. Homogenität

Jede statistische Analyse setzt homogene Daten voraus, d.h., die Hochwasserabflüsse dürfen in den zugrunde liegenden Beobachtungszeit nicht durch Veränderungen im Einzugsgebiet oder am Gewässer beeinflusst sein. Inhomogenitäten machen sich durch sprunghafte oder kontinuierliche Veränderungen der Hochwasserabflüsse bemerkbar. Inhomogenitäten dürfen aber nur beseitigt werden, wenn sie gesichert auf anthropogene Veränderungen des Hochwasserabflusses zurückzuführen sind. (DVWK, 1999).

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

3. Repräsentanz

Voraussetzung jeder statistischen Analyse ist die Repräsentanz der

Stichprobe – es wird unterstellt, dass der durch Messungen belegte Zeitraum repräsentativ ist für langfristige Abflussverhalten. Dies ist nicht gegeben, wenn die

Stichprobe vorwiegend Perioden mit überdurchschnittlich grossen oder unterdurchschnittlich kleinen Hochwasserereignisse umfasst. Um diesen Einfluss zu erkennen sind für einen benachbarten Pegel mit einer langen Beobachtungsreihe Vergleichsanalysen durchzuführen. Bei grösseren Beobachtungszeiträumen verliert dieses Problem an Bedeutung (DVWK, 1999). Die Frage der Repräsentanz kann sich aber auch mit dem Problem der

Datenhomogenität überlagern. Pegeldata, die in relativ hochwasserarmen Jahren beginnen und in hochwasserreichen Jahren enden, können einen signifikanten Trend aufweisen, der jedoch auf das unterschiedliche Niederschlagsgeschehen in dieser Zeiträumen durchzuführen ist. Da dieses Niederschlagsgeschehen aber als zufällig angesehen wird, ist in diesem Fall eine Trennbereinigung der Abflüsse nicht sinnvoll (DVWK, 1999).

4. Ausreißer

In der Beobachtungszeitspanne können extreme grosse oder kleine Hochwasserabflüsse registriert worden sein. Das ist erkennbar aus der Darstellung der Zeitreihe oder der empirischen Untersuchungswahrscheinlichkeit durch ungewöhnliche Abweichungen zu den sonstigen Werten. Wird der Ausreißer durch eine Nachprüfung bestätigt, bleibt er als Element der Stichprobe erhalten. Die Dominanz dieses Wertes in der Stichprobe sollte jedoch dadurch reduziert werden, dass ihm eine andere Gewichtung zugemessen wird. Dazu ist erforderlich, dem Ausreißer einen fiktiven Beobachtungszeitraum $n' > n$ zuzuordnen. Dies kann durch Vergleich mit Nachbarpegeln oder durch Auswertung historischer Hochwasser erfolgen (DVWK, 1999).

5. Verteilungsfunktionen

Zur Beurteilung der Güte der Anpassung einer Verteilungsfunktion werden Anpassungsteste durchgeführt. Die Verteilungsfunktion $F(x)$ ist neben der Dichtefunktion $f(x)$ eine weitere Darstellungsform derselben Wahrscheinlichkeitsverteilung und wird aus der Dichtefunktion durch Integration gewonnen. Die Funktionswert $F(X)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass die Zufallsvariable X einen kleiner oder gleich x annimmt.

Die am häufigsten auftretenden Verteilungen sind in Verteilungstypen klassifiziert. Die Variabilität innerhalb eines Typs wird erfasst, indem die Dichtefunktion von einem oder mehreren Parametern abhängig gemacht wird ("Parameterstatistik").

Zur Anpassung eines Verteilungstyps an eine gegebene Stichprobe werden die Parameter aus den Stichprobenwerte geschätzt (Parameterschätzung).

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Die Anzahl der Parameter spielt eine wesentliche Rolle – je grösser die Anzahl der Parameter ist, desto genauer passt sich die Verteilungsfunktion den gegebenen Beobachtungen an. Je nach Grösse der Parameterwerte nimmt die Funktion eine unterschiedliche Form an. Aus der Möglichkeit verschiedene

Parameterwerte zu kombinieren, ergibt sich eine gewisse Flexibilität bei der Beschreibung der Form und damit auch bei der Anpassung an gegebene Beobachtungen.

– 1 – Parametrische Verteilungen

– 2- und 3 – Parametrische Verteilungen – besitzen ausreichende Flexibilität, reagieren im allgemeinen nicht überempfindlich auf extrem grosse oder kleine Beobachtungswerte (sog. Ausreißer)

– Die Anwendung von mehr als dreiparametrischen Verteilungen ist nicht zu empfehlen.

Die Schätzung unbekannter Parameter eines gewählten Verteilungstyps stellt ein zentrales Problem der Parameterstatistik dar. Der Versuch wird so unternommen, die Parameter so zu bestimmen, dass die gewählte Dichtefunktion der gegebenen Stichprobe möglichst gut angepasst ist. Die Güte einer Anpassung zu definieren, existieren eine Reihe von Parameterschätzverfahren.

Die gebräuchlichste Parameterschätzung ist die Momentenmethode, die sich durch eine einfache Handhabung auszeichnet. Optimale Anpassung im Sinne dieser Methode liegt dann vor, wenn die Parameter so gewählt werden, dass die Momente von Dichtefunktion und Stichprobe übereinstimmen.

Die Parameter werden so bestimmt, dass der Mittelwert der Verteilung gleich dem Mittelwert der Stichprobe ist, die Streuung von Verteilung und Stichprobe übereinstimmen und im Falle 3 – parametrischer Verteilungen auch die Schiefen übereinstimmen. Allgemein werden so viele Momente gleich gesetzt wie die Verteilung Parameter besitzt.

In Abhängigkeit vom Wert ihrer Parameter können dreiparametrische Dichtefunktionen ihren üblicherweise glockenförmigen Verlauf verlieren und in einen exponentiellen Verlauf übergehen. Eine solche Form ist möglich, wenn die Stichprobe eine Häufung kleinerer Hochwasserabflüsse aufweist (DVWK, 1999). Ebenfalls parameterabhängig kann bei dreiparametrischen Funktionen der Definitionsbereich durch eine links- oder rechtseitige Begrenzung eingeschränkt sein. Liegen die Elemente einer Stichprobe ausserhalb des Definitionsbereichs, so ist die Funktion für die statistische Analyse ungeeignet. Im folgenden sollen für die empfohlenen Verteilungsfunktionen nur die wichtigsten Eigenschaften in Abhängigkeit von ihren Parametern beschrieben werden. Diese Parameter werden wie in [Kluge, 1996] bezeichnet als:

a = Formparameter

c = Lageparameter

d = Maßstabsparameter (DVWK, 1999)

6.1 Allgemeine Extremwertverteilung (GEV=AE)

Die Allgemeine Extremwertverteilung ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung. Sie spielt eine herausragende Rolle in der

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Extremwerttheorie, da sie die wesentlichen möglichen Verteilungen von Extremwerten einer Stichprobe in einer Darstellung zusammenfaßt. Extremwertverteilungen beschreiben die statistischen Eigenschaften der maximalen oder minimalen Werte, die innerhalb gleichlanger Zeitabschnitte eines Beobachtungszeitraumes auftreten. Dieses Prinzip liegt der Bildung der Jährlichen

Serie zugrunde (DVWK, 1999).

Die AE – Verteilung besitzt drei Parameter und ist definiert für Werte $a > -1$ und $d > 0$. Bei Werten $a > 0$ ist sie gültig von bis zu ihrem rechtseitigen Begrenzungspunkt und bei $a < 0$ vom linksseitigen Begrenzungspunkt bis $+\infty$.

Der Begrenzungspunkt hat den Wert $c + \frac{d}{a}$. Die Dichtefunktion ist geschlossen

integrierbar und hat im Definitionsbereich einen glockenförmigen Verlauf (DVWK, 1999).

Dichtefunktion:

$$f(x) = \frac{1}{d} \cdot \left(1 - a \frac{x-c}{d}\right)^{\frac{1}{a}-1} \cdot \exp\left[-\left(1 - a \frac{x-c}{d}\right)^{\frac{1}{a}}\right]$$

Verteilungsfunktion:

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - a \frac{x-c}{d}\right)^{\frac{1}{a}}\right]$$

Gültigkeitsbereiche:

$$x < c + \frac{d}{a} \text{ für } a < 0, \quad x > c + \frac{d}{a} \text{ für } a > 0; \quad a > -1, \quad d > 0$$

5.2 Gumbel – Verteilung (Extremwertverteilung Typ 1)

Die Gumbel – Verteilung hat zwei Parameter und ist mit $a = 0$ ein Sonderfall der allgemeinen Extremwertverteilung. Sie ist definiert für Werte $d > 0$ und hat einen Gültigkeitsbereich von $-\infty$ bis $+\infty$. Ihre Dichtefunktion hat einen glockenförmigen, stets linksgipfligen Verlauf und ist geschlossen integrierbar. Ihre Anwendung sollte auf die Fälle beschränkt werden, in denen auch die Häufigkeitsdichte der Stichprobe eine linksgipflige Form hat (DVWK, 1999).

