



# **DIPLOMARBEIT**

Master's Thesis

## **Untersuchung der Unsicherheiten in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

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

E222

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie  
eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Lyubomira Evtimova  
Matrikel-Nr. 0227100  
Bulgarien, Sofia 1359  
Lyulin 4, 422/V/8/60

Wien, im März 2008

Unterschrift:

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>113</b>
<b>1 Allgemeines</b>	<b>14</b>
1.1 Einleitung	14
1.2 Vorgangsweise	15
1.3 Das Gailtal	15
1.3.1 Gebietsbeschreibung	16
1.3.2 Gebietsgrößen	17
1.3.3 Hydrologie	17
<b>2 Statische Auswertung der Beobachtungsreihen der Jahreshochwässer</b>	<b>18</b>
2.1 Station Maria – Luggau (Moos) am Gail	18
2.1.1 Stichprobe I: Station Maria – Luggau (Moos) am Gail – Länge der Datenreihe – 52 Jahren von 1951 bis 2002	19
2.1.2 Stichprobe II: Station Maria – Luggau (Moos) am Gail; reduzierte Beobachtungsreihe – 26 Jahren von 1951 bis 1976.	23
2.1.3 Stichprobe III: Station Maria – Luggau (Moos) am Gail: reduzierte Beobachtungsreihe – 26 Jahren von 1977 bis 2002.	
2.1.4 Vergleich der Ergebnisse	29
2.1.4.1 Parameterwerte der Stichproben	29
2.1.4.2 $HQ_n$ - Schätzwerte	30
2.1.4.3 Unschärfe	30
2.1.4.4 Vertrauensbereiche	31
2.1.4.5 Vertrauensbereiche für Stichprobe 1 – Vergleich den Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$	33
2.1.4.6 Jährlichkeit des größten und des zweitgrößten Grossereignisses	36
2.2 Station Mauthen an der Gail	37
2.2.1 <i>Stichprobe I</i> : Station Mauthen am Gail – Länge der Beobachtungsreihe – 52 Jahren von 1951 bis 2002	38
2.2.2 <i>Stichprobe II</i> : Station Mauthen am Gail – reduzierte Beobachtungsreihe – 26 Jahren von 1951 bis 1976.	41

2.2.3	Stichprobe III: Station Mauthen am Gail – reduzierte Beobachtungsreihe – 26 Jahren von 1977 bis 2002.	44
2.2.4	Vergleich der Ergebnisse	47
2.2.4.1	Parameterschätzung	47
2.2.4.2	HQ <sub>n</sub> – Schätzwerte	47
2.2.4.3	Unschärfe	48
2.2.4.4	Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.999$	48
2.2.4.5	Vertrauensbereiche für Stichprobe 1 – Vergleich den Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$	50
2.2.4.6	Jährlichkeit des größten Grossereignis	52
2.2.4.7	Jährlichkeit des zweitgrößten Grossereignis	53
2.3	Vergleich der beiden Stationen	53
<b>3</b>	<b>Untersuchung auf “Ausreißer”</b>	<b>54</b>
3.1	Methodisches	54
3.2	Definition der Stichproben – Varianten	55
3.2.1	Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die 4 Stichproben für die Station Maria - Luggau	55
3.2.2	Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die 4 Stichproben für die Station Mauthen	67
3.3	Vergleich der Ergebnisse	79
3.3.1	Parameterschätzung	79
3.3.2	Vergleich der HQ <sub>n</sub>	81
3.4	Untersuchung auf “Ausreißer“ mithilfe von Relativzahlen	82
3.4.1	Aufgabe und Konzept der Untersuchung	82
3.4.2	Untersuchung auf Basis von Relativzahlen	83
3.4.3	Interpretation	86
3.5	Untersuchung in Hinblick auf “Ausreißer” auf Basis eines Vergleichs mit seltenen Ereignissen	87
3.6	Test für Ausreißer nach DVWK, 1999	93
<b>4</b>	<b>Untersuchung der Auswirkung der Einbeziehung von historischen Hochwassern</b>	<b>98</b>
4.1	Einleitung	98
4.2	Historische Ereignisse im Jahren nach “Hochwasserchronik KÄRNTEN“	98
4.3	Klassifizierung der historischen Hochwässer	102
4.4	Beeinflussung der Schätzwerte für das HQ <sub>n</sub> durch hist. Hochwässer	106
<b>5</b>	<b>Schlussbemerkungen</b>	<b>115</b>

<b>Literatur</b>	<b>116</b>
<b>Anhang I</b>	<b>117</b>
<b>Anhang II</b>	<b>125</b>
<b>Anhang III</b>	<b>126</b>
<b>Anhang IV</b>	<b>127</b>
<b>Anhang V</b>	<b>159</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. A: Übersicht über die zwei beobachteten Stationen – Maria – Luggau und Mauthen	15
Abb. B: Messstation Maria – Luggau (Poglitsch, 2001 - 125 Jahre Gailregulierung)	18
Abb. 1: Zeitreihe I (1951 – 2002)	21
Abb. 2: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe I (1951 – 2002)	22
Abb. 3: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 1976)	24
Abb. 4: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe II (1951 – 1976)	25
Abb. 5: Zeitreihe Stichprobe II (1977 – 2002)	27
Abb. 6: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe II (1977 – 2002)	28
Abb. 7: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$ (Gumbel Verteilung)	34
Abb. 8: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$ (Allgemeine Extremwertverteilung)	35
Abb. C: Mauthen (Poglitsch, 2001 - 125 Jahre Gailregulierung)	37
Abb. 9: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002)	39
Abb. 10: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1951 – 2002	40
Abb. 11: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 1976)	42
Abb. 12: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1951 – 1976	43
Abb. 13: Zeitreihe Stichprobe III (1977 – 2002)	45
Abb. 14: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1977 – 2002	46

Abb. 15: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$ (Gumbel Verteilung)	51
Abb. 16: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$ (Allgemeine Extremwertverteilung)	52
Abb. 17: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002) – mit zwei Grossereignisse	56
Abb. 18: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe I mit zwei Grossereignisse	57
Abb. 19: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 2002) – ohne Grossereignisse	59
Abb. 20: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe II ohne Grossereignisse	60
Abb. 21: Zeitreihe Stichprobe III (1951 – 2004) – mit vier Grossereignisse	62
Abb. 22: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe III mit vier Grossereignisse	63
Abb. 23: Zeitreihe Stichprobe IV (1951 – 2002) – mit einem Grossereignis	65
Abb. 24: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe IV mit einem Grossereignis	66
Abb. 25: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002) – mit zwei Grossereignisse	68
Abb. 26: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe I mit zwei Grossereignisse	69
Abb. 27: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 2002) – ohne Grossereignisse	71
Abb. 28: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe II ohne Grossereignisse	72
Abb. 29: Zeitreihe Stichprobe III (1951 – 2004) – mit vier Grossereignisse	74
Abb. 30: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe III mit vier Grossereignisse	75
Abb. 31: Zeitreihe Stichprobe IV (1951 – 2002) – mit einem Grossereignis	77
Abb. 32: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe IV mit einem Grossereignis	79
Abb. 33: n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an der Station Maria – Luggau	90
Abb. 34: n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an der Station Mauthen	91

Abb. 35: Historische Hochwasserereignisse	104
Abb. 36: Klassifikation und zeitliches Auftreten von historischen Hochwasser	105
Abb. 37: Hochwasserhäufigkeit für Maria – Luggau mit den historischen Hochwasser	112
Abb. 38: Hochwasserhäufigkeit für Mauthen mit den historischen Hochwasser	112
Abb. 39: Hochwasserhäufigkeit für Maria – Luggau mit den historischen Hochwasser für die größte Jährlichkeit	113
Abb. 40: Hochwasserhäufigkeit für Mauthen mit den historischen Hochwasser für die größte Jährlichkeit	114
Abb. A.1: Verteilungsfunktion und Vertrauensbereiche (DVWK, 1999)	123
Abb. A.2: Übersicht über das Gailtal	125
Abb. A.3: Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse (nach DVWK, 1999, S. 21)	160
Abb. A.4: Wasserstände den historischen Ereignissen	181

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Koordinaten der Station Maria – Luggau	19
Tabelle 2: Daten der Station Maria – Luggau	19
Tabelle 3: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe I	20
Tabelle 4: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe II	23
Tabelle 5: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe III	26
Tabelle 6: Parameterwerte der Stichproben	29
Tabelle 7: HQn – Schätzwerte	30
Tabelle 8: Unschärfe	30
Tabelle 9: Vertrauensbereiche der Station Maria – Luggau für $\alpha=0.999$	32
Tabelle 10: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$	33
Tabelle 11: Koordinaten der Station Mauthen	37
Tabelle 12: Daten der Station Mauthen	37
Tabelle 13: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe I	38
Tabelle 14: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe II	41
Tabelle 15: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe III	44
Tabelle 16: Parameter	47
Tabelle 17: HQn – Schätzwerte	47
Tabelle 18: Unschärfe	48
Tabelle 19: Vertrauensbereiche der Station Mauthen für $\alpha=0.999$	49
Tabelle 20: Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$	50
Tabelle 21: Parameter	55
Tabelle 22: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe I	55
Tabelle 23: Parameter	58

Tabelle 24: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe II	58
Tabelle 25: Parameter	61
Tabelle 26: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe III	61
Tabelle 27: Parameter	64
Tabelle 28: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe IV	64
Tabelle 29: Parameter	67
Tabelle 30: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe I	67
Tabelle 31: Parameter	70
Tabelle 32: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe II	70
Tabelle 33: Parameter	73
Tabelle 34: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe III	73
Tabelle 35: Parameter	76
Tabelle 36: HQn – Schätzwerte in m <sup>3</sup> /s auf Basis der Stichprobe IV	76
Tabelle 37: Parameter	79
Tabelle 38: Parameter	79
Tabelle 39: HQn	81
Tabelle 40: HQn	81
Tabelle 41: Vergleich der Ergebnisse – $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k}$ - Gumbel Verteilung	84
Tabelle 42: Vergleich der Ergebnisse – $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k}$ - Allgemeine Extremwertverteilung	84
Tabelle 43: Vergleich der Ergebnisse – $\frac{HQ^k}{HQ_{10}^i}$ - Gumbel Verteilung	85
Tabelle 44: Vergleich der Ergebnisse – $\frac{HQ^k}{HQ_{10}^i}$ - Allgemeine Extremwertverteilung	86
Tabelle 45: HQn	87

	$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$	
Tabelle 46: Relativzahlen an der Station Maria – Luggau –		88
Tabelle 47: HQn		88
	$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$	
Tabelle 48 Relativzahlen an der Station Mauthen –		88
Tabelle 49: Berechnung der xkrit		93
Tabelle 50: Berechnung der lnHQ		93
Tabelle 51: Berechnung der xkrit		94
Tabelle 52: Berechnung der lnHQ		94
Tabelle 53: Berechnung der xkrit		94
Tabelle 54: Berechnung der lnHQ		94
Tabelle 55: Berechnung der xkrit		94
Tabelle 56: Berechnung der lnHQ		95
Tabelle 57: Berechnung der xkrit		95
Tabelle 58: Berechnung der lnHQ		95
Tabelle 59: Berechnung der xkrit		96
Tabelle 60: Berechnung der lnHQ		96
Tabelle 61: Berechnung der xkrit		96
Tabelle 62: Berechnung der lnHQ		96
Tabelle 63: Berechnung der xkrit		96
Tabelle 64: Berechnung der lnHQ		97
Tabelle 65: Klassifikationsschema für die Grösse von Hochwasserereignissen		102
Tabelle 66: Historische Hochwässer – Klassifizierung		103
Tabelle 67: HQ - Werte der historischen Hochwässer – untere Grenze		106
Tabelle 68: HQ - Werte der historischen Hochwässer – obere Grenze		106
Tabelle 69: Vergleich der Ergebnisse – Untere Grenze		111
Tabelle 70: Vergleich der Ergebnisse – Obere Grenze		111

Tabelle 71: Berechnung der Jährlichkeit von historischen Hochwässer	113
Tabelle A.1: Ablesen des $\tau_\alpha$	126
Tabelle A2: Maria - Luggau 1951 - 2002 – Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse	147
Tabelle A3: Maria - Luggau 1951 - 2002 - ohne Großereignisse	148
Tabelle A4: Maria - Luggau 1951 - 2002 - mit 1 Großereignis	149
Tabelle A5: Maria - Luggau 1951 - 2004 mit 4 Großereignisse	151
Tabelle A6: Mauthen 1951 - 2002 - Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse	152
Tabelle A7: Mauthen 1951 - 2002 - ohne Großereignisse	153
Tabelle A8: Mauthen 1951 - 2002 - mit 1 Großereignis	155
Tabelle A9: Mauthen 1951 - 2004 mit 4 Großereignisse	156
Tabelle A.10: Ermittlung der Jährlichkeit für Maria – Luggau, untere Grenze	161
Tabelle A.11: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK – Maria – Luggau – untere Grenze	162
Tabelle A.12: Ermittlung der Jährlichkeit für Mauthen, untere Grenze	166
Tabelle A.13: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Mauthen – untere Grenze	167
Tabelle A.14: Ermittlung der Jährlichkeit für Maria – Luggau – obere Grenze	171
Tabelle A.15: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Maria – Luggau – obere Grenze	172
Tabelle A.16: Ermittlung der Jährlichkeit für Mauthen – obere Grenze	176
Tabelle A.17: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Mauthen – obere Grenze	177

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die Unsicherheiten in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen untersucht.

Als Basis dieser Untersuchungen dienen die Bemessungshochwässer  $HQ_n$  für das Gailgebiet. Die Jährlichkeit  $n$  wird dabei zu 10, 50 und 100 Jahren, aber auch zu 500 und 1000 Jahre gewählt, um die Unsicherheiten bei einer Extrapolation zu erfassen.

Alle Berechnungen werden für zwei Stationen dieses Gebietes mit unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße durchgeführt: Maria – Luggau bzw. Mauthen. Zur Anwendung kommt das Programm "Soft Flood", das als Software for Flood Frequency Analysis an der Technische Universität – Wien (Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft) erstellt wurde.

Kapitel 1 umfasst eine kurze Beschreibung der Aufgabenstellung und der Vorgangsweise in dieser Diplomarbeit.

Kapitel 2 bezieht sich auf die statistische Auswertung der Beobachtungsreihen der Jahreshochwässer der beiden untersuchten Stationen. Die Auswertung der Berechnungen erfolgt anhand der Ergebnisse für die statistischen Parameter, die  $HQ_n$  - Schätzwerte und die Vertrauensbereiche. Verglichen werden die Ergebnisse nach zwei Verteilungsfunktionen (Gumbel-Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung) und nach drei verschiedenen zusammengesetzten Stichproben.

Als Ergebnisse für Maria - Luggau sind die größere Werte der Parameter für die Stichprobe 1951 - 1976 bekommt mit eine Ausnahme von Median. Das gilt auch für die  $HQ_n$  – Schätzwerte. Z. B.  $HQ_{1000}$  für die Reihe 1951 – 1976 ist 353.7 (GU) und 415.4 (GEV) und für die verlässliche Reihe 1951 - 2002 sind diese Ergebnisse entsprechend 261.3(GU) und 338.2(GEV). Für Mauthen  $HQ_{1000}$  für die Reihe 1951 – 1976 ist 827.2(GU) und 930.0(GEV) und für die verlässliche Reihe 1951 - 2002 sind diese Ergebnisse entsprechend 691.2(GU) und 761.8(GEV).

Bei der Berechnung der Unschärfe ist es leicht zu beachten, daß die Unschärfe vergrößern sich im Extrapolationsbereich. Als „Unschärfe“ wird der Unterschied zwischen den Ergebnissen der zwei verwendeten Verteilungsfunktionen definiert.

Kapitel 3 beinhaltet eine Untersuchung auf Ausreißer. Diese Untersuchung wird auch für die beiden Stationen und für 4 verschiedene Stichproben an jeder Station durchgeführt. Die Stichproben unterscheiden sich dabei durch die Anzahl der darin enthaltenen Großereignisse: kein Ereignis, 1 Ereignis, 2 Ereignisse und 4 Ereignisse. Die Auswertungen erfolgen nach zwei verschiedenen Methoden: nach der „Ausreißer“-Definition in DVWK(1999) und nach einem Konzept unter Einführung von Relativzahlen. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammen fassen: nach DVWK(1999) keine von der beobachteten



Grossereignisse Ausreißer sind, anders gesagt je mehr sind die Grossereignisse in der Beobachtungsreihe, verkleinert sich die Möglichkeit um ein Ausreißer zu existieren. Die Auswertung nach dem Konzept unter Einführung von Relatizahlen zeigt aber dass einige von der beobachteten Ereignisse zu Ausreißer führen können. Dieses Unterschied zwischen den beiden durchgeführten Methoden zeigt wie je nach Gesichtspunkt sind diese große Ereignisse entweder Ausreißer oder nicht. Dafür ist es zu beachten solche Tests nach einigen Methoden zu überprüfen.

Kapitel 4 beinhaltet die Untersuchung der Auswirkung der Einbeziehung von historischen Hochwässern. Die Daten dafür sind der "Hochwasserchronik Kärnten" entnommen. Die darin enthaltenen Beschreibungen zu den großen Hochwässern der Vergangenheit enthalten allerdings keine Durchflussangaben und nur selten ungefähre Angaben zu den Wasserständen. Für die vorliegende Untersuchung konnte daher nur eine Einschätzung der ungefähren Größenordnung im Vergleich der Hochwässer untereinander gemacht werden. Für die Durchführung der Berechnungen wurden die zwei außerordentlich großen Ereignisse der Jahre 1851 und 1903 vor Beobachtungsbeginn, für die genauere Beschreibungen existieren, herangezogen. In Ergänzung dazu fand auch eine Untersuchung über die Einbeziehung von zwei weiteren Großereignissen aus dem Zeitraum zwischen 1342 und 1851, die wahrscheinlich die größten Ereignisse seit 1342 darstellen, statt. Aufgrund der vielen Annahmen, die für diese Untersuchungen zu treffen waren, sind die Berechnungen als hypothetisch anzusehen. Sie lassen aber doch einige Aussagen zu.

Die durchgeführten Berechnungen für die  $HQ_n$  zeigen dass die historischen Hochwässer den Schätzwerte des  $n$  – jährliches Hochwassers beeinflussen. Die mit den historischen Hochwässer bekommenen Werte sind größer als die anderen. Für Maria – Luggau sind die Werte z.B. für  $HQ_{1000}$  entsprechend für die untere und obere Grenze 296 und 350 für die graphische Untersuchung und nach DVWK, 1999 – 250 und 278. In Vergelich ohne die historischen Hochwässer sind diese Werte für  $HQ_{1000}$  261.3 für Gumbel und 338.4 für GEV. Dasselbe gilt für Station Mauthen.

## **Abstract**

The aim of this thesis is to be made an analysis for the uncertainties in the evaluation for the probability of flood water.

As a base for these evaluations is taken the design flood  $HQ_n$  for the valley of the Gail River. The annuality  $n$  is for 10, 50 and 100 years chosen and also for 500 and 1000 years, so that to be determined the extrapolation uncertainties.

All the evaluations are made for two of the stations of the Gail River, which are also with different catchment areas. These stations are Maria Lugau and Mauthen.

Chapter 1 includes a concisely definition of the project and the methods of work.

Chapter 2 is based on the statistical analysis of the data series for the chosen annuality of both river stations.

Chapter 3 contains a research for existing of maverick. The calculations in this case are made for both stations and for four different cases of samples.

In chapter 4 is made an analysis for the consequence of the historical flood water. These historical data are taken from "Hochwasserchronik Kärnten".

# **1 Allgemeines**

## **1.1 Einleitung**

Die Ergebnisse von Untersuchungen über die Hochwasserwahrscheinlichkeit sind sehr stark von den Eigenschaften der zugrunde liegenden Datenreihe beeinflusst. Solche Eigenschaften sind die Länge der Datenreihe, das Vorliegen von grossen Abflusswerten und die Zuverlässigkeit der Durchflussangaben.

Diese Ergebnisse sind durch die statistische Auswertemethodik bestimmt und durch die Wahl der Verteilungsfunktionen, die Berücksichtigung bzw. Nicht – Berücksichtigung großer Einzelwerte („Ausreißer“).

In dieser Diplomarbeit werden die Auswirkungen verschiedener Datensituationen und verschiedener Auswerteaspekte untersucht, und zwar darauf hin, wie sich die Unschärfe bzw. die Vertrauensbereiche mit einer Veränderung in der Auswertemethodik verändert.

Es sind 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), der die folgenden Absätze entnommen sind.

Das Bemessungshochwasser  $HQ_n$  ist als jener Durchflußwert definiert, der in einer unendlich langen Beobachtungsreihe im Durchschnitt alle  $n$  – Jahre erreicht oder überschritten wird.

Die Qualität des Ergebnisses einer Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnung steht und fällt mit der Qualität der zugrunde liegenden Daten. Der Großteil der Hochwasser – „Beobachtungen“ und insbesondere die größten Hochwässer liegen im Extrapolationsbereich der Schlüsselkurven. Daher verdient dieser Bereich größte Aufmerksamkeit und die verbleibende Unschärfe kann durch sorgfältige Prüfung und eventuelle Neubearbeitung verringert werden.

Die Daten werden als eine Stichprobe des zu untersuchenden Merkmals interpretiert – als eine Auswahl aus der Menge aller möglichen Merkmalswerte (Grundgesamtheit, Wertevorrat, Merkmalsraum)

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

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

Wasserwirtschaft erarbeitet wurde. Die notwendigen statistischen theoretischen Unterlagen, mit denen das Program arbeitet, sind in Anhang I beschreibt.

Durchführung der statistische Berechnungen erfolgt unter der Beachtung der Anleitung der DVWK. (Details zu den Berechnungen, die im Rahmen dieser Diplimarbeit durchgeführt wurden, werden in Anhang I wieder gegeben)

## 1.2 Vorgangsweise

Es werden Vergleichsberechnungen nach verschiedenen Aspekten gemacht:

- Verschiedene Verteilungsfunktionen (Basis: Referenz – Stichprobe)
- Verschiedene Stichproben ( bearbeitet mit ausgewählten Verteilungsfunktionen: Gumbel – Verteilung und Allgemeine Extremwert – Verteilung) unter Variation der Stichprobenlänge, der Beschaffenheit der Stichprobe – Auftreten von grossen Werten
- Untersuchung der Auswirkung von Ausreißern bzw. fehlerhaften Daten
- Untersuchung der Auswirkung der Einbeziehung von historischen Hochwassern

## 1.3 Das Gailtal



Abb. A: Übersicht über die zwei beobachteten Stationen – Maria – Luggau und Mauthen

Eine ausführliche Beschreibung von Geographie und Hydrologie des Flussgebietes der gail enthält „125. Jahren Gailtal“. Dieser Arbeit sind die folgenden Abschnitte entnommen.

### 1.3.1 Gebietsbeschreibung

Das Gailtal ist ein annähernd von Osten nach Westen ausgerichtetes inneralpines Längstal mit einer Länge von rd. 110 km. Es erstreckt sich vom Kartitscher Sattel im Westen bis zur Einmündung in die Drau im Bereich der Stadt Villach im Osten und berührt somit die Bundesländer Tirol und Kärnten. Begleitet wird das Tal im Süden von den Karnischen Alpen und den Karawanken sowie im Norden von den Lienzer Dolomiten und den Gailtaler Alpen. Das Gailtal lässt sich in vier Abschnitte, und zwar in das Lesachtal, das Obere Gailtal, das Mittlere Gailtal und das Untere Gailtal gliedern.

Das Lesachtal bildet den wesentlichsten Teil des Gailtals und ist durch eine eigenständige Natur- und Kulturlandschaft gekennzeichnet, die in den Jahren 1995 und 1996 zur „Landschaft des Jahres“ gekürt wurde. Der Ursprung der Gail liegt in Osttirol am Kartitscher Sattel auf einer Seehöhe von 1522m. Nach einer Fließstrecke von etwa 41km erreicht der Fluss den Talausgang bei Wetzman,

wesentlich des Marktes Kötschach-Mauthen, auf einer Seehöhe von 719m, was einem mittlerem Gefälle von 19% entspricht.

Der Gailfluss und die von Norden und Süden einmündenden Seitenbäche haben sich in diesem Gebiet in postglazialer Zeit bis zu 200m in das von Gletschern ausgeformte Trogtal eingeschnitten, ein Kerbtal erschaffen und durch die Zerschneidung des alten Talbodens die Ursache für die ausgeprägte Kleingliederung der Besiedelung des Lesachtals gebildet.

Im Lesachtal ist der Gailfluss überwiegend dem gestreckten Flusstyp zuzurechnen, der im untersten Abschnitt von ausgedehnten Schotterflächen begleitet wird.

Zwischen Kötschach-Mauthen und der Bezirkshauptstadt Hermagor befindet sich das Obere Gailtal. Auf einer Fließstrecke von rund 30km überwindet die Gail einen Höhenunterschied von etwa 145m, das Gefälle nimmt von 10‰ auf 2‰ im Bereich von Hermagor ab. Ursprünglich gehörte der Gailfluss in diesem Gebiet dem Furkationstyp an, war also stark verzweigt und weist eine hohe flussmorphologische Dynamik auf, heute ist er flussabwärts von Kötschach-Mauthen durchwegs reguliert. Die Besiedelung in diesem Talabschnitt erfolgte vornehmlich auf Schwemmkegeln der von Norden und Süden einmündenden Wildbäche. Der 2km breite Talboden ist durch eine Wechselfolge von grossteils bewaldeten Schwemmkegeln und dazwischenliegenden landwirtschaftlich genutzten Verflachungsstrecken charakterisiert.

Zwischen Hermagor und Arnoldstein gelegen, verflacht das Gefälle des Mittleren Gailtales bis zur Einmündung der Gailitz weiter bis auf 0,5‰. Diese Verflachung resultiert aus insgesamt sechs Bergstürzen des Dobratsch, deren letzter 1348 als Folge eines grösseren Erdbebens auftrat, und welche zu mehr oder weniger grossen Rückstauen führten. Auf einer Strecke von etwa 31km durchfließt die Gail dabei einen Höhenunterschied von etwa 33m. In diesem Flussabschnitt ist die Gail dem mäandrierenden Flusstyp zuzuordnen, was an heute noch die Landschaft prägenden Altarmresten, die durch die Regulierung von der Gail abgetrennt wurden, ersichtlich ist. Im Mittleren Gailtal befindet sich auch der Pressegger See, der nicht nur ein Naturjuwel inmitten eines Landschaftsschutzgebiets ist, sondern auch das grösste Rückhaltebecken für Gailhochwasser. Im Bereich des Marktes Arnoldstein mündet die Gailitz, ein

rechtufriger Zubringer, der das italienische Kanaltal mit einem Einzugsgebiet von 218km<sup>2</sup> entwässert, in die Gail ein.

Das Bergsturzmaterial des Dobratsch, die so genannte „Schütt“, trennt das Untere Gailtal vom Mittleren Gailtal. Die Gailtal überwindet zunächst auf einer Kataraktstrecke die Bergsturzmassen des Dobratsch und erreicht nach einer Fließstrecke von etwa 20km Länge bei Stadt Villach, wo sie schliesslich auf einer Seehöhe von 474m in die Drau einmündet. Auf dieser Fließstrecke ist die Gail wiederum dem Furkationstyp zuzuordnen. Der Höhenunterschied zwischen Gailitz und Einmündung in die Drau beträgt 67m, das Gefälle nimmt von 4‰ im Bereich der Kataraktstrecke auf 2‰ flussabwärts davon ab.

### 1.3.2 Gebietsgrößen

Einzugsgebiet:	1.403 km <sup>2</sup>
Flusslänge insgesamt:	122 km
Wildbacheinmündungen:	81 Wildbäche

### 1.3.3 Hydrologie

Das Gailtal wird am Frühjahr und Sommer vom mitteleuropäisch – alpinen Niederschlagsgeschehen bestimmt. Im Winterhalbjahr entsteht eine weitere Beeinflussung: Südstaulagen führen zu einer Intensitätszunahme des Niederschlages und zu schweren Dauerregen. Wetterlagen mit oftmals tagelangen Regengüssen, die als unmittelbare Auswirkung auf das Abflussregime zu beachtlichen höheren Wasserführungen und den gefürchteten Herbsthochwässern führen, sind für die Hydrographie des Gailtales von entscheidender Bedeutung.

## **2 Statische Auswertung der Beobachtungsreihen der Jahreshochwässer**

Dieses Kapitel enthält die Berechnung der Schätzwerte für ein  $n$  – jährliches Hochwasser (für verschiedenen  $n$ ) nach verschiedenen Aspekten. Es werden zwei Gliederungen der Daten vorgenommen, eine nach Stationen: Maria – Luggau bzw. Mauthen, und eine zweite nach dem Charakter der Stichprobe, wobei drei verschiedene Stichproben gebildet werden, die sich in Bezug auf die Datenreihenlänge und auf das Auftreten von Großereignissen innerhalb der Stichproben unterscheiden.

Die Berechnungen umfassen:

- Statistische Parameter der Stichproben
- Schätzwerte für die  $HQ_n$  mit  $n = 10, 50, 100, 500, 1000$
- 2 verschiedene Verteilungsfunktionen:  
Allgemeine Extremwertverteilung(GEV) und Gumbel Verteilung(GU)
- Verschiedene Stichproben unter Variation der Stichprobenlänge

Der Abschnitt gliedert sich in 3 Teile. In den Teilen 2.1 und 2.2 werden die Berechnungen für die Datenreihen der 2 Stationen Maria-Luggau bzw. Mauthen durchgeführt. Die Ergebnisse werden unter den Aspekten: (1) Parameterwerte, (2)  $HQ_n$ -Schätzwerte, (3) Unschärfe, (4) und (5) Vertrauensbereiche, (6) Jährlichkeit des größten und des zweitgrößten Großereignisses diskutiert. Abschnitt 2.3 enthält einen Vergleich der Ergebnisse.

### **2.1 Station Maria – Luggau (Moos) an der Gail**

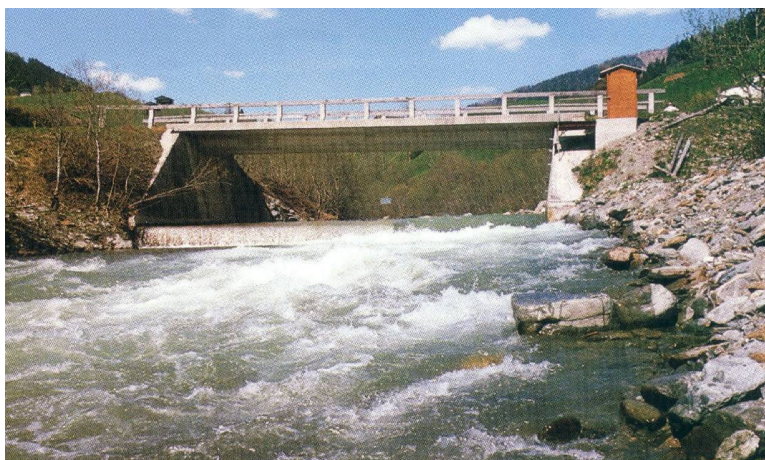


Abb. B: Messstation Maria – Luggau (Poglitsch, 2001 - 125 Jahre Gailregulierung)

Charakteristik der Station Maria – Luggau (gültig für die drei Stichproben)

Einzugsgebiet: 146.10 km<sup>2</sup>, Höhenlage: 1087.330 m.

Tabelle 1: Koordinaten der Station Maria – Luggau

	x	y
Koordinaten	354726.100	311642.100
Schwerpunkt des Einzugsgebiets	347320.200	311370.300
Fernster Punkt	338770.000	307600.000

Tabelle 2: Daten der Station Maria - Luggau

ID* der flussabwärts Nachbarn (Station Mauthen - Gail)	212647
Mittlere Fließlänge, m	11.09
Maximale Länge, m	22.96

ID – Nummer der Station

### 2.1.1 Stichprobe I: Station Maria – Luggau (Moos); Länge der Datenreihe: 52 Jahre (1951 bis 2002)

Diese Stichprobe besitzt eine Länge der Datenreihe von 52 Jahren – von 1951 bis 2002. Sie wird auch als repräsentativ angenommen wegen der Größe der Beobachtungsperiode.

In den Jahren 1965 und 1966 gibt es zwei Extremereignisse mit einem Durchfluss von in beiden Fällen  $Q = 210 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die Resultate der Berechnungen sind in den folgenden Abbildungen und Tabellen wiedergegeben.

Die Momente sind:

Median: 27.95

Mittelwert: 43.06

Standardabweichung: 39.84

CV: 0.925

Schiefe: 3.081

Exzess: 0.263



Tabelle 3:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe I

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	101.5	88.2
$HQ_{50}$	158.2	154.1
$HQ_{100}$	182.1	188.4
$HQ_{500}$	237.5	286.4
$HQ_{1000}$	261.3	338.2

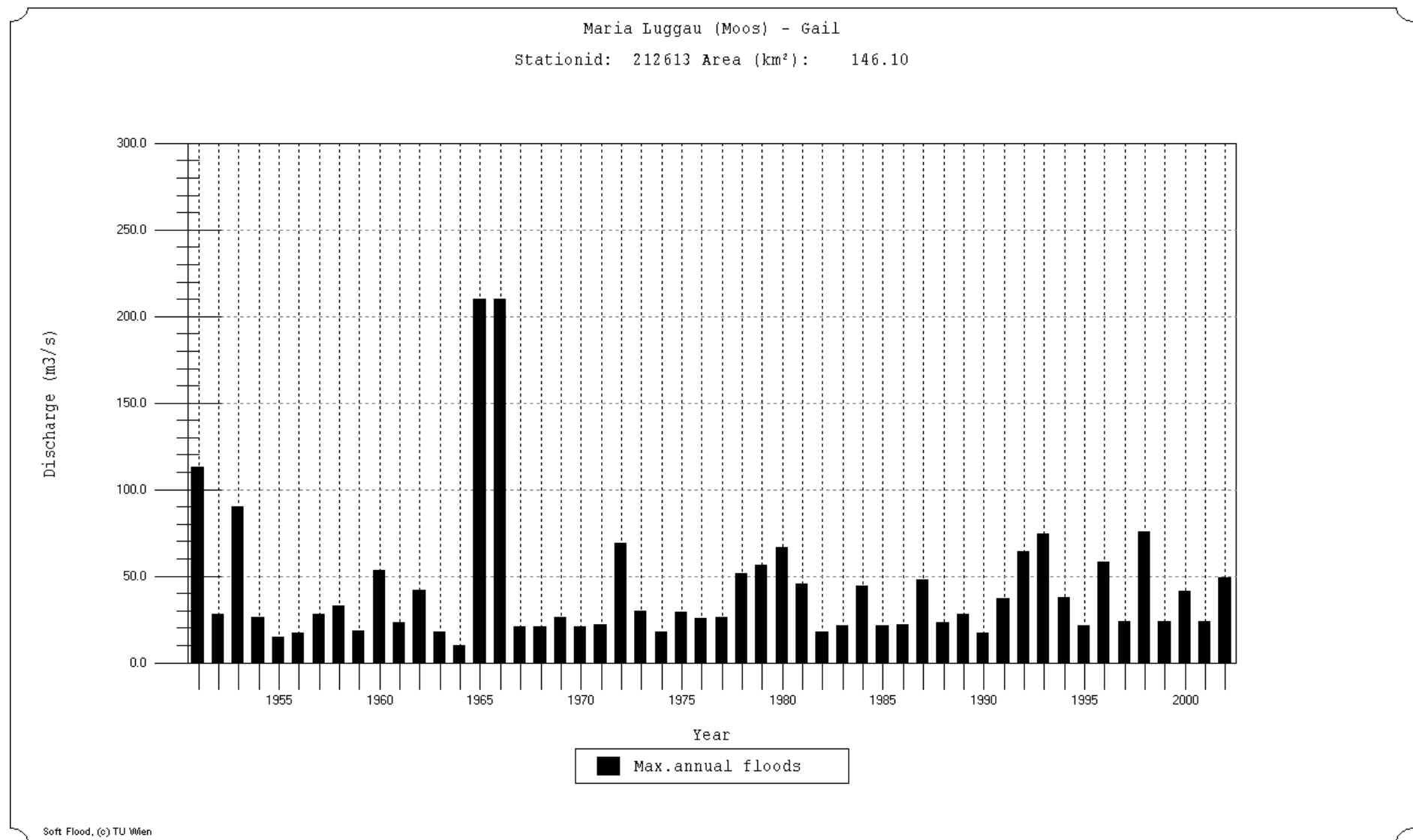


Abb. 1: Zeitreihe I (1951 – 2002)

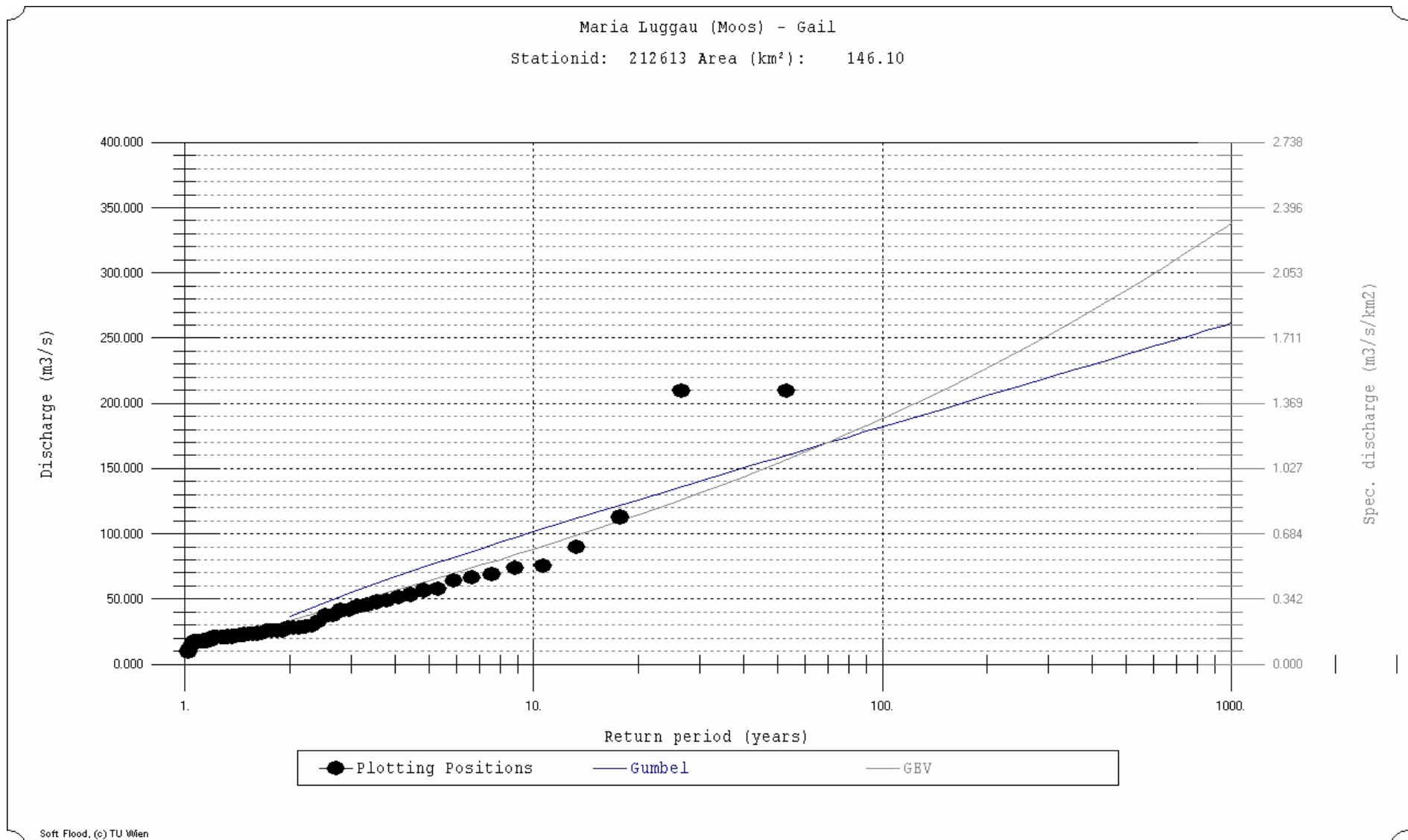


Abb. 2: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe I (1951 – 2002)

2.1.2 Stichprobe II: Station Maria – Luggau (Moos); reduzierte Beobachtungsreihe: 26 Jahre (1951 bis 1976).

Diese Stichprobe enthält wie Stichprobe I die zwei Großereignisse in den Jahren 1965 und 1966, sie gibt die erste Hälfte der ganzen Beobachtungsreihe wieder.