Dichtefunktion: $f(x; a, u) = a \cdot e^{-a(x-u)} \cdot e^{-e^{-a(x-u)}}$, wobei a und u sind Parameter

Verteilungsfunktion:

$$f(x, a, u) = e^{-e^{-a(x-u)}}$$

konstanter Schiefekoeffizient: $g_1 = 1.1396$

Gültigkeitsbereiche: $-\infty < x < +\infty$

$$HQ_n - \text{Berechnung: } HQ_n = \frac{-\ln \frac{a}{n} - \ln \frac{a}{n} - \frac{1}{n}}{a} + u$$

HQ_n ist normalverteilt mit:

$m = HQ_n$, dem berechneten HQ - Wert

$$s = s_n = \frac{s_x}{\sqrt{n}} * d$$

s_x - Standardabweichung der Stichprobe

N - Stichprobenumfang

$$d = \sqrt{1 + 1.1396 * k + 1.1 * k^2}$$

$$k = \frac{HQ_n - \bar{x}}{s_x}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i$$

\bar{x} - Mittelwert der Stichprobe

x_1, \dots, x_N - Stichprobe vom Umfang N (gegeben)

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} - \text{Maß für die Streuung der Stichprobe um ihren Mittelwert}$$

s_x^2 - Varianz der Stichprobe

Um das Streuverhalten der Stichprobe unabhängig von der Größe des Mittelwertes beurteilen zu können, ist mitunter die Angabe des dimensionslosen Variationskoeffizienten CV_x von Nutzen:

$$CV_x = \frac{s_x}{\bar{x}}$$

$$g_{1x} = \frac{\sqrt{N * (N - 1)}}{N - 2} * \frac{m_3}{(\sqrt{m_2})^3}, \text{ wo}$$

Berechnung der Schiefe:

$$m_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3$$

$$m_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

5.3 Parameterschätzung

Die Anforderungen an Parameterschätzungen sind:

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

- Konsistenz – der Parameterwert konvergiert bei wachsendem Stichprobenumfang gegen den wahren Parameterwert
- Erwartungstreue – die Schätzvorschrift begeht keinen systematischen Fehler, Abweichungen vom tatsächlichen Wert sind zufällig
Konsistenz und Erwartungstreue sind Mindestanforderungen an Parameterschätzungen.
- Effizienz – die Streuung des Schätzwertes um den wahren Wert ist minimal

Die Berechnung des Mittelwertes stellt die einfachste Möglichkeit dar, einen Anhaltspunkt über die Größenordnung des beobachteten Merkmals zu erhalten. Als arithmetisches Mittel zeigt der Mittelwert der Stichprobenwerte ihre durchschnittliche Größe an.

Die Berechnung der Standardabweichung ermöglicht eine relative gute Beurteilung der Aussagekraft des Mittelwertes: je geringer die Streuung der Stichprobe um den Mittelwert ist, desto informativer ist dieser.

Eine Stichprobe wird als schief bezeichnet, wenn ihr Mittelwert vom häufigsten Wert (Modus) abweicht. Die Schiefe ist gleich 0, wenn die Beobachtungen zu beiden Seiten des Mittelwertes gleichmässig verteilt sind. Wenn Modus links vom Mittelwert liegt, so ist es eine positiv schiefe Stichprobe.

Die Wölbung (Exzess) einer statistischen Verteilung X ist definiert als normierte Form des vierten zentralen Moments $\mu_4(X)$. Sie beschreibt die „Spitzigkeit“ einer Verteilungsfunktion. Die Wölbung gibt es in verschiedenen Ausprägungen mit der Standardabweichung $\sigma(X)$ als:

- Exzess

$$g_2 = \frac{m_4(X)}{s_4(X)} - 3$$

Die Wölbung beschreibt die Abweichung des Verlaufs der gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung zum Verlauf einer Normalverteilung. Verteilungen werden entsprechend ihrer Wölbung eingeteilt in:

- $\gamma_2 = 0$: normalgipflig oder mesokurtisch. Die Normalverteilung hat die Wölbung $\gamma_2 = 0$.

- $\gamma_2 > 0$: steilgipflig, supergaußförmig oder leptokurtisch. Es handelt sich hierbei um im Vergleich zur Normalverteilung spitzere Verteilungen, d.h. Verteilungen mit starken Peaks.

- $\gamma_2 < 0$: flachgipflig, subgaußförmig oder platykurtisch. Man spricht von einer im Vergleich zur Normalverteilung abgeflachten Verteilung.

9. Vertrauensbereiche

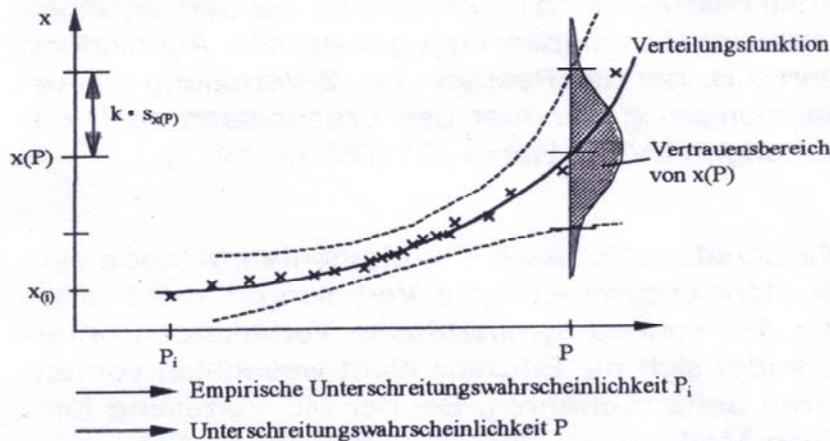


Bild 4: Verteilungsfunktion und Vertrauensbereiche

Abb. A.1: Verteilungsfunktion und Vertrauensbereiche

Jede statistische Aussage, die sich in der Angabe eines einzigen Wertes für Parameter oder Fraktile erschöpft, ist grundsätzlich mit Unsicherheit beschaffen. Es besteht die Möglichkeit, statt eines einzigen Wertes ein ganzes Intervall, einen sogenannten Vertrauensbereich anzugeben, das den gesuchten Wert mit gewisser Sicherheit enthält.

Dazu wird der betrachtete Wert ebenfalls als Zufallsvariable behandelt. Seine Verteilung kann auf verschiedene Weise bestimmt werden.

- Bei Vertrauensbereichen für Fraktile wird folgendermaßen vorgegangen
 - Der gesuchte Wert wird als normalverteilt vorausgesetzt. Der berechnete Fraktilwert $x_a \circ t_a$ wird als Mittelwert der gesuchten Verteilung interpretiert, die Streuung wird mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes bestimmt:

$$s = s_n = \frac{s_x}{\sqrt{N}} * d$$

s_x – Standardabweichung der Stichprobe

N – Stichprobenumfang

δ – abhängig vom Verteilungstyp und k

$$d = \sqrt{1 + 1.1396 * k + 1.1 * k^2}$$

$$k = \frac{HQ_n - \bar{x}}{s_x}$$

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i$$

\bar{x} - Mittelwert der Stichprobe

Das α – Fraktile ist ein Schwellenwert, der vom beobachteten Merkmal mit Wahrscheinlichkeit α unterschritten wird.

Wahl des Mittelwertes – Es liegt nahe, den berechneten HQ_n – Wert als Mittelwert dieser Verteilung zu wählen

Die Standardabweichung – die Aussageunschärfe des HQ_n ist abhängig von N (mit wachsendem N, wird sie kleiner), von der Jährlichkeit n (die Unsicherheit wächst mit der Extrapolationsweite) und von der Streuung des Kollektivs (je größer die Streuung, desto größer die Unsicherheit)

OG – Obere Grenze

UG – Untere Grenze

$$OG = \hat{H}Q_n + t_a * s_n$$

$$UG = \hat{H}Q_n - t_a * s_n$$

$$a = \frac{P}{100}$$

t_a – abgelesen von Tabelle 1.3 in Abhängigkeit von α (siehe Anhang III)

6. Beurteilung der Ergebnisse(Überprüfung)

Zur Absicherung und Bewertung der Ergebnisse der statistischen Analyse an einem Pegel ist möglichst ein Vergleich mit entsprechenden Ergebnissen an benachbarten Pegeln vorzunehmen, vor allem am gleichen Gewässer. Statistische Analysen von Scheitelabflüssen sollten deshalb von vornherein für alle Pegel an

einem Gewässer oder in einer größeren Gebietseinheit mit ähnlichen Abflusseigenschaften durchgeführt werden. Für den Vergleich untereinander sind dieselben Beobachtungszeiträume zu verwenden. Diese Analyse ist zweckmässig

anhand der Abflussspenden $H_{q_T} = \frac{HQ_T}{A_{Eo}}$ vorzunehmen, die mit zunehmender

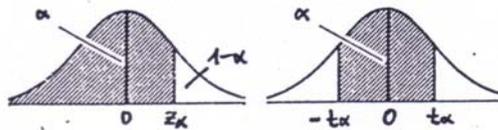
Einzugsgebietsgrösse A_{Eo} abnehmen. Der Zusammenhang lässt sich meist näherungsweise durch eine logarithmische Funktion darstellen. Auf dieser Weise lassen sich unplausible Ergebnisse für bestimmte Verteilungsfunktionen oder insgesamt unplausible Ergebnisse an einzelnen Pegeln erkennen. Im ersten Fall ist die Eignung dieser Verteilungsfunktion zu überdenken, im zweiten ist für allem eine nochmalige Überprüfung der Ausgangsdaten zu empfehlen(DVWK, 1999).