Die Momente sind:  
Median: 26.00  
Mittelwert: 46.83  
Die Standardabweichung ist: 53.58  
CV: 1.144  
Schiefe: 2.466  
Exzess: 0.331

Tabelle 4:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe II

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	129.4	110.1
$HQ_{50}$	209.0	195.6
$HQ_{100}$	242.6	238.4
$HQ_{500}$	320.3	355.8
$HQ_{1000}$	353.7	415.4

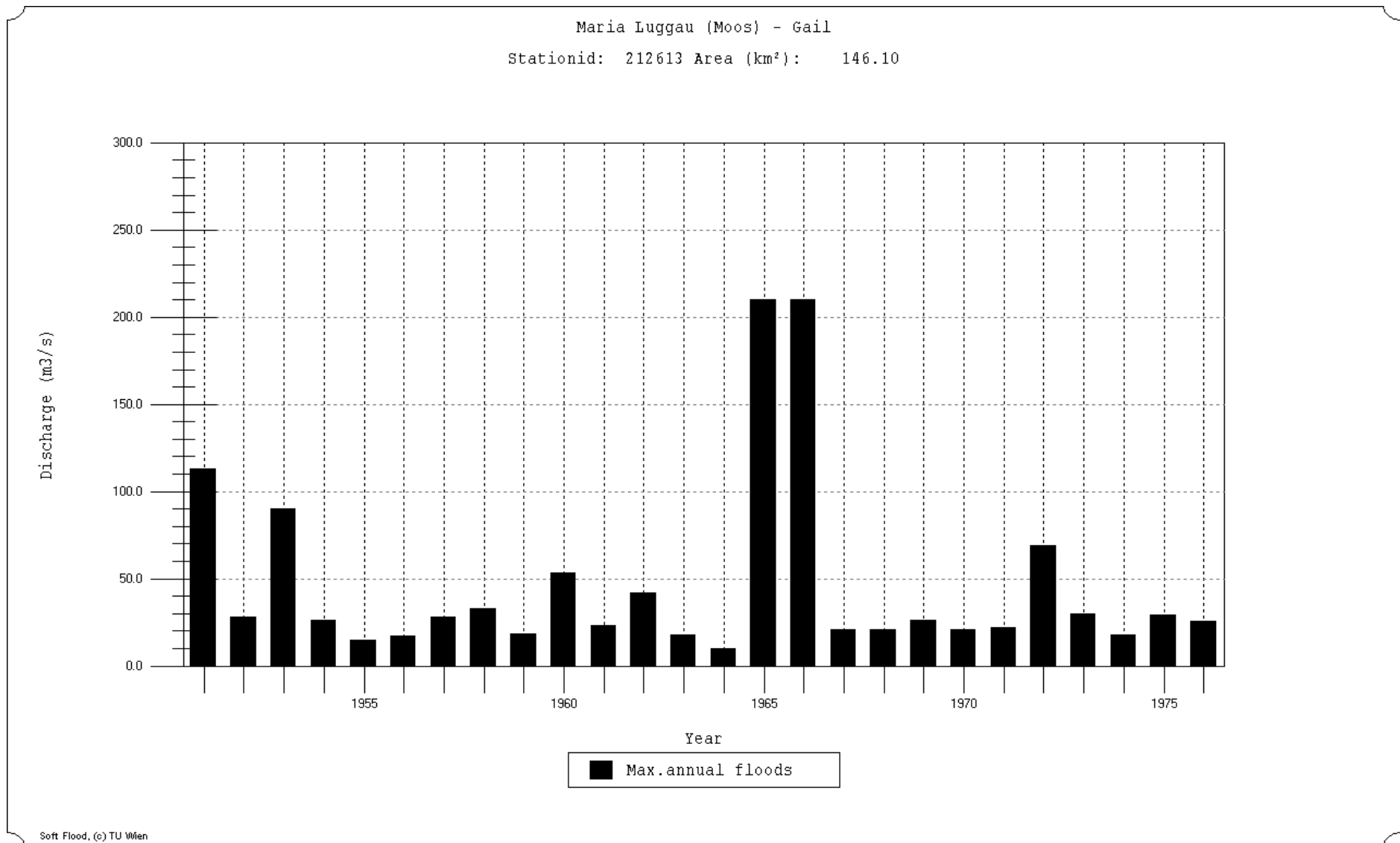


Abb. 3: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 1976)

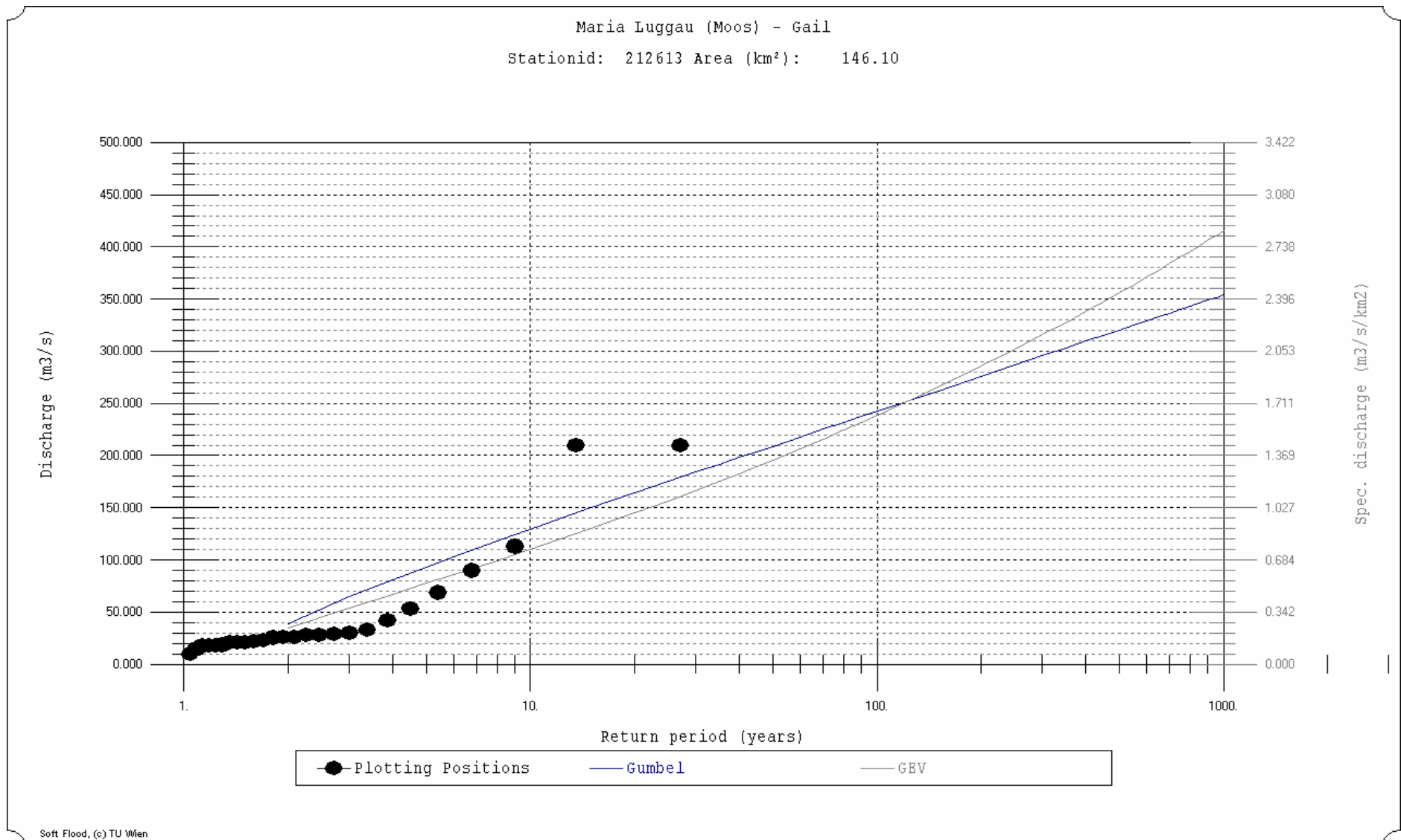


Abb. 4: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe II (1951 – 1976)

2.1.3 Stichprobe III Station Maria – Luggau (Moos); reduzierte Beobachtungsreihe:  
26 Jahre (1977 bis 2002)

Diese Reihe stellt die zweite Hälfte der Stichprobe I (Gesamtreihe) dar und enthält keine Großereignisse.

Die Momente sind:  
Median: 37.55  
Mittelwert: 39.28  
Standardabweichung: 18.36  
CV: 0.467  
Schiefe: 0.565  
Exzess: 9.21E-02

Tabelle 5:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe III

HQ <sub>n</sub>	Gumbel	GEV
HQ10	67.6	63.8
HQ50	94.8	82.7
HQ100	106.3	89.7
HQ500	133.0	103.8
HQ1000	144.4	109.1

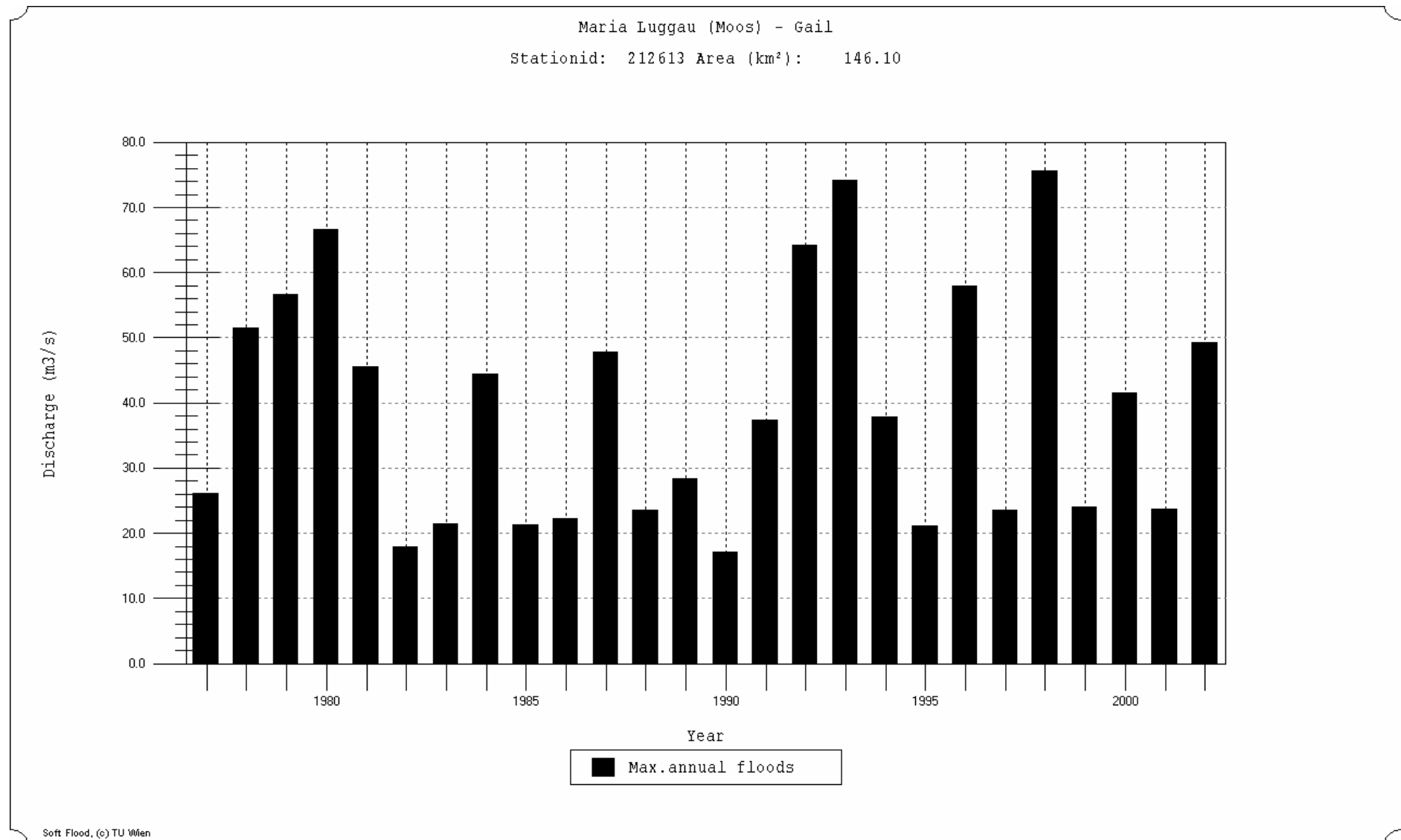


Abb. 5: Zeitreihe Stichprobe II (1977 – 2002)



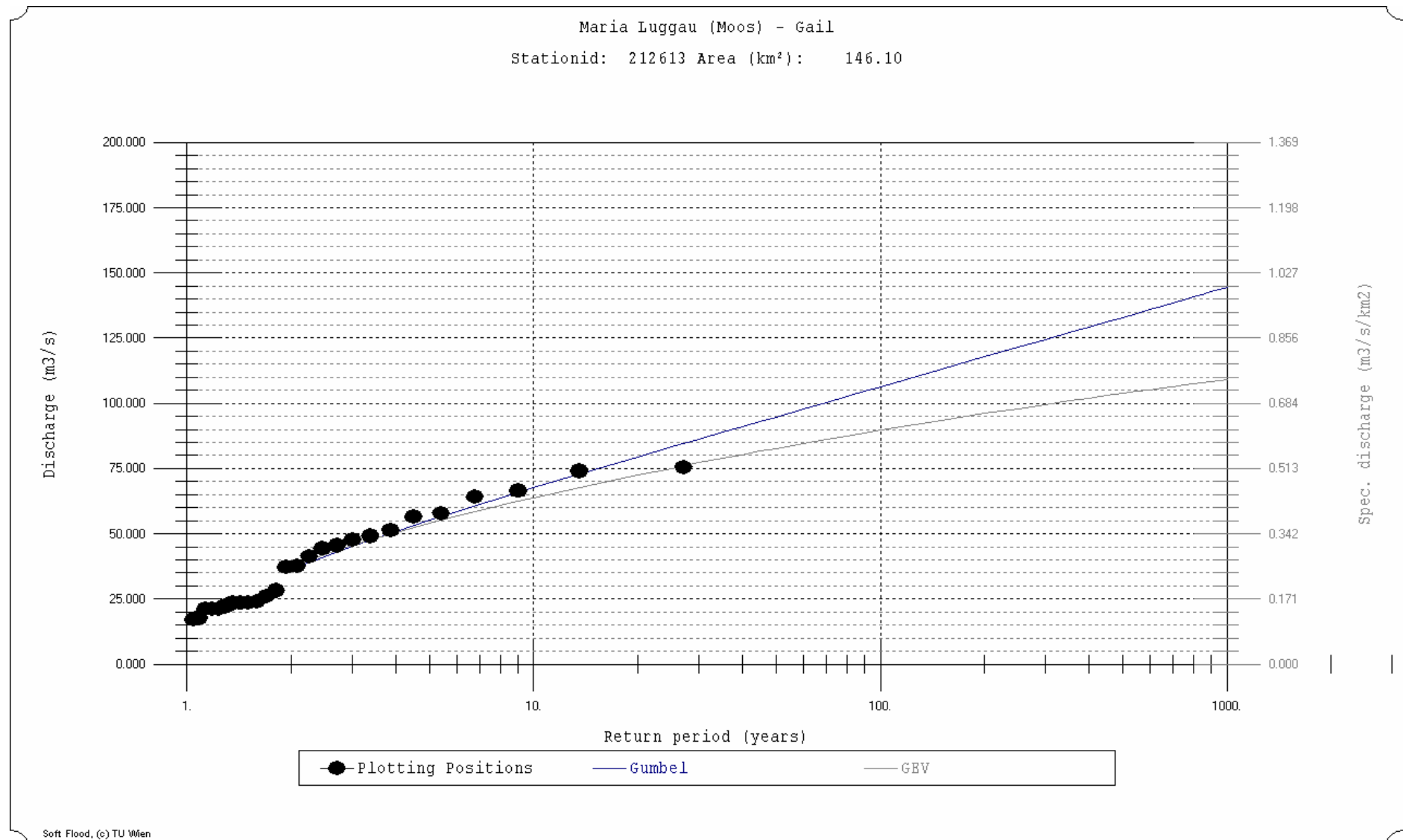


Abb. 6: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe II (1977 – 2002)

## 2.1.4 Vergleich der Ergebnisse

### 2.1.4.1 Parameterwerte der Stichproben

Tabelle 6: Parameterwerte der Stichproben

Momente; Parameter	1951 - 1976	1977 - 2002	1951 – 2002
Median	26.00	37.55	27.95
Mittelwert	46.83	39.28	43.06
Standardabweichung	53.58	18.36	39.84
CV	1.145	0.467	0.925
Schiefe	2.466	0.565	3.081
Exzess	0.331	0.092	0.263

Die Parameter für die Reihen 1951 bis 1976 und 1951 bis 2002 sind grösser als die für die dritte Reihe. In beiden Reihen gibt es zwei Grossereignisse in den Jahren 1965 und 1966. Das Fehlen solcher Großereignisse drückt sich in niedrigeren Werten für die dritte Reihe aus. Die größten Werte der Parameter ergeben sich für die Datenreihe 1951 – 2002 mit Ausnahme des Medians, der größer bei der Reihe ohne Grossereignisse (1977 – 2002) ist.

Besonders deutlich wirkt sich das Auftreten der beiden Grossereignisse in den Werten für den Variationskoeffizienten und für die Schiefe aus. Der Größtwert für CV ergibt sich für die Reihe 1951 – 1976, der Kleinstwert für 1977 – 2002. Diese Reihe ist eine „homogene“ Reihe, sie enthält kein Ereignis, das die anderen Ereignisse der Stichprobe deutlich übersteigt. CV ist von der Standardabweichung und dem Mittelwert abhängig. Je größer die Standardabweichung ist und/oder je kleiner ist der Mittelwert ist, desto größer wird der Variationskoeffizient CV.

Der Größtwert der Schiefe ergibt sich für die Reihe 1951 – 2002. Das Auftreten der beiden Großereignisse in den Jahren 1965 und 1966 führt zu einer größeren Schiefe bei der längeren Beobachtungsreihe (1951-2020) im Vergleich mit der kürzeren (1951-1976).

### 2.1.4.2 $HQ_n$ - Schätzwerte

Tabelle 7:  $HQ_n$  – Schätzwerte

$HQ_n$	1951 - 1976		1977 - 2002		1951 - 2002	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$
$HQ_{10}$	129.405	110.100	67.565	63.824	101.471	88.227
$HQ_{50}$	208.960	195.600	94.820	82.719	158.160	154.066
$HQ_{100}$	242.593	238.424	106.342	89.688	182.126	188.390
$HQ_{500}$	320.313	355.795	132.968	103.806	237.507	286.447
$HQ_{1000}$	353.726	415.398	144.415	109.115	261.317	338.242
%	35.4	22.8	44.7	67.7	-	-
Mittelwerte	384.562		126.765		299.780	

Die Prozentzahlen für Reihen 1951 – 1976 und 1977 - 2002 sind auf Werte der Basisreihe 1951 – 2002 bezogen und sind nur für  $HQ_{1000}$  als Beispiel dargestellt. Die Mittelwerte sind die Werte zwischen der beiden Verteilungen.

Die Schätzwerte für die  $n$  – jährlichen Hochwässer der Reihe von 1951 bis 1976 sind grösser als die der anderen Reihen. Hierin drückt sich der Einfluss der beiden Großereignisse aus, der größer ist bei der kurzen Reihe.

Die Ergebnisse, die mit der Gumbel – Verteilung erhalten wurden, sind auch grösser als die mit der Allgemeinen Extremwertverteilung. Nur bei  $HQ_{500}$  und  $HQ_{1000}$  sind die Gumbel – Werte grösser als die GEV – Werte. Hierin zeigt sich das unterschiedliche Verhalten der Verteilungen im Extrapolationsbereich. Bei der Gumbel – Verteilung ist die Schiefe als Konstante mit dem Wert 1.14 festgesetzt und kann daher nicht auf größere Schiefen reagieren, im Extrapolationsbereich reagiert die Verteilung daher weniger stark, während die GEV sich den deutlich größeren Schiefewerten der beiden Stichproben mit Großereignissen anpassen kann.

### 2.1.4.3 Unschärfe

Tabelle 8: Unschärfe

$HQ_n$	1951 - 1976	1977 - 2002	1951 - 2002
	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$
$HQ_{10}$	19.305	3.741	13.244
$HQ_{50}$	13.361	12.101	4.095
$HQ_{100}$	4.169	16.654	6.263
$HQ_{500}$	35.482	29.162	48.940
$HQ_{1000}$	61.673	35.300	76.925
%	20.0	11.8	25.6

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  $HQ_{1000}$  als ein Beispiel dargestellt. Die größten Werte sind für die verlässliche Reihe ermittelt.

Die Unschärfe für die ganze Periode – 1951 bis 2002 - ist größer als die in den anderen zwei Reihen. Für  $HQ_{1000}$  ergeben sich die grössten Werte der Unschärfe, die Differenz zwischen den Schätzwerten nach den beiden Verteilungen wird – erwartungsgemäß – mit Fortschreiten in den Extrapolationsbereich größer. Für die zweite Reihe, die keine Extremereignisse enthält, ergeben sich erwartungsgemäß auch die kleinsten Unschärfen, eine Ausnahme bildet der Wert von  $HQ_{100}$ .

Die Reihe 1951 – 2002 ist länger als die anderen zwei und ist am besten repräsentativ und auch ist die verlässlichste Reihe. Im Extrapolationsbereich vergrößert sich allerdings die Unschärfe.

In Prozenten, die auf die Mittelwerte der langen Reihe bezogen sind, ergeben sich folgende Werte der Unschärfe: z.B. für  $HQ_{1000}$ : 25.6% für die Beobachtungsreihe (1951 – 2002), 11.8% für Reihe 1977 - 2002 und 20% für Reihe 1951 – 1976.

#### 2.1.4.4 Vertrauensbereiche

Als Wahrscheinlichkeit wird ein sehr großer Wert von 99,9 % gewählt, um einen sicheren Vertrauensbereich zu bekommen. Damit ergibt sich die Testgröße zu

$t_{\alpha} = 3.891$ , für  $\alpha = 0.999 \Rightarrow 99.9\%$  – iger Vertrauensbereich (abgelesen von Tabelle 1.3, Anhang III)

- I. Stichprobe, Datenreihe 1951 – 2002

$N = 52$  Jahre

$s_x = 39.84$

$\bar{x} = 43.056$

- II. Stichprobe, Datenreihe 1951 – 1976

$N = 26$  Jahre

$s_x = 53.58$

$\bar{x} = 46.84$

- III. Stichprobe, Datenreihe 1977 – 2002

$$N = 26 \text{ Jahre}$$

$$s_x = 18.36$$

$$\bar{x} = 39.28$$

Tabelle 9: Vertrauensbereiche der Station Maria – Luggau für  $\alpha=0.999$

X	Gumbel								
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1951-1976			III. Stichprobe 1977-2002		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	101.50	182.10	261.30	129.40	242.59	353.73	67.57	106.34	144.41
k	1.47	3.49	5.48	1.54	3.65	5.73	1.54	3.65	5.73
$\delta$	2.24	4.29	6.34	2.32	4.45	6.60	2.32	4.45	6.60
s <sub>n</sub>	12.40	23.68	35.05	24.34	46.80	69.38	8.34	16.03	23.77
OG	149.74	274.23	397.66	224.10	424.70	623.70	100.01	168.73	236.91
UG	53.26	89.97	124.94	34.71	60.49	83.75	35.12	43.95	51.92
$\Delta Q$	96.47	184.26	272.72	189.39	364.21	539.94	64.89	124.78	184.98
%	64.4	67.2	68.6	84.5	85.7	86.6	64.9	74.0	78.0

X	Allgemeine Extremwertverteilung								
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1951-1976			III. Stichprobe 1977-2002		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	88.23	188.39	338.24	110.10	238.42	415.40	63.82	89.69	109.11
k	1.13	3.65	7.41	1.18	3.58	6.88	1.34	2.75	3.80
$\delta$	1.92	4.45	8.36	1.97	4.37	7.80	2.12	3.52	4.61
s <sub>n</sub>	10.63	24.57	46.16	20.69	45.96	81.98	7.63	12.69	16.59
OG	129.59	284.01	517.86	190.60	417.25	734.39	93.50	139.05	173.68
UG	46.86	92.77	158.63	29.60	59.60	96.41	34.15	40.32	44.55
$\Delta Q$	82.74	191.24	359.23	160.99	357.65	637.98	59.35	98.73	129.14
%	63.8	67.3	69.4	84.5	85.7	86.9	63.5	71.0	74.4

Die Tabelle gibt die OG (obere Grenze), die UG (untere Grenze) und die Differenz zwischen diesen beiden Grenzen  $\Delta Q$  wieder. Es zeigt sich auch die Bereiche zwischen der oberen und der unteren Grenze erwartungsgemäß, dass je größer das Wiederkehrintervall  $n$  ist, desto größer werden. Dementsprechend ergeben sich die größten Werte der  $\Delta Q$  für HQ<sub>1000</sub> und die kleinsten für HQ<sub>10</sub>.

Anhand dieser Berechnungen ist auch leicht zu ersehen, dass sich für die verschiedenen HQ<sub>n</sub> verschiedene Größen der  $\Delta Q$  ergeben. Je größer  $n$  ist, desto größer wird das entsprechende HQ<sub>n</sub> und natürlich der Vertrauensbereich.

Diese Untersuchungen ermöglichen eine genauere Abschätzung der Aussagekraft der Ergebnisse für die  $HQ_n$ .

Für die verschiedenen Stichproben ergeben sich auch verschiedene Ergebnisse. Die größten Bereiche sind für den Beobachtungszeitraum 1951 – 1976 entstanden, weil diese Reihe auch die größten Unterschiede in den Werten des Abflusses in der Stichprobe enthält.

Wenn wir einen Vergleich der  $\Delta Q$  – Werte mit den  $HQ_n$ - Schätzwerten für Stichprobe I machen, können wir sehen, dass diese zwei Werte sich in derselben Größenordnung befinden.  $HQ_{100}$ , entsprechend für GU und GEV, ist  $182 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $188 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $\Delta Q$  184 und 191. Für  $HQ_{1000}$  sind die Werte  $261 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $338 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $\Delta Q$  272 und 359.

Für die zweite Stichprobe, die die stärksten Unterschiede in den Werten der Stichprobe aufweist, sind diese Werte für  $HQ_{100}$   $242 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $238 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $\Delta Q$  364 und 357. Für  $HQ_{1000}$  sind sie  $354 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $415 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $\Delta Q$  539 und 637. In diesem Fall übersteigen die Differenzen bereits die Größenordnung der Schätzwerte, die Unsicherheit steigt stark an.

Für die dritte Stichprobe, die keine Grossereignisse besitzt, sind die Werte von  $HQ_{100}$  entsprechend  $106 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $\Delta Q$  25 und 99. Für  $HQ_{1000}$  ergeben sich  $144 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $109 \text{ m}^3/\text{s}$  mit entsprechenden Werte der  $\Delta Q$  von 185 und 129.

#### 2.1.4.5 Vertrauensbereiche für Stichprobe 1 – Vergleich der Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$

Tabelle 10: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$

X	Gumbel Verteilung - Stichprobe I (1951 - 2002)								
	$\alpha=0.50$			$\alpha=0.90$			$\alpha=0.999$		
	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$
$HQ_n$	101.50	182.10	261.30	101.50	182.10	261.30	101.50	182.10	261.30
k	1.47	3.49	5.48	1.47	3.49	5.48	1.47	3.49	5.48
$\delta$	2.24	4.29	6.34	2.24	4.29	6.34	2.24	4.29	6.34
$s_n$	12.40	23.68	35.05	12.40	23.68	35.05	12.40	23.68	35.05
$t_{\alpha=}$	0.674	0.674	0.674	1.645	1.645	1.645	3.891	3.891	3.891
OG	109.86	198.1	284.92	121.89	221.05	318.95	149.74	274.23	397.66
UG	93.144	166.1	237.68	81.11	143.15	203.65	53.26	89.97	124.94
$\Delta Q$	16.711	31.92	47.24	40.79	77.90	115.30	96.47	184.26	272.72
%				33.5	35.2	36.1			

X	Allgemeine Extremwertverteilung - Stichprobe I (1951 - 2002)								
	$\alpha=0.50$			$\alpha=0.90$			$\alpha=0.999$		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	88.23	188.39	338.24	88.23	188.39	338.24	88.23	188.39	338.24
k	1.13	3.65	7.41	1.13	3.65	7.41	1.13	3.65	7.41
$\bar{\delta}$	1.92	4.45	8.36	1.92	4.45	8.36	1.92	4.45	8.36
s <sub>n</sub>	10.63	24.57	46.16	10.63	24.57	46.16	10.63	24.57	46.16
t <sub><math>\alpha</math></sub>	0.674	0.674	0.674	1.645	1.645	1.645	3.891	3.891	3.891
OG	95.39	204.95	369.35	105.72	228.82	414.18	129.59	284.01	517.86
UG	81.06	171.83	307.13	70.74	147.96	262.31	46.86	92.77	158.63
$\Delta Q$	14.33	33.13	62.23	34.98	80.85	151.87	82.74	191.24	359.23
%				33.1	35.3	36.7			

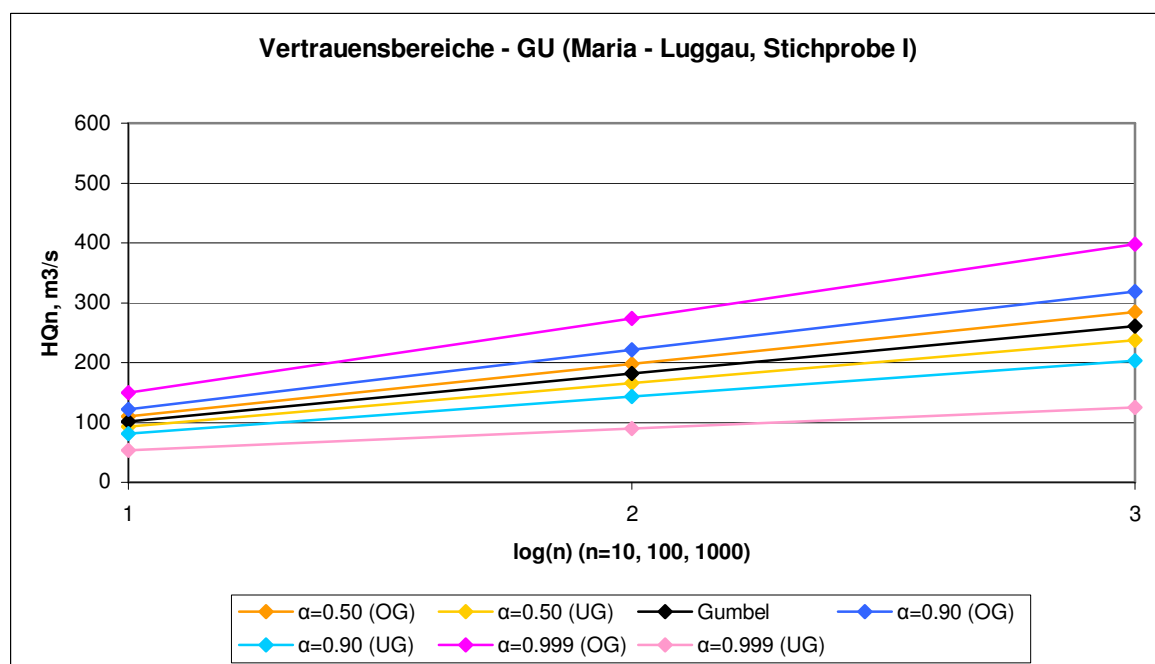


Abb. 7: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$  (Gumbel Verteilung)

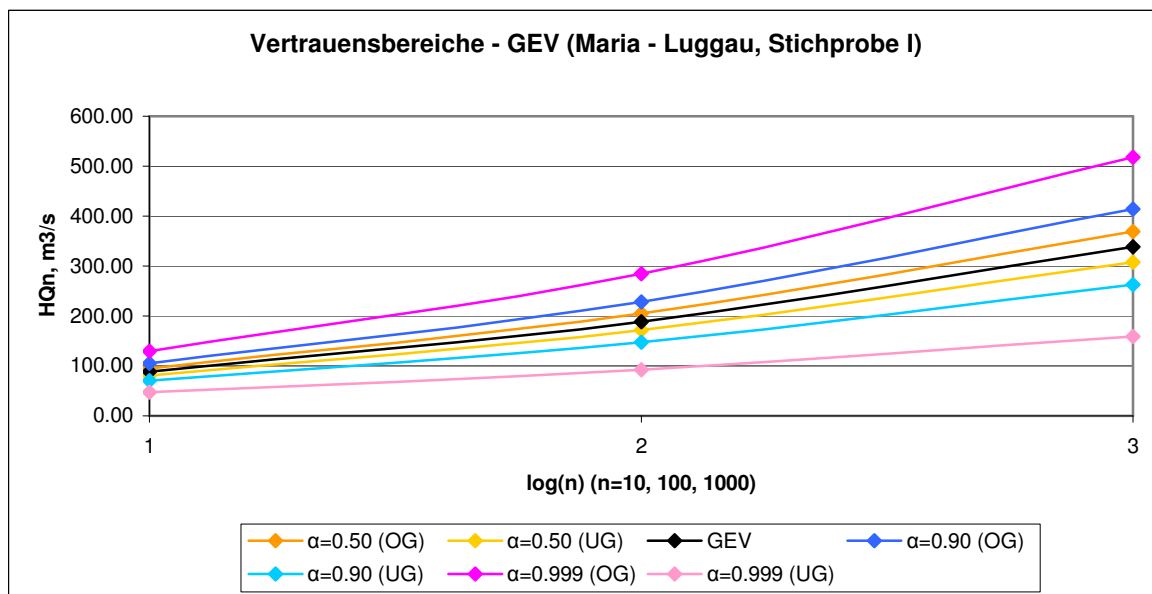


Abb. 8: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$  (Allgemeine Extremwertverteilung)

Aus den zwei Abbildungen ist zu ersehen, wie sich die Vertrauensbereiche nach den verschiedenen Wahrscheinlichkeiten verändern. Je größer  $\alpha$  ist, desto größer werden die  $\Delta Q$  – Werten. Die nach der Gumbel-Verteilung ermittelten Vertrauensbereiche sind enger als diejenigen, die mit der Allgemeinen Extremwertverteilung ermittelt wurden. Ausnahme machen die Bereiche für  $HQ_{10}$  für  $\alpha = 0.5$  und  $0.999$ .

Die Größtwerte den Vertrauensbereiche ergeben sich für  $HQ_{1000}$  und die Kleinstwerte für  $HQ_{10}$ .



2.1.4.6 Jährlichkeit des größten und des zweitgrößten  
 Großereignisses

- Großereignisse:  $Q_1=Q_2=210 \text{ m}^3/\text{s}$

	Jährlichkeit	
	Gumbel	GEV
I. Stichprobe	235	160
II. Stichprobe	52	64
III. Stichprobe	>>1000	>>1000

Diese Werte der Jährlichkeit wurden aus den Abbildungen für die Hochwasserhäufigkeit für die entsprechenden Stichproben abgelesen. Sie gelten für die zwei Größtereignisse, die in diesem Fall gleiche Größe haben.

Für die dritte Stichprobe, die keine Großereignisse enthält, sind die Jährlichkeiten viel größer als 1000 Jahre, weil die Abflüsse in dieser Reihe viel kleiner als die Großereignisse der Beobachtungsperiode sind.

Die kleinsten Jährlichkeiten ergeben sich für den hypothetischen Fall der Stichprobe II. In dieser Reihe sind keine Großereignisse enthalten, die Reihe ist daher von der Größe der enthaltenen Hochwässer wesentlich homogener als die beiden anderen Reihen. Die Ergebnisse zeigen an, wie ein Großereignis eingeschätzt würde, wenn in der vorliegenden Reihe aus einem Beobachtungszeitraum kein solches Ereignis enthalten gewesen wäre, in der Folge dann aber ein solches Ereignis auftreten würde. Es ergeben sich außerordentlich große Werte für die Jährlichkeit, die nicht realistisch sind.

## 2.2 Station Mauthen an der Gail



Abb. C: Mauthen (Poglitsch, 2001 - 125 Jahre Gailregulierung)

Charakteristik der Station Mauthen (gültig für die drei Stichproben)

- Einzugsgebiet 348.60 km<sup>2</sup>, Höhenlage 692.99 m.

Tabelle 11: Koordinaten der Station Mauthen

	x	y
Koordinaten	374522.200	307665.400
Schwerpunkt des Einzugsgebiets	355967.800	309782.200
Fernster Punkt	338770.000	307600.000

Tabelle 12: Daten der Station Mauthen

ID der flussabwärts Nachbarn: (Station Mauthen - Gail)	212670
IDs der flussaufwärts Nachbarn: Maria - Luggau (Gail); Frohn (Frohnbach)	212613; 212639
Mittlere Fließlänge, m	25.23
Maximale Länge, m	47.58

2.2.1 Stichprobe I: Station Mauthen am Gail; Länge der Beobachtungsreihe:  
52 Jahren (1951 bis 2002)

Diese Station besitzt eine Länge der Datenreihe von 52 Jahren – von 1951 bis 2002. In den Jahren 1965 und 1966 gibt es Extremereignisse mit einem Durchfluss von  $Q = 410 \text{ m}^3/\text{s}$  für 1965 und  $Q = 530 \text{ m}^3/\text{s}$  für 1966.

Die Momente sind:  
Median: 94.25  
Mittelwert: 129.85  
Standardabweichung: 102.5  
CV: 0.789  
Schiefe: 1.877  
Exzess: 0.137

Tabelle 13:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $\text{m}^3/\text{s}$  auf Basis der Stichprobe I

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	280.09	256.33
$HQ_{50}$	425.90	410.15
$HQ_{100}$	487.54	482.96
$HQ_{500}$	629.98	671.34
$HQ_{1000}$	691.21	761.83

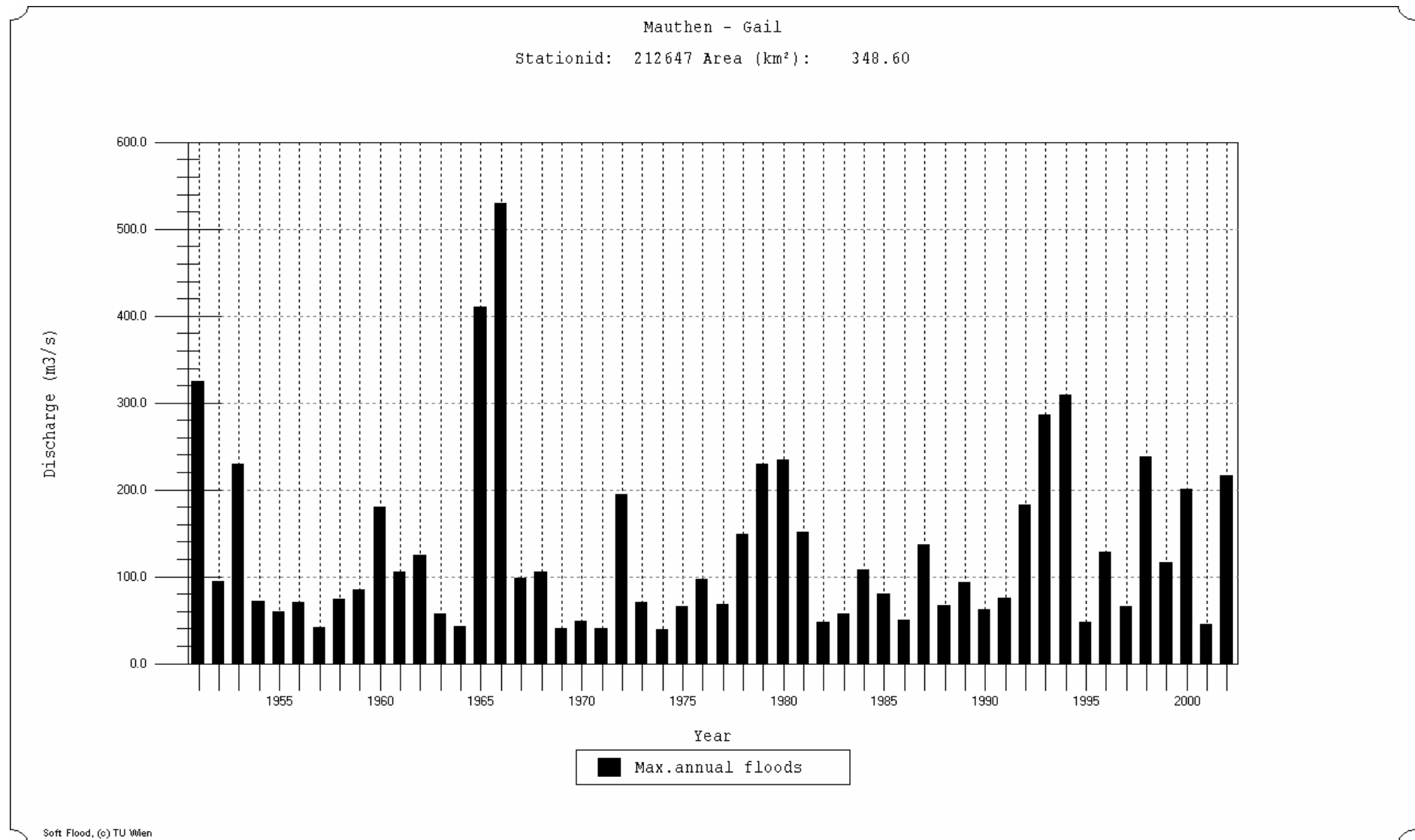


Abb. 9: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002)

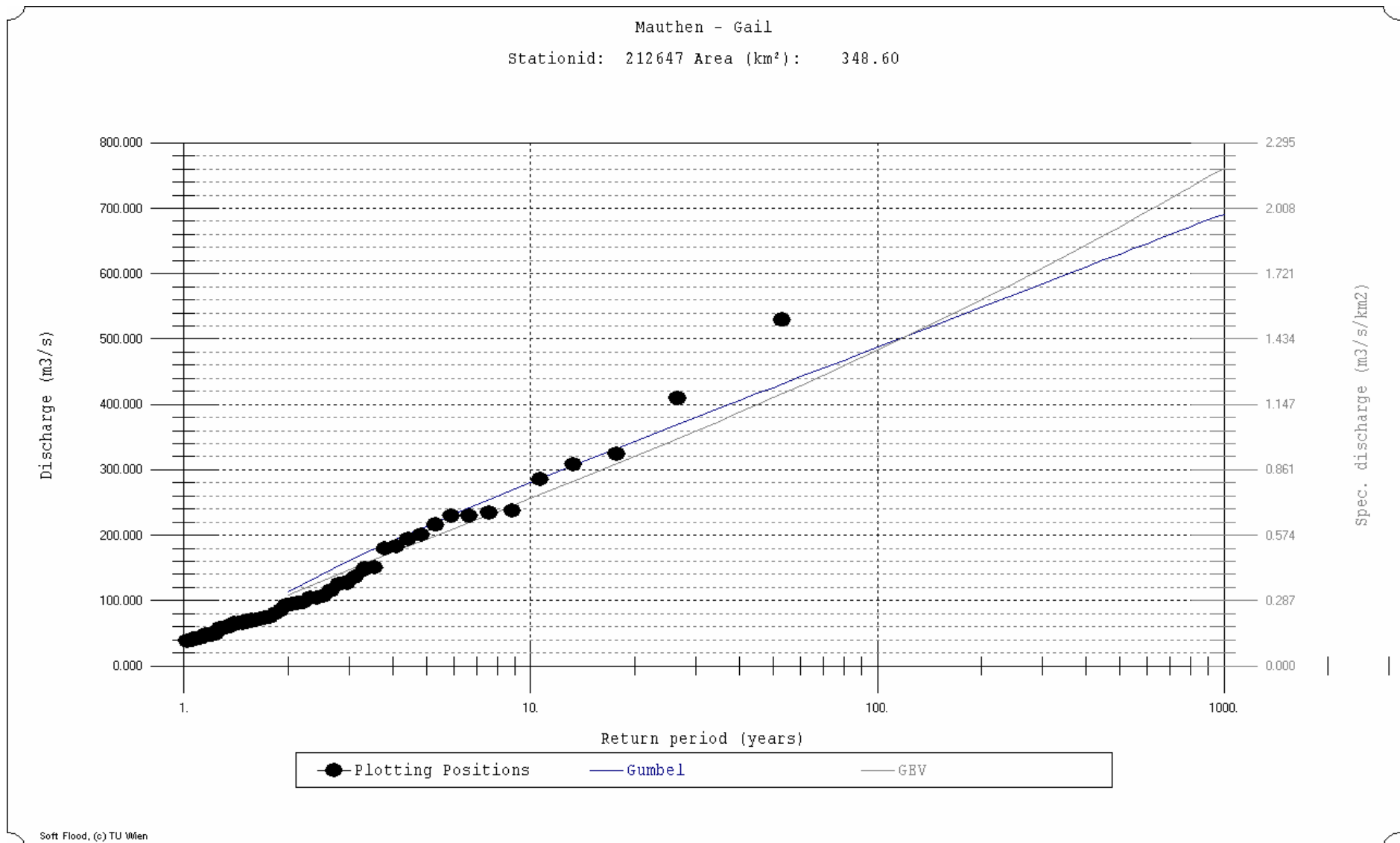


Abb. 10: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1951 - 2002

2.2.2 Stichprobe II: Station Mauthen am Gail; reduzierte Beobachtungsreihe –  
26 Jahren von 1951 bis 1976.

Die Momente sind:  
Median: 79.5  
Mittelwert: 127,1  
Standardabweichung: 122.3  
CV: 0.962  
Schiefe: 2.181  
Exzess: 0.294

Tabelle 14:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe I

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	315.45	274.42
$HQ_{50}$	496.97	464.76
$HQ_{100}$	573.71	557.82
$HQ_{500}$	751.04	806.65
$HQ_{1000}$	827.28	930.04

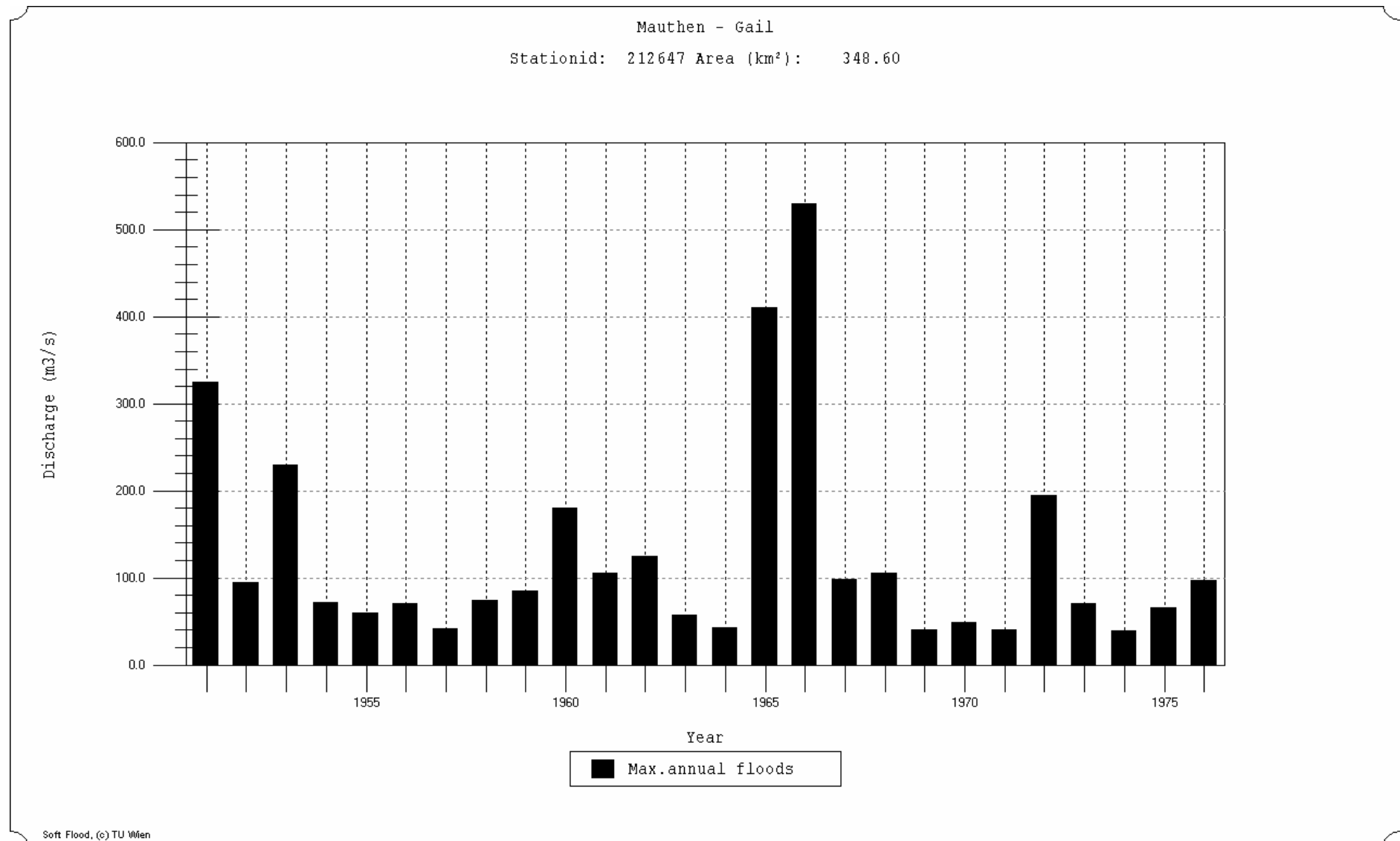


Abb. 11: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 1976)

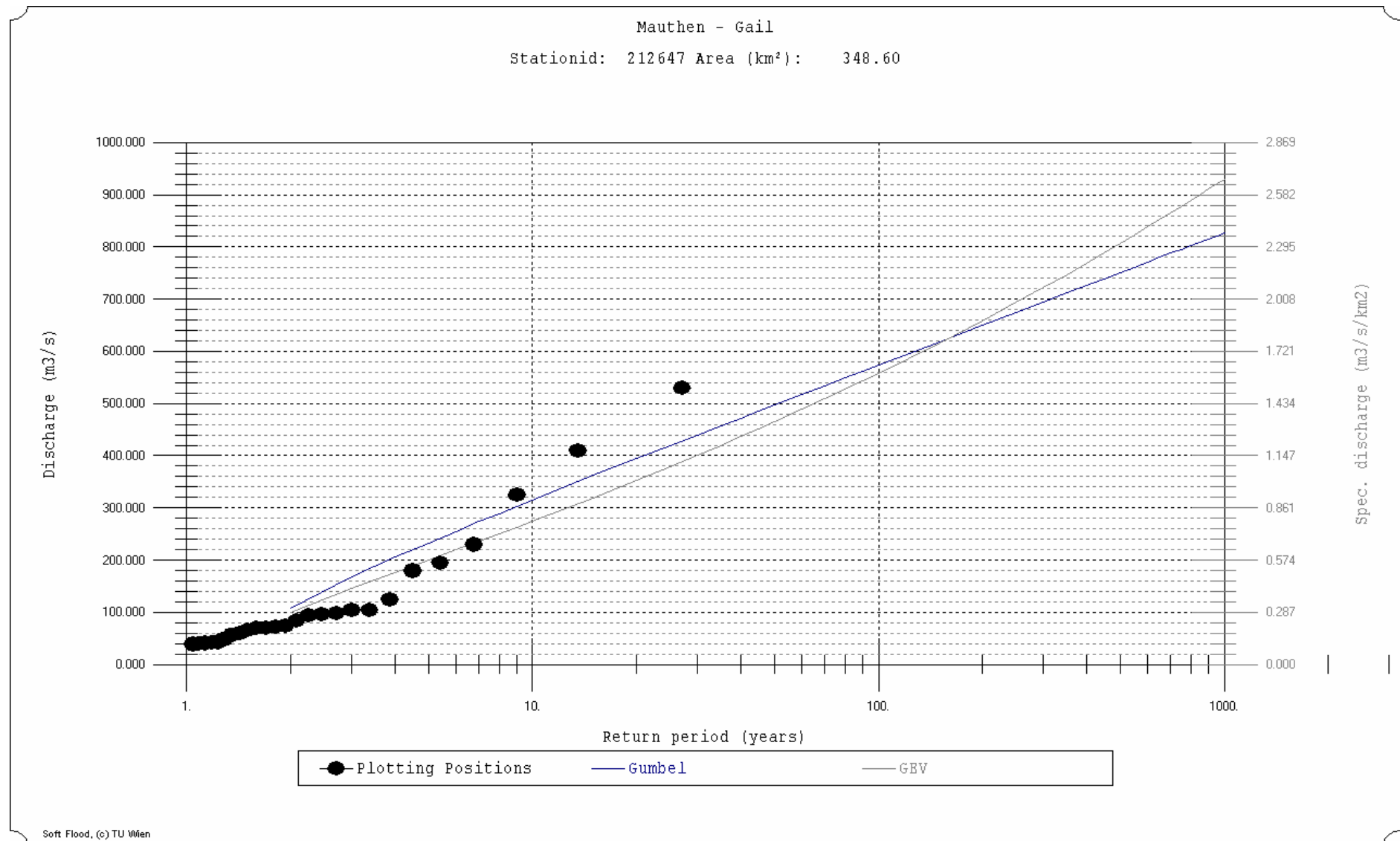


Abb. 12: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1951 - 1976



2.2.3 Stichprobe III: Station Mauthen am Gail; reduzierte Beobachtungsreihe – 26 Jahre (1977 bis 2002).

Diese Reihe enthält keine Grossereignisse.

Die Momente sind:

Median: 112.0

Mittelwert: 132.7

Standardabweichung: 80.3

CV: 0.606

Schiefe: 0.738

Exzess: 0.102

Tabelle 15:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe III

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	256.46	239.62
$HQ_{50}$	375.74	329.23
$HQ_{100}$	426.17	363.86
$HQ_{500}$	542.70	437.18
$HQ_{1000}$	592.80	466.05

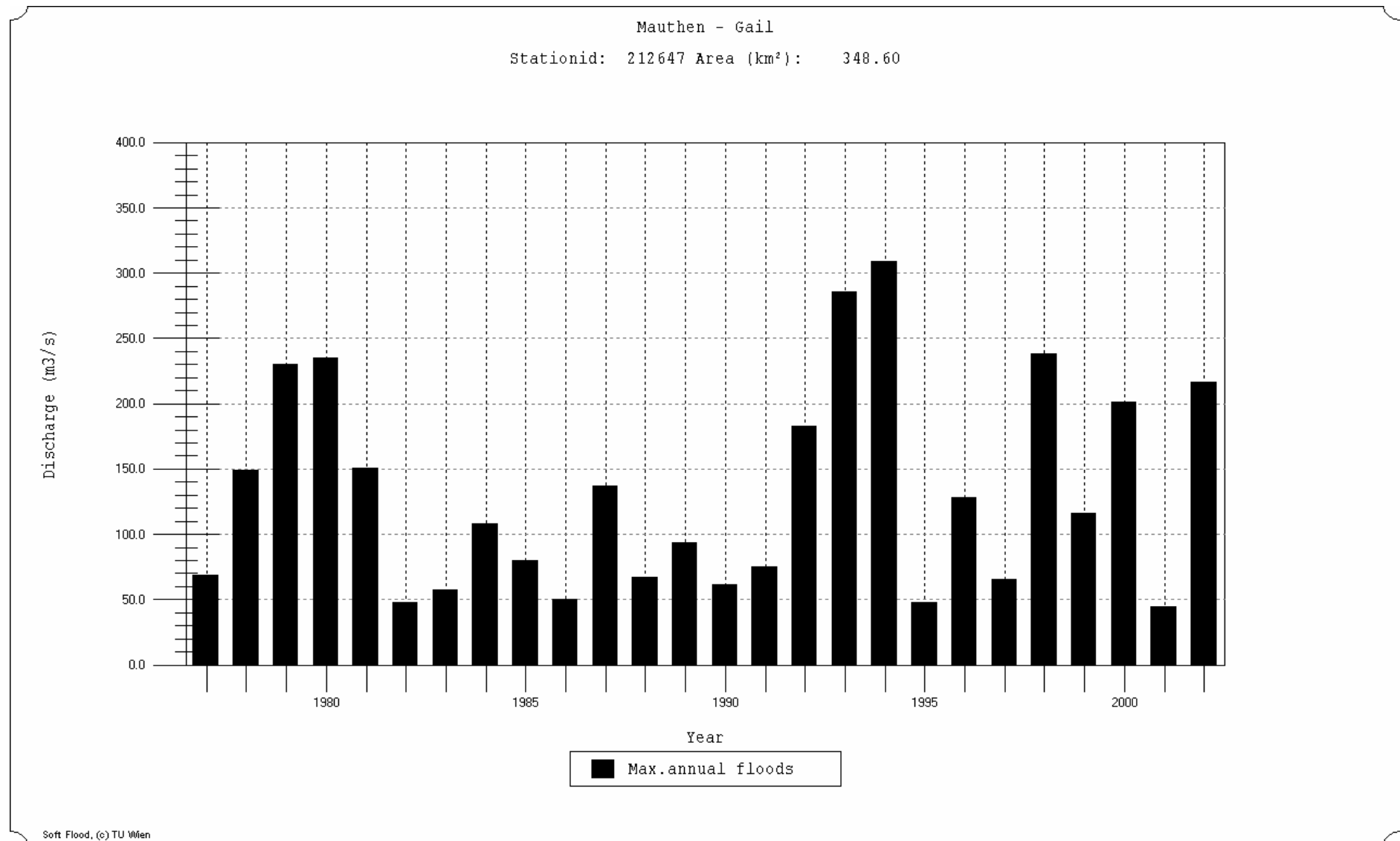


Abb. 13: Zeitreihe Stichprobe III (1977 – 2002)

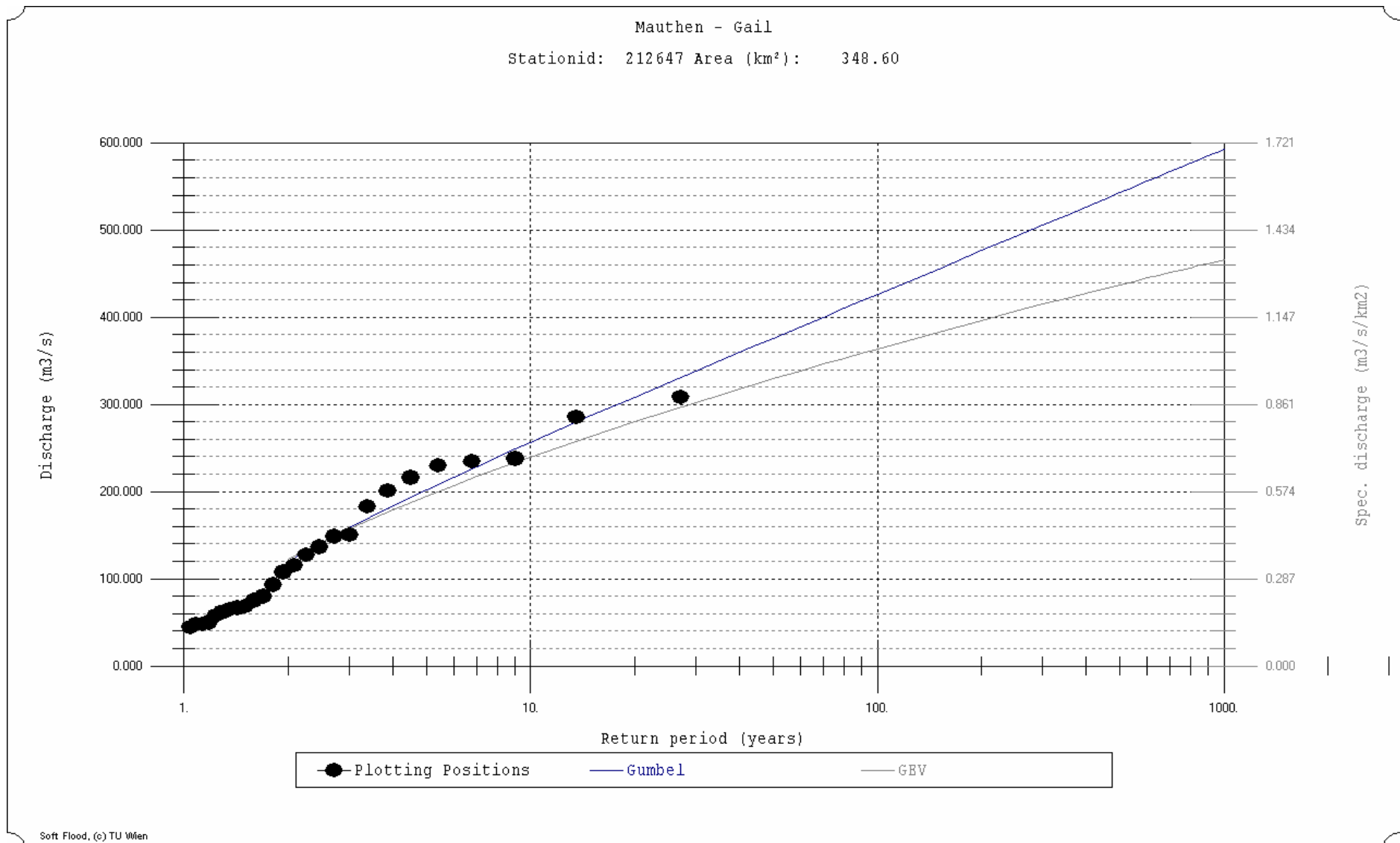


Abb. 14: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Datenreihe 1977 – 2002

## 2.2.4 Vergleich der Ergebnisse

### 2.2.4.1 Parameterschätzung

Tabelle 16: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 1976	1977 - 2002	1951 – 2002
Median	79.50	112.00	94.25
Mittelwert	127.06	132.65	129.85
Standardabweichung	122.26	80.34	102.47
CV	0.96	0.61	0.79
Schiefe	0.45	0.34	0.39
Exzess	2.18	0.74	1.88

Bei dieser Station variieren die Parameterwerte. Die größten Werte des Median und des Mittelwerts ergeben sich für die Datenreihe 1977 – 2002. Die anderen Parameter – Standardabweichung, CV, Schiefe, Exzess sind kleiner bei dieser Reihe als bei den anderen zwei – 1951 bis 1976 und 1951 bis 2002. Für die Periode 1977 bis 2002 gibt es keine Grossereignisse.

Der Größtwert für CV ist für die Reihe 1951 – 1976, der Kleinstwert für 1977 – 2002. Letztere Reihe ist eine homogene Reihe. CV ist von der Standardabweichung und dem Mittelwert abhängig. Je größer ist die Standardabweichung und/oder kleiner ist das Mittelwert, desto größer wird der Variationskoeffizient CV.

Das Größtwert der Schiefe ergibt sich für die Reihe 1951 – 2002. Dieses Resultat ist analog dem Resultat bei Maria Luggau. Die längere Beobachtungsreihe führt zu einer größeren Schiefe bei gleicher Anzahl und Größe der Großereignisse und einer größeren Zahl von Jahren mit kleinen Hochwasserereignissen.

### 2.2.4.2 $HQ_n$ – Schätzwerte

Tabelle 17:  $HQ_n$  – Schätzwerte

$HQ_n$	1951 - 1976		1977 - 2002		1951 – 2002	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	$M^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$	$M^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$
$HQ_{10}$	315.45	274.42	256.46	239.62	280.09	256.33
$HQ_{50}$	496.97	464.76	375.74	329.23	425.90	410.15
$HQ_{100}$	573.71	557.82	426.17	363.86	487.54	482.96
$HQ_{500}$	751.04	806.65	542.70	437.18	629.98	671.34
$HQ_{1000}$	827.28	930.04	592.80	466.05	691.21	761.83
%	19.7	22.0	14.2	38.8	-	-
Mittelwerte	878.66		529.42		726.52	

Die Prozentzahlen sind auf Werte der Basisreihe 1951 – 2002 bezogen und sind nur für  $HQ_{1000}$  als Beispiel dargestellt.

Die Schätzwerte für die n – jährlichen Hochwasser der Reihe von 1951 bis 1976 sind grösser als für die anderen Reihen. Die Ergebnisse, die mit der Gumbel – Verteilung erhalten wurden, sind auch grösser als die mit der Allgemeinen Extremwertverteilung berechneten. Eine Ausnahme machen die Werten von  $HQ_{500}$  und  $HQ_{1000}$  für die ganze Reihe (1951 – 2002) und für die Reihe 1951 - 1976.

Bei der Gumbel – Verteilung ist die Schiefe als Konstante festgesetzt und hat keinen Extremwert. Dies zeigt sich beim Vergleich der extrapolierten Werte. Es gelten auch hier die Anmerkungen bei den Ergebnissen für Maria Luggau.

### 2.2.4.3 Unschärfe

Tabelle 18: Unschärfe

$HQ_n$	1951 - 1976	1977 - 2002	1951 - 2002
	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$
$HQ_{10}$	41.0	16.8	23.8
$HQ_{50}$	32.2	46.5	15.8
$HQ_{100}$	15.9	62.3	4.6
$HQ_{500}$	55.6	105.5	41.4
$HQ_{1000}$	102.8	126.8	70.6
%	14.1	17.4	9.7

In diesem Fall sind die Unschärfen für die kürzeren Zeitabschnitte 1951 bis 1976 bzw. 1977 bis 2002 größer als die für die Gesamtreihe, ähnlich wie bei Maria Luggau ergeben sich auch hier – erwartungsgemäß - die grössten Werte der Unschärfe für  $HQ_{1000}$ .

Die Reihe 1951 – 2002 ist länger als die anderen zwei Reihen und ist am besten repräsentativ und auch ist die verlässlichste Reihe. Im Extrapolationsbereich vergrößern sich die Unschärfen.

In Prozenten ergeben sich folgende Werte der Unschärfe: z.B. für  $HQ_{1000}$  9.7% für die Beobachtungsreihe (1951 – 2002), 17.4% für die Reihe 1977 - 2002 und 14.1% für die Reihe 1951 – 1976.

### 2.2.4.4 Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.999$

- I. Stichprobe, Datenreihe 1951 – 2002

$$N = 52 \text{ Jahre}$$

$$s_x = 80.34$$

$$\bar{x} = 129.85$$

- II. Stichprobe, Datenreihe 1951 – 1976

$N = 26$  Jahre

$s_x = 102.47$

$\bar{x} = 127.06$

- III. Stichprobe, Datenreihe 1977 – 2002

$N = 26$  Jahre

$s_x = 122.26$

$\bar{x} = 132.65$

Tabelle 19: Vertrauensbereiche der Station Mauthen für  $\alpha=0.999$

X	Gumbel								
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1951-1976			III. Stichprobe 1977-2002		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	280.09	487.54	691.21	315.45	573.71	827.28	256.46	426.17	592.80
k	1.87	4.45	6.99	1.84	4.36	6.83	1.01	2.40	3.76
$\bar{\delta}$	2.64	5.28	7.92	2.61	5.18	7.75	1.81	3.17	4.57
s <sub>n</sub>	29.42	58.81	88.18	52.44	104.14	155.84	43.42	76.09	109.51
OG	394.57	716.37	1034.33	519.48	978.93	1433.64	425.40	722.22	1018.92
UG	165.62	258.70	348.09	111.42	168.50	220.92	87.51	130.12	166.69
$\Delta Q$	228.94	457.67	686.24	408.06	810.43	1212.72	337.89	592.10	852.23
%	58.0	63.9	66.3	78.6	82.8	84.6	79.4	82.0	83.6

X	Allgemeine Extremwertverteilung								
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1951-1976			III. Stichprobe 1977-2002		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	256.33	482.96	761.83	274.42	557.82	930.04	239.62	363.86	466.05
k	1.57	4.40	7.87	1.44	4.20	7.84	0.87	1.89	2.73
$\bar{\delta}$	2.35	5.22	8.83	2.22	5.02	8.80	1.68	2.66	3.50
s <sub>n</sub>	26.17	58.15	98.40	44.53	100.92	176.86	40.38	63.82	84.02
OG	358.15	709.24	1144.72	447.68	950.50	1618.22	396.75	612.16	792.98
UG	154.52	256.68	378.95	101.16	165.15	241.86	82.49	115.55	139.11
$\Delta Q$	203.63	452.56	765.77	346.52	785.34	1376.35	314.27	496.62	653.87
%	56.9	63.8	66.9	77.4	82.6	85.1	79.2	81.1	82.5

Diese Vertrauensbereiche sind wie bei Maria - Luggau für 99.9% Wahrscheinlichkeit berechnet. Analog zu den dort erhaltenen Ergebnissen ergeben sich auch hier für die verschiedenen HQ<sub>n</sub> verschiedene Größen der  $\Delta Q$ . Je größer n ist, desto größer wird das entsprechende HQ<sub>n</sub> und natürlich der Vertrauensbereich.

Für die verschiedenen Stichproben ergeben sich auch verschiedene Ergebnisse. Die größten Bereiche sind bei der Stichprobe II (1951 – 1976) festzustellen, weil diese Reihe die größten Werte der Abflüsse enthält. Die größten Werte der  $\Delta Q$  ergeben sich für  $HQ_{1000}$  und die kleinsten für  $HQ_{10}$ .

Wenn wir ein Vergleich der  $\Delta Q$  – Werte mit den  $HQ_n$ - Schätzwerten( wie an der Station Maria – Luggau) für Stichprobe I machen, können wir sehen, dass diese zwei Werte sich auch in derselben Größenordnung befinden.  $HQ_{100}$  entsprechend für GU und GEV ist 488  $m^3/s$  und 483  $m^3/s$  und  $\Delta Q$  458 und 453. Für  $HQ_{1000}$  ergeben sich 691  $m^3/s$  und 762  $m^3/s$  und  $\Delta Q$  686 und 766.

Für die zweite Stichprobe sind diese Werte für  $HQ_{100}$  574  $m^3/s$  und 558  $m^3/s$  und für  $\Delta Q$  810 und 785. Für  $HQ_{1000}$  sind sie 827  $m^3/s$  und 930  $m^3/s$  und für  $\Delta Q$  1213 und 1376, die Streubereiche und die Schätzwerte sind nicht mehr in gleicher Größe.

Für die dritte Stichprobe, die keine Grossereignisse besitzt, sind die Werte von  $HQ_{100}$  entsprechend 426  $m^3/s$  und 364  $m^3/s$  und für  $\Delta Q$  – 592 und 497. Für  $HQ_{1000}$  – 593  $m^3/s$  und 466  $m^3/s$  die entsprechenden Werte der  $\Delta Q$  – 852 und 653. Bei dieser Reihe sind die größten Unterschiede zwischen der  $HQ_n$  – und der  $\Delta Q$  – Werte.