Eine erste Beurteilung der berechneten Ergebnisse sollte über eine optische Kontrolle im Wahrscheinlichkeitsnetz erfolgen, in dem einerseits die Beobachtungswerte entsprechend ihrer scheinbaren Jährlichkeit sowie andererseits die angepaßte Verteilungsfunktion gemeinsam aufgetragen sind.

Anhang II

STANDARD - NORMALVERTEILUNG - FRAKTILE z_α

TABELLE 1.3



$\alpha \cdot 100$	z_α	t_α	$\alpha \cdot 100$	z_α	t_α	$\alpha \cdot 100$	z_α	t_α
1	-2,326	0,013	41	-0,228	0,539	81	0,878	1,311
2	-2,054	0,025	42	-0,202	0,553	82	0,915	1,341
3	-1,881	0,038	43	-0,176	0,568	83	0,954	1,372
4	-1,751	0,050	44	-0,151	0,583	84	0,994	1,405
5	-1,645	0,063	45	-0,126	0,598	85	1,036	1,440
6	-1,555	0,075	46	-0,100	0,613	86	1,080	1,476
7	-1,476	0,088	47	-0,075	0,628	87	1,126	1,514
8	-1,405	0,100	48	-0,050	0,643	88	1,175	1,555
9	-1,341	0,113	49	-0,025	0,659	89	1,227	1,598
10	-1,282	0,126	50	0,000	0,674	90	1,282	1,645
11	-1,227	0,138	51	0,025	0,690	91	1,341	1,695
12	-1,175	0,151	52	0,050	0,706	92	1,405	1,751
13	-1,126	0,164	53	0,075	0,722	93	1,476	1,812
14	-1,080	0,176	54	0,100	0,739	94	1,555	1,881
15	-1,036	0,189	55	0,126	0,755	95	1,645	1,960
16	-0,994	0,202	56	0,151	0,772	96	1,751	2,054
17	-0,954	0,215	57	0,176	0,789	97	1,881	2,170
18	-0,915	0,228	58	0,202	0,806	98	2,054	2,326
19	-0,878	0,240	59	0,228	0,824	99	2,326	2,576
20	-0,842	0,253	60	0,253	0,842			
21	-0,806	0,266	61	0,279	0,860	99,1	2,366	2,612
22	-0,772	0,279	62	0,305	0,878	99,2	2,409	2,652
23	-0,739	0,292	63	0,332	0,896	99,3	2,457	2,697
24	-0,706	0,305	64	0,358	0,915	99,4	2,512	2,748
25	-0,674	0,319	65	0,385	0,935	99,5	2,576	2,807
26	-0,643	0,332	66	0,412	0,954	99,6	2,652	2,878
27	-0,613	0,345	67	0,440	0,974	99,7	2,748	2,968
28	-0,583	0,358	68	0,468	0,994	99,8	2,878	3,090
29	-0,553	0,372	69	0,496	1,015	99,9	3,090	3,291
30	-0,524	0,385	70	0,524	1,036			
31	-0,496	0,399	71	0,553	1,058	99,91	3,121	3,320
32	-0,468	0,412	72	0,583	1,080	99,92	3,156	3,353
33	-0,440	0,426	73	0,613	1,103	99,93	3,195	3,390
34	-0,412	0,440	74	0,643	1,126	99,94	3,239	3,432
35	-0,385	0,454	75	0,674	1,150	99,95	3,291	3,481
36	-0,358	0,468	76	0,706	1,175	99,96	3,353	3,540
37	-0,332	0,482	77	0,739	1,200	99,97	3,432	3,615
38	-0,305	0,496	78	0,772	1,227	99,98	3,540	3,719
39	-0,279	0,510	79	0,806	1,254	99,99	3,719	3,891
40	-0,253	0,524	80	0,842	1,282			

Tabelle 1.3: Fraktile z_α der Standardnormalvert.

Abb. A.2: Fraktile z_α der Standardnormalverteilung

Anhang III

Relativzahlen HQ^m

Daten für Sausteinaste – Zemmbach

$$\begin{aligned}HQ^1 &= 220.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^2 &= 200.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^3 &= 140.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^4 &= 125.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^5 &= 115.0 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Daten für Altenmarkt im Pongau - Enns

$$\begin{aligned}HQ^1 &= 50.7 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^2 &= 50.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^3 &= 49.6 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^4 &= 49.6 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^5 &= 49.5 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Daten für Obermühl - Kleine Mühl

$$\begin{aligned}HQ^1 &= 77.9 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^2 &= 77.1 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^3 &= 67.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^4 &= 60.5 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^5 &= 58.0 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Daten für Heid - Naarn

$$\begin{aligned}HQ^1 &= 125.5 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^2 &= 56.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^3 &= 51.1 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^4 &= 49.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^5 &= 41.4 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Daten für Sturmmühle - Klambach

$$\begin{aligned}HQ^1 &= 70.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^2 &= 28.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^3 &= 21.6 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^4 &= 21.0 \text{ m}^3/\text{s} \\HQ^5 &= 20.9 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Daten für Sausteinaste – Zemmbach

$$HQ^1 = 220.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^2 = 200.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^3 = 140.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^4 = 125.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^5 = 115.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daten für Neubruck – Jessnitz

$$HQ^1 = 35.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^2 = 30.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^3 = 29.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^4 = 27.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^5 = 26.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daten für Oberleinsitz – Leinsitz

$$HQ^1 = 66.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^2 = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^3 = 7.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^4 = 6.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^5 = 5.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daten für Villach - Drau

$$HQ^1 = 1900.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^2 = 1500.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^3 = 960.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^4 = 904.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ^5 = 895.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

Pegel ohne Grossereignisse

→ Peutenburg

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{192.0}{145.6} = 1.32$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{192.0}{139.0} = 1.38$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{192.0}{95.5} = 2.01$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{192.0}{91.8} = 2.09$$

→ Neubruck

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{35.0}{30.0} = 1.17$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{35.0}{29.5} = 1.19$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{35.0}{27.0} = 1.30$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{35.0}{26.9} = 1.30$$

→ Obermühl

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{77.9}{77.1} = 1.01$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{77.9}{67.0} = 1.16$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{77.9}{60.5} = 1.29$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{77.9}{58.0} = 1.34$$

→ Altenmarkt im Pongau

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{50.7}{50.0} = 1.01$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{50.7}{49.6} = 1.02$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{50.7}{49.6} = 1.02$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{50.7}{49.5} = 1.04$$

Pegel mit 1 Grossereigniss

→ Sturmmühle

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{70.0}{28.0} = 2.50$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{70.0}{21.6} = 3.24$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{70.0}{21.0} = 3.33$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{70.0}{20.9} = 3.35$$

→ Heid

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{125.5}{56.0} = 2.24$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{125.5}{51.1} = 2.46$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{125.5}{49.0} = 2.56$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{125.5}{41.4} = 3.03$$

→ Oberleinsitz

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{66.2}{10.8} = 6.16$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{66.2}{7.7} = 8.61$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{66.2}{6.2} = 10.71$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{66.2}{5.7} = 11.67$$

Pegel mit 2 Grossereignissen

→ Sausteinaste

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{220.0}{200.0} = 1.10$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{220.0}{140.0} = 1.57$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{220.0}{125.0} = 1.76$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{220.0}{115.0} = 1.91$$

→ Villach

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^2} = \frac{1900.0}{1550.0} = 1.23$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^3} = \frac{1900.0}{960.0} = 1.98$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^4} = \frac{1900.0}{904.0} = 2.10$$

$$RZA = \frac{HQ^1}{HQ^5} = \frac{1900.0}{895.0} = 2.12$$

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

$RZA(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$ - Verhältnis zwischen des n - jährlichen Hochwassers und 10 - jährliches Hochwassers, wo: n = 100, 300, 1000

• **Pegel mit beobachteten Datenreihen ohne Grossereignisse**

→ Peutenburg - Grosse Erlauf

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{240.4}{151.4} = 1.59$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{282.2}{151.4} = 1.86$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{327.9}{151.4} = 2.17$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{220.7}{136.8} = 1.61$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{264.7}{136.8} = 1.93$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{316.4}{136.8} = 2.31$$

→ Neubruck – Jessnitz

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{39.5}{24.9} = 1.59$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{46.4}{24.9} = 1.86$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{53.9}{24.9} = 2.16$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{36.7}{23.8} = 1.54$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{42.6}{23.8} = 1.79$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{49.0}{23.8} = 2.06$$

→ Obermühl - Kleine Mühl

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{86.3}{64.4} = 1.48$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{94.7}{64.4} = 1.70$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{102.8}{64.4} = 1.95$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{99.8}{67.6} = 1.34$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{115}{67.6} = 1.47$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{131.5}{67.6} = 1.60$$

→ Altenmarkt im Pongau – Enns

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{69.8}{48.9} = 1.43$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{79.6}{48.9} = 1.63$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{90.4}{48.9} = 1.85$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{58.4}{47.2} = 1.24$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{61.9}{47.2} = 1.31$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{65}{47.2} = 1.38$$

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

• **Pegel mit beobachteten Datenreihen mit 1 Grossereignis**

→ Sturmmühle - Klambach

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{50.8}{28.6} = 1.78$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{61.2}{28.6} = 2.14$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{72.6}{28.6} = 2.54$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{52.3}{24.2} = 2.16$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{71.2}{24.2} = 2.94$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{97.7}{24.2} = 4.04$$

→ Haid - Naarn

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{113.7}{66.6} = 1.71$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{135.8}{66.6} = 2.04$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{159.9}{66.6} = 2.40$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{113.3}{57.7} = 1.96$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{148.3}{57.7} = 2.57$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{195.2}{57.7} = 3.38$$

→ Oberleinsitz - Leinsitz

Gumbelverteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{57}{28.5} = 2.00$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{70.3}{28.5} = 2.47$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{84.9}{28.5} = 2.98$$

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{55.4}{21.1} = 2.63$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{79.2}{21.1} = 3.75$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{113.3}{21.1} = 5.37$$

• **Pegel mit beobachteten Datenreihen mit 2 Grossereignissen**

→ Sausteinaste – Zemm bach

Gumbelverteilung

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{211.2}{122.9} = 1.72$$

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{211.2}{112} = 1.89$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{252.6}{122.9} = 2.06$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{267.7}{112} = 2.39$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{297.9}{122.9} = 2.42$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{338}{112} = 3.02$$

→ Villach - Drau

Gumbelverteilung

GEV-Verteilung

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{1840}{1201} = 1.53$$

$$RZA (100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{1840}{1201} = 1.53$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{2140}{1201} = 1.78$$

$$RZA (300) = \frac{HQ_{300}}{HQ_{10}} = \frac{2140}{1201} = 1.78$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{2468}{1201} = 2.05$$

$$RZA (1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{2468}{1201} = 2.05$$