#### 2.2.4.5 Vertrauensbereiche für Stichprobe 1 – Vergleich der Vertrauensbereiche für $\alpha = 0.50, 0.90$ und $0.999$

Tabelle 20: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$

X	Gumbel Verteilung - Stichprobe I (1951 - 2002)								
	$\alpha=0.50$			$\alpha=0.90$			$\alpha=0.999$		
	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$	$HQ_{10}$	$HQ_{100}$	$HQ_{1000}$
$HQ_n$	280.09	487.54	691.21	280.09	487.54	691.21	280.09	487.54	691.21
k	1.87	4.45	6.99	1.87	4.45	6.99	1.87	4.45	6.99
$\bar{\delta}$	2.64	5.28	7.92	2.64	5.28	7.92	2.64	5.28	7.92
$s_n$	29.42	58.81	88.18	29.42	58.81	88.18	29.42	58.81	88.18
$t_{\alpha=}$	0.674	0.674	0.674	1.645	1.645	1.645	3.891	3.891	3.891
OG	299.92	527.18	750.65	328.49	584.28	836.28	394.57	716.37	1034.33
UG	260.27	447.9	631.78	231.70	390.79	546.15	165.62	258.70	348.09
$\Delta Q$	39.66	79.278	118.87	96.79	193.49	290.12	228.94	457.67	686.24
%				29.5	33.1	34.7			

X	Allgemeine Extremwertverteilung - Stichprobe I (1951 - 2002)								
	$\alpha=0.50$			$\alpha=0.90$			$\alpha=0.999$		
	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>1000</sub>
HQ <sub>n</sub>	256.33	482.96	761.83	256.33	482.96	761.83	256.33	482.96	761.83
k	1.57	4.40	7.87	1.57	4.40	7.87	1.57	4.40	7.87
$\bar{\delta}$	2.35	5.22	8.83	2.35	5.22	8.83	2.35	5.22	8.83
s <sub>n</sub>	26.17	58.15	98.40	26.17	58.15	98.40	26.17	58.15	98.40
t <sub><math>\alpha</math></sub>	0.674	0.674	0.674	1.645	1.645	1.645	3.891	3.891	3.891
OG	273.97	522.16	828.16	299.38	578.62	923.71	358.15	709.24	1144.72
UG	238.70	443.76	695.51	213.29	387.30	599.96	154.52	256.68	378.95
$\Delta Q$	35.27	78.39	132.65	86.09	191.33	323.74	203.63	452.56	765.77
%				28.8	33.1	35.0			

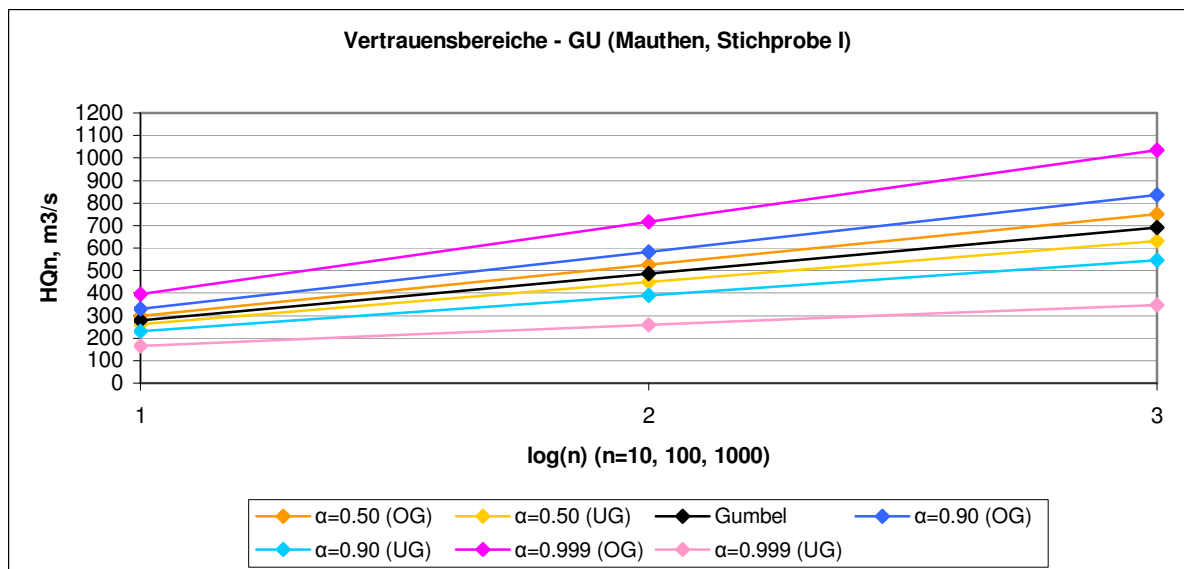


Abb. 15: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$  (Gumbel Verteilung)



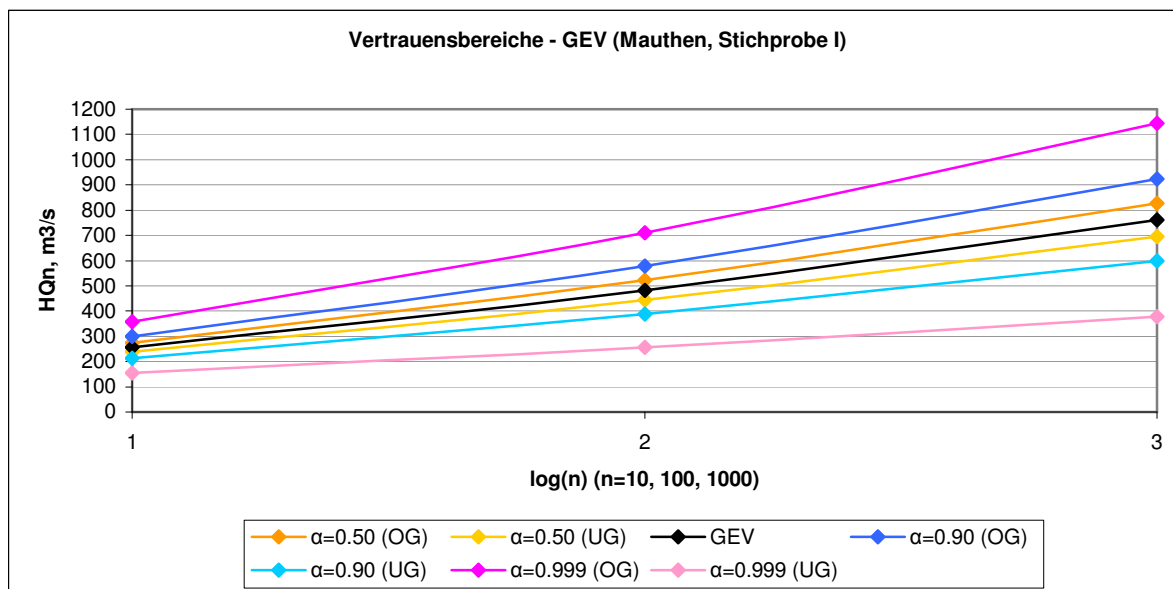


Abb. 16: Vertrauensbereiche für  $\alpha = 0.50, 0.90$  und  $0.999$  (Allgemeine Extremwertverteilung)

In diesen beiden Abbildungen sieht man, wie sich die Vertrauensbereiche nach den verschiedenen gewählten Wahrscheinlichkeiten verändern. Je größer  $\alpha$  ist, desto größer werden die  $\Delta Q$  – Werten. Diese  $\Delta Q$  – Werte stellen den Bereich zwischen der oberen und unteren Grenze dar. Die mit der Gumbel-Verteilung ermittelten Vertrauensbereiche sind größer als diejenigen, die mit der Allgemeinen Extremwertverteilung erhalten wurden.

Die Größtwerte den Vertrauensbereiche ergeben sich wiederum erwartungsgemäß für  $HQ_{1000}$  und die kleinsten für  $HQ_{10}$ .

#### 2.2.4.6 Jährlichkeit des größten Grossereignis

- 1. Grossereignis –  $Q_1=530 \text{ m}^3/\text{s}$

	Jährlichkeit	
	Gumbel	GEV
I. Stichprobe	175	165
II. Stichprobe	68	80
III. Stichprobe	450	>>1000

Diese Werte der Jährlichkeit sind den Abbildungen zur Hochwasserhäufigkeit für die entsprechende Stichprobe entnommen. Für die dritte Stichprobe, wo es keine Grossereignisse gibt, enthält man wesentlich größere Jährlichkeiten. Die geringsten Jährlichkeiten werden für Stichprobe II abgelesen, weil in dieser Reihe alle Ereignisse kleiner sind als die Grossereignisse.

#### 2.2.4.7 Jährlichkeit des zweitgrößten Grossereignis

- 2. Grossereignis –  $Q_2=410 \text{ m}^3/\text{s}$

	Jährlichkeit	
	Gumbel	GEV
I. Stichprobe	42	~50
II. Stichprobe	23	32
III. Stichprobe	78	290

In diesem Fall sind die abgelesenen Jährlichkeiten ähnlich wie bei der Jährlichkeit des größten Großereignisses. Die geringsten Jährlichkeiten sind für II. Stichprobe und die größten für III. Stichprobe.

### 2.3 Vergleich der beiden Stationen

Die beiden Stationen befinden sich am Gailfluss, sie weisen aber verschiedene Größe des Einzugsgebietes auf. Mauthen hat das größere Einzugsgebiet und befindet sich in niedrigerer Höhenlage als Maria – Luggau. Die Abflüsse, die an der Station Mauthen beobachtet sind, sind größer als diese an der Station Maria – Luggau. Daraus ergeben sich immer größere Werte des  $n$  – jährlichen Hochwassers für Mauthen.

Es gibt auch Unterschiede bei den Parametern. Median, Mittelwert und Standardabweichung sind größer bei Mauthen, bei CV, Schiefe und Exzess ist es hingegen umgekehrt - mit einige Ausnahmen für die II. Stichprobe (1977 – 2002). Hier zeigen sich die typischen Effekte zufolge der Abhängigkeit der Parameter von der Einzugsgebietsgröße.

Einen anderen Unterschied zwischen den beiden Stationen geben die Ergebnisse für die Unschärfe. Die Unschärfe für Station Mauthen sind größer als diese an der Station Maria – Luggau. Eine Ausnahme machen die Werte für  $HQ_{100}$  bei den Datenreihen 1951 – 1976 und 1977 – 2002. Aber als verlässliche Reihe nehmen wir diese von 1951 bis 2002, weil diese die Beobachtungsreihe ist.

In Bezug auf die Vertrauensbereiche sind die Vertrauensbereiche an der Station Maria – Luggau enger als diese an der Mauthen. Das ist infolge der größeren Abflüsse an der Mauthen.

## 3 Untersuchung auf „Ausreißer“

### 3.1 Methodisches

In Stichproben von Jahreshöchstabflüssen können mitunter der Maximalwert oder die größten Werte auffällig größer sein als die übrigen Stichprobenelemente. Es kann sich hierbei um „Ausreißer“ handeln, welche in der Regel statistische Untersuchungen stark beeinflussen. Inwieweit nun ein Großereignis als ein „Ausreißer“ klassifiziert werden kann, hängt von der Definition ab und davon, welche Vorstellung damit verbunden wird. Im hier folgenden Kapitel soll untersucht werden, wie ein „Ausreißer“ – Ereignis definiert werden kann und welche Unterschiede sich bei verschiedenen Definitionen ergeben.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Konzepte zur Bestimmung von Ausreißern angewendet.

Das erste Konzept beruht auf der Einführung von Relativzahlen, die Maßzahlen für die „außerordentliche“ Größe von einzelnen oder mehreren Großereignissen in einer Datenreihe darstellen.

Das zweite Konzept wird aus DVWK(1999) übernommen. Es beruht auf der Einführung eines Schwellenwertes  $x_{krit}$  nach statistischen Gesichtspunkten gemäß

$$x_{krit} = \bar{x} + w_{n,\alpha} * s, \text{ wobei}$$

$\bar{x}$  - der Mittelwert und  $s$  die Standardabweichung der Datenreihe ist und

$w_{n,\alpha}$  - abhängig vom Stichprobenumfang  $n$  und der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  ist. Zahlenwerte für  $w_{n,\alpha}$  sind in DVWK(1999) tabelliert (siehe Anhang IV). Gilt für den Maximalwert  $HQ_{max}$

In  $HQ_{max} > x_{krit}$ , so ist dieser mit einer Sicherheit  $1 - \alpha$  als Ausreißer anzusehen. Das Ergebnis ist daher von der Wahl von  $\alpha$  abhängig.

DVWK (1999) folgend, wird die Entscheidung, welche Vorgangsweise zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten gewählt wird, nicht nur auf Basis dieser statistischen Überprüfung der Ausreißerwahrscheinlichkeit getroffen. Es wird auch der Einfluss solcher extremer Abflussbeobachtungen auf die Hochwasserstatistik berücksichtigen. Dazu werden in dieser Diplomarbeit Untersuchungen gemäß dem oben angeführten Konzept auf der Basis von neu eingeführten Relativzahlen durchgeführt.

Die Untersuchung wird wiederum für beide bereits in Kapitel 2 untersuchte Stationen gemacht. Es werden unterschiedliche Datensituationen definiert – mit und ohne Ausreißer und auch mit Ausreißer in beliebigen nachfolgenden Jahren – 2003 und 2004. Es wurden vier Varianten für jede Station gemacht.

### 3.2 Definition der Stichproben – Varianten

Als Basis für die Untersuchungen dient die Beobachtungsreihe, die auch in Abschnitt 2 als Ausgangspunkt verwendet wurde. Sie hat eine Dauer von 52 Jahren und enthält zwei wirkliche Grossereignisse in den Jahren 1965 und 1966 (als HQ<sup>1</sup> bezeichnet). In Ergänzung dazu werden vier Varianten untersucht: ohne Grossereignisse, mit 1, mit 2 und mit 4 Grossereignissen.

- Stichprobe I: Beobachtete Datenreihe als Referenzdatenreihe
- Stichprobe II: Beobachtete Datenreihe ohne die Großereignisse den Jahren 1965 und 1966
- Stichprobe III: Beobachtete Datenreihe ergänzt um 2 weitere Großereignisse ( Synthetische Reihe mit 4 Großereignisse)
- Stichprobe IV: Beobachtete Datenreihe mit nur 1 Großereignis (1965)

Für alle Reihen wird zunächst HQ<sub>10</sub> als ein Referenzwert berechnet und zwar sowohl für die Gumbel – Verteilung als auch für die Allgemeine Extremwertverteilung.

#### 3.2.1 Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die 4 Stichproben für die Station Maria - Luggau

- Stichprobe I: Länge der Datenreihe – 52 Jahren von 1951 bis 2002, zwei Grossereignisse in 1965 und 1966 (identisch mit der Stichprobe in 2.1.1)

Tabelle 21: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002
Median	27.95
Mittelwert	43.06
Standardabweichung	39.84
CV	0.93
Schiefe	3.08
Exzess	0.26

Tabelle 22: HQ<sub>n</sub> – Schätzwerte in m<sup>3</sup>/s auf Basis der Stichprobe I

HQ <sub>n</sub>	Gumbel	GEV
HQ <sub>10</sub>	101.5	88.2
HQ <sub>50</sub>	158.2	154.1
HQ <sub>100</sub>	182.1	188.4
HQ <sub>500</sub>	237.5	286.4
HQ <sub>1000</sub>	261.3	338.2

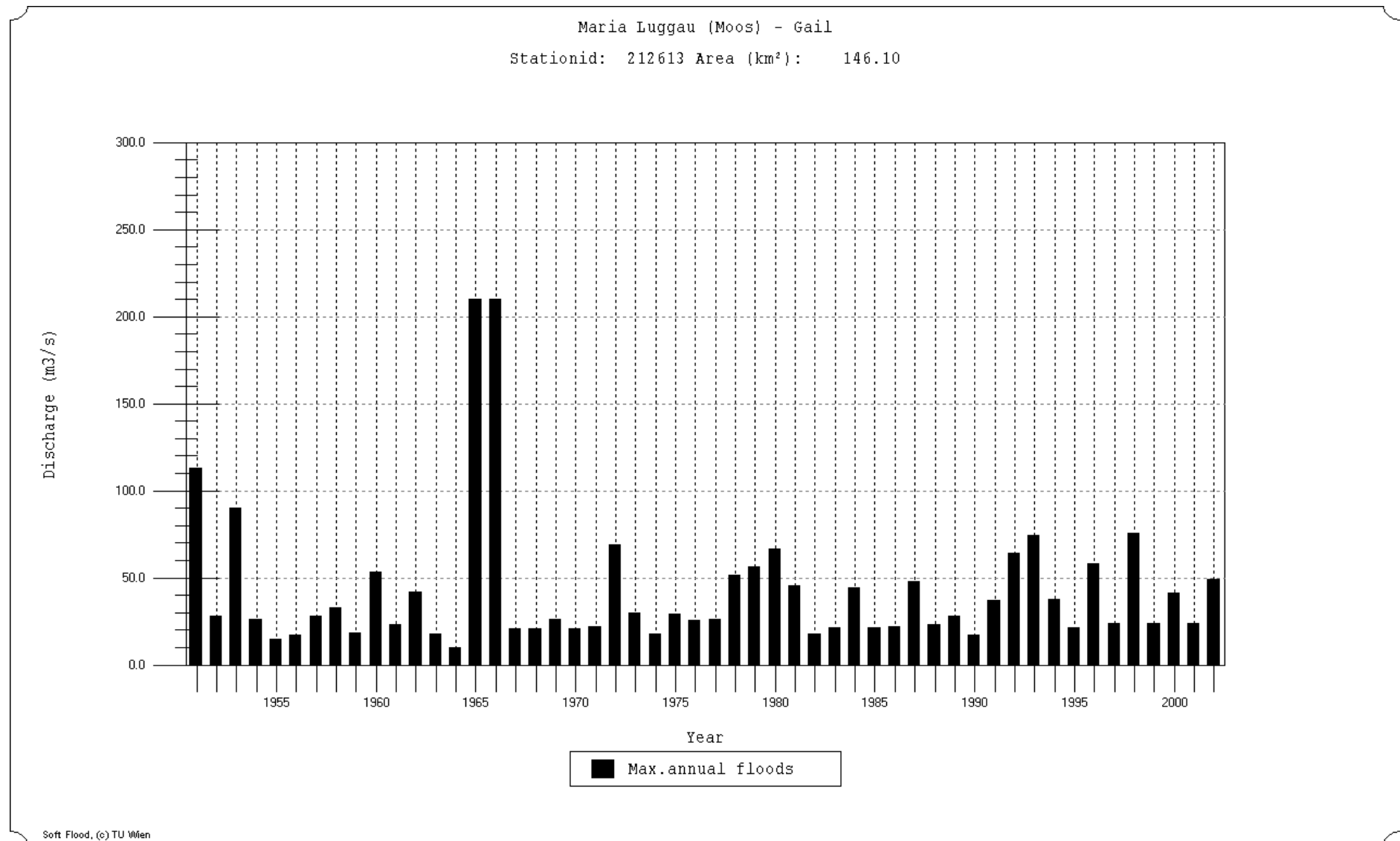


Abb. 17: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002) – mit zwei Grossereignisse

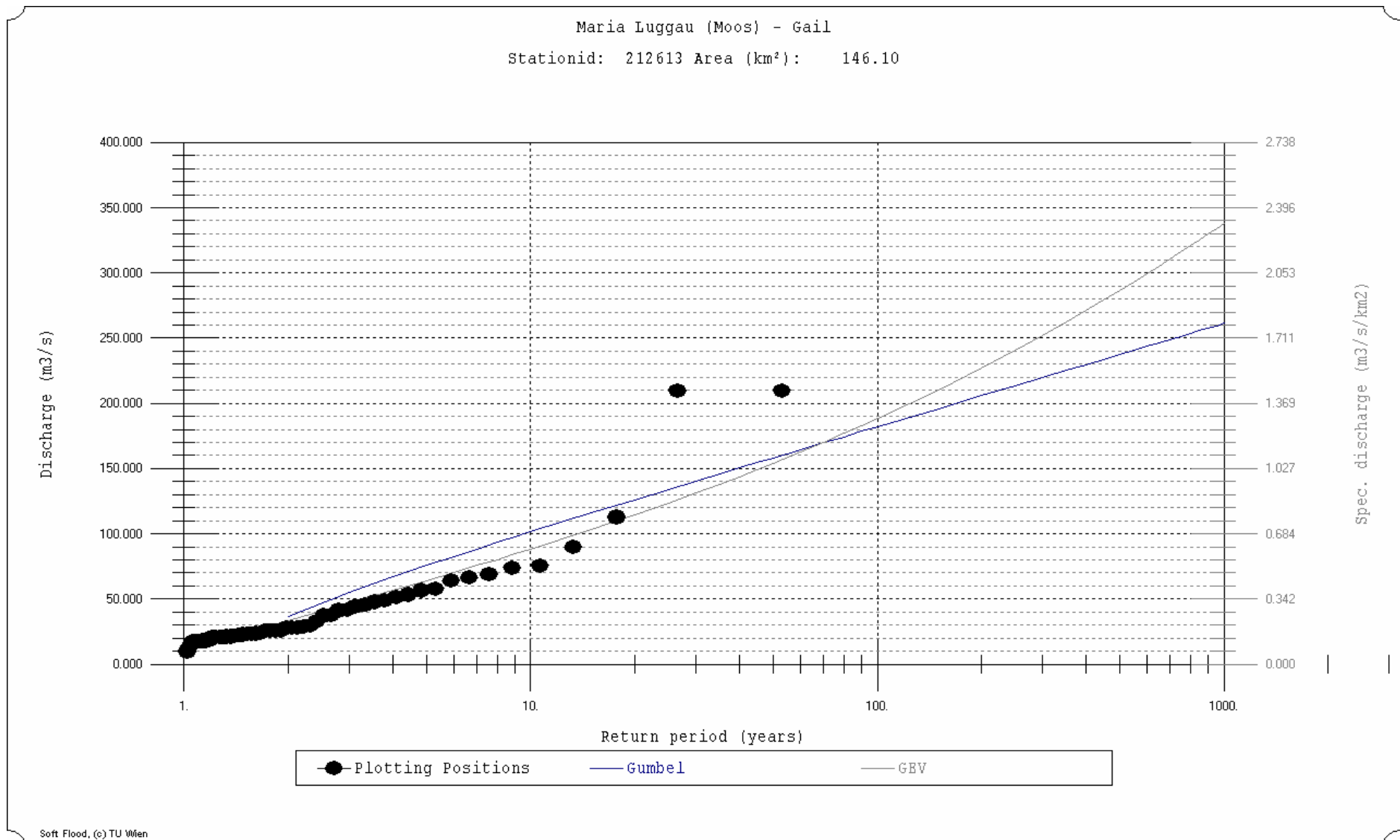


Abb. 18: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe I mit zwei Grossereignisse

- Stichprobe II: Länge der Datenreihe – 50 Jahren von 1951 bis 2002, ohne 1965 und 1966 (Jahre mit Großereignissen) – Stichprobe „ohne“ Großereignisse.

Tabelle 23: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002
Median	27.00
Mittelwert	36.38
Standardabweichung	21.65
CV	0.60
Schiefe	1.51
Exzess	0.11

Tabelle 24:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe II

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	68.1	63.9
$HQ_{50}$	98.9	94.5
$HQ_{100}$	112.0	108.3
$HQ_{500}$	142.1	142.4
$HQ_{1000}$	155.0	158.0

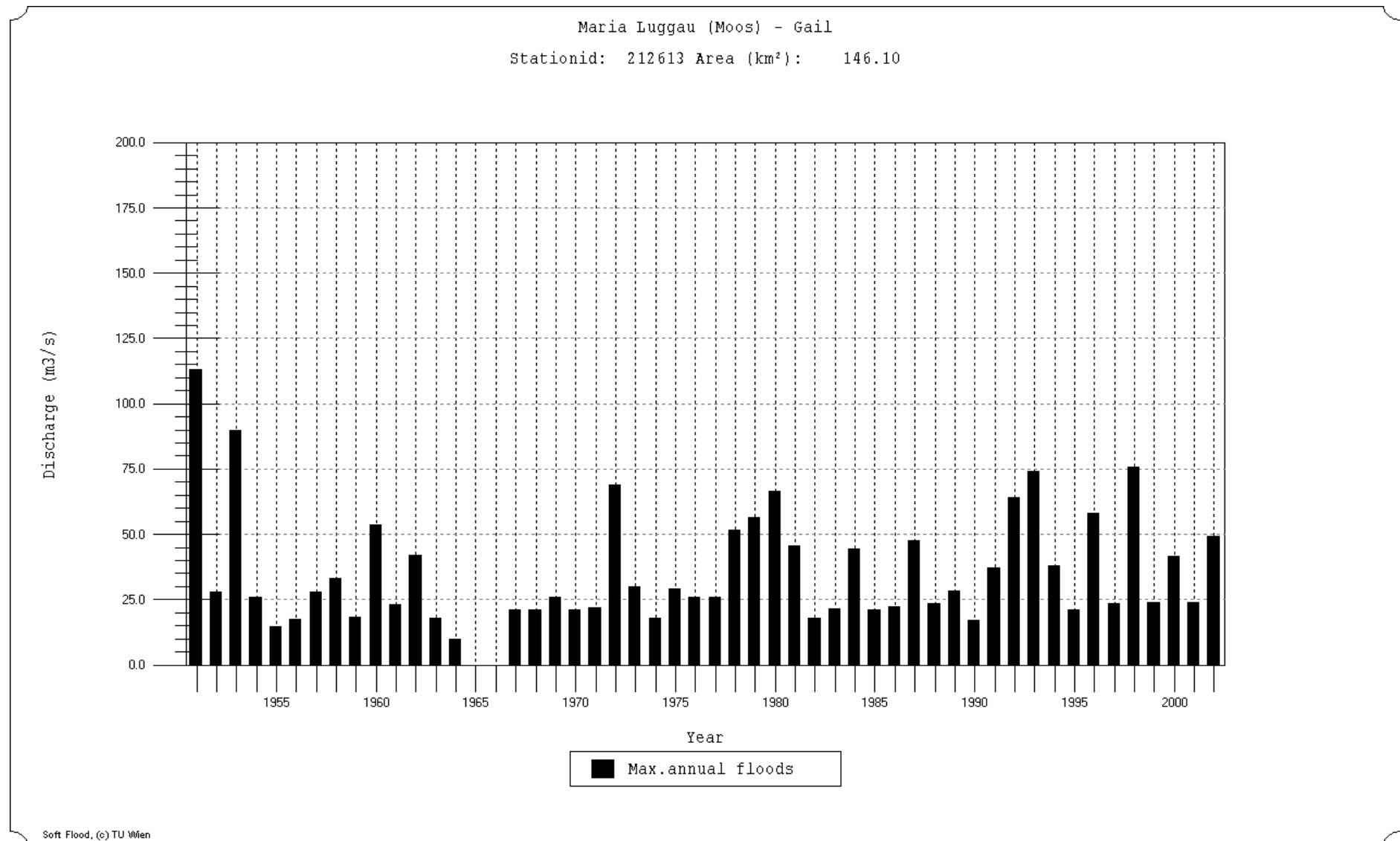


Abb. 19: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 2002) – ohne Grossereignisse



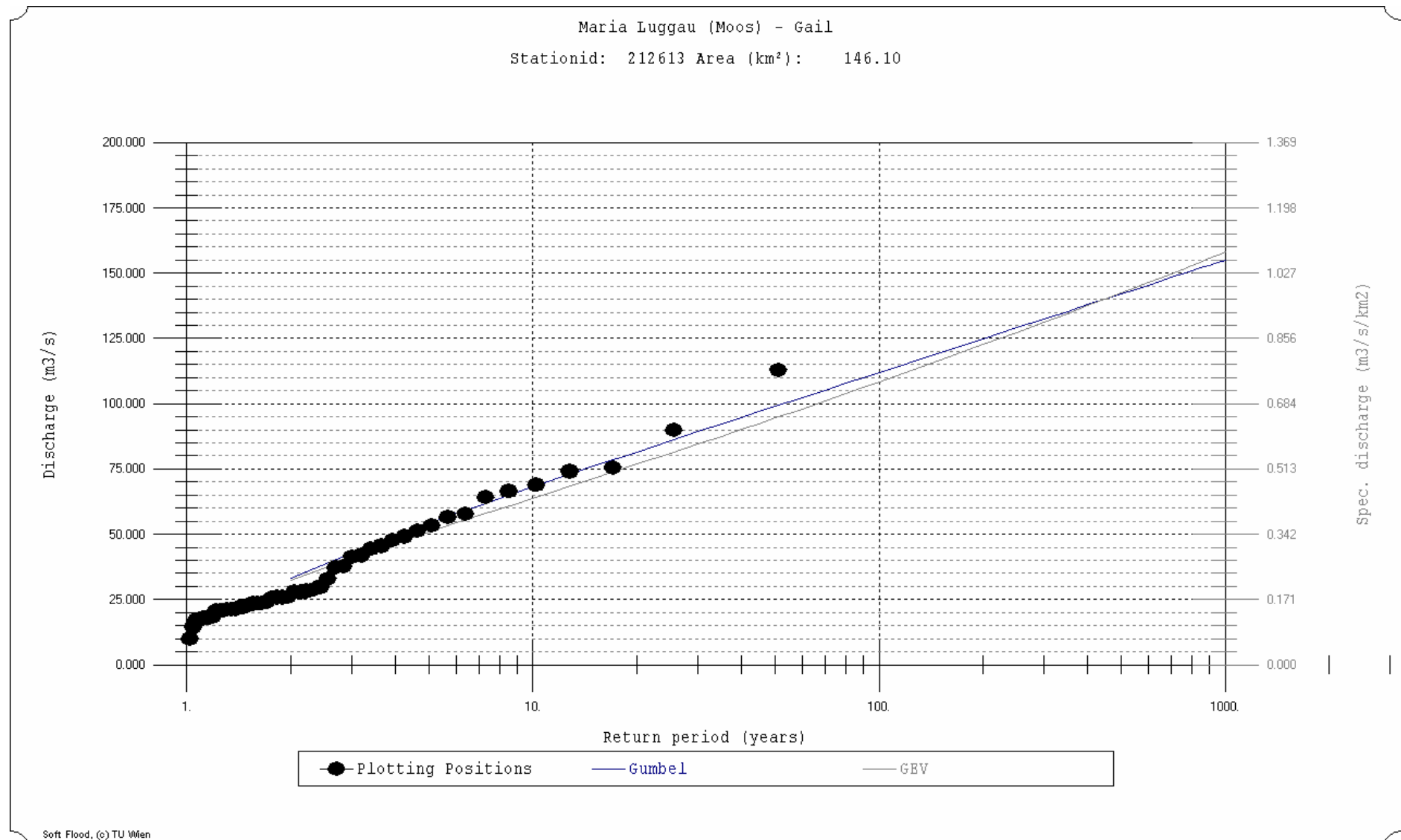


Abb. 20: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe II ohne Grossereignisse

- Stichprobe III: Länge der Datenreihe – 54 Jahren von 1951 bis 2004, mit vier Großereignisse in 1965, 1966, 2003 und 2004, wobei die Ereignisse „2003“ und „2004“ künstlich an die Beobachtungsreihe mit zwei Großereignissen angehängt werden.

Tabelle 25: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2004
Median	28.15
Mittelwert	49.59
Standardabweichung	51.56
CV	1.04
Schiefe	2.54
Exzess	0.16

Tabelle 26:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe III

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	125.2	110.2
$HQ_{50}$	198.6	192.9
$HQ_{100}$	229.6	234.6
$HQ_{500}$	301.3	349.5
$HQ_{1000}$	332.1	408.1

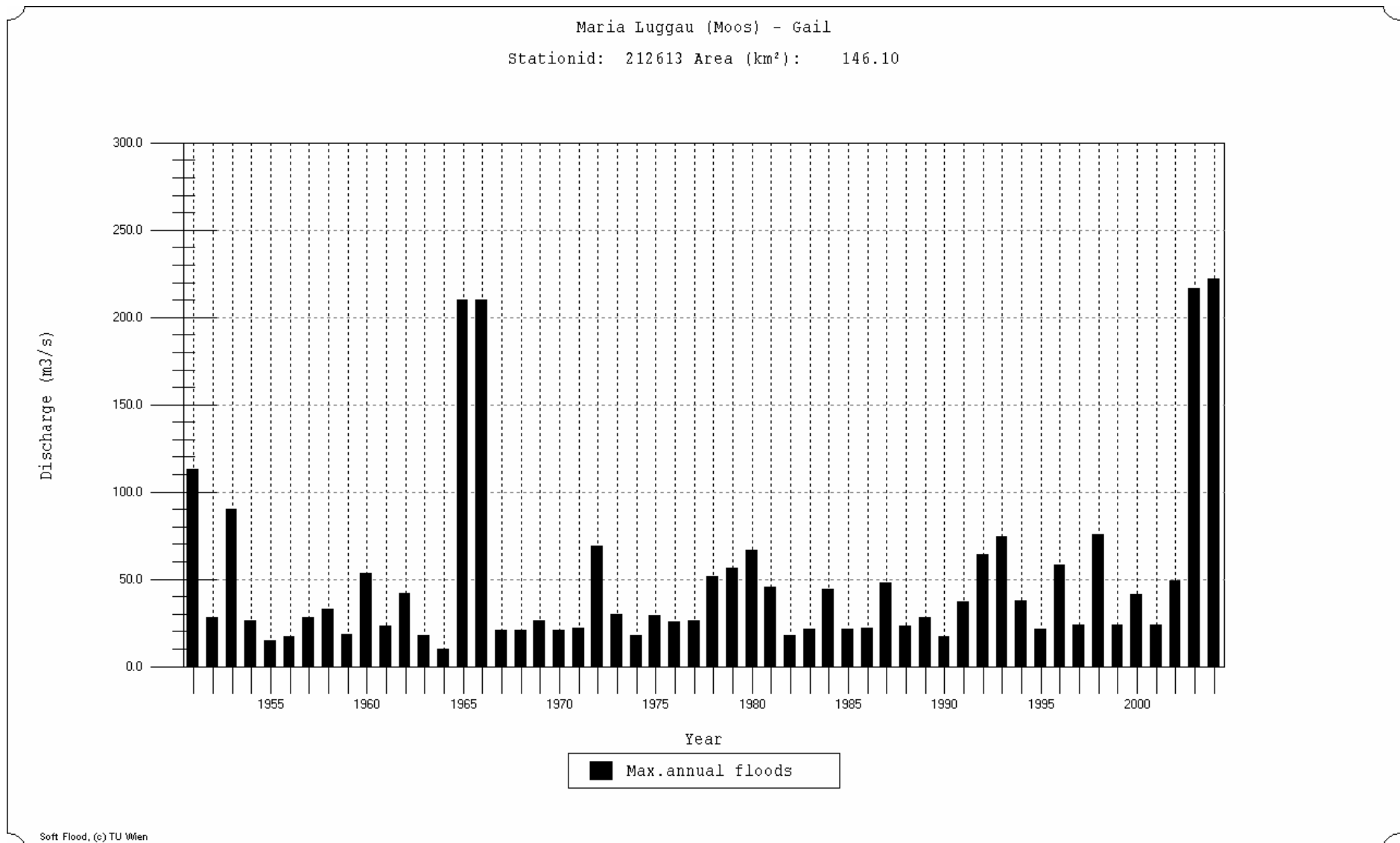


Abb. 21: Zeitreihe Stichprobe III (1951 – 2004) – mit vier Grossereignissen

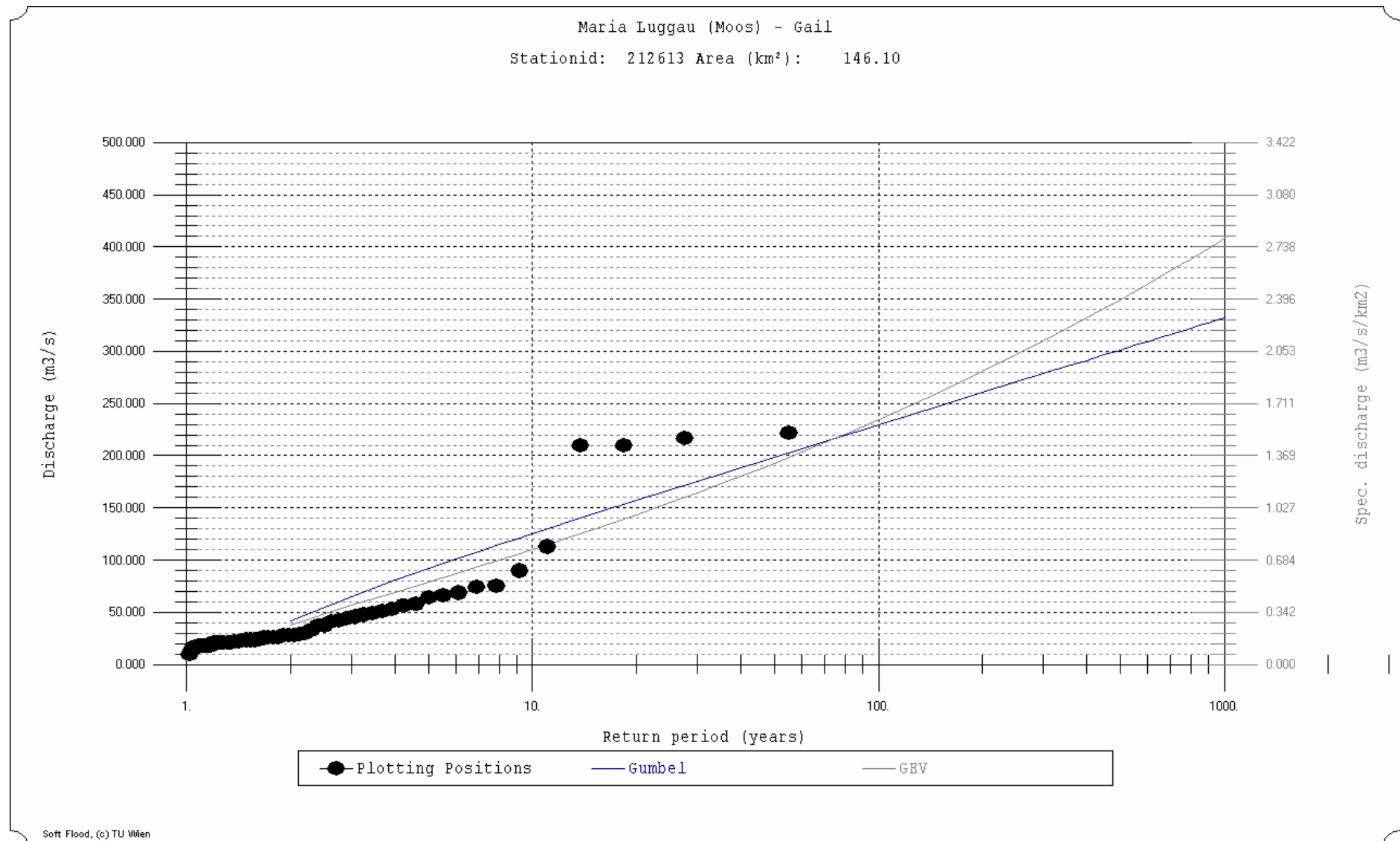


Abb. 22: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe III mit vier Grossereignissen

- Stichprobe IV: Länge des Datenreihe – 51 Jahren von 1951 bis 2002 ohne 1966, mit einem Großereignis in 1965

Tabelle 27: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002*
Median	27.90
Mittelwert	39.78
Standardabweichung	32.41
CV	0.81
Schiefe	3.31
Exzess	0.35

Tabelle 28:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe IV

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	87.3	76.1
$HQ_{50}$	133.4	130.1
$HQ_{100}$	152.9	158.6
$HQ_{500}$	198.0	240.9
$HQ_{1000}$	217.4	284.9