Anhang IV

Prozesse - Einzugsgebietsbezug

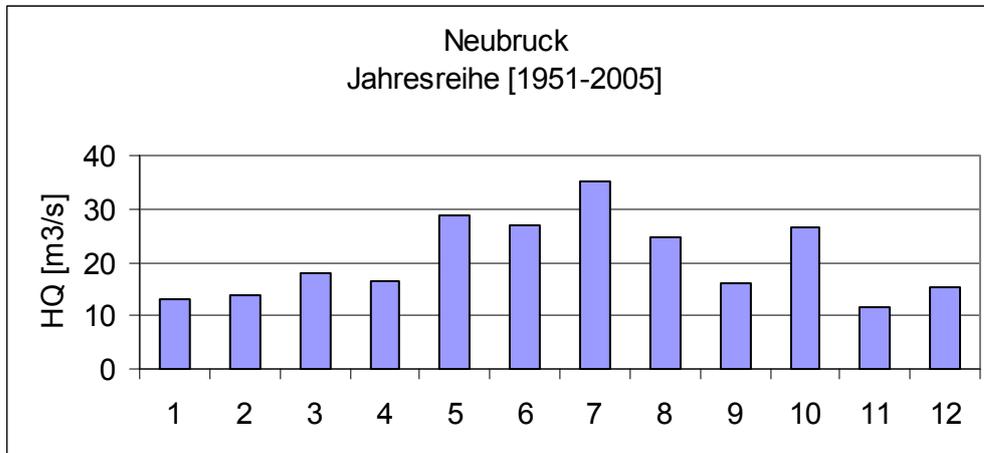


Abb. A.4.1: Durchfluss Neubruck

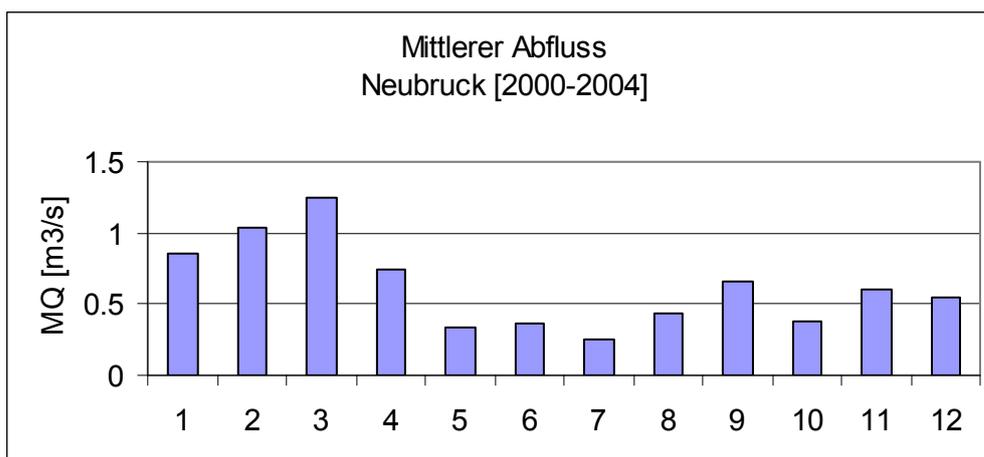


Abb. A.4.2: Mittlerer Abfluss Neubruck

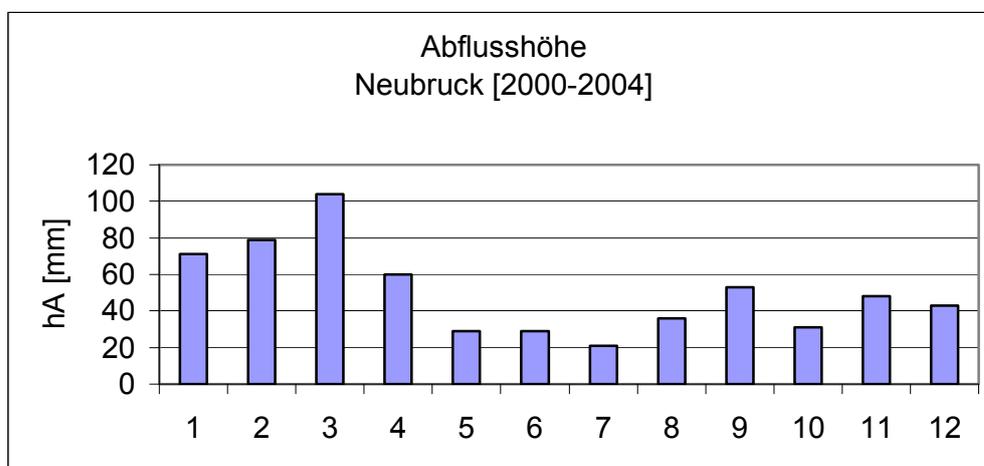


Abb. A.4.3: Abflusshöhe Neubruck

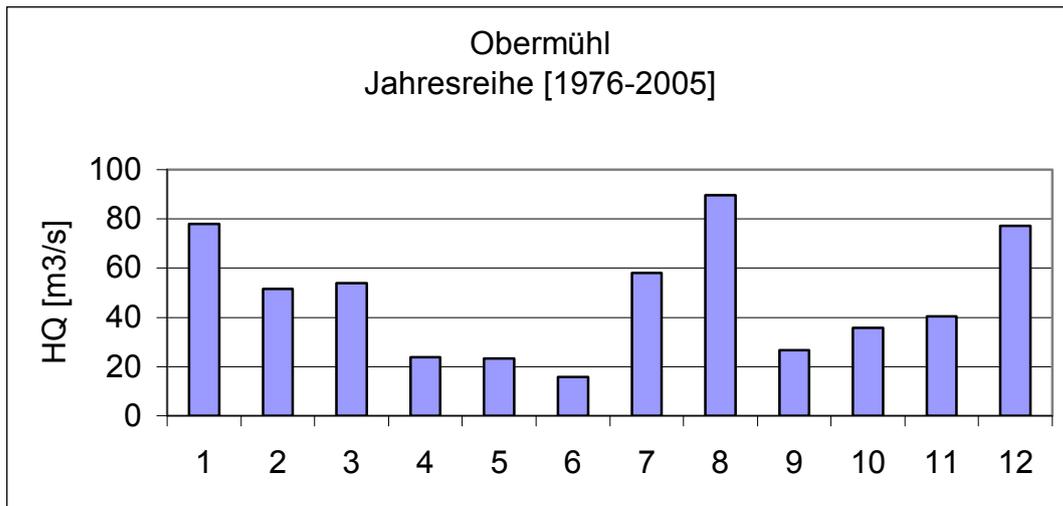


Abb. A.4.4: Durchfluss Obermühl

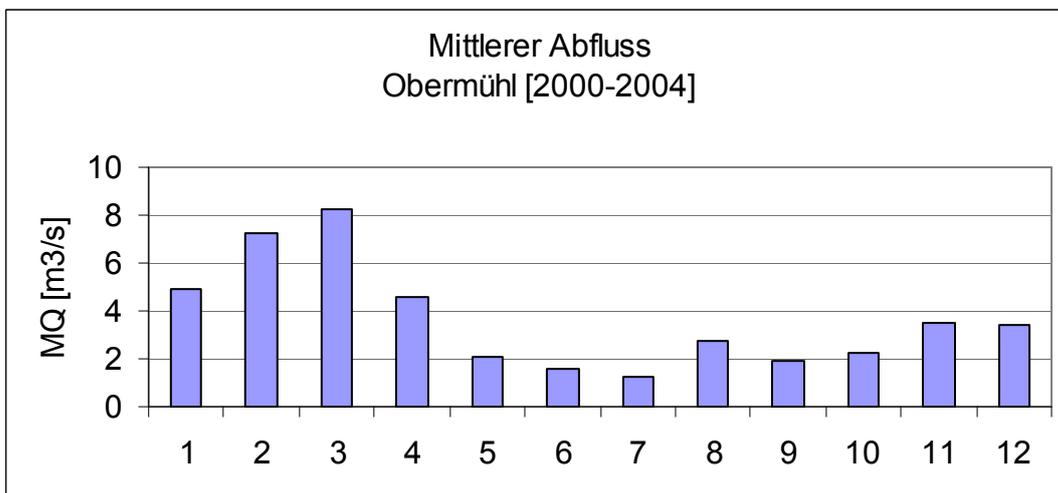


Abb. A.4.5: Mittlerer Abfluss Obermühl

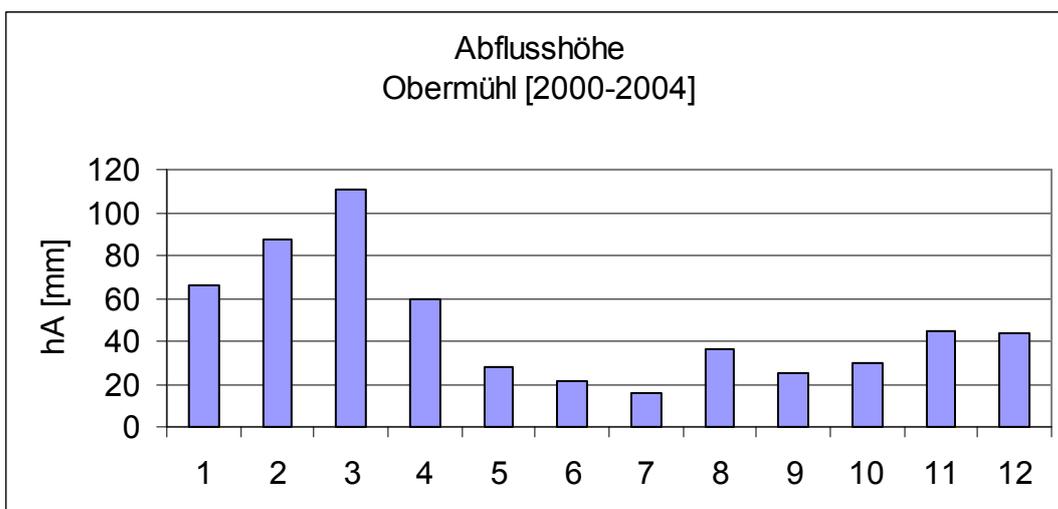


Abb. A.4.6: Abflusshöhe Obermühl

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

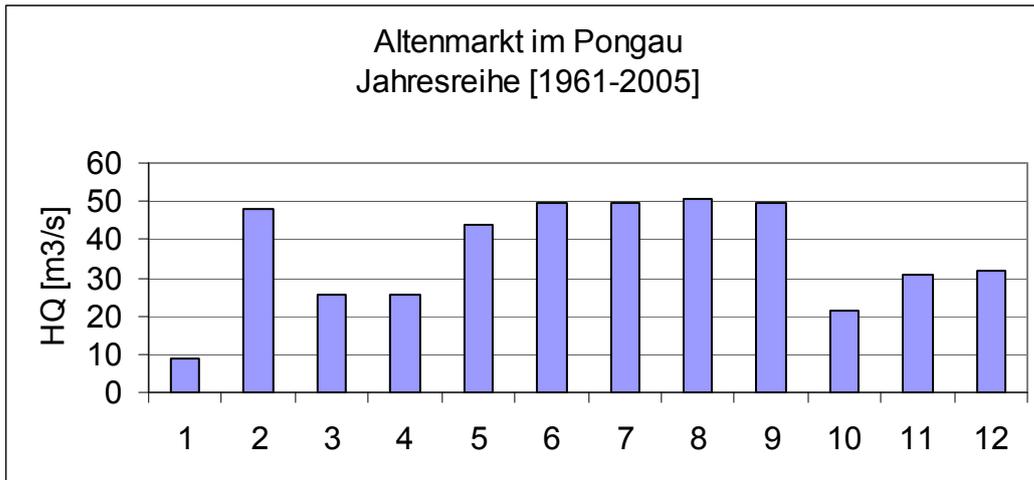


Abb. A.4.7: Durchfluss Altenmarkt im Pongau

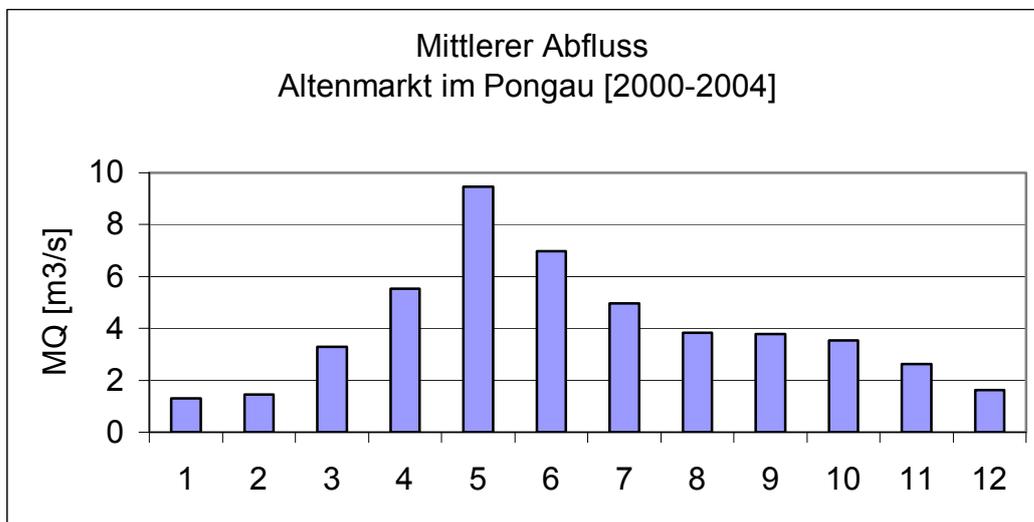


Abb. A.4.8: Mittlerer Abfluss Altenmarkt im Pongau

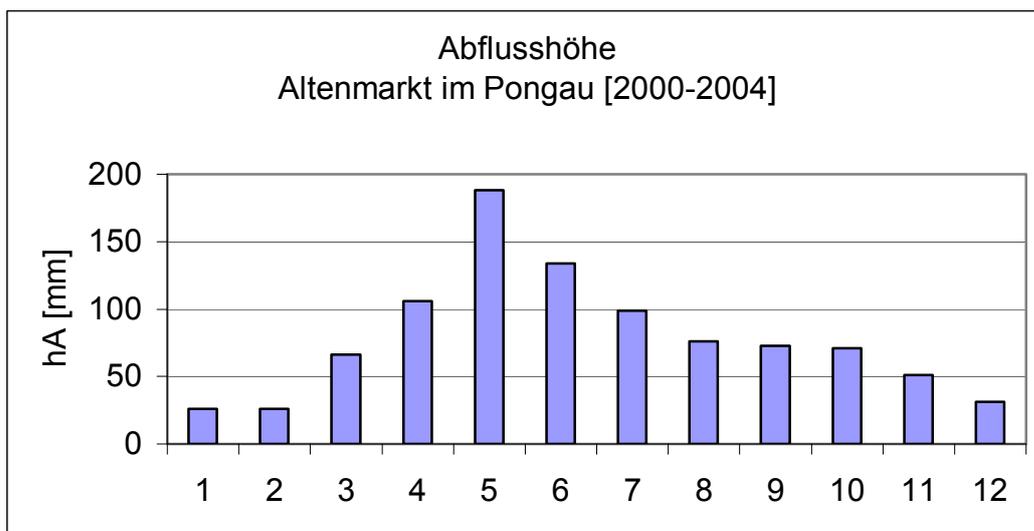


Abb. A.4.9: Abflusshöhe Altenmarkt im Pongau

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

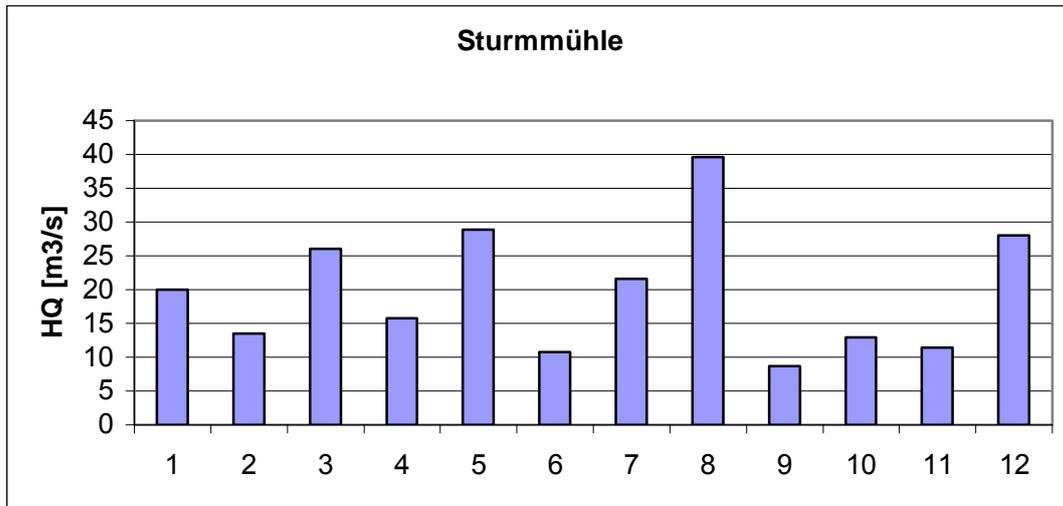


Abb. A.4.10: Durchfluss Sturmmühle

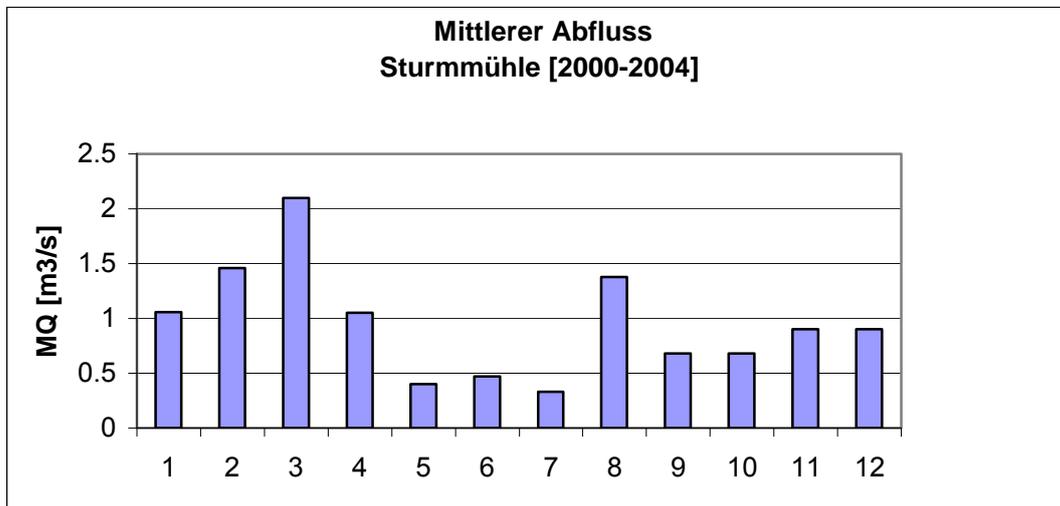


Abb. A.4.11: Mittlerer Abfluss Sturmmühle

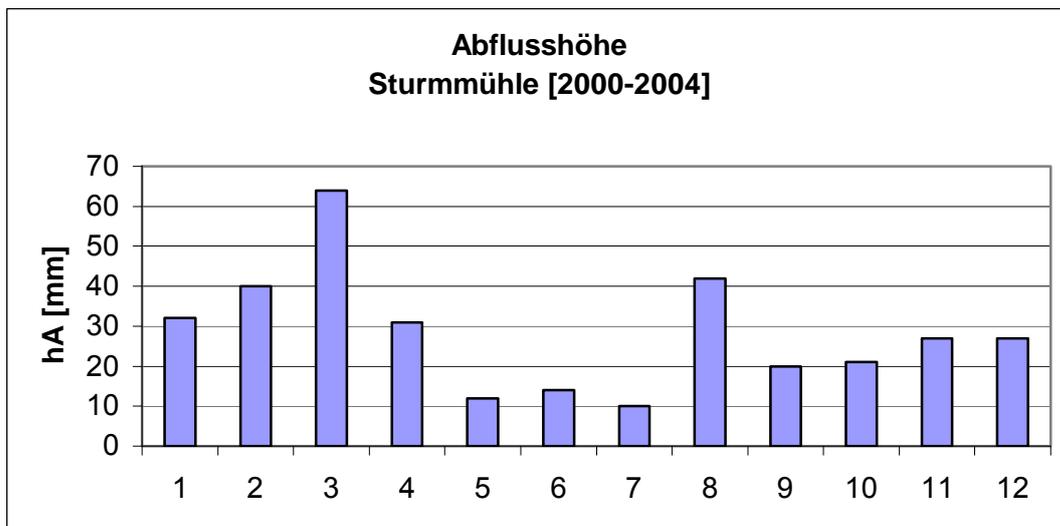


Abb. A.4.12: Abflusshöhe Sturmmühle