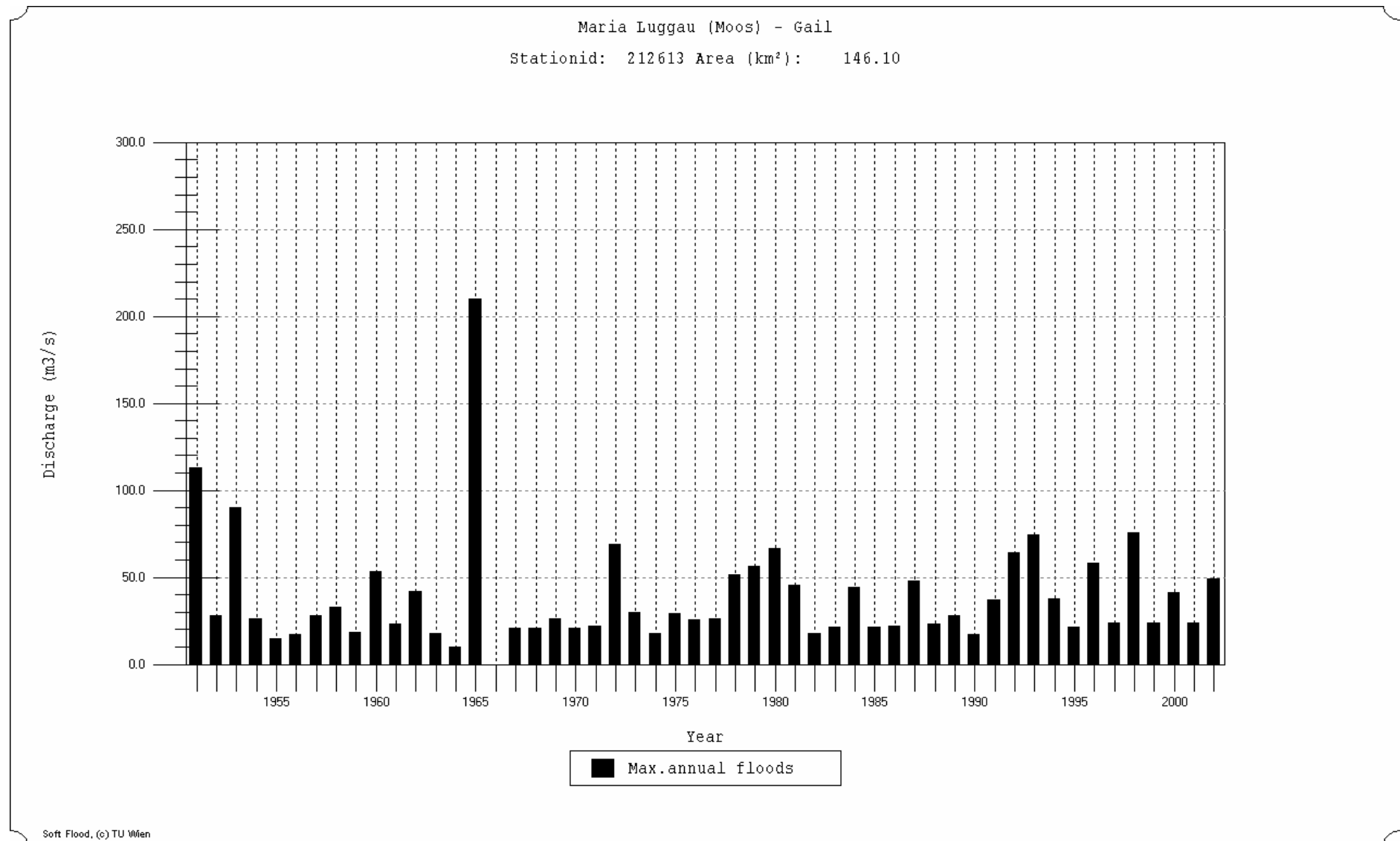


Abb. 23: Zeitreihe Stichprobe IV (1951 – 2002) – mit einem Grossereignis

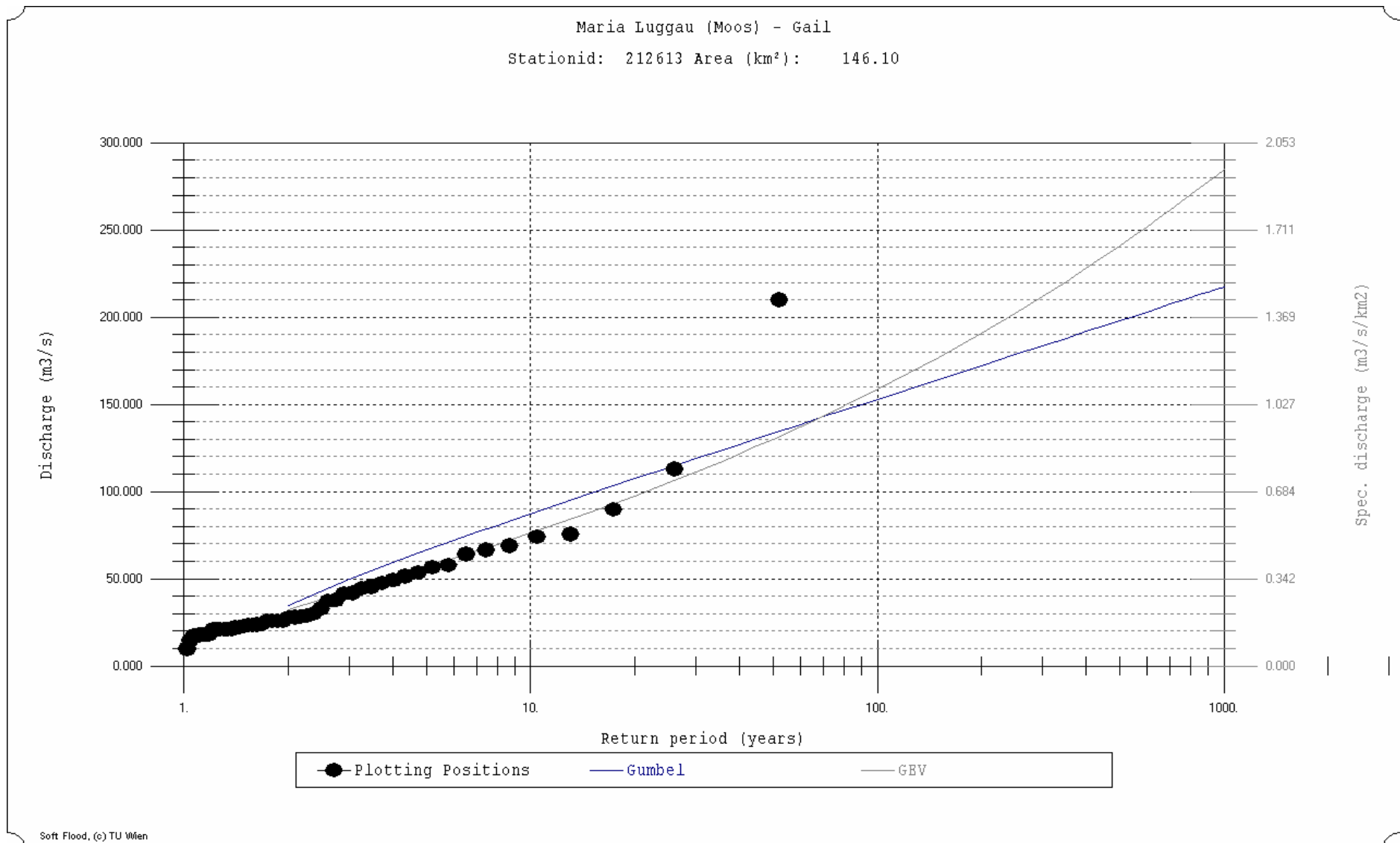


Abb. 24: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe IV mit einem Grossereignis

### 3.2.2 Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die 4 Stichproben für die Station Mauthen

- Stichprobe I: Länge des Datenreihe – 52 Jahren von 1951 bis 2002, zwei Grossereignisse in 1965 und 1966 (identisch mit Stichprobe in 2.2.1)

Tabelle 29: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002
Median	94.25
Mittelwert	129.85
Standardabweichung	102.46
CV	0.79
Schiefe	1.88
Exzess	0.14

Tabelle 30:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe I

$HQ_n$	Gumbel	GEV
$HQ_{10}$	280.1	256.3
$HQ_{50}$	425.9	410.1
$HQ_{100}$	487.5	483.0
$HQ_{500}$	630.0	671.3
$HQ_{1000}$	691.2	761.8



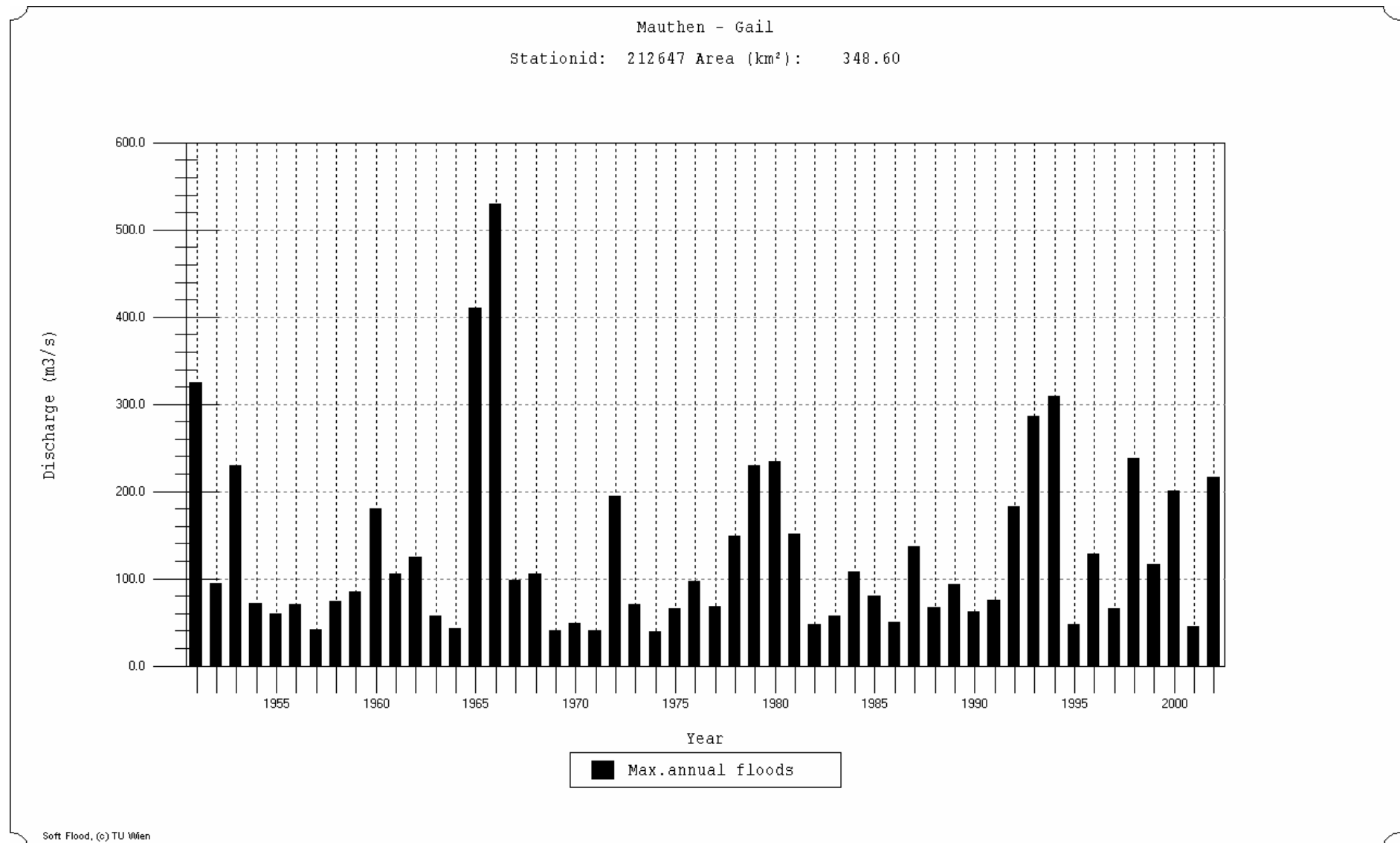


Abb. 25: Zeitreihe Stichprobe I (1951 – 2002) – mit zwei Grossereignissen

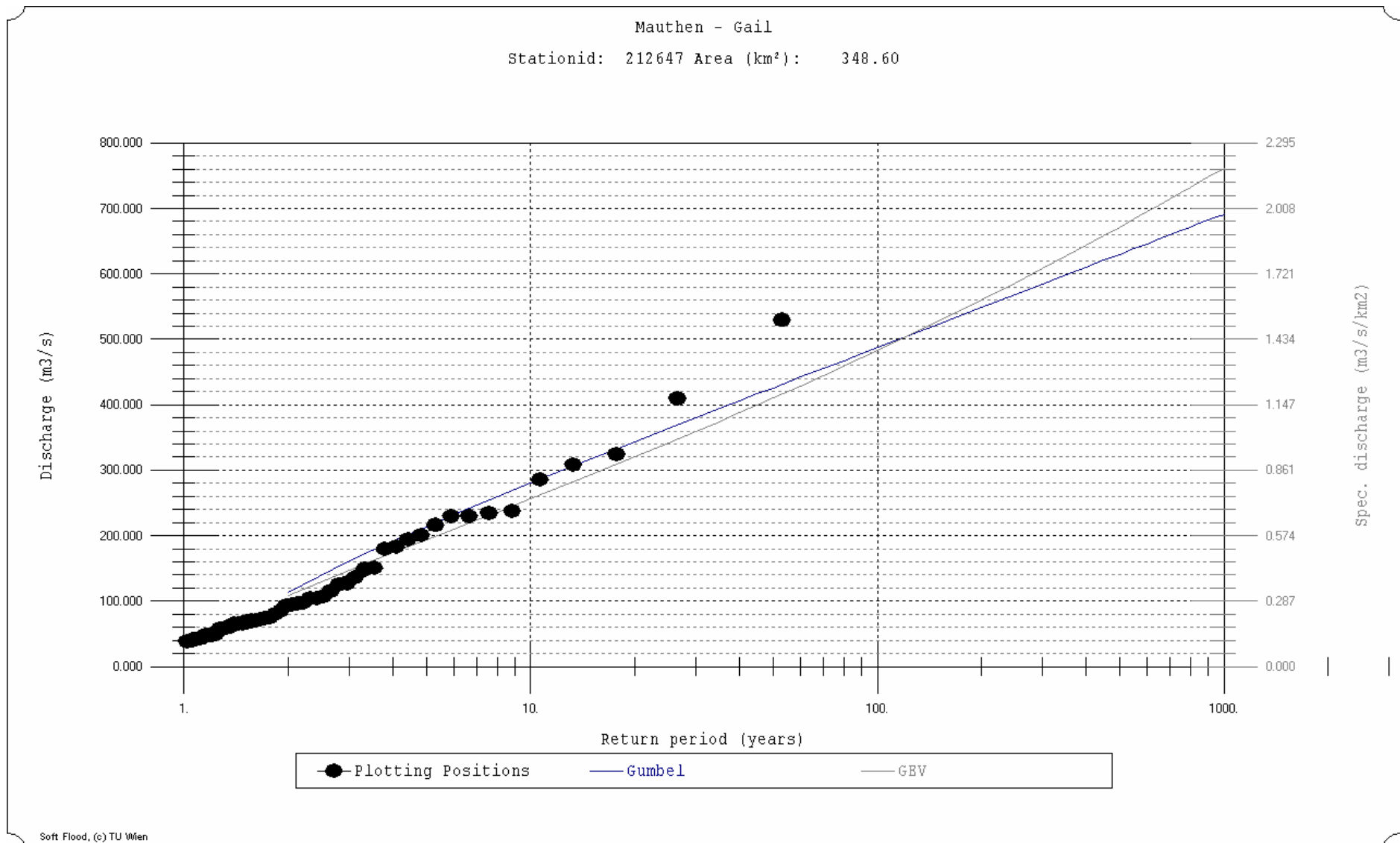


Abb. 26: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe I mit zwei Grossereignissen

- Stichprobe II: Länge des Datenreihe – 50 Jahren von 1951 bis 2002, ohne 1965 und 1966

Tabelle 31: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002
Median	89.25
Mittelwert	116.25
Standardabweichung	76.61
CV	0.66
Schiefe	1.17
Exzess	0.07

Tabelle 32:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe II

HQn	Gumbel	GEV
HQ10	228.6	215.7
HQ50	337.6	316.3
HQ100	383.7	359.4
HQ500	490.2	460.2
HQ1000	536.0	504.0

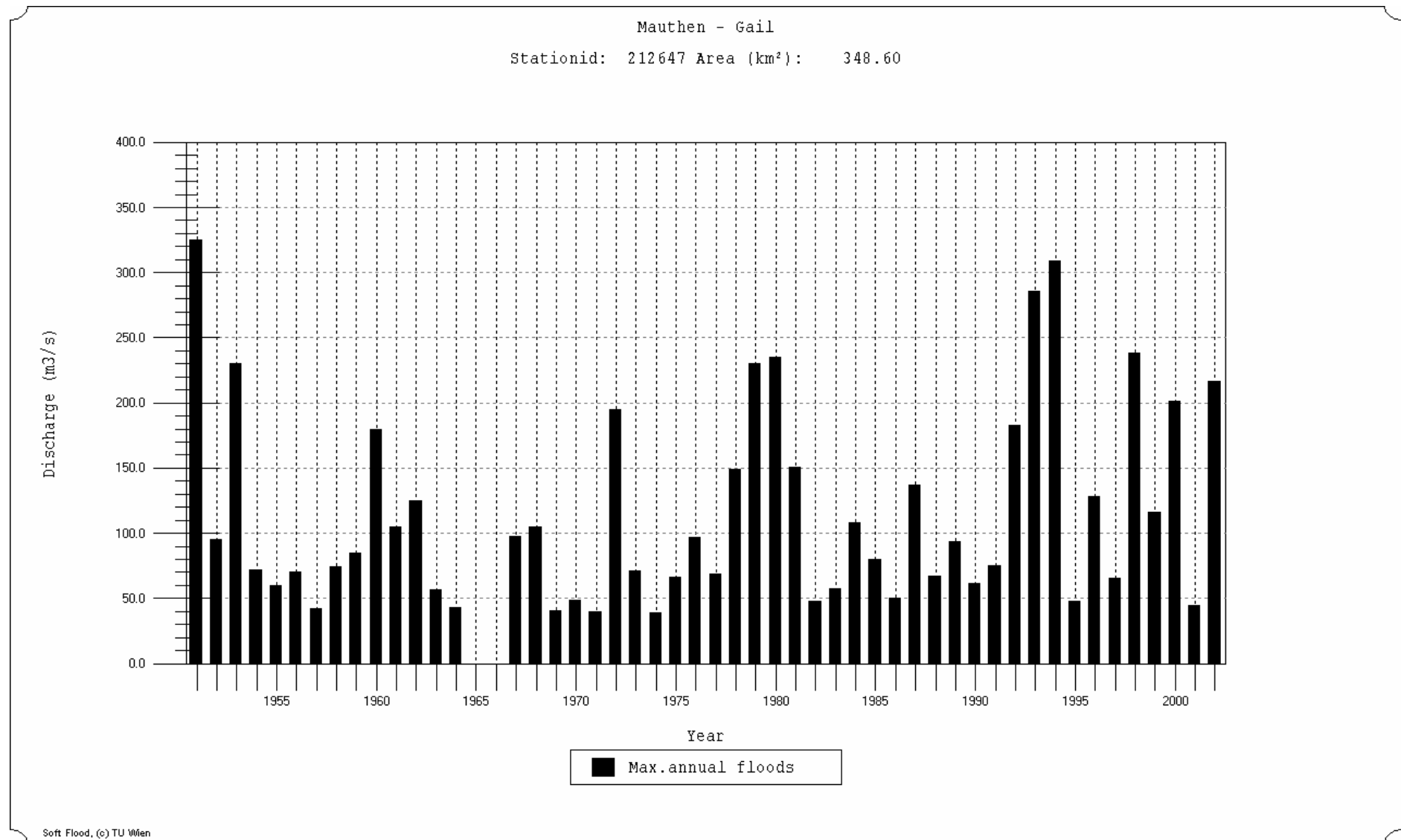


Abb. 27: Zeitreihe Stichprobe II (1951 – 2002) – ohne Grossereignisse

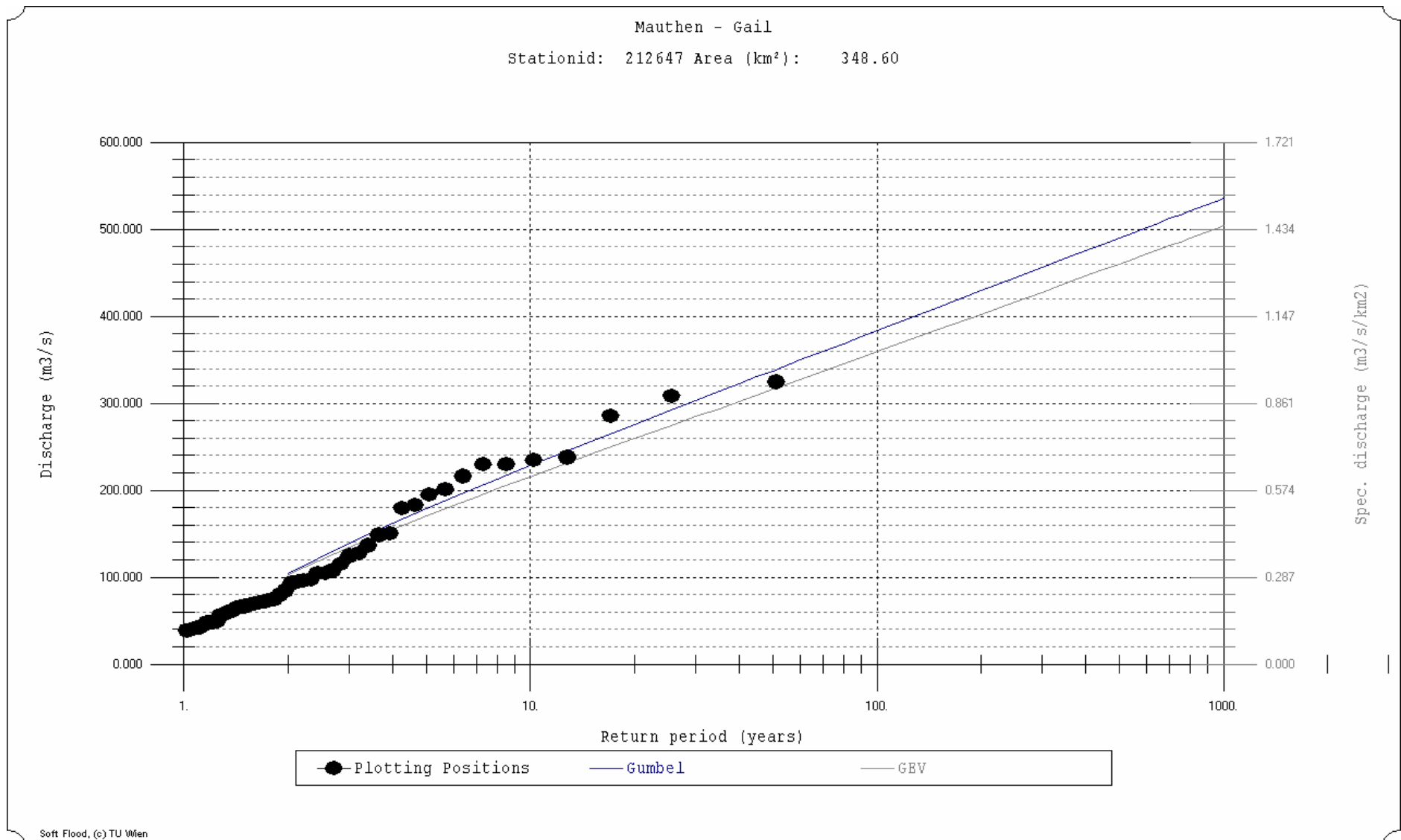


Abb. 28: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe II ohne Grossereignisse

- Stichprobe III: Länge des Datenreihe – 54 Jahren von 1951 bis 2004, mit vier Großereignisse in 1965, 1966, 2003 und 2004

Tabelle 33: Parameter

Momente; Parameter	1951 – 2004
Median	95.75
Mittelwert	142.79
Standardabweichung	120.62
CV	0.84
Schiefe	1.73
Exzess	0.10

Tabelle 34:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe III

HQn	Gumbel	GEV
HQ10	319.6	293.3
HQ50	491.3	470.6
HQ100	563.8	553.1
HQ500	731.5	762.8
HQ1000	803.6	861.8

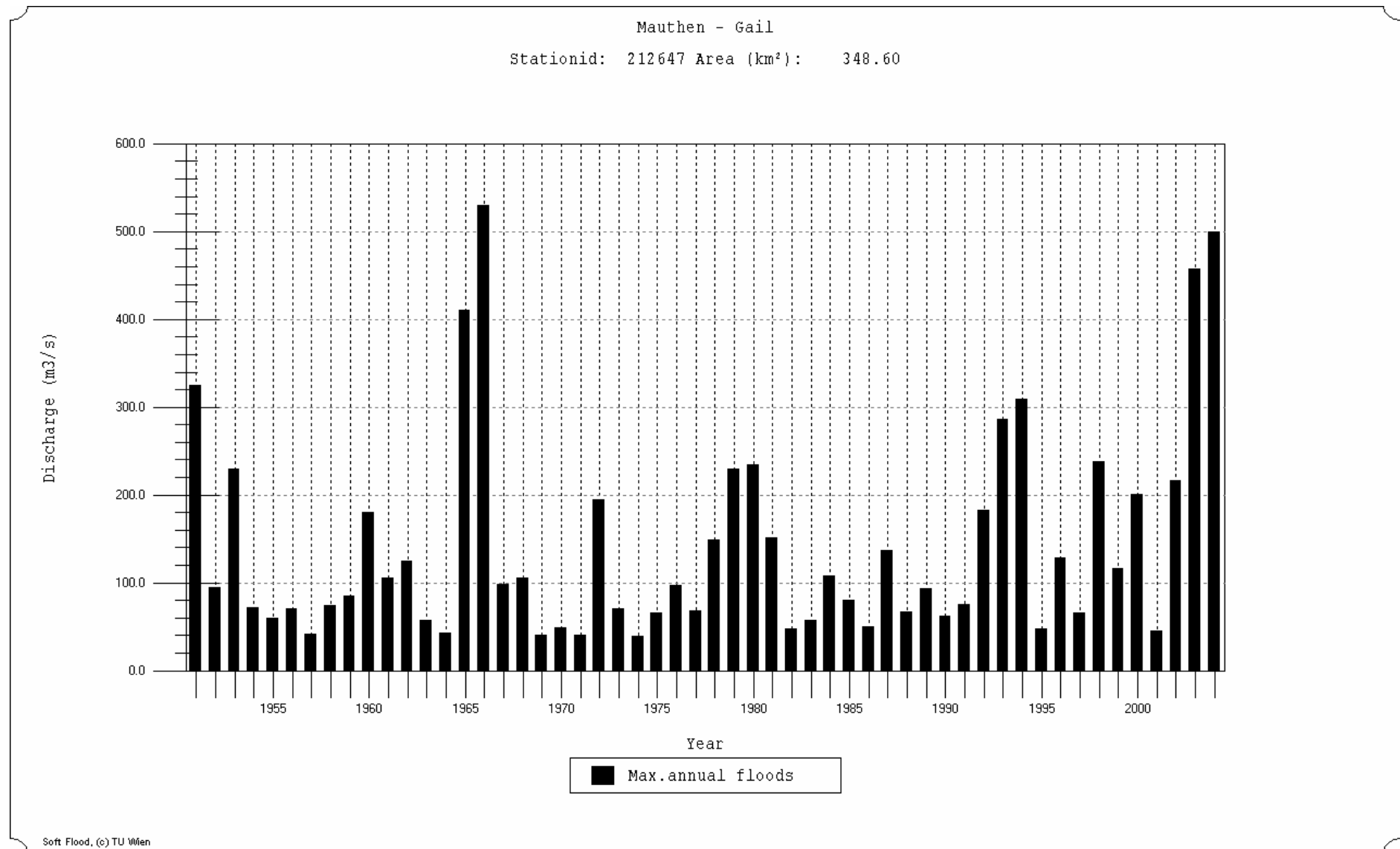


Abb. 29: Zeitreihe Stichprobe III (1951 – 2004) – mit vier Grossereignisse

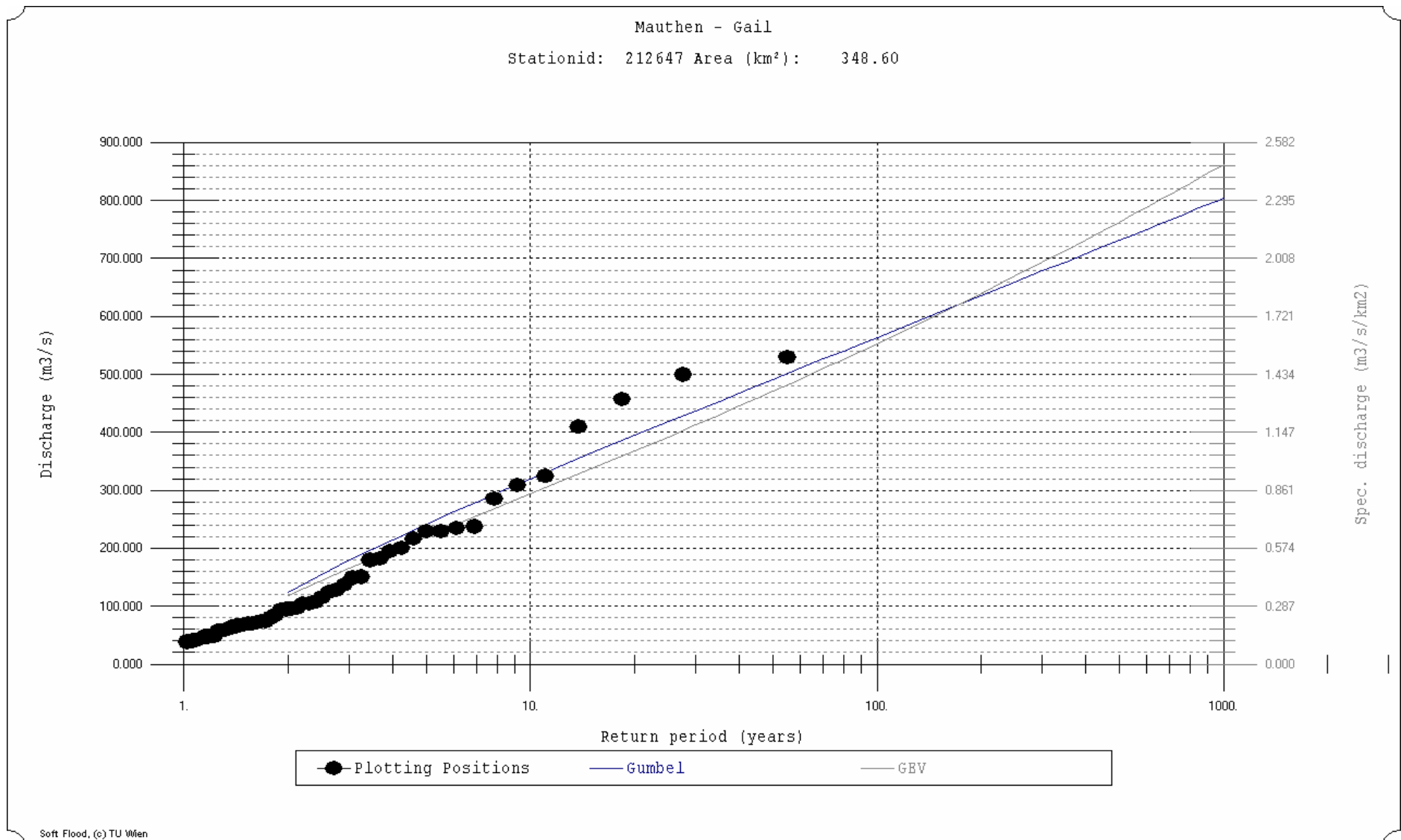


Abb. 30: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe III mit vier Grossereignissen



- Stichprobe IV: Länge des Datenreihe – 51 Jahren von 1951 bis 2002 ohne 1966, mit einem Großereignis in 1965

Tabelle 35: Parameter

Momente; Parameter	1951 - 2002*
Median	93.50
Mittelwert	122.01
Standardabweichung	86.28
CV	0.71
Schiefe	1.42
Exzess	0.09

Tabelle 36:  $HQ_n$  – Schätzwerte in  $m^3/s$  auf Basis der Stichprobe IV

HQn	Gumbel	GEV
HQ10	248.5	232.3
HQ50	371.3	351.8
HQ100	423.2	404.9
HQ500	543.1	534.0
HQ1000	594.7	592.3

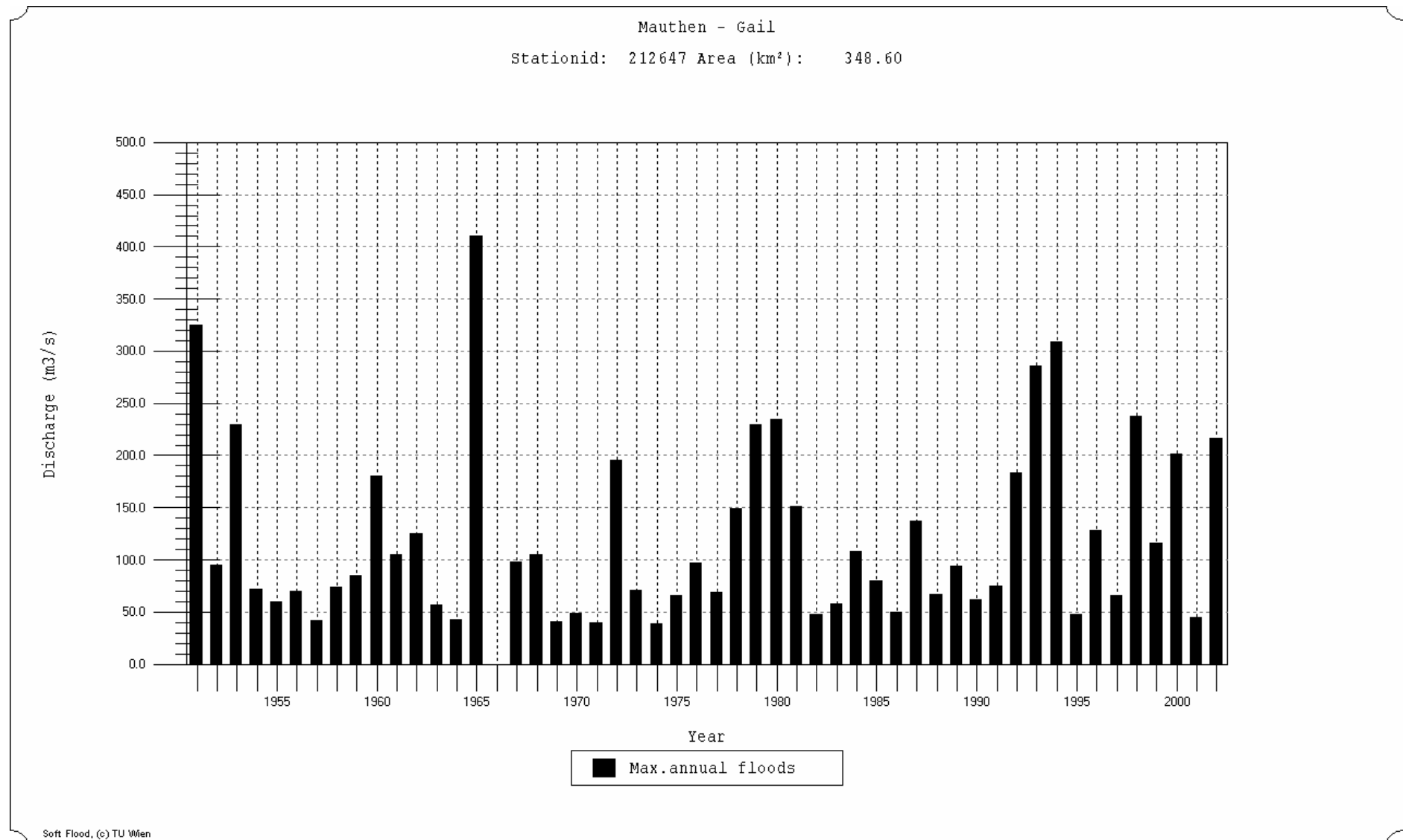


Abb. 31: Zeitreihe Stichprobe IV (1951 – 2002) – mit einem Grossereignis

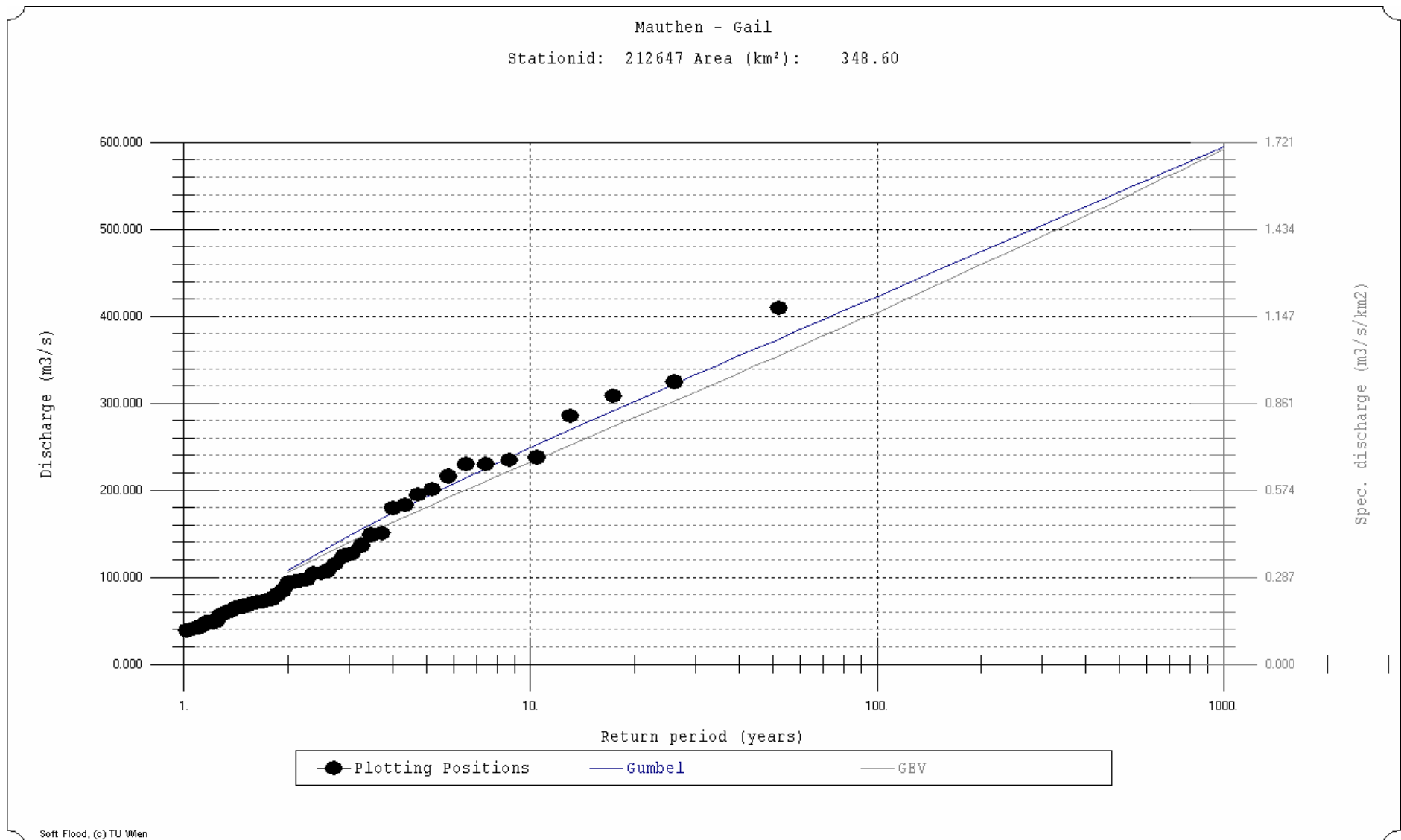


Abb. 32: Hochwasserhäufigkeit (Flood frequency graph) – Stichprobe IV mit einem Grossereignis

### 3.3 Vergleich der Ergebnisse

#### 3.3.1 Schätzung der statistischen Parameter

Tabelle 37: Parameter

Station	Maria – Luggau			
	1951 – 2002 (mit 2)	1951 – 2002 (ohne)	1951 – 2004 (mit 4)	1951 – 2002 (mit 1)
Momente; Parameter				
Median	27.95	27.00	28.15	27.90
Mittelwert	43.06	36.38	49.59	39.78
Standardabweichung	39.84	21.65	51.56	32.41
CV	0.93	0.60	1.04	0.81
Schiefe	3.08	1.51	2.54	3.31
Exzess	0.26	0.11	0.16	0.35

Tabelle 38: Parameter

Station	Mauthen			
	1951 – 2002 (mit 2)	1951 – 2002 (ohne)	1951 – 2004 (mit 4)	1951 – 2002 (mit 1)
Momente; Parameter				
Median	94.25	89.25	95.75	93.50
Mittelwert	129.85	116.25	142.79	122.01
Standardabweichung	102.46	76.61	120.62	86.28
CV	0.79	0.66	0.84	0.71
Schiefe	1.88	1.17	1.73	1.42
Exzess	0.14	0.07	0.10	0.09

Die Werte der Parameter Median, Mittelwert und Standardabweichung sind an der Station Mauthen größer als diese an der Station Maria – Luggau. Das ist infolge der größeren Werte des Durchflusses an der Station mit dem größeren Einzugsgebiet.

Bei der Datenreihe 1951 bis 2004, die vier Grossereignisse enthält, ergeben sich die größten Werte der Parameter Median, Mittelwert und Standardabweichung.

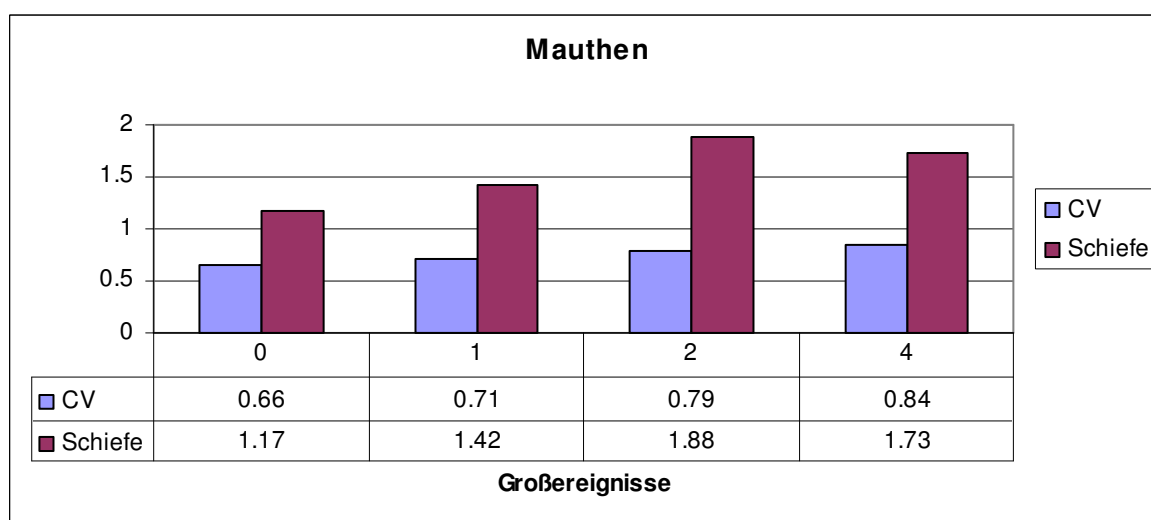
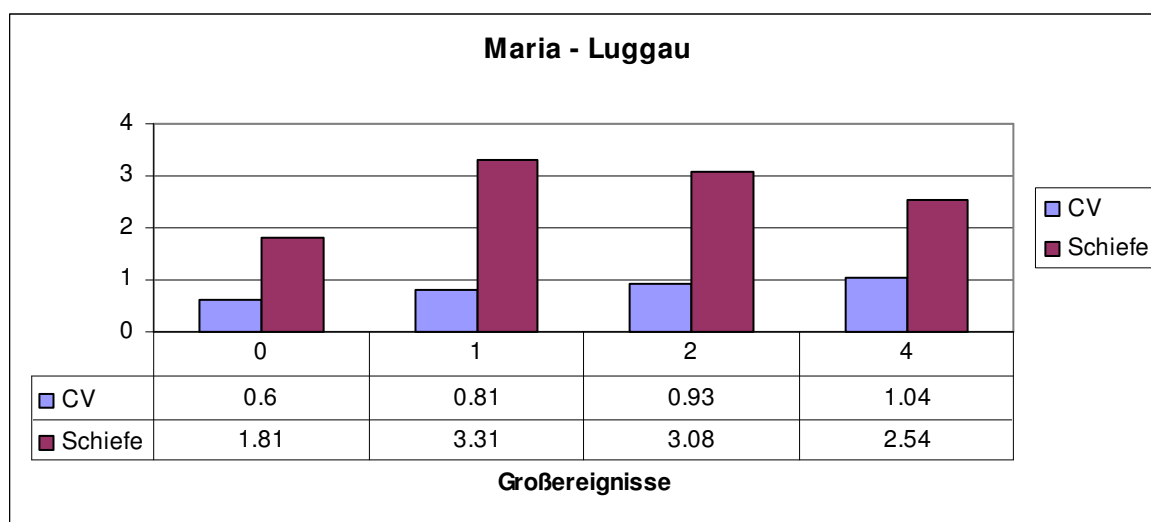
Je mehr Gossereignisse es in der Reihe gibt, desto größer werden die Parameter Standardabweichung, Median und Mittelwert, besonders ausgeprägt bei der Standardabweichung. Dementsprechend vergrößern sich die Werte von CV systematisch mit Zunahme der Anzahl der Großereignisse in der Stichprobe.

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

Anders verhalten sich die Parameter Schiefe und Exzess, deren Größtwerte sich bei der Reihe 1951 bis 2002, die die zwei Grossereignisse in den Jahren 1965 und 1966 enthält, ergeben. Sie sind am kleinsten für die Stichproben ohne Großereignisse und wachsen zunächst an bis zur Reihe mit zwei Großereignissen, daran anschließend ist ein Rückgang der Schiefe bei einer weiteren Vergrößerung der Anzahl der Großereignisse festzustellen. Mit der weiteren Zunahme der Anzahl der Großereignisse ist somit eine gewisse „Vergleichmäßigung“ der Stichprobe gegeben, die sich in einem leichten Rückgang der Werte für die Schiefe auswirkt.

Die Werte dieser beiden Parameter – Schiefe und Exzess - sind größer an der Station Maria – Luggau mit dem kleineren Einzugsgebiet. Hier ist der Einfluss der Gebietsgröße wiederum erkennbar.

Diese Zusammenhänge sind in die nächsten zwei Abbildungen zu sehen.



### 3.3.2 Vergleich der $HQ_n$

Tabelle 39:  $HQ_n$

Station	Maria – Luggau							
	1951 – 2002 (mit 2)		1951 – 2002 (ohne)		1951 – 2004 (mit 4)		1951 – 2002 (mit 1)	
$HQ_n$	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	M <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
$HQ_{10}$	101.5	88.2	68.1	63.9	125.2	110.2	87.3	76.1
$HQ_{50}$	158.2	154.1	98.9	94.5	198.6	192.9	133.4	130.1
$HQ_{100}$	182.1	188.4	112.0	108.3	229.6	234.6	152.9	158.6
$HQ_{500}$	237.5	286.4	142.1	142.4	301.3	349.5	198.0	240.9
$HQ_{1000}$	261.3	338.2	155.0	158.0	332.1	408.1	217.4	284.9

Tabelle 40:  $HQ_n$

Station	Mauthen							
	1951 – 2002 (mit 2)		1951 – 2002 (ohne)		1951 – 2004 (mit 4)		1951 – 2002 (mit 1)	
$HQ_n$	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	M <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
$HQ_{10}$	280.1	256.3	228.6	215.7	319.6	293.3	248.5	232.3
$HQ_{50}$	425.9	410.1	337.6	316.3	491.3	470.6	371.3	351.8
$HQ_{100}$	487.5	483.0	383.7	359.4	563.8	553.1	423.2	404.9
$HQ_{500}$	630.0	671.3	490.2	460.2	731.5	762.8	543.1	534.0
$HQ_{1000}$	691.2	761.8	536.0	504.0	803.6	861.8	594.7	592.3

Die größten Werte der  $HQ_n$  ergeben sich für beide Stationen für die Datenreihe mit vier Grossereignissen in den Jahren 1965, 1966, 2003 und 2004. Die ergänzenden Werte für die Jahre 2003 und 2004 sind an der Station Maria-Luggau in der Größenordnung von 222 m<sup>3</sup>/s für 2004 und 217 m<sup>3</sup>/s für 2003 angenommen. An der Station Mauthen betragen die entsprechenden Werte 458 m<sup>3</sup>/s und 500 m<sup>3</sup>/s und liegen damit über den Größtwerten in der beobachteten Reihe.

Die kleinsten Werte der Ergebnisse stellen sich für beide Stationen erwartungsgemäß für die Datenreihe von 1951 bis 2002 ohne Grossereignisse ein. Insgesamt gilt, daß mit einer Vergrößerung der Anzahl der Großereignisse sich auch die  $HQ_n$  – Schätzwerte systematisch vergrößern müssen, was sich in den Berechnungsergebnissen widerspiegelt.

Im Vergleich der Verteilungen ergeben sich größere Schätzwerte bei der Gumbelverteilung gegenüber der Allgemeinen Extremwertverteilung im Bereich kleinerer Wiederkehrintervalle (bis  $HQ_{50}$  bei Maria Luggau bzw.  $HQ_{100}$  bei Mauthen), hingegen kleinere Schätzwerte als bei GEV für  $n > 100$ .

### 3.4 Untersuchung auf "Ausreißer" mithilfe von Relativzahlen

#### 3.4.1 Aufgabe und Konzept der Untersuchung

Als Kriterium für die Abschätzung in Hinblick auf Ausreißer werden 2 Relativzahlen eingeführt. Die Basis bilden dafür die  $HQ_{10}$ -Werte der verschiedenen Varianten  $HQ_{10}^i$ , wobei  $i$  die von Stichprobe zu Stichprobe wechselnde Anzahl der Grossereignisse pro Reihe bezeichnet.  $HQ_{10}$  ist deshalb als Basis gewählt, weil sich  $HQ_{10}$ -Werte relativ zuverlässig auch aus kleineren Stichproben ermitteln lassen und  $HQ_{10}$  auch bei Indexmethoden als Basis für Extrapolationen verwendet wird.

Als erstes wird die Relativzahl  $RZA^i(k)$  gebildet. Sie wird gebildet als Quotient des 10-jährlichen Ereignisses bei  $i$  Großereignissen  $HQ_{10}^i$  gegenüber dem 10-jährlichen Hochwasser bei  $k$  Großereignissen  $HQ_{10}^k$ . Diese Relativzahl ermöglicht einen Vergleich der  $HQ_{10}$ -Werte der verschiedenen Stichproben. Sie dient auch zur Beurteilung des Einflusses der Anzahl der Großereignisse in einer Reihe auf die Größe von  $HQ_{10}$  als Referenzgröße.

- ✓  $RZA^i(k) = \frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k}$  – Relativzahlen, wo  $i = 0, 1, 2, 4$  (Anzahl der Grossereignisse);  
 $k = 0, 1, 2, 4$  (Anzahl der Grosereignisse)

$$RZA^i(k) = \frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k} - \text{dimensionslos}$$

- ✓  $HQ_{10}^i$  – 10 – jährliche Hochwasser bei  $i$  Großereignissen  
 $HQ_{10}^k$  – 10 – jährliche Hochwasser bei  $k$  Großereignissen

Als zweite Relativzahl wird das Verhältnis  $RZA^{k,i}$  der Großereignisse  $k$  in einer Reihe zum  $HQ_{10}$ -Wert der Reihen mit verschiedener Anzahl  $i$  von Großereignissen eingeführt gemäß

$$RZA^{k,i} = \frac{HQ_{10}^k}{HQ_{10}^i} - \text{Großereignisrelativzahlen} \dots \text{ mit}$$

$HQ_{10}^k$  –  $k$ -ter Größtwert in einer Reihe mit  $k$  Grossereignisse

Diese Relativzahl gibt das Verhältnis des  $k$ -größten Hochwassers von der Beobachtungsperiode mit  $k$  – Grossereignissen im Vergleich zu dem 10-jährlichen Hochwasser bei  $i$  – Grossereignissen wieder.

Festlegung der Großereignisse:

Daten für Station Maria – Luggau:

*Für das größte bzw. zweitgrößte Ereignis werden Durchflüsse angenommen, die geringfügig größer sind als die beiden Großereignisse der Jahre 1965 und 1966:*

$HQ^1 = 222.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 2004 (Fall : größte Wert der Großereignisse – Annahme)

$HQ^2 = 217.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 2003 (Fall : zweite größte Wert der Großereignisse – Annahme)

$HQ^3 = HQ^4 = 210.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Bemessungshochwasser im Jahr 1965 und 1966 – reelle Daten aus der Beobachtungsperiode

Daten für Station Mauthen:

*Für das größte bzw. zweitgrößte Ereignis werden Durchflüsse angenommen, die um etwa 20 bzw. 10 Prozent größer sind als die beiden Großereignisse der Jahre 1965 und 1966:*

$HQ^1 = 530.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 2004 (Fall : größte Wert der Großereignisse – Annahme)

$HQ^2 = 500.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 1966 (Fall : zweite größte Wert der Großereignisse; aus der Beobachtungsperiode)

$HQ^3 = 458.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 2003 – Annahme

$HQ^4 = 410 \text{ m}^3 / \text{s}$  – Hochwasser im Jahr 1965 (aus der Beobachtungsperiode)

### 3.4.2 Untersuchung auf Basis von Relativzahlen

Aufgrund ihrer Definition können einige grundsätzliche Eigenschaften der vorgeschlagenen Relativzahlen angegeben werden, die bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse mit berücksichtigt werden müssen.

So gilt z.B. für die Relativzahlen  $RZA^i(k)$

$$RZA^i(k) > 1 \text{ für } i > k \text{ und}$$

$$RZA^i(k) < 1 \text{ für } i < k \text{ sowie}$$

$$RZA^i(0) > RZA^i(1) > RZA^i(2) > RZA^i(4) \quad \text{und}$$

$$RZA^i(k) = 1 / RZA^k(i)$$



Dementsprechend gilt daher, dass z.B.  $\frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^1}$  größer sein muss als  $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^1}$

für  $i < 2$ , oder dass  $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^1} > \frac{HQ_{10}^k}{HQ_{10}^1}$  für  $k < i$ . Es müssen sich daher auch die größten Werte ergeben, wenn als Bezugswerte die  $HQ_{10}^0$  der Stichprobe ohne Großereignisse gewählt werden.

In ähnlicher Weise gilt für die ereignis-orientierte Relativzahl  $RZA^{k,i}$ , dass je größer  $RZA^{k,i}$  ist, das betrachtete Großereignis i umso stärker von den anderen Hochwasserwerten abweicht und daher eher angenommen werden kann, dass dieses Ereignis außerordentlich ist und im Vergleich zu den anderen Hochwässern als „Ausreißer“ eingestuft werden kann.

Eine Auflistung aller diesbezüglichen Berechnungen ist in Anhang IV enthalten.

Tabelle 41: Vergleich der Ergebnisse –  $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k}$  - Gumbel Verteilung

	Maria - Luggau				Mauthen			
	k = 1	k = 2	k = 4	k = 0	k = 1	k = 2	k = 4	k = 0
$RZA^1(k) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^k}$		0.86	0.69	1.28		0.88	0.77	1.08
$RZA^2(k) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^k}$	1.16		0.81	1.49	1.12		0.87	1.22
$RZA^4(k) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^k}$	1.43	1.23		1.83	1.29	1.14		1.40

Tabelle 42: Vergleich der Ergebnisse –  $\frac{HQ_{10}^i}{HQ_{10}^k}$  -

Allgemeine Extremwertverteilung

	Maria - Luggau				Mauthen			
	k = 1	k = 2	k = 4	k = 0	k = 1	k = 2	k = 4	k = 0
$RZA^1(k) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^k}$		0.86	0.69	1.19		0.90	0.79	1.08
$RZA^2(k) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^k}$	1.15		0.80	1.39	1.10		0.87	1.18
$RZA^4(k) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^k}$	1.44	1.25		1.72	1.26	1.14		1.36

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

In den Ergebnissen zeigen sich nur kleine oder gar keine Unterschiede zwischen den Größen der Relativzahlen nach den beiden Verteilungsfunktionen (Gumbel Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung). Die Unterschiede sind klein im Vergleich zur Auswirkung der Anzahl der Großereignisse. Deutlich größere Unterschiede ergeben sich in Hinblick auf die Anzahl der Großereignisse, die in der Stichprobe enthalten sind.

Die größten Relativzahlen ergeben sich jeweils für den Fall 10-jährliches Hochwasser aus einer Stichprobe mit 4 Grossereignissen im Vergleich zu 10-jährliches Hochwasser aus einer Stichprobe ohne Grossereignisse. Die Unterschiede betragen für Maria – Luggau etwa 70 bis 80 Prozent, für Mauthen rund 40 Prozent. Von praktischem Interesse können die Vergleichszahlen für 1 gegenüber 2 Großereignissen und 2 gegenüber 4 Großereignissen in der Stichprobe sein. Im ersten Fall beträgt der Unterschied je nach Station etwa 12 bzw. 15 Prozent, im zweiten Fall 14 bzw. 24 Prozent. Die kleineren Werte gelten jeweils für die Station Mauthen, die das größere Einzugsgebiet und das homogenere Hochwasserkollektiv besitzt.

Die Relativzahlen  $RZA^i(k)$  verändern sich mit einer Veränderung der Anzahl der Großereignisse pro Stichprobe. Je mehr Großereignisse in der Stichprobe enthalten sind, desto kleiner werden die Relativzahlen und umgekehrt.

Tabelle 43: Vergleich der Ergebnisse –  $\frac{HQ^k}{HQ_{10}^i}$  - Gumbel

Verteilung

	Maria - Luggau				Mauthen			
	$HQ_{10}^1$	$HQ_{10}^2$	$HQ_{10}^4$	$HQ_{10}^0$	$HQ_{10}^1$	$HQ_{10}^2$	$HQ_{10}^4$	$HQ_{10}^0$
$RZA^{1,i} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^i}$	2.54	2.18	1.77	3.25	2.13	1.89	1.65	2.31
$RZA^{2,i} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^i}$	2.48	2.13	1.73	3.18	2.01	1.78	1.56	2.18
$RZA^{3,i} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^i}$	2.40	2.06	1.67	3.08	1.84	1.63	1.43	2.00
$RZA^{4,i} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^i}$	2.40	2.06	1.67	3.08	1.65	1.46	1.28	1.79

Tabelle 44: Vergleich der Ergebnisse –  $\frac{HQ^k}{HQ_{10}^j}$  - Allgemeine Extremwertverteilung

	Maria - Luggau				Mauthen			
	$HQ_{10}^1$	$HQ_{10}^2$	$HQ_{10}^4$	$HQ_{10}^0$	$HQ_{10}^1$	$HQ_{10}^2$	$HQ_{10}^4$	$HQ_{10}^0$
$RZA^{1,i} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^i}$	2.91	2.52	2.01	3.47	2.28	2.07	1.81	2.45
$RZA^{2,i} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^i}$	2.85	2.46	1.97	3.40	2.15	1.95	1.70	2.32
$RZA^{3,i} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^i}$	2.76	2.38	1.91	3.29	1.97	1.56	1.79	2.12
$RZA^{4,i} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^i}$	2.76	2.38	1.91	3.29	1.76	1.60	1.40	1.90

Die Relativzahlen an der Station Maria – Luggau sind größer als die an der Station Mauthen für die beiden Verteilungsfunktionen.

Die größten Zahlenwerte ergeben sich, wenn die Basisreihe keine Großereignisse enthält. Diese Relativzahlen liegen dabei für die Station Maria – Luggau über dem Wert von 3,0, für die Station Mauthen in der Größe von 2.

Die Relativzahlen werden kleiner, wenn 1 oder mehrere Großereignisse in der Reihe enthalten ist. Diese Abnahme wird besonders deutlich, wenn 4 Ereignisse enthalten sind. In diesem Fall nimmt auch bei der Station Maria – Luggau die Relativzahl Werte kleiner als 2 an, bei der Station Mauthen liegen die Werte um 1,35.

### 3.4.3 Interpretation

Sollen diese Relativzahlen als Basis für die Entscheidung über „Ausreißer“ herangezogen werden, so sind Kriterien festzulegen, ab welcher Größe der Relativzahl von einem solchen „Ausreißer“ gesprochen werden kann. Die mit der Relativzahl  $RZA^{k,i}$  gegebene Information könnte dazu wie folgt genutzt werden: Mit der Relativzahl  $RZA^{k,i}$  ist ein Verhältniswert gegeben, der den betrachteten Hochwasserwert mit dem 10-jährlichen Hochwasser der Stichprobe in Beziehung setzt. Festzulegen wäre, ab welcher Größe von einem „Ausreißer“ gesprochen werden sollte. Dies könnte z.B. auf Basis der oben erhaltenen Ergebnisse z.B. ab einem Wert von 3,0 sein.

Im konkreten Beispiel würde die Wahl dieses Wertes von 3,0 zum Beispiel bedeuten, dass alle 4 Großereignisse an der Station Mauthen als Ausreißer interpretiert würden, wenn als Vergleichsbasis eine Stichprobe ohne solche Großereignisse vorhanden wäre. Im Falle einer Stichprobe mit 2 Großereignissen würden die Werte von  $Q = 210 \text{ m}^3/\text{s}$  an der Station Maria – Luggau und  $Q = 410 \text{ m}^3/\text{s}$  an der Station Mauthen für die Jahre 1965 und 1966 erst dann als Ausreißer

angesehen werden, wenn das Kriterium für die Relativzahl auf ca. 2,5 gesetzt würde.

Umgekehrt formuliert, wenn eine Stichprobe vorliegt, die keine Großereignisse enthält, würde sich bei Auftreten eines solchen Ereignisses rasch eine Situation ergeben, die als „Ausreißer“ gedeutet werden könnte.

Um hier eine gewisse Vergleichsbasis zu schaffen, wird im folgenden Abschnitt ein Vergleich mit den Relativzahlen zwischen n-jährlichen Hochwässern verschiedener Jährlichkeit n versucht.

### 3.5 Untersuchung in Hinblick auf „Ausreißer“ auf Basis eines Vergleichs mit „seltenen“ Ereignissen

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-, 500- 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  $RZA^{k,i}$  verglichen.

$$\text{Relativzahlen „seltener“ Ereignisse} = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}}; \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}}; \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}}$$

Daten für Station Maria – Luggau::

Tabelle 45:  $HQ_n$

Station	Maria – Luggau							
	1951 – 2002 (mit 2 GE)		1951 – 2002 (ohne GE)		1951 – 2004 (mit 4 GE)		1951 – 2002 (mit 1 GE*)	
	Stichprobe I		Stichprobe II		Stichprobe III		Stichprobe IV	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
$HQ_n$	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
$HQ_{10}$	101.5	88.2	68.1	63.9	125.2	110.2	87.3	76.1
$HQ_{100}$	182.1	188.4	112.0	108.3	229.6	234.6	152.9	158.6
$HQ_{500}$	237.5	286.4	142.1	142.4	301.3	349.5	198.0	240.9
$HQ_{1000}$	261.3	338.2	155.0	158.0	332.1	408.1	217.4	284.9

GE - Grossereignis

Tabelle 46: Relativzahlen an der Station Maria – Luggau –  $RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$

	Maria – Luggau							
	Gumbel				GEV			
	i=2	i=0	i=4	i=1	i=2	i=0	i=4	i=1
$RZA^i(100)$	1.79	1.64	1.83	1.75	2.14	1.69	2.13	2.08
$RZA^i(500)$	2.34	2.08	2.41	2.27	3.25	2.23	3.17	3.17
$RZA^i(1000)$	2.57	2.28	2.65	2.49	3.83	2.47	3.70	3.74

Daten für Station Maria – Luggau::

Tabelle 47: HQn

Station	Mauthen							
	1951 – 2002 (mit 2 GE)		1951 – 2002 (ohne GE)		1951 – 2004 (mit 4 GE)		1951 – 2002 (mit 1 GE*)	
	Stichprobe I		Stichprobe II		Stichprobe III		Stichprobe IV	
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV
HQn	m3/s	M3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	M3/s
HQ10	280.1	256.3	228.6	215.7	319.6	293.3	248.5	232.3
HQ100	487.5	483.0	383.7	359.4	563.8	553.1	423.2	404.9
HQ500	630.0	671.3	490.2	460.2	731.5	762.8	543.1	534.0
HQ1000	691.2	761.8	536.0	504.0	803.6	861.8	594.7	592.3

Tabelle 48 Relativzahlen an der Station Mauthen –  $RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$

	Mauthen							
	Gumbel				GEV			
	i=2	i=0	i=4	i=1	i=2	i=0	i=4	i=1
$RZA^i(100)$	1.74	1.68	1.76	1.70	1.88	1.67	1.89	1.74
$RZA^i(500)$	2.25	2.14	2.29	2.19	2.62	2.13	2.60	2.30
$RZA^i(1000)$	2.47	2.34	2.51	2.39	2.97	2.34	2.94	2.55

Den Tabellen ist Folgendes zu entnehmen:

Die extrapolierten Werte ändern sich sehr stark mit der Anzahl der Großereignisse in der Stichprobe.

Die Unterschiede sind größer für die Allgemeine Extremwertverteilung. Markant ist der Unterschied beim Übergang von einer Stichprobe ohne Großereignis zu einer Stichprobe mit 1 Großereignis: Die Werte für das 500- und das 1000-jährliche Ereignis steigen um 30 bis 60 Prozent gegenüber den Werten aus der Stichprobe ohne Großereignisse an. Ganz entscheidend wird demnach

das Ergebnis einer Hochwasserstatistik dadurch beeinflusst, ob sich in der Stichprobe zumindest ein Großereignis befindet oder nicht.

Die Relativzahlen für die beiden Verteilungen – Gumbel und Allgemeine Extremwertverteilung (GEV) zeigen generell höhere Werte für die GEV. Große Unterschiede ergeben sich zwischen den Verteilungen bei der Station Maria-Luggau.

Der kleinste berechnete Wert nach der Gumbel Verteilung an der Station Maria – Luggau ist  $RZA^0(100) = 1.64$  und der größte  $RZA^4(1000) = 2.65$ . Im Vergleich mit Mauthen sind diese – kleinster und größter - Werte entsprechend  $RZA^0(100) = 1.68$  und  $RZA^4(1000) = 2.51$ .

Die entsprechenden Ergebnisse nach der Allgemeinen Extremwertverteilung ermittelt, sind  $RZA^0(100) = 1.69$  und  $RZA^2(1000) = 3.83$  an der Station Maria – Luggau und  $RZA^0(100) = 1.67$ ,  $RZA^2(1000) = 2.97$  an der Mauthen.

**n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung  
 und Allgemeine Extremwertverteilung  
 an der Station Maria - Luggau**

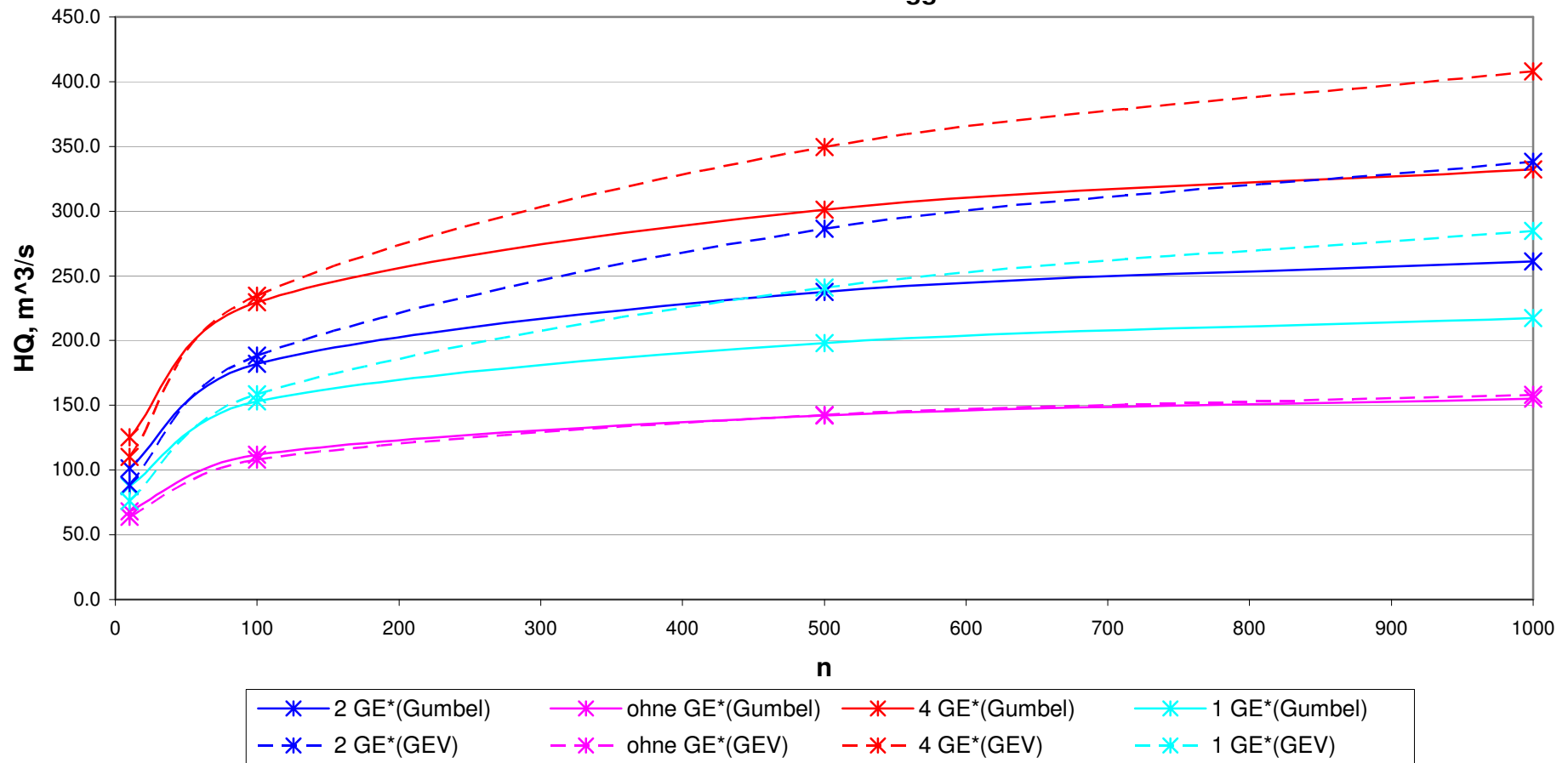


Abb. 33: n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an der Station Maria - Luggau

\* Grossereignis

**n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung  
 und Allgemeine Extremwertverteilung an der Station Mauthen**

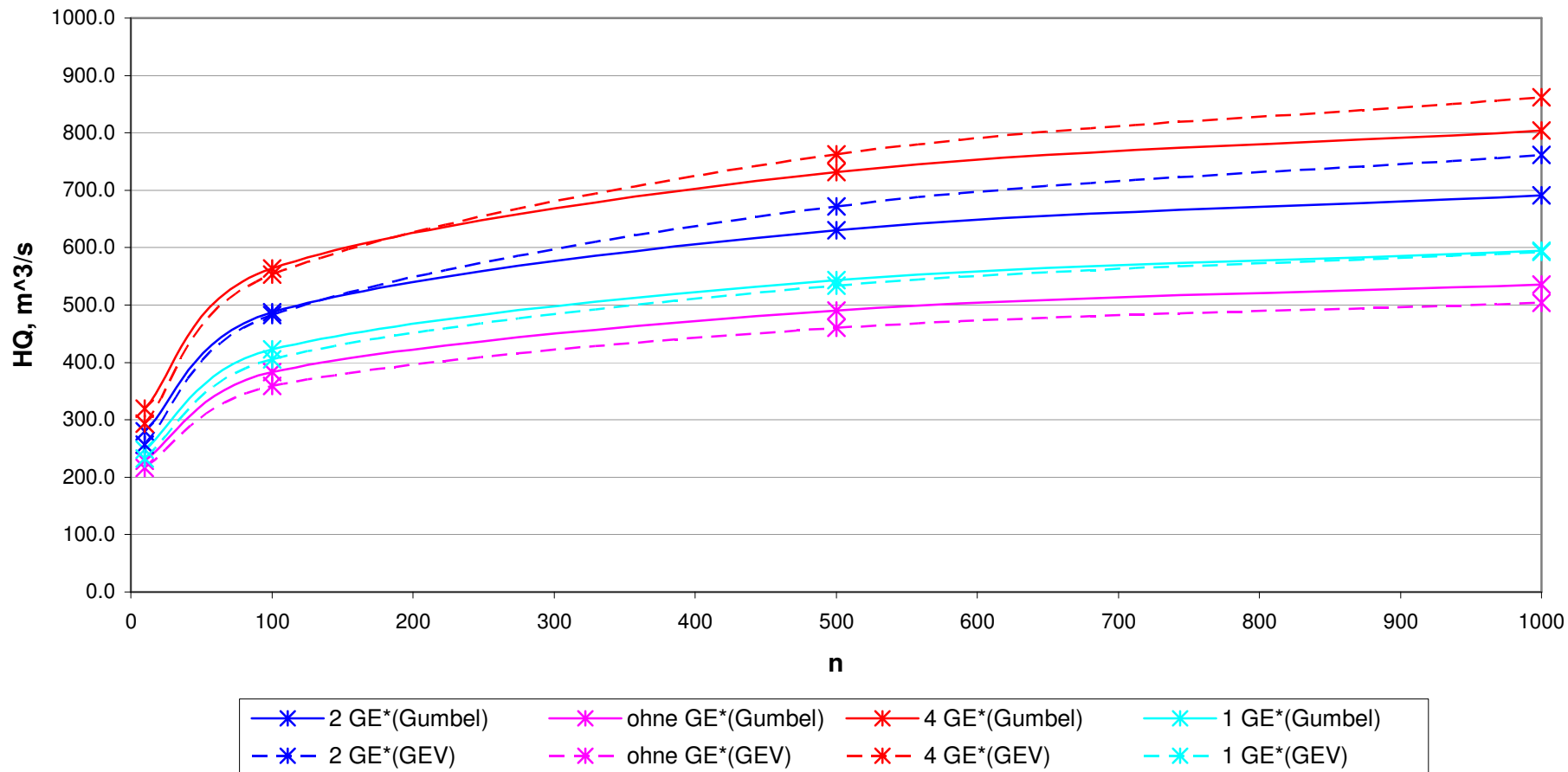


Abb. 34: n - jährliches Hochwasser in Bezug auf Gumbel Verteilung und Allgemeine Extremwertverteilung an der Station Mauthen  
 \* Grossereignis



Je mehr sind die Großereignisse, desto kleiner werden die Relativzahlen und die Wahrscheinlichkeit, daß das Beobachtungshochwasser als Ausreißer anzusehen wird. Wenn es keine Grossereignisse gibt, dann ist ein Wahl von  $HQ^1$  gemacht, um zu sehen wie die Relativzahlen sich verändern.