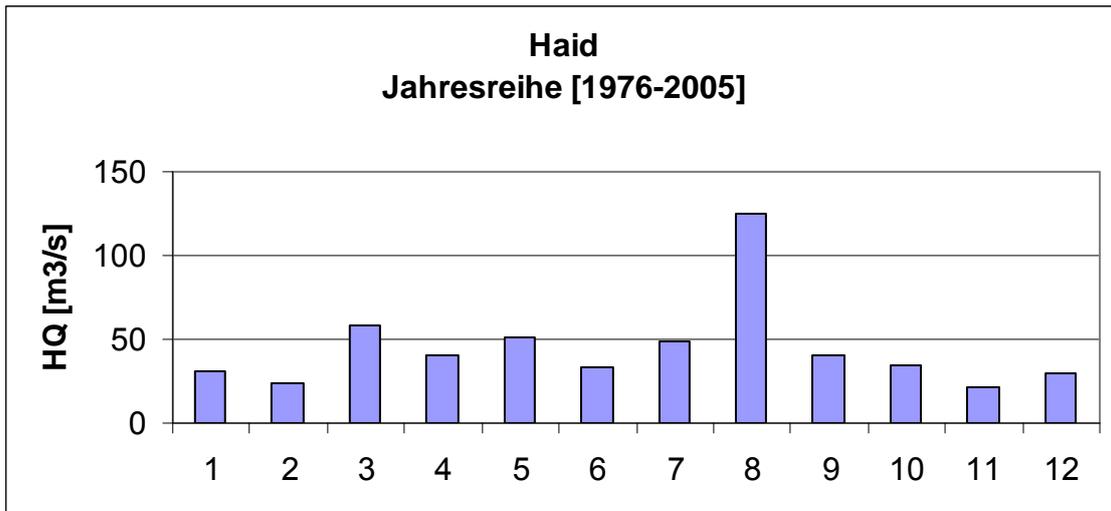


Abb. A.4.13: Durchfluss Haid

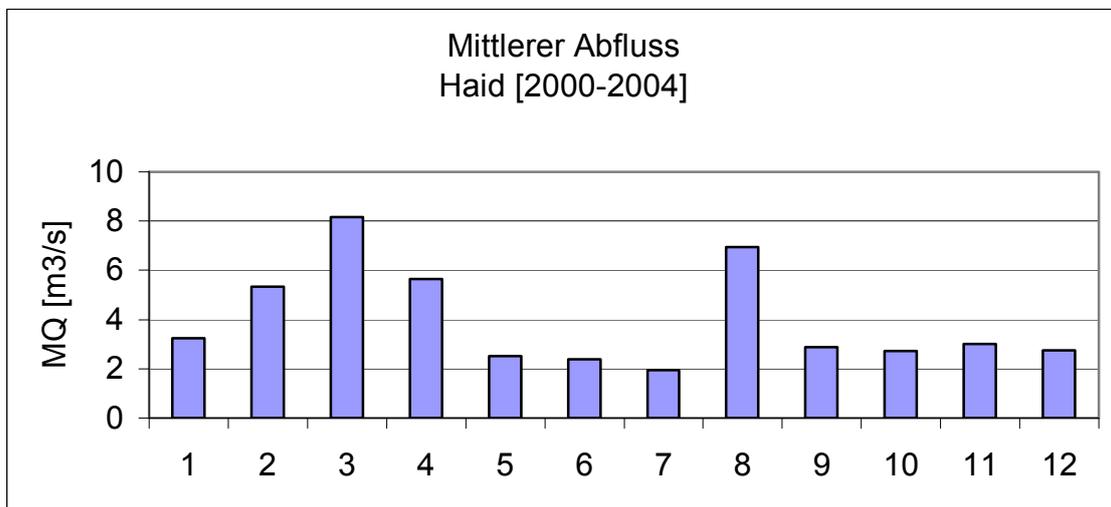


Abb. A.4.14: Mittlerer Abfluss Haid

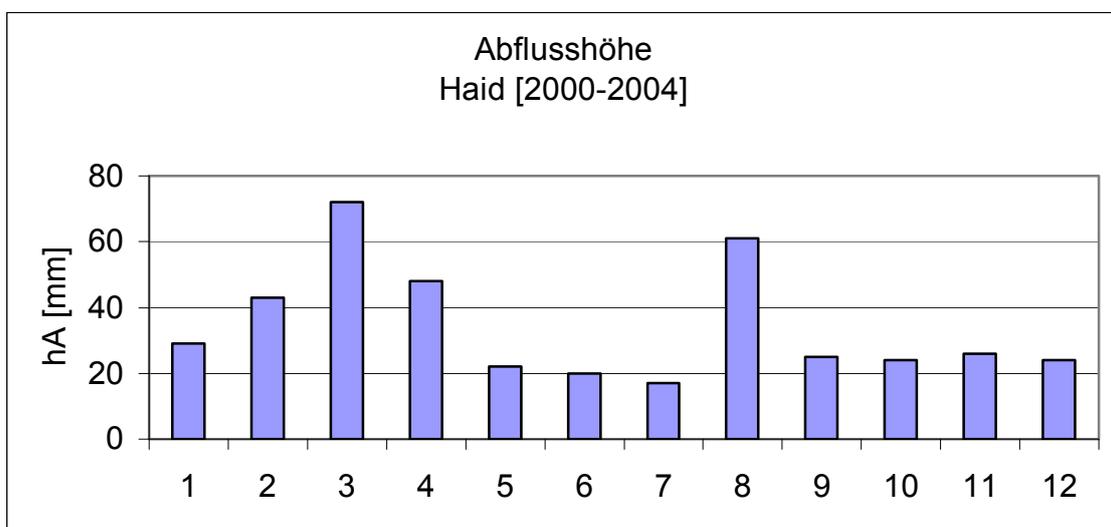


Abb. A.4.15: Abflusshöhe Haid

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

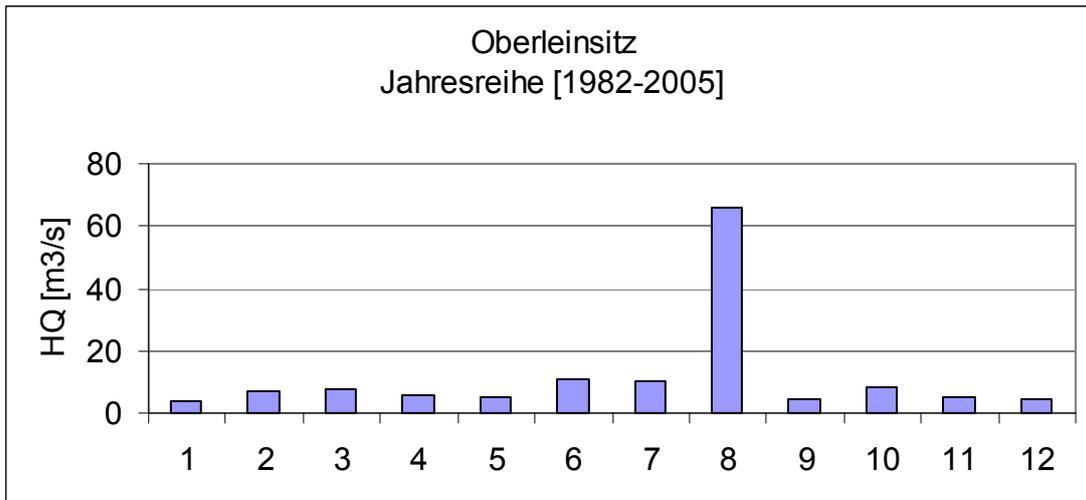


Abb. A.4.16: Durchfluss Oberleinsitz

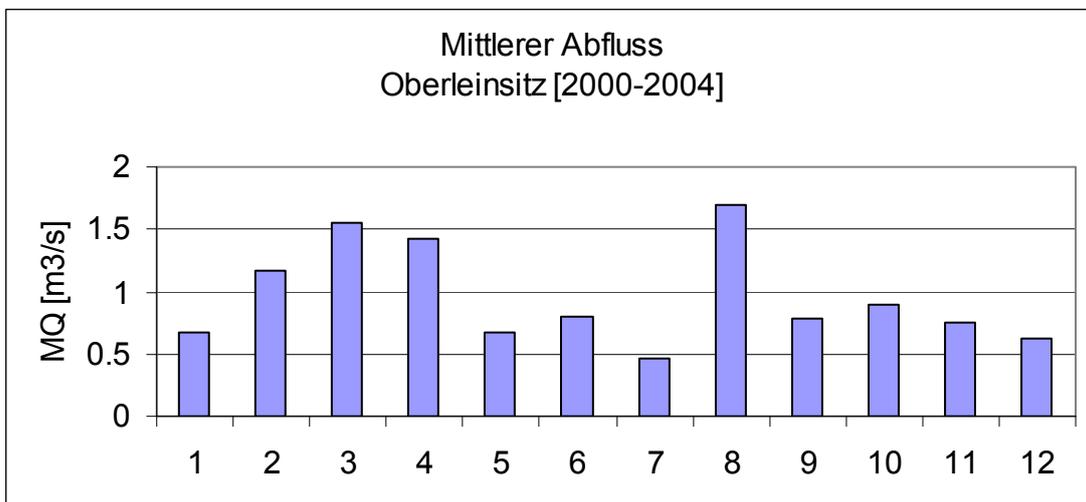


Abb. A.4.17: Mittlerer Abfluss Oberleinsitz

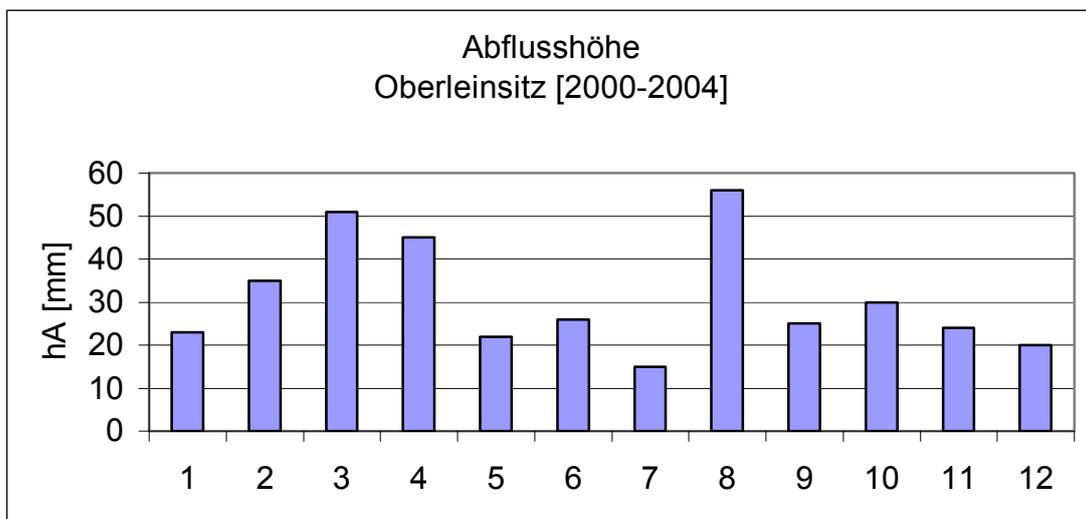


Abb. A.4.18: Abflusshöhe Oberleinsitz

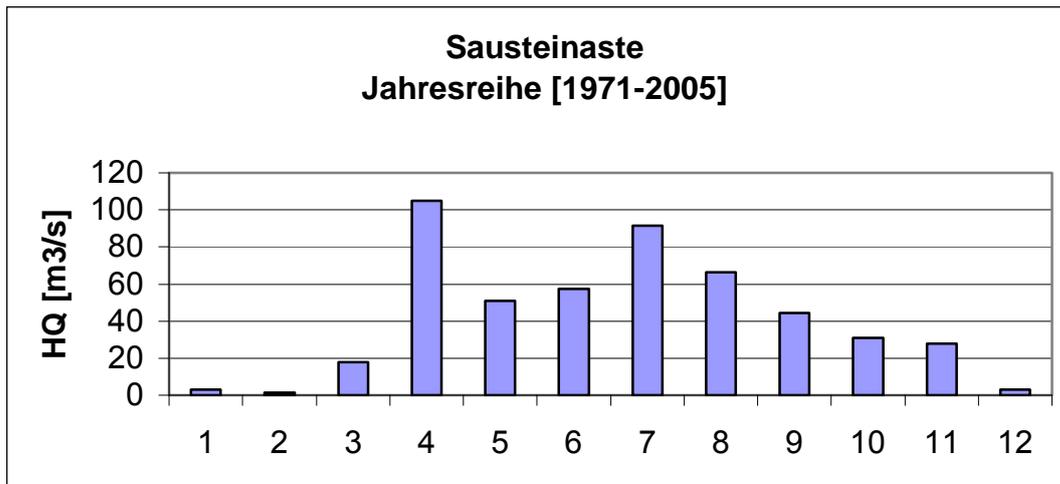