❖ **Zusammenfassung der Abschätzung der Ergebnisse:**

–  **$HQ^1$**

Nach den Berechnungen und von der oben erwähnten Tabellen ist es leicht zu sehen, daß die Resultate nach dem Vergleich der Relativzahlen sehr ähnlich für die entsprechenden  $HQ_n$  sind.

Für die zwei verschiedenen  $HQ^1$  (eine an der Station Maria – Luggau und die andere an der Mauthen, entsprechend  $222 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $530 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sind die Vergleiche der Relativzahlen mit den Daten von Gumbel Verteilung und diese von der Allgemeine Extremwertverteilung durchgeführt.

Bei einer Reihe mit nur 1 Hochwasser zeigen alle Ergebnisse, dass sie Ausreißer sind in dem Vergleich mit dem 100-jährlichen Hochwasser. Eine Ausnahme machen die Ergebnisse an der Station Maria – Luggau, durchgeführt mit Gumbel Verteilung, die zeigen daß dieses Hochwasser ( $HQ^1 = 222 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in alle Fälle Ausreißer ist ( in Bezug auf 10-, 100-, 500- und 1000-jährliches Hochwässer).

Bei dem Fall mit zwei Grossereignissen ist  $HQ^1$  sicherlich ein Ausreißer nur in Bezug auf 100 – jährliches Hochwasser. Das gilt für die beide Stationen und auch für die beide Verteilungsfunktionen.

Wenn vier Grossereignisse existieren, ist  $HQ^1$  kein Ausreißer. Das gilt auch für alle Fälle – zwei Stationen und zwei Verteilungsfunktionen.

Und wenn keine Grossereignisse existieren so wird  $HQ^1$  sicherlich ein Ausreißer.

–  **$HQ^2$**

Beim  $HQ^2$  sind die Ergebnisse ähnlich wie beim  $HQ^1$ . Es gibt eine Ausnahme, die an der Station Maria – Luggau ist und zwar für die Gumbel Verteilung. Bei dieser Ausnahme ist  $HQ^2$  ein Ausreißer in allen Fälle nur nicht in Betracht auf  $HQ_{1000}$ .

Bei dem Fall ohne Grossereignisse gibt es eine Differenz in den Ergebnissen zwischen beiden Stationen. An der Maria – Luggau ist  $HQ^2$  sicherlich ein Ausreißer, aber an der Mauthen gibt es eine Ausnahme für  $HQ_{1000}$  und kann  $HQ^2$  nicht als Ausreißer angesehen werden.

–  **$HQ^3$**

An der Station Mauthen und im Fall mit einem Grossereignis ist  $HQ^3$  Ausreißer in Bezug auf  $HQ_{100}$ . Dasselbe ist an der Maria – Luggau aber nur für die Extremwertverteilung, weil bei der Gumbel Verteilung  $HQ^3$  kein Ausreißer nur in Betracht mit  $HQ_{1000}$  ist.

Wenn zwei Grossereignisse existieren ist  $HQ^3$  ein Ausreißer nur in Bezug auf  $HQ_{100}$  an der Station Maria – Luggau. An der Station Mauthen aber ist dieser Wert kein Ausreißer.

Bei dem Fall ohne Grossereignisse an der Station Mauthen ist  $HQ^3$  Ausreißer nur im Betracht mit  $HQ_{100}$ .

– **HQ<sup>4</sup>**

An der Station Maria – Luggau sind alle Resultate identisch mit denjenigen für HQ<sup>3</sup>, weil HQ<sup>3</sup>=HQ<sup>4</sup>=210 m<sup>3</sup>/s.

Im Fall mit einem Grossereignis an der Station Mauthen ist HQ<sup>4</sup> kein Ausreißer bei der Gumbel Verteilung aber bei der Allgemeinen Extremwertverteilung ist HQ<sup>4</sup> Ausreißer in Bezug auf HQ<sub>100</sub>.

Als Zusammenfassung gilt: je mehr die Grossereignisse in der Beobachtungsreihe sind, desto kleiner wird die Wahrscheinlichkeit für einen Ausreißer in der Reihe. Und natürlich, wenn keine Grossereignisse existieren, ist viel leichter möglich, daß ein Einzelwert der Hochwasser in die Wirklichkeit als ein Ausreißer angesehen wird.

**3.6 Test auf „Ausreißer“ nach DVWK (1999)**

Das Konzept beruht auf der Einführung eines Schwellenwertes  $x_{krit}$  nach statistischen Gesichtspunkten gemäß

$$x_{krit} = \bar{x} + w_{n,\alpha} * s, \text{ wobei}$$

$\bar{x}$  - der Mittelwert und s die Standardabweichung der Datenreihe ist und

$w_{n,\alpha}$  - abhängig vom Stichprobenumfang  $n$  und der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$

ist.

Zahlenwerte für  $w_{n,\alpha}$  sind in DVWK(1999) tabelliert (siehe Anhang IV). Gilt für den Maximalwert  $HQ_{max}$

$$\ln HQ_{max} > x_{krit},$$

so ist dieser mit einer Sicherheit  $1 - \alpha$  als Ausreißer anzusehen. Das Ergebnis ist daher von der Wahl von  $\alpha$  abhängig.

Berechnung der benötigten Kenngrößen:

- Station: Maria – Luggau – Stichprobe I

Tabelle 49: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	3.522	3.522	3.522
A	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.384	3.000	2.813
$s^2$	10.309	10.309	10.309
S	3.211	3.211	3.211
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>14.39</b>	<b>13.15</b>	<b>12.55</b>

Tabelle 50: Berechnung der  $\ln HQ$

		<b><math>\ln HQ_{max}</math></b>
HQ <sub>max,1</sub>	210	<b>5.347</b>
HQ <sub>max,2</sub>	210	<b>5.347</b>
HQ <sub>max,3</sub>	113	<b>4.727</b>

- Station: Maria – Luggau – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle 51: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	3.449	3.449	3.449
A	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.370	2.987	2.800
$s^2$	6.844	6.844	6.844
S	2.616	2.616	2.616
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>12.26</b>	<b>11.26</b>	<b>10.77</b>

Tabelle 52: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	113.0	<b>4.727</b>
HQ <sub>max,2</sub>	90.0	<b>4.500</b>
HQ <sub>max,3</sub>	75.6	<b>4.325</b>

- Station: Maria – Luggau – Beobachtungsreihe mit 1 Großereignis

Tabelle 53: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	3.381	3.381	3.381
A	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.377	2.994	2.807
$s^2$	8.890	8.890	8.890
S	2.982	2.982	2.982
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>13.45</b>	<b>12.31</b>	<b>11.75</b>

Tabelle 54: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	210	<b>5.347</b>
HQ <sub>max,2</sub>	113	<b>4.727</b>
HQ <sub>max,3</sub>	90	<b>4.500</b>

- Station: Maria – Luggau – Reihe mit 4 Großereignissen

Tabelle 55: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	3.729	3.729	3.729
A	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.398	3.013	2.826
$s^2$	14.189	14.189	14.189
S	3.767	3.767	3.767
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>16.53</b>	<b>15.08</b>	<b>14.37</b>

Tabelle 56: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	222.00	<b>5.403</b>
HQ <sub>max,2</sub>	217.00	<b>5.380</b>
HQ <sub>max,3</sub>	210.00	<b>5.347</b>

- Station: Mauthen – Beobachtungsreihe mit 2 Großereignissen

Tabelle 57: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	4.626	4.626	4.626
$\alpha$	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.384	3.000	2.813
$s^2$	11.625	11.625	11.625
$s$	3.410	3.410	3.410
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>16.16</b>	<b>14.85</b>	<b>14.22</b>

Tabelle 58: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	530	<b>6.273</b>
HQ <sub>max,2</sub>	410	<b>6.016</b>
HQ <sub>max,3</sub>	325	<b>5.784</b>

- Station: Mauthen – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle 59: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	4.565	4.565	4.565
$\alpha$	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.370	2.987	2.800
$s^2$	9.209	9.209	9.209
$s$	3.035	3.035	3.035
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>14.79</b>	<b>13.63</b>	<b>13.06</b>

Tabelle 60: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	325.00	<b>5.784</b>
HQ <sub>max,2</sub>	309.00	<b>5.733</b>
HQ <sub>max,3</sub>	286.00	<b>5.656</b>

- Station: Mauthen – Beobachtungsreihe mit ohne Großereignisse

Tabelle 61: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	4.475	4.475	4.475
$\alpha$	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.377	2.994	2.807
$s^2$	10.597	10.597	10.597
$s$	3.255	3.255	3.255
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>15.47</b>	<b>14.22</b>	<b>13.61</b>

Tabelle 62: Berechnung der InHQ

		<b>InHQ<sub>max</sub></b>
HQ <sub>max,1</sub>	410.00	<b>6.016</b>
HQ <sub>max,2</sub>	325.00	<b>5.784</b>
HQ <sub>max,3</sub>	309.00	<b>5.733</b>

- Station: Mauthen – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle 63: Berechnung der  $x_{krit}$

$\bar{x}$	4.863	4.863	4.863
$\alpha$	0.01	0.05	0.10
$w_{n,\alpha}$	3.398	3.013	2.826
$s^2$	14.189	14.189	14.189
$s$	3.767	3.767	3.767
<b><math>x_{krit}</math></b>	<b>17.66</b>	<b>16.21</b>	<b>15.51</b>

Tabelle 64: Berechnung der InHQ

		InHQ <sub>max</sub>
HQ <sub>max,1</sub>	500.00	<b>6.215</b>
HQ <sub>max,2</sub>	458.00	<b>6.127</b>
HQ <sub>max,3</sub>	530.00	<b>6.273</b>

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass keines der beobachteten Großereignisse nach DVWK statistisch gesehen als Ausreißer zu betrachten ist.

Hier ist es auch gut zu erkennen, dass mit der Vergrößerung der Anzahl der Grossereignisse sich die Möglichkeit für das Auftreten eines Ausreißers verkleinert. Mit anderen Worten: je mehr Grossereignisse in der Beobachtungsreihe sind, desto größer wird der Schwellenwert  $x_{krit}$  als **InHQ<sub>max</sub>** und desto weniger ist die Bedingung für die Existenz eines Ausreißers nach DVWK:  $\text{InHQ}_{\text{max}} > x_{\text{krit}}$  erfüllt.

Dieser Unterschied zwischen den beiden durchgeführten Methoden zeigt, wie je nach Gesichtspunkt die großen Ereignisse entweder als Ausreißer qualifiziert werden kann oder nicht. Wenn aus theoretischer Sicht der statistischen Methode der Vorrang gegeben werden sollte, so bleibt für die Praxis die Frage, wie mit außergewöhnlich großen Ereignissen, die aus dem Rahmen der üblichen Ereignisse herausfallen, methodisch umgegangen werden soll. Bei undifferenzierter Anwendung der Hochwasserstatistik ergeben sich doch große Unsicherheiten.

In Anlehnung auch an DVWK (1999) erscheint es sinnvoll und notwendig, ergänzende Untersuchungen durchzuführen. Insbesondere ist die Frage zu klären, welcher Rang, welche Jährlichkeit, dem außergewöhnlichen Ereignis zugeordnet werden sollte.

In Bezug darauf wird im nächsten Kapitel eine Erweiterung des Hochwasserkollektivs über die Analyse historischer Hochwässer gemacht.

## **4 Untersuchung der Auswirkung der Einbeziehung von historischen Hochwassern**

### **4.1 Einleitung**

An den meisten Gewässern reichen Beobachtungen über Wasserstände und speziell über Hochwässer weit in die Vergangenheit zurück. In der Literatur werden die damit verbundenen Möglichkeiten der Analyse in folgenden Punkten zusammengefasst:

- Vielfach gibt es nur mehr oder minder geschlossene Beobachtungsreihen, die mitunter Lücken aufweisen, während denen große Hochwässer aufgetreten sein könnten
- Liegen ältere Ansiedlungen am einem Fluß, so werden an Gebäuden oft Hochwassermarken angebracht.
- In Chroniken wird vielfach vermerkt, daß ein bestimmtes Hochwasser das größte seit so und so vielen Jahren gewesen sei

Die Hochwasserstände in Jahren ohne Katastrophen bleiben meist unbekannt. Derartige lückenhafte Beobachtungsreihen entziehen sich aber einer herkömmlichen statistischen Untersuchung, etwa der Parameterschätzung mit der Momentenmethode. Soll die in Hochwassermarken enthaltene Information genutzt werden, so sind zu ihrer Verwendung drei Schritte erforderlich:

- Einschätzung der Jährlichkeit
- Abschätzung des Durchflusses
- Verbindung des Wissens um die historischen Hochwässer mit dem Informationsgehalt der lückenlosen Reihen

In dieser Diplomarbeit wird versucht, Angaben aus einer Hochwasserchronik zur besseren Einschätzung der Jährlichkeit der beobachteten außerordentlichen Hochwässer zu nutzen,

Die Daten für die historischen Hochwässer sind der „HOCHWASSERCHRONIK KÄRNTEN 792 – 2003“ (Land Kärnten, 2005) entnommen. Diese Untersuchung enthält Angaben für das ganze Gebiet von Kärnten, darunter auch für das Gailtal. Diese Angaben sollen nun die vorhandenen Beobachtungsreihen der beiden Stationen Maria – Luggau und Mauthen von je 52 Jahren (1951 bis 2002) ergänzen.

### **4.2 Historische Ereignisse im Jahren nach “Hochwasserchronik KÄRNTEN“**

- Herbst 1342 – “Jahrzehnt der Katastrophen”: Dem Hochwasser folgten lang anhaltende Seuchen.
- 25. Januar 1348 – Große Überschwemmungen im Gailtal – Dobratschabsturz.
- 1385 – Große Flut

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

- 28. Oktober 1567 – Die Gail, Drau und Möll wuchsen zu einer nie gesehenen Höhe und trieben Mensch, Vieh und ganze Wohngebäude mit sich fort. Eine einzige Brücke zwischen paternion und Ortenburg widerstand den Fluten. In Villach stand das Wasser ab bis auf den halben Platz.
- 1632 – die Hochwassermarke von 1567 wurde in Villach überschritten
- 1703 – von Oktober bis Anfang November, erfolgten ungeheure Regenfälle in den nordischen Alpen; nach der Drau sieht man stündlich ganze Häser und Mühlen abwärts treiben; alle Brücken sind zerstört (Handbuch der Geschichte Kärntens, III. Band von heinrich Hermann)
- 1717 – Hochwasser in Oberkärnten
- 1755 – Hochwasser im Unterkärnten
- 1767 – Aufzeichnungen über Schäden und Entschädigungen im Hollenburger Archiv lassen vermuten, daß 1767 ein fürchterliches Katastrophenjahr gewesen sei muss. Im September dieses Jahres wurden von der Drau, die sich im Rosental ein neues Bett Schuff, hunderte Bauerhöfe vernichtet.
- 16. August und 16. Oktober 1810 – Hochwasser im Drau- und Gailtal. Nicht weit von der Plöckner Alpe war ein heftiges Donnerwetter zu verzeichnen, welches sich von dort über das Gail-, Gitsch- und Drautal hinzog und sich in der Nacht am Reißkogel mit einem Wolkenbruch ergoss. Die kleinsten Quellen und Wässerchen waren zu den fürchterlichsten Bergströmen angeschwollen. Zwischen Weidegg und Hermagor sowie im Gitschtal waren große Schäden zu verzeichnen. In Hermagor wurde der halbe Friedhof weggerissen, alle Häuser und Gassen waren voll Schutt und Schlamm – das Wasser floss durch die Fenster der unteren Stockwerke.
- 28. Oktober bis 3. November 1851 – Das bisher vermütlich höchste Hochwasser; lange anhaltender, in Strömen fallender Regen, welchen die bereits vom Frost erstarrte Erde nicht aufsaugen kann, verursacht ein so gewaltiges und plötzliches Steigen aller Gebirgsgewässer, dass einzelne Bäche zu Strömen werden, und da die Drau das ihr zugehende Wasser nicht mehr in ihrem gewöhnlichen Bett fassen kann, überflutet sie, von ihrem Eintritt bei der oberen Drauburg an, bis hinab zur unteren, das ganze Talgebiet in progressiver Steigerung. Die Draubrücken bei Villach, Hollenburg und so fort und fort bis Marburg werden größtenteils zerstört, die anliegenden Straßen unbefahrbar gemacht, oft tief unter dem Schutt begraben.  
Als Hochwasser des Jahrhunderts wird die Katastrophe am 2. November 1851 bezeichnet
- 18. September 1882 – Große Überschwemmungen in Kärnten; alle Draubrücken weg; Wasserstand bei Villach ist 5 m. Starke Regengüsse der letzten Tage haben eine Überschwemmung verursacht, das ganze Tal überschwemmt. Durch da anhaltende mehrtägige Regenwetter ist auch die Gail an mehreren Stellen ausgetreten – die Drau hatte bereits 2.5 m. Über dem normalen Stand erreicht. Der Bahnverkehr wurde wegeneintretender Wasserschäden auf der Strecke bis Villach eingestellt. Sowohl die Drau auch die Gail sind aus ihren Betten getreten.



- 16. Oktober 1889 – Die Hochwassermarke an der Reichsbrücke in Villach beträgt 4.6 Meter. Durch den dreitägigen anhaltenden Regen ist die Drau derart angeschwollen.
- 11. / 15. September 1903 – nach starkem Regen ist die Brücke von Paternion – Feistritz zerstört, in einer Breite von 100 Metern rinnt die Drau herab. Die Eisenbahn – Verbindung zwischen Tirol und Italien ist unterbrochen. Sämtliche Brücken zwischen Spittal und Villach sind zerstört. Die Drau führt ganze Brücken und Decken mit sich. Die Drau steigt, Wasserstand von 5.5 m wird überschritten.
- 28. Mai 1914 – Hochwasser in Oberkärnten. Infolge der anhaltender Wärme und der Regengüsse ist die Drau stark angeschwollen. Von 1.53 m ist der Wasserstand in 12 Stunden auf 3.25 m. über das Normale gestiegen.
- 7. Oktober 1935 – Kärnten war wieder ein einziges Katastrophengebiet. Überschwemmungskatastrophe in Oberkärnten. Der Draupegel in Villach zeigte am Samstag, dem 5. Oktober, eine Wasserhöhe von 1.52 Meter, um im Laufe des Sonntags auf 3.72 Meter zu steigen. Infolge der andauernden Regengüsse der letzten zwei Tage und des eingetretenen abnormalen Temperaturanstieges, der in den Bergen auch eine starke Schneeschmelze zur Folge hatte, führen die Flüsse Oberkärntens so starke Hochwässer, dass sie an vielen Stellen aus den Ufern traten und weite Gebiete überschwemmten. Der Draupegel in Villach erreichte den höchsten Stand mit 3.86 m.
- 8. / 9. Juli 1946 – Verheerende Unwetterkatastrophe in ganz Kärnten, die Drau bei Villach erreichte die 5 – Meter – Marke. Ganz Kärnten wurde von wolkenbruchartigen Regengüssen heimgesucht, die in allen Teilen des Landes verheerende Überschwemmungen zur Folge hatten und ungeheuren Schaden an Fluren, Wiesen und Feldern verursacht.
- 13. / 14. / 15. November 1951 – Südliche Winde, die führten zur Schneeschmelze und schließlich zu Überschwemmungen. In Nötsch erreichte die Gail einen Pegelstand von 5.6 Meter (Hochwasserstandmarke 3.8 Meter). Der Wasserstand der Gail erreicht bei Mauthen bereits 5 m, er erhöht sich noch immer.
- 12. Dezember 1954 – das abnormale Wetter brachte es mit sich, dass die sonst als Schnee aufgetretenene Niederschläge als Regen fielen. Die Gail erreichte bei Nötsch die Hochwassermarke von 3.80 Meter und stieg noch auf 4.80 m. In Mauthen erreichte die Gail 2.20 Meter. Auch im Bezirk Villach sind Schäden zu verzeichnen.
- September 1965 – Schwerstes Hochwasser – Drau bei Villach 6.6 Meter; das sind 10 cm. über die Höchstmarke des Hochwassers von 1903. Oberkärnten sowie Gurk – und Lavanttal ebenfalls betroffen. Am 2. September überschreitet die Gail im Raum Kötschach und in Rattendorf die Hochwassermarke. Es regnet ununterbrochen – in Kornat und Lesachtal sind es 142 und in Luggau 149 mm Niederschlag. Drei Tage regnet es. Evakuierte Dörfer, Gerölmure, der Staudamm in Gössnitz bricht, das Kraftwerk wird überflutet. Im Gailtal reißt die Gail schon in ihrem Oberlauf mehrere Brücken weg und überflutet im Lesachtal die Bundesstraße. In Villach wird die "Zündhölz-Brücke" weggeschwemmt. Oberdrauburg steht zum Teil einen Meter unter Wasser. Die Draubrücke wird zerstört.

Das Lesachtal ist von der Außenwelt abgeschnitten.

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

- August, September und November 1966 – Ausmaß von 1965. Ursache: Schneeschmelzen verbunden mit starken Niederschlägen, bis über 2500 Meter als Regen. Die Flüsse in Oberkärnten schwellen an. Drau, Gail und Möll steigen ständig an und treten zahlreichen Stellen über die Ufer. Einige der neuen Dämme in Oberkärnten halten dem Ansturm der Fluten nicht stand, die vorjährigen (1965) Überschwemmungsgebiete werden neuerlich unter Wasser gesetzt.

Ab 19. August 1966 betrug der Pegelstand um 4 Uhr 678 cm (1800 bis 2000 m<sup>3</sup>/s), beim Wasserbauamt Villach sogar 695 cm. Das ist der höchste Pegelstand dieses Jahrhunderts. Im September 1966 wurden 612 cm (1550 m<sup>3</sup>/s) gemessen.

Freitag, 4. November – schwere Schneefälle in Oberkärnten Durch einen Föhneneinbruch geht der Schneefall zum Teil in Regen über. In Irschen im oberen Drautal fällt der Sturm aus, die Brücken an der bundesstrasse und am Bahnhof werden weggerissen. Die ersten Muren lösen sich von den benachbarten Hängen.

Die Gail durchbricht an mehreren Stellen die Dämme der Flussverbauung, ihr ursprüngliches Bett ist mit Geröl gefüllt. Mauthen steht bis zwei Meter unter Wasser; das Lesachtal ist völlig abgeschnitten.

Das Hochwasser der Gail im November 1966 wird als größtes nach 1823 bezeichnet.

- 1979 – Gail / Hochwasser
- 11. September 1983 – Unweterkatastrophe im Westen Kärntens – Betroffen bei der Murenkatastrophe war die Ortschaft Schüttbach in der Gemeinde Baldransdorf bei Spittal. Nachdem in den Nachtstunden innerhalb kürzester Zeit über 81 Liter pro Quadratmeter niedergegangen werden.
- 1. August 1985 – Im Gailtal tobt schweres Wetter; am schwersten betroffen die Häuser von Luschau bei Hermagor. Hier wurde durch den hochwasserführenden Garnitzenbach die Brücke beinahe weggerissen; ist unbefahrbar.
- 26. August 1987 – Hochwasseralarm in Kärnten – Schwerpunkte waren dabei das Gail– und das Drautal
- Juni – Juli 1991 – Hochwasser nach Wolkenbrüchen in Oberkärnten. Mehrere Brücken werden weggerissen.
- Oktober 1993 – Hochwasser und Muren
- 8. September 1997 – Schweres Hochwasser
- 9. Oktober 1998 – Dramatische Stunden in Lavamünd – die Drau erreichte den zweithöchsten Wasserstand seit 1967 und überschritt dabei die kritische Marke bei weitem. Keller wurden überflutet, mehrere Häuser mussten evakuiert werden.
- 2000 – Hochwasseralarm in Kärnten. Das Grundwasser drückte unaufhörlich nach oben und setzte Keller, Garagen und Souterrains unter Wasser.
- November 2002 – Die Gail hat die Hochwassermarke erreicht, an einigen Stellen tritt sie schon über die Ufer. Am schlimmsten betroffen ist das Gebiet um Kötschach – Mauthen. Hochwasserstand beim Pegel Rattendorf um 21 Uhr – 4.81 m (Abfluß von ca. 430 m<sup>3</sup>/s, ca. HQ<sub>15</sub>).

Kritische Situation: Dambruch linksufrig eingetreten; rechtsufrig in Richtung der Ortschaft Stranig war ein Bruch zu befürchten, nachdem der Damm auf einer Länge von 150 bis 250 m stundenlang überströmt wurde. Der Damm hielt stand

### 4.3 Klassifizierung der historischen Hochwässer

Damit die historischen Hochwässer mit den quantitativ bekannten Ereignissen vergleichbar sind, werden Klassen eingeführt. Die Zuordnung der einzelnen historischen Hochwässer (Abbildung 35) in eine der vier Klassen in Tabelle 65 erfolgt auf Grund der verursachten Schäden, der räumlichen Ausdehnung und/oder der Beschreibung der Wasserstandsverhältnisse (Abbildung A.4 = Anhang V).

<b>Hochwasser- klasse</b>	Schäden	Räumliche Ausdehnung der Schäden oder des Niederschlags	Niederschlag und Schneesmelze	Wasserstände
<b>Katastrophal (4)</b>	sehr gross	überregional	sehr hoch	Rekordwerte
<b>extrem gross (3)</b>	sehr gross	ganzes oder grosses Teil des Einzugsgebietes	sehr hoch	Jahrhundertwer te
<b>sehr gross (2)</b>	gross bis sehr gross	ganzes Einzugsgebiet oder Teileinzugsgebiet	hoch bis sehr hoch	
<b>Gross (1)</b>	gering bis gross	Teileinzugsgebiet	Hoch	

Tabelle 65: Klassifikationsschema für die Grösse von Hochwasserereignissen

\*übernommen aus der Vorstudie Hydrologie Alpenrhein; Internationale Regierungskommission Alpenrhein

Die Zuordnung der Ereignisse zu den einzelnen Klassen ist aber nicht so einfach, weil Hochwasserereignisse häufig dann überliefert wurden, wenn grosse Schäden auftraten. Grosse Schäden sind aber nicht immer gleichbedeutend mit grossen Abflüssen, da Faktoren wie Geschiebeführung, Dambrüche oder vorhandenes Schadenpotential bei der Verursachung von Schäden eine Rolle spielen. Die Datenlage erlaubt es nicht, alle Hochwässer eindeutig zu klassifizieren. Einige Ereignisse wurden deshalb mehr oder weniger subjektiv einer Klasse zugeordnet. Dabei wurden einige ältere Hochwässer der Beschreibung folgend als eher größer, jüngere Ereignisse aus der letzten Zeit als eher kleiner eingeschätzt. Die Klassifikation der Hochwässer und ihr zeitliches Auftreten ist in Abbildung 36 dargestellt.

Tabelle 66: Historische Hochwässer – Klassifizierung

Jahr	Hochwasserklasse	N <sub>0</sub>
1342	katastrophal	4
1348	sehr groß	2
1385	Groß	1
1567	katastrophal	4
1632	katastrophal	4
1703	extrem gross	3
1717	Groß	1
1755	Groß	1
1767	katastrophal	4
1810	extrem gross	3
1851	katastrophal	4
1882	extrem gross	3
1889	sehr groß	2
1903	katastrophal	4
1914	sehr groß	2
1935	extrem gross	3
1946	Groß	1
1951	extrem gross	3
1954	extrem gross	3
1965	katastrophal	4
1966	katastrophal	4
1979	sehr groß	2
1983	extrem gross	3
1985	sehr groß	2
1987	Groß	1
1991	sehr groß	2
1993	Groß	1
1997	sehr groß	2
1998	extrem gross	3
2000	sehr groß	2
2002	extrem gross	3

Nächster Abbildung 35 zeigt die Chronik der wichtigsten Hochwässer zwischen 1342 bis 2002. In dieser Zeitspanne von 660 Jahren konnten neun Hochwässer (1342, 1567, 1632, 1767, 1851, 1903, 1951, 1965 und 1966) als katastrophal klassifiziert werden.

## Historische Ereignisse (nur die beobachteten Jahren)

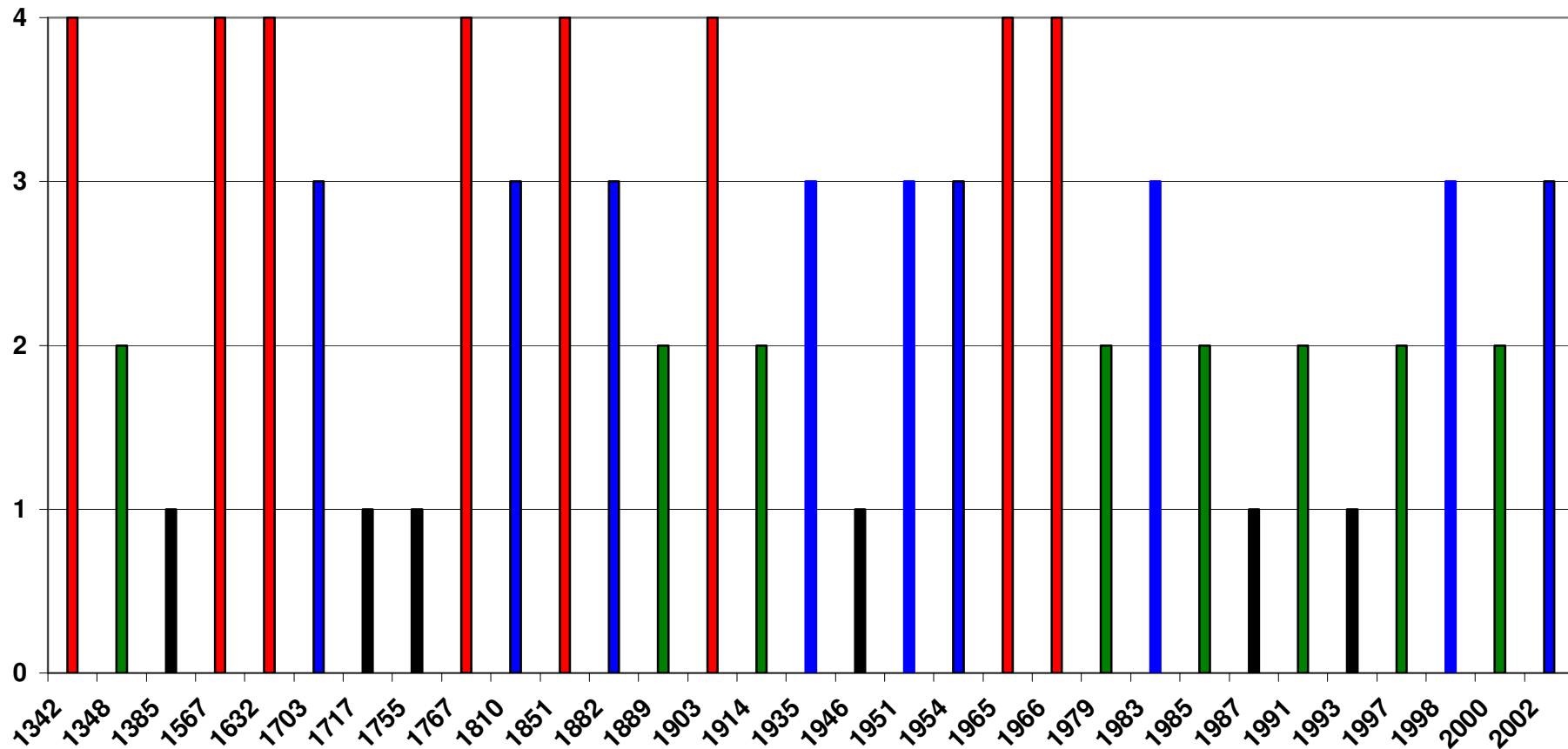


Abb. 35: Historische Hochwasserereignisse

### Historische Ereignisse 1342 - 2002

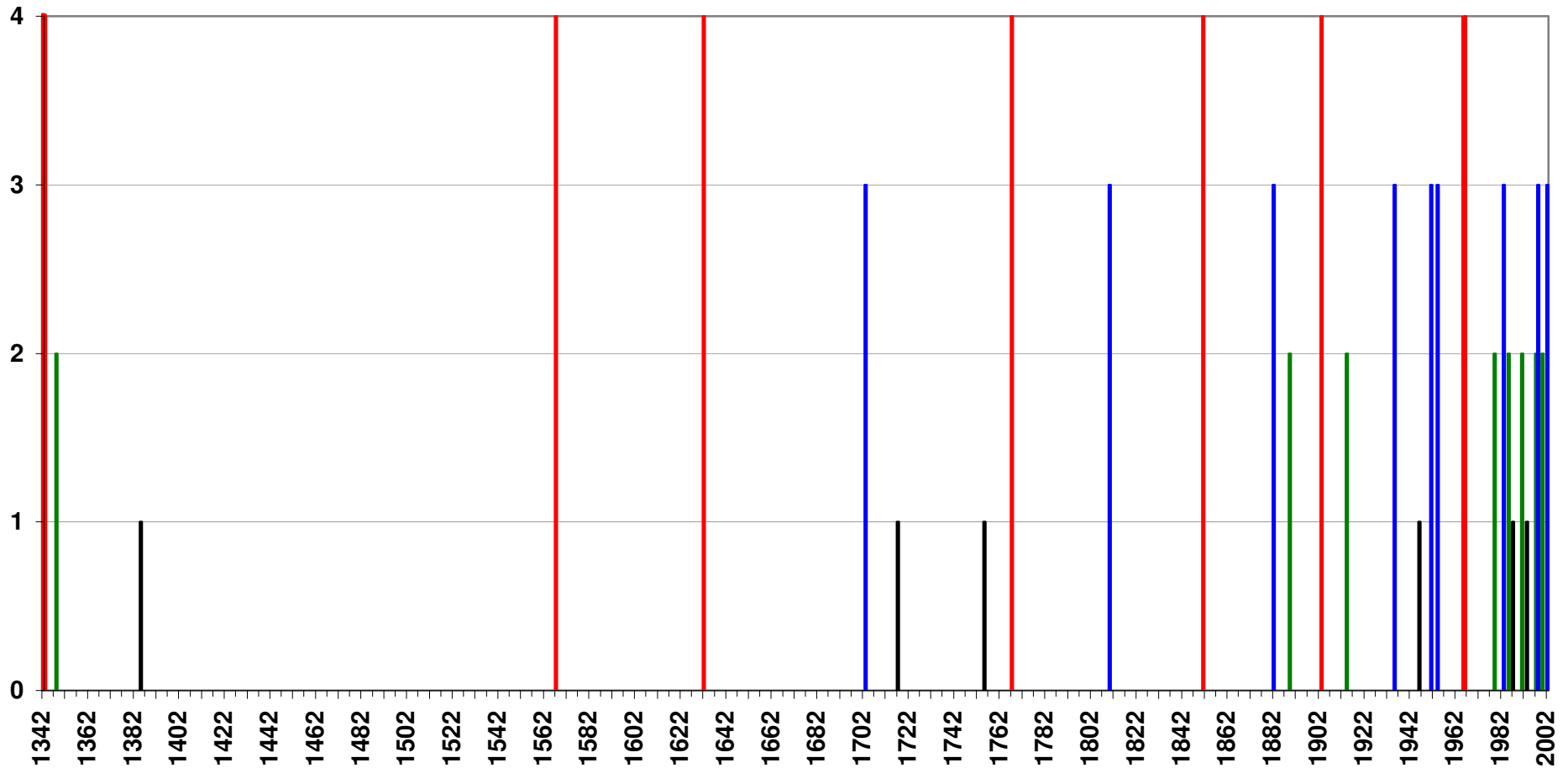


Abb. 36: Klassifikation und zeitliches Auftreten von historischen Hochwasser

#### 4.4 Beeinflussung der Schätzwerte für das $HQ_n$ durch historische Hochwässer

In diesem Teil der Diplomarbeit wird untersucht, wie die historischen Hochwässer das  $HQ_n$  beeinflussen. Diese Berechnungen und Untersuchungen sind nach DVWK, 1999 durchgeführt und graphisch dargestellt. Sie sind für beiden Stationen durchgeführt. Aus Gründen der aufwendigen Bearbeitung werden nur zwei von den historischen Hochwässern berücksichtigt.

Die Werte von  $HQ$  für die historischen Hochwässer sind aufgrund einer Einschätzung der Beschreibung in Bezug auf die gegebene  $HQ$  von der Beobachtungsperiode angenommen worden. Die historischen Größen werden gesondert einbezogen. Wir nehmen 1851 als vermutlich bisher größtes Ereignis innerhalb von 660 Jahren und 1903 als 2. größte Ereignis an.