Abb. A.4.19: Durchfluss Sausteinaste

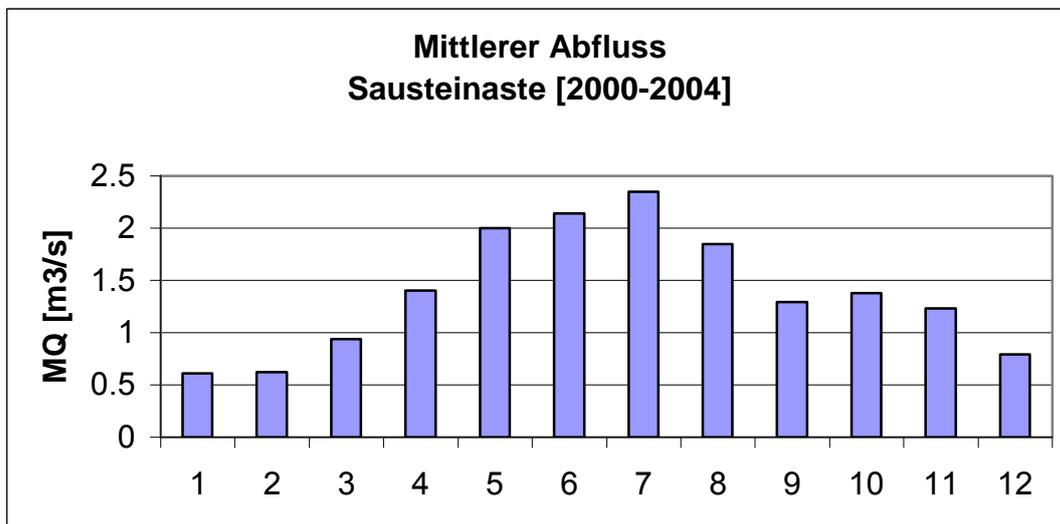


Abb. A.4.20: Mittlerer Abfluss Sausteinaste

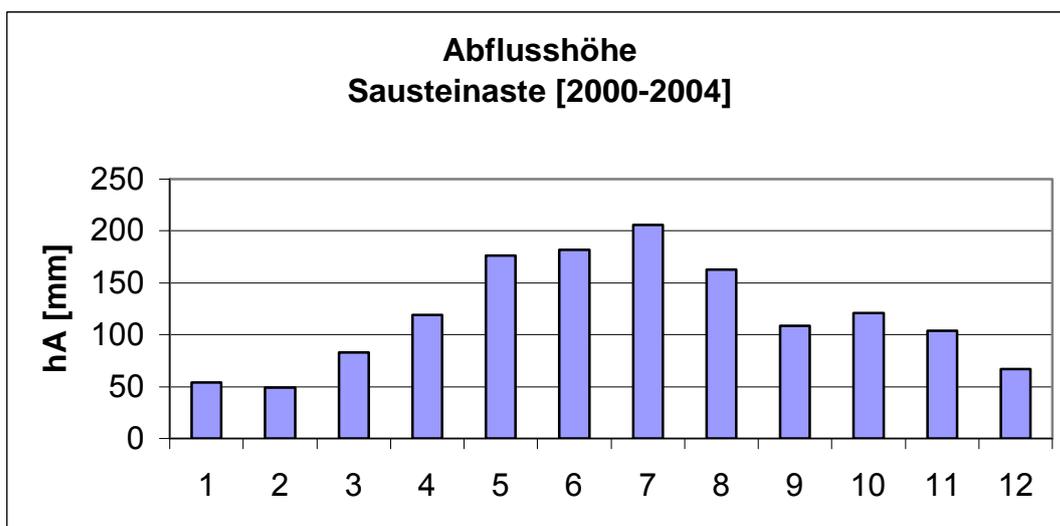


Abb. A.4.21: Abflusshöhe Sausteinaste

Thema: Untersuchung der Stichproben-Eigenschaften von Hochwasser-Kollektiven auf die Ermittlung von Bemessungshochwässern.

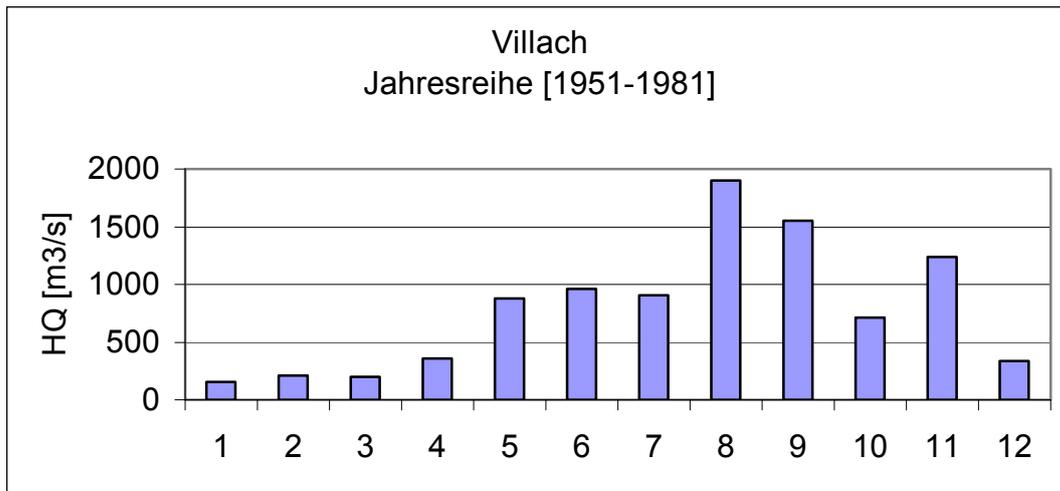


Abb. A.4.22: Durchfluss Villach

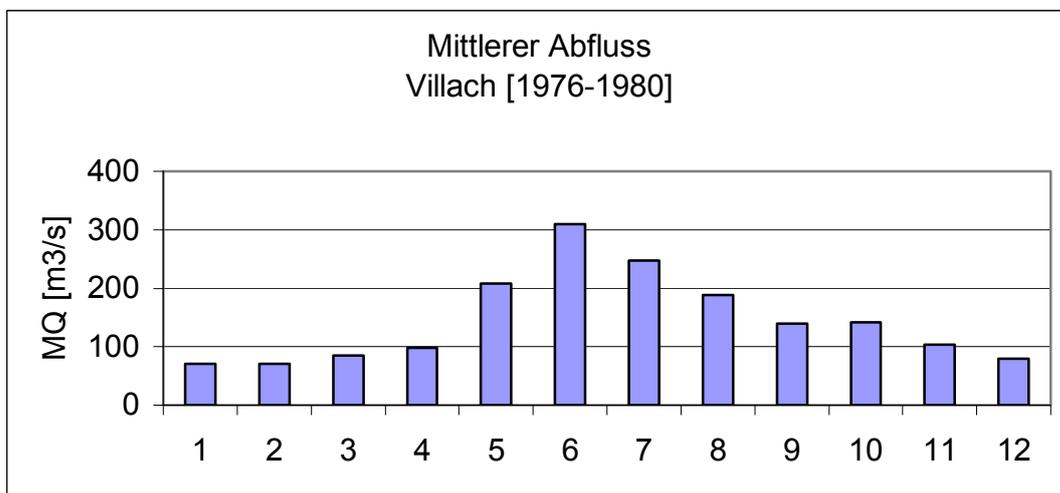


Abb. A.4.23: Mittlerer Abfluss Villach

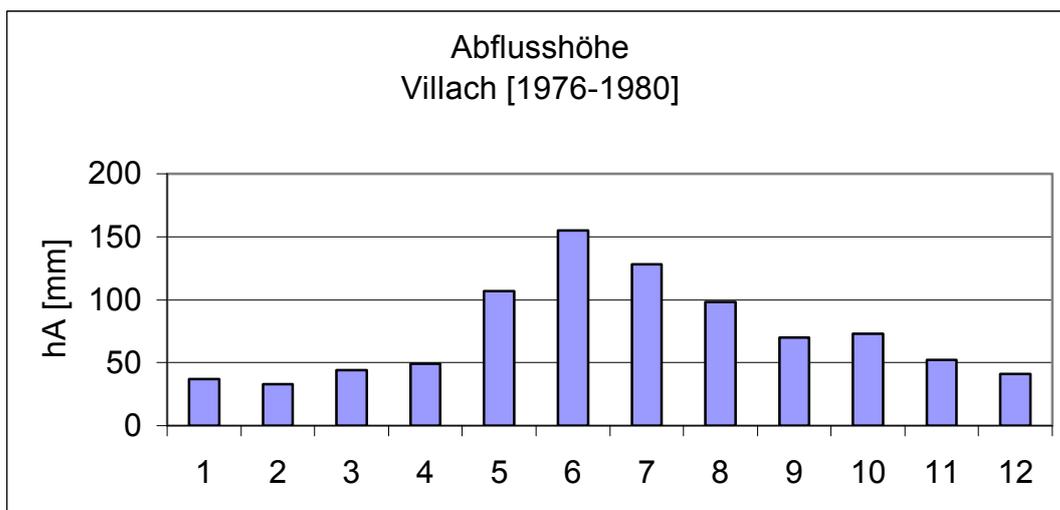


Abb. A.4.24: Abflusshöhe Vilach