Es werden zwei Varianten durchgeführt – untere Grenze des  $HQ_n$  und obere Grenze des  $HQ_n$ . Die obere und die untere Grenze werden so angenommen, daß die Grossereignisse in den Jahren 1965 und 1966 zwischen diesen Grenzen liegen. Die Daten dafür sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 67:  $HQ$  - Werte der historischen Hochwässer – untere Grenze

Jahr	Maria – Luggau	Mauthen
	$HQ, m^3/s$	$HQ, m^3/s$
1851	215.0	535.0
1903	215.0	535.0

Tabelle 68:  $HQ$  - Werte der historischen Hochwässer – obere Grenze

Jahr	Maria – Luggau	Mauthen
	$HQ, m^3/s$	$HQ, m^3/s$
1851	300.0	750.0
1903	300.0	750.0

4.4.1 Untere Grenze ( Die Berechnungen sind im Anhang V dargestellt)

4.4.1.1 Station Maria – Luggau

Graphische darstellung der Jährlichkeit des  $HQ_n$

$$n = \frac{N+1}{m}$$

$m = 1 \dots \dots \text{Größtwert}$

$m = N \dots \dots \text{Kleinstwert}$

Ermittlung des  $HQ_n$  nach DVWK, 1999 (siehe auch Anhang V)

$$G = \frac{n_h - m_h}{n - m} + 1$$

$m_h = 2$  – Anzahl der historischen Hochwässer

$n_h = 1951 - 1852 = 98$  – Zeitraum ohne systematische Beobachtungen

$n = 52$  – Beobachtungszeitraum

$m = 2$  – Großereignisse im Beobachtungszeitraum

$$G = \frac{98 - 2}{52 - 2} + 1 = 2.92$$

→  $G = 3$

3 x Pegelbeobachtungen: 1851 – 2002 ohne 1965 und 1966 = 3 x 50	= 150
1 x Pegelbeobachtungen: 1965 und 1966	= 2
1 x Pegelbeobachtungen: historische HQ – Werte – 1851 und 1903	= 2



#### 4.4.1.2 Station Mauthen

Graphische darstellung der Jährlichkeit des  $HQ_n$

$$n = \frac{N+1}{m}$$

$m = 1 \dots \dots \dots$  Größtwert

$m = N \dots \dots \dots$  Kleinstwert

Ermittlung des  $HQ_n$  nach DVWK, 1999 (siehe auch Anhang V)

$$G = \frac{n_h - m_h}{n - m} + 1$$

$m_h = 2$  – Anzahl der historischen Hochwässer

$n_h = 1951 - 1852 = 98$  – Zeitraum ohne systematische Beobachtungen

$n = 52$  – Beobachtungszeitraum

$m = 2$  – Großereignisse im Beobachtungszeitraum

$$G = \frac{98 - 2}{52 - 2} + 1 = 2.92$$

→  $G = 3$

3 x Pegelbeobachtungen: 1851 – 2002 ohne 1965 und 1966 = 3 x 50 = 150

1 x Pegelbeobachtungen: 1965 und 1966 = 2

1 x Pegelbeobachtungen: historische HQ – Werte – 1851 und 1903 = 2

#### 4.4.2 Obere Grenze

##### 4.4.2.1 Station Maria – Luggau

Graphische darstellung der Jährlichkeit des  $HQ_n$

$$n = \frac{N+1}{m}$$

$m = 1 \dots \dots \text{Größtwert}$   
 $m = N \dots \dots \text{Kleinstwert}$

Ermittlung des  $HQ_n$  nach DVWK, 1999 ( siehe auch Anhang V)

$$G = \frac{n_h - m_h}{n - m} + 1$$

$m_h = 2$  – Anzahl der historischen Hochwässer

$n_h = 1951 - 1852 = 98$  – Zeitraum ohne systematische Beobachtungen

$n = 52$  – Beobachtungszeitraum

$m = 2$  – Großereignisse im Beobachtungszeitraum

$$G = \frac{98 - 2}{52 - 2} + 1 = 2.92$$

→  $G = 3$

3 x Pegelbeobachtungen: 1851 – 2002 ohne 1965 und 1966 = 3 x 50 = 150

1 x Pegelbeobachtungen: 1965 und 1966 = 2

1 x Pegelbeobachtungen: historische HQ – Werte – 1851 und 1903 = 2

#### 4.4.2.2 Station Mauthen

Graphische Darstellung der Jährlichkeit des  $HQ_n$

$$n = \frac{N+1}{m}$$

$m = 1 \dots \dots \dots$  Größtwert

$m = N \dots \dots \dots$  Kleinstwert

Ermittlung des  $HQ_n$  nach DVWK, 1999

$$G = \frac{n_h - m_h}{n - m} + 1$$

$m_h = 2$  – Anzahl der historischen Hochwässer

$n_h = 1951 - 1852 = 98$  – Zeitraum ohne systematische Beobachtungen

$n = 52$  – Beobachtungszeitraum

$m = 2$  – Großereignisse im Beobachtungszeitraum

$$G = \frac{98 - 2}{52 - 2} + 1 = 2.92$$

→  $G = 3$

3 x Pegelbeobachtungen: 1851 – 2002 ohne 1965 und 1966 = 3 x 50 = 150

1 x Pegelbeobachtungen: 1965 und 1966 = 2

1 x Pegelbeobachtungen: historische HQ – Werte – 1851 und 1903 = 2

Tabelle 69: Vergleich der Ergebnisse – Untere Grenze

Station	Maria - Luggau		Mauthen	
	graphisch	DVWK	graphisch	DVWK
HQ <sub>100</sub>	200	170	530	490
HQ <sub>500</sub>	268	225	709	660
HQ <sub>1000</sub>	296	250	786	740

Tabelle 70: Vergleich der Ergebnisse – Obere Grenze

Station	Maria - Luggau		Mauthen	
	graphisch	DVWK	graphisch	DVWK
HQ <sub>100</sub>	230	185	610	540
HQ <sub>500</sub>	320	250	830	720
HQ <sub>1000</sub>	350	278	920	810

Es ist sichtbar, daß es zwischen den beiden Versuche Unterschied in der Ergebnisse gibt. Die nach DVWK berechnete HQ<sub>n</sub> – Werte sind kleiner als die anderen für die beiden Stationen und auch für die beiden Grenzen.

Diese Werte aber zeigen, daß die historischen Hochwässer die HQ<sub>n</sub> – Werte beeinflussen. Diese Ergebnisse sind größer als diese, die ohne den historischen Hochwässer berechnet haben.

Um so größer werden die Werte von historischen Hochwässer desto mehr verändern sich die Ergebnisse von dem n – jährlichen Hochwasser und desto grösser werden sie.

Für die beiden beobachteten Stationen die Endergebnisse sind sehr ähnlich. Obwohl die Werte von historischen Hochwässer nur beliebig angenommen sind, sie geben ein Übersicht über ihre Beeinflüßung auf die Ergebnisse.

Die Beobachtungen der historischen Hochwässer sind sehr wichtig. Sie helfen bei der Projektierung von Wasserbauwerke und Anlagen und für die Sicherheit der Menschen.

#### 4.5 Abschätzung des Einflusses der historischen Hochwässer

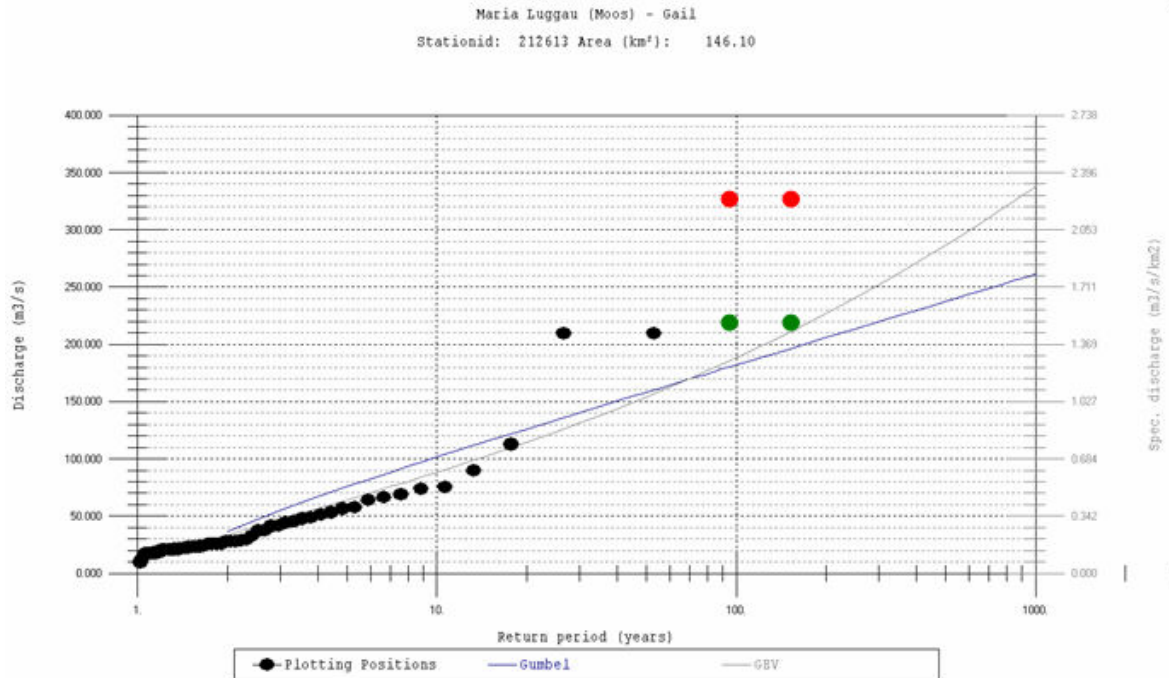


Abb. 37: Hochwasserhäufigkeit für Maria – Luggau mit den historischen Hochwässern

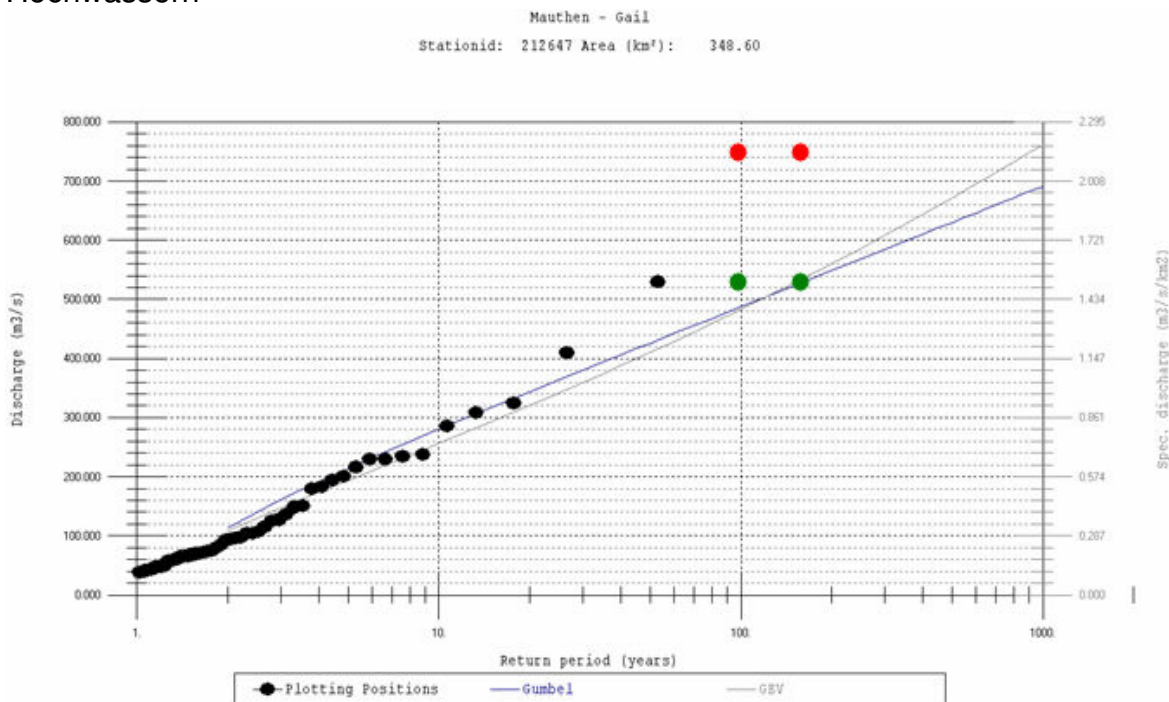


Abb. 38: Hochwasserhäufigkeit für Mauthen mit den historischen Hochwässern

In den Abbildungen sind die historischen Hochwässer unter Berücksichtigung der Daten ihres Auftretens (größtes Ereignis 1851, zweitgrößtes 1903) eingetragen. Zur Untersuchung der Sensitivität der Einschätzung der Größe der Hochwässer wird neben den geschätzten Werten (grün – „untere Grenze“) auch ein um ca. 50 Prozentpunkte größerer Wert zum Vergleich angesetzt (rot – „obere Grenze“). Die Berechnungen wurden für die grünen Punkte durchgeführt.

Tabelle 71: Berechnung der Jährlichkeit von historischen Hochwässer

Datum	n
1342	661.00
1851	330.50
1567	220.33
1632	165.25
1767	132.20
1903	110.17

Zu Vergleichszwecken wurde auch eine Berechnung unter Bezugnahme auf eine Einschätzung der Jährlichkeit der größten Ereignisse in einem größeren Zeitrahmen ( 660 Jahre ) vorgenommen. Das Ereignis von 1851 wäre dann das größte Ereignis innerhalb von 660 Jahren, das Ereignis von 1903 das zweitgrößte in diesem langen Zeitraum. Damit in Zusammenhang verschieben sich auch die Auftragungspositionen (Abb. 47 und 48)

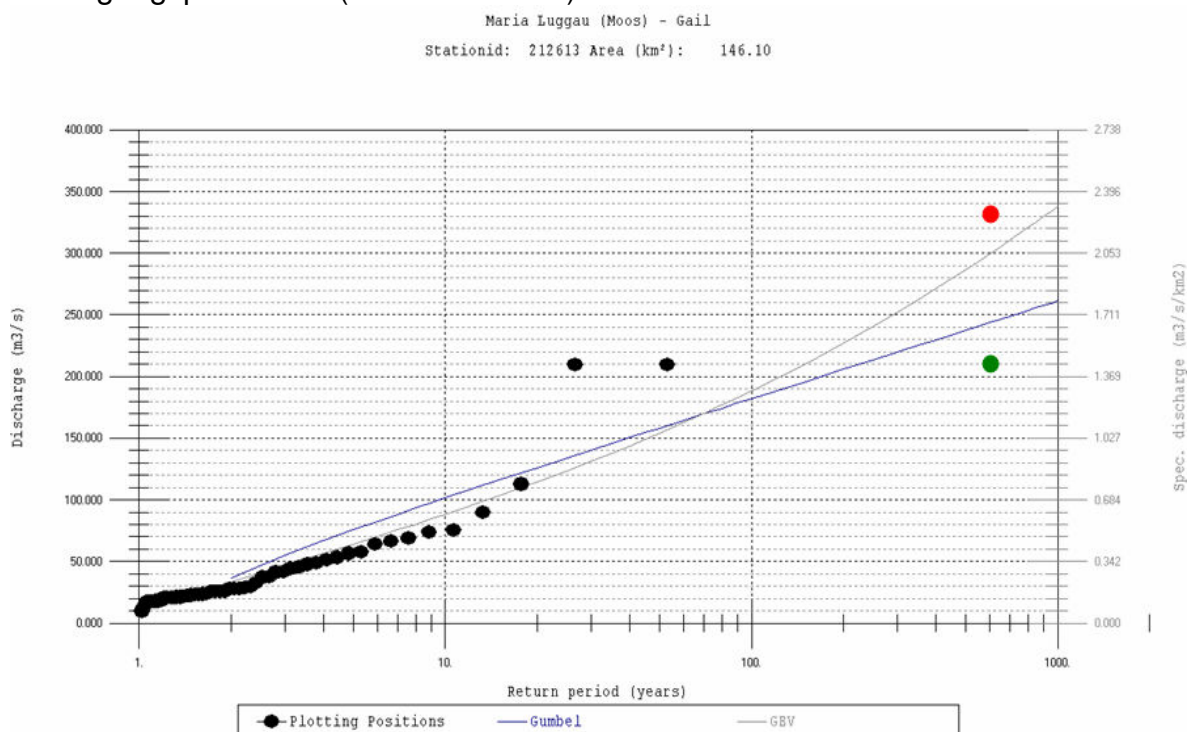


Abb. 39: Hochwasserhäufigkeit für Maria – Luggau mit den historischen Hochwässern für die größere Jährlichkeit (längerer Bezugszeitraum)

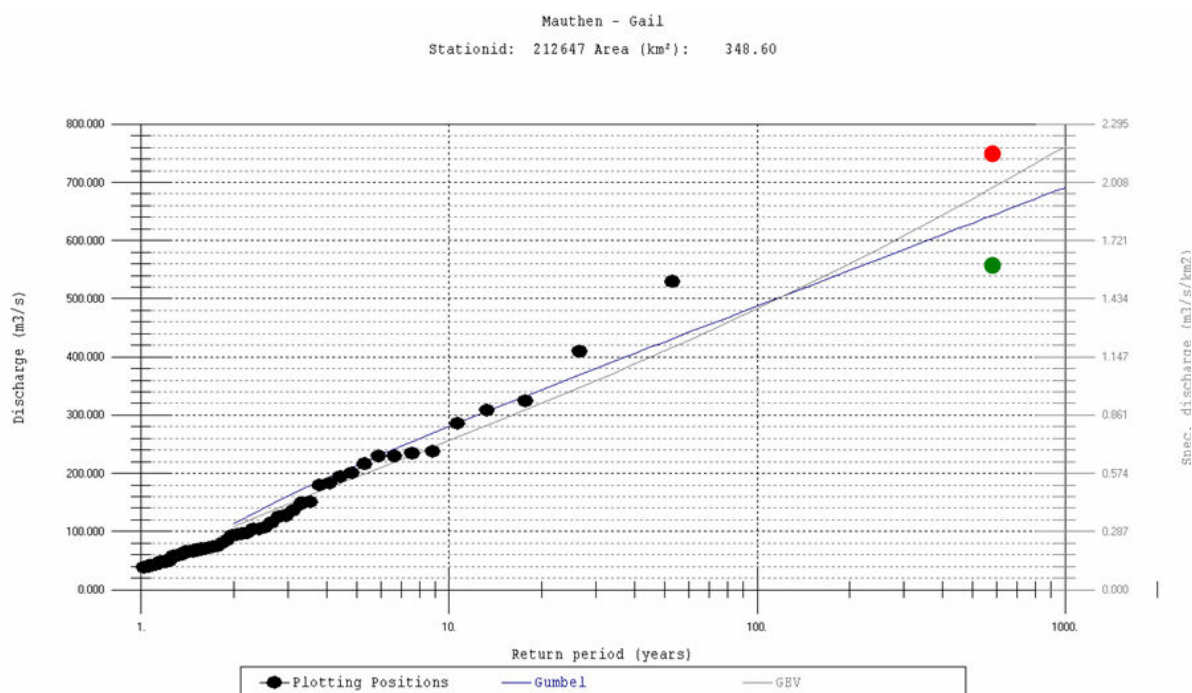


Abb. 40: Hochwasserhäufigkeit für Mauthen mit den historischen Hochwässern für die größte Jährlichkeit

Von diesen zwei Abbildungen sieht man, dass sich die Kurven der erhaltenen verschiedenen Verteilungen nicht wesentlich ändern. Was sich allerdings ganz bedeutend ändert, ist die Einschätzung der Jährlichkeit aller Großereignisse. Dies betrifft sowohl diejenigen der Basis-Stichprobe als auch die der ergänzenden historischen Ereignisse.

Aus dieser Untersuchung können wir ferner folgern, dass je mehr große historische Ereignisse in die Untersuchung einbezogen sind, desto kleiner wird die Jährlichkeit und desto kleiner wird natürlich auch die Wahrscheinlichkeit, ein Grossereignis als Ausreißer ansehen zu können.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine zuverlässige Aufbereitung und Einschätzung von historischen, großen Ereignissen ganz wesentlich die Aussage über die Jährlichkeit großer Ereignisse verändern kann. Sie kann andererseits aber auch dazu beitragen, die Unsicherheiten mit der Einbindung von außergewöhnlich großen Ereignissen in einer Stichprobe zu reduzieren.

Bei den Daten von unterer Grenze werden beiden Kurven nach rechts verschoben, aber bei den größeren Hochwässern werden sie zur linken Seite rücken.

## **5 Schlussbemerkungen**

Ziel dieser Diplomarbeit war die Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen.

Die für die beiden beobachteten Stationen sind die bekommenen Ergebnisse verglichen. Ein Punkt dieses Vergleich waren die Vertrauensbereiche. Diese Bereiche geben ein Überblick wie die verschiedenen  $HQ_n$  sich bei eine Vergrößerung der Jährlichkeit verändern. Diese Untersuchung ermöglicht eine genauere Abschätzung der Ergebnisse für  $HQ_n$ . Einen Unterschied, der sich von diese Untersuchungen ergibt ist, dass die Vertrauensbereiche an der Station Maria – Luggau enger als diese an der Mauthen sind. Das ergibt sich infolge der größeren Abflüsse in Mauthen.

Ein anderes Teil dieser Diplomarbeit war die Untersuchung der Auswirkung von Ausreißer. Es sind zwei Konzepte zur Bestimmung von Ausreißern angewendet. Das erste beruht sich auf der Einführung von Relativzahlen, die Maßzahlen für die „außerordentliche“ Größe von einzelnen oder mehreren Großereignissen in einer Datenreihe darstellen. Das zweite Konzept ist aus DVWK(1999) übernommen.

Die Ergebnisse, die mit dem ersten Konzept ermittelt sind, zeigen dass einige von den beobachteten Ereignissen zu Ausreißer führen können. Die Ergebnisse die nach DVWK(1999) ermittelt sind, zeigen aber dass keine von den beobachteten Grossereignisse Ausreißer sind.

Dieses Unterschied zwischen den beiden Methoden zeigt, wie je nach Gesichtspunkt die Ergebnisse sich verändern und wie viel notwendig ist solche Tests nach einigen Methoden überprüfen werden.

Das letzte Teil untersucht die Auswirkung der Einbeziehung von historischen Hochwassern. Diese Untersuchung ist auch nach zwei Methoden durchgeführt. Als Endergebnis diesen Berechnungen können wir sagen, dass je mehr sind die historischen Hochwässer, desto kleiner wird die Jährlichkeit. Dementsprechend werden die zwei Grossereignisse in den Jahren 1965 und 1966 keine Ausreißern.



## **Literatur**

**DVWK, 1999** : Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen – Merkblätter Nr. 251

**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”

**Gutknecht D.** : Extreme Abflussereignisse (Dokumentation – Bedeutung – Bestimmungsmethoden), Band 206 – Wien 2007, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien

**Klagenfurt 2004** : Hochwasserchronik Kärnten

**Hydrologie Alpenrhein** : Hauptstudie, Internationale Regierungskommission Alpenrhein – Juli 200

**Hydrologie Alpenrhein** : Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau – Zusammenfassender Bericht

**Poglitsch, 2001** : 125 Jahre Gailregulierung, Petz Druck GesmbH, Spittal/Drau

**Schindler, 2003** : Diplomarbeit

## 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:

### 2. 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).

### 3. 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).

### 4. 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 Trennereinigung der Abflüsse nicht sinnvoll(DVWK, 1999).

#### 5. Ausreißer – Spezielle Thematik dieser Arbeit

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).

#### 6. Historische Hochwasserereignisse

Liegen außerhalb der Zeitspanne mit Pegelaufzeichnungen historische Hochwasserdaten vor, so sollten sie berücksichtigt werden, weil die Sicherheit der statistischen Prognose erhöht werden kann. Voraussetzungen sind, dass die Homogenität der Daten hinreichend gewährleistet ist, die historischen Wasserstandaufzeichnungen ausreichend sicher in Hochwasserabflüsse umgesetzt werden können, die historischen Hochwasserabflüsse der auszuwertenden Pegelstelle zugeordnet werden können(DVWK, 1999).

Die Berücksichtigung von Scheitelwerte historischer Hochwasserereignisse erhöht die Aussagesicherheit der statistischen Analyse, wenn die Homogenität der Daten gesichert und eine Übertragung der Hochwasserstände in Hochwasserabflüsse an der auszuwertenden Pegelstelle hinreichend sicher ist.

#### 7. Wahrscheinlichkeitsanalyse

Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsanalyse soll den beobachteten Hochwasserscheitelabflüsse eines bestimmten Zeitraums eine Überschreitungswahrscheinlichkeit zugeordnet und eine Extrapolation über den Beobachtungszeitraum hinaus ermöglicht werden. Zunächst wird die Unterschreitungswahrscheinlichkeit  $P(x)$  ermittelt, aus der sich die Überschreitungswahrscheinlichkeit  $(1-P(x))$  und die zugehörige

Wiederholungszeitspanne  $T_n = \frac{1}{(1-P(x))}$  bestimmt lässt. Das ist aber nur

dann eindeutig lösbar, wenn der Typ der Verteilungsfunktion und deren Parameter bekannt sind. Neben der Wahl des Typs der Verteilungsfunktion hat auch die Art der Parameterbestimmung einen entscheidenden Einfluss auf das Extrapolationsergebnis. Es besteht die Aufgabe, die unbekannt Parameter der Grundgesamtheit möglichst "optimal" aus der Stichprobe zu ermitteln. Eine Parameterschätzung wird als optimal bezeichnet, wenn sie neben anderen folgende wichtige Kriterien erfüllt:

- Die Schätzung muss erwartungstreu sein
- Die Schätzung sollte effizient sein
- Die Schätzung sollte robust sein (DVWK, 1999)

## 8. 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).

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 grösse 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 gegebene 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)

### 8.1. Allgemeine Extremwertverteilung (GEV=AE)

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

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

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

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

## 8.2. 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:  $f(x; a, u) = a * e^{-a*(x-u)-e^{-a*(x-u)}}$ , wobei  $a$  und  $u$  sind Parameter

Verteilungsfunktion:

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

konstanter Schiefekoeffizient:  $\gamma_1 = 1.1396$

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

$$HQ_n \text{ – Berechnung: } HQ_n = \frac{-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{n}\right)\right)}{a} + u$$

$HQ_n$  ist normalverteilt mit:

$$\mu = HQ_n, \text{ dem berechneten } HQ \text{ – Wert}$$

$$\sigma = s_n = \frac{s_x}{\sqrt{n}} * \delta$$

$s_x$  – Standardabweichung der Stichprobe

$N$  – Stichprobenumfang

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

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

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

$\bar{x}$  – 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:

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

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

### 8.3. Parameterschätzung

Die Anforderungen an Parameterschätzungen sind:

- 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

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4(X)}{\sigma_4(X)} - 3$$

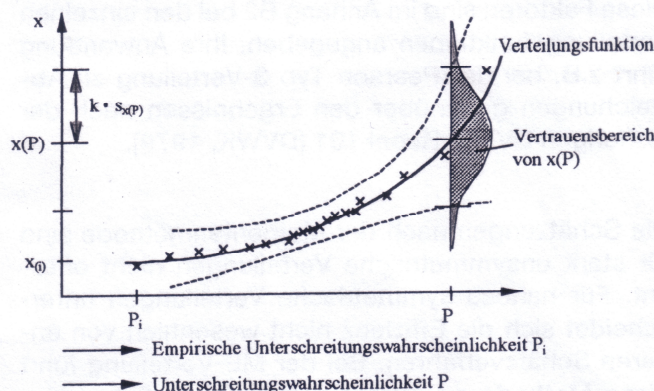
Die Wölbung beschreibt die Abweichung des Verlaufs der gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung zum Verlauf einer Normalverteilung. Verteilungen werden entsprechend ihrer Wölbung eingeteilt in:

- $\gamma_2 = 0$ : 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 (DVWK, 1999)

Jede statistische Aussage, die sich in der Angabe eines einzigen Wertes für Parameter oder Fraktile erschöpft, ist grundsätzlich mit Unsicherheit beschafter. 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 Vertrauensbereiche für Fraktile wird folgenderweise vorgegangen
  - Der gesuchte Wert wird als normalverteilt vorausgesetzt. Der berechnete Fraktilwert  $x_\alpha \equiv t_\alpha$  wird als Mittelwert der gesuchten Verteilung interpretiert, die Streuung wird mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes bestimmt:

$$\sigma = s_n = \frac{s_x}{\sqrt{N}} * \delta$$

$s_x$  – Standardabweichung der Stichprobe

$N$  – Stichprobenumfang

$\delta$  – abhängig vom Verteilungstyp und  $k$

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

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

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

$\bar{x}$  – Mittelwert der Stichprobe

Das  $\alpha$  – Fraktile ist ein Schwellenwert, der vom beobachteten Merkmal mit Wahrscheinlichkeit  $\alpha$  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

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

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

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

$t_{\alpha}$  – abgelesen von Tabelle 1.3 in Abhängigkeit von  $\alpha$  (siehe Anhang III)

#### 10. 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

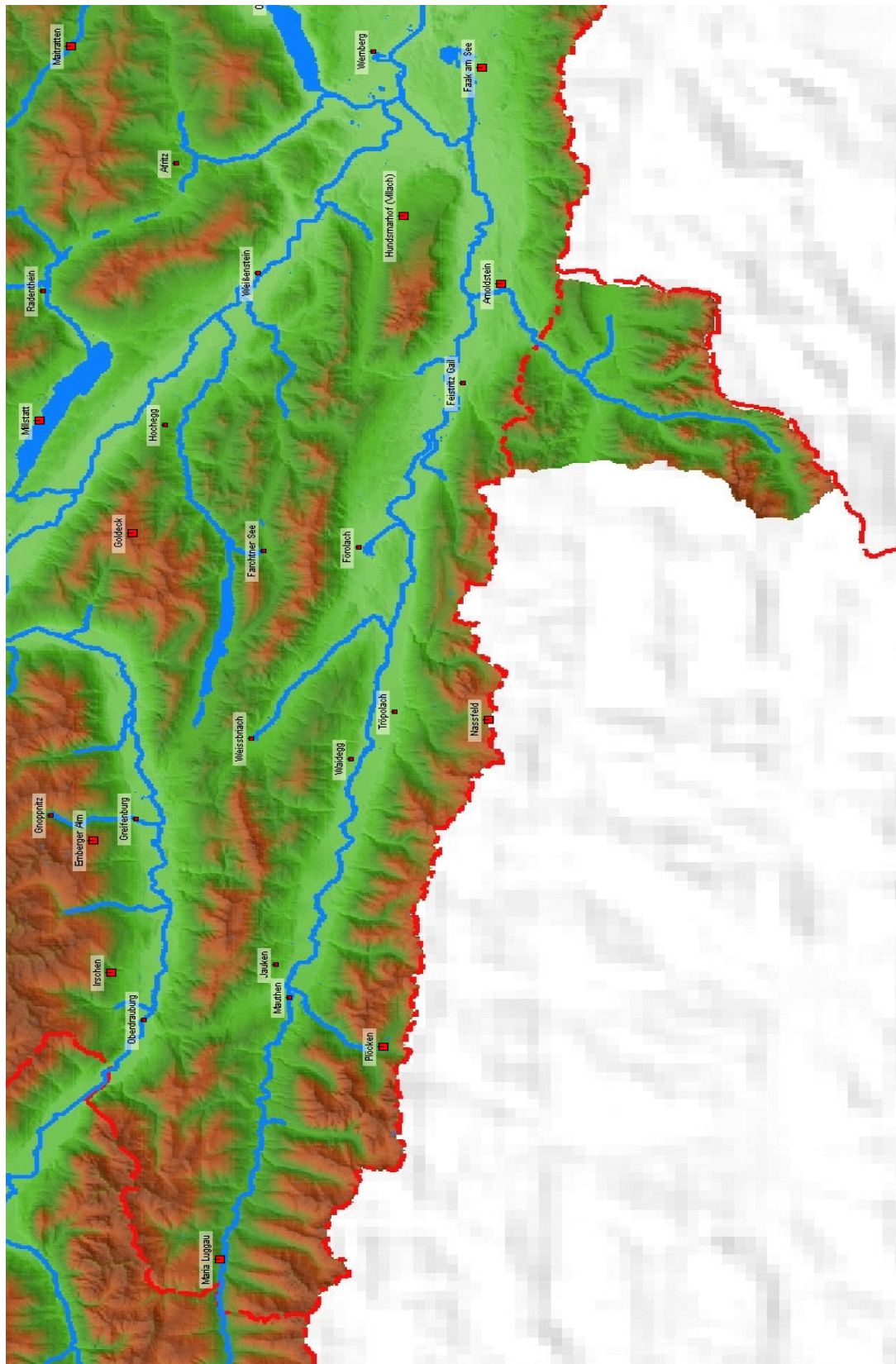


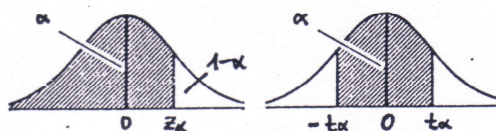
Abb. A.2: Übersicht über das Gailtal



### Anhang III

STANDARD - NORMALVERTEILUNG - FRAKTILE  $z_\alpha$

TABELLE 1.3



$\alpha \cdot 100$	$z_\alpha$	$t_\alpha$	$\alpha \cdot 100$	$z_\alpha$	$t_\alpha$	$\alpha \cdot 100$	$z_\alpha$	$t_\alpha$
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  $z_\alpha$  der Standardnormalvert.

Tabelle A.1: Ablesen des  $t_\alpha$

## Anhang IV

1. Berechnungen der Untersuchung in Hinblick auf „Ausreißer“ –  $RZA^i(k)$ 
  - Station Maria – Luggau – Gumbel Verteilung

$$- HQ_{10}^i$$

*Hinweis: Die Daten für  $HQ_{10}$  sind von Tabelle 37 für Maria – Luggau und Tabelle 38 für Mauthen angenommen (in Bezug auf die verschiedene Anzahl der Großereignisse).*

– Reihe: 1951 bis 2002 mit zwei Grossereignisse – Basisreihe; beobachtete

Werte

$$RZA^2(1) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^1} = \frac{101.5}{87.3} = 1.16 > 1$$

$$RZA^2(4) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^4} = \frac{101.5}{125.2} = 0.81 < 1$$

$$RZA^2(0) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^0} = \frac{101.5}{68.1} = 1.49 > 1$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit ein Grossereignis

$$RZA^1(0) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^0} = \frac{87.3}{68.1} = 1.28 > 1$$

$$RZA^1(2) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^2} = \frac{87.3}{101.5} = 0.86 < 1$$

$$RZA^1(4) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^4} = \frac{87.3}{125.2} = 0.69 < 1$$

– Reihe: 1951 bis 2004 mit vier Grossereignissen

$$RZA^4(0) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^0} = \frac{125.2}{68.1} = 1.83 > 1$$

$$RZA^4(1) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^1} = \frac{125.2}{87.3} = 1.43 > 1$$

$$RZA^4(2) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^2} = \frac{125.2}{101.5} = 1.23 > 1$$

$$- HQ^1$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = \frac{222}{87.3} = 2.54 > 1$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = \frac{222}{101.5} = 2.18 > 1$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = \frac{222}{125.2} = 1.77 > 1$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = \frac{222}{68.1} = 3.25 > 1$$

$$- HQ^2$$

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = \frac{217}{87.3} = 2.48 > 1$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = \frac{217}{101.5} = 2.13 > 1$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = \frac{217}{125.2} = 1.73 > 1$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = \frac{217}{68.1} = 3.18 > 1$$

$$- HQ^3 = HQ^4$$

$$RZA^{4.1} = RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = \frac{210}{87.3} = 2.40 > 1$$

$$RZA^{4.2} = RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = \frac{210}{101.5} = 2.06 > 1$$

$$RZA^{4.4} = RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = \frac{210}{125.2} = 1.67 > 1$$

$$RZA^{4.0} = RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = \frac{210}{68.1} = 3.08 > 1$$

- Station Maria – Luggau – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$- HQ_{10}^i$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit zwei Grossereignisse

$$RZA^2(1) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^1} = \frac{88.2}{76.1} = 1.15 > 1$$

$$RZA^2(4) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^4} = \frac{88.2}{110.2} = 0.80 < 1$$

$$RZA^2(0) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^0} = \frac{88.2}{63.9} = 1.39 > 1$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit ein Grossereignis

$$RZA^1(0) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^0} = \frac{76.1}{63.9} = 1.19 > 1$$

$$RZA^1(2) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^2} = \frac{76.1}{88.2} = 0.86 < 1$$

$$RZA^1(4) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^4} = \frac{76.1}{110.2} = 0.69 < 1$$

– Reihe: 1951 bis 2004 mit vier Grossereignissen

$$RZA^4(0) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^0} = \frac{110.2}{63.9} = 1.72 > 1$$

$$RZA^4(1) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^1} = \frac{110.2}{76.1} = 1.44 > 1$$

$$RZA^4(2) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^2} = \frac{110.2}{88.2} = 1.25 > 1$$

–  $HQ^1$

$HQ^i$  – beobachtete Jahreshöchstabflüsse,  $i = 1, 2, 3, 4$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = \frac{222}{76.1} = 2.91 > 1$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = \frac{222}{88.2} = 2.52 > 1$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = \frac{222}{110.2} = 2.01 > 1$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = \frac{222}{63.9} = 3.47 > 1$$

–  $HQ^2$

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = \frac{217}{76.1} = 2.85 > 1$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = \frac{217}{88.2} = 2.46 > 1$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = \frac{217}{110.2} = 1.97 > 1$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = \frac{217}{63.9} = 3.40 > 1$$

–  $HQ^3 = HQ^4$

$$RZA^{4.1} = RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = \frac{210}{76.1} = 2.76 > 1$$

$$RZA^{4.2} = RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = \frac{210}{88.2} = 2.38 > 1$$

$$RZA^{4.4} = RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = \frac{210}{110.2} = 1.91 > 1$$

$$RZA^{4.0} = RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = \frac{210}{63.9} = 3.29 > 1$$

- Station Mauthen – Gumbel Verteilung

$$- HQ_{10}^i$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit zwei Grossereignisse

$$RZA^2(1) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^1} = \frac{280.1}{248.5} = 1.12 > 1$$

$$RZA^2(4) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^4} = \frac{280.1}{319.6} = 0.87 < 1$$

$$RZA^2(0) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^0} = \frac{280.1}{228.6} = 1.22 > 1$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit ein Grossereignis

$$RZA^1(0) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^0} = \frac{248.5}{228.6} = 1.08 > 1$$

$$RZA^1(2) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^2} = \frac{248.5}{280.1} = 0.88 < 1$$

$$RZA^1(4) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^4} = \frac{248.5}{319.6} = 0.77 < 1$$

– Reihe: 1951 bis 2004 mit vier Grossereignisse

$$RZA^4(0) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^0} = \frac{319.6}{228.6} = 1.40 > 1$$

$$RZA^4(1) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^1} = \frac{319.6}{248.5} = 1.29 > 1$$

$$RZA^4(2) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^2} = \frac{319.6}{280.1} = 1.14 > 1$$

$$- HQ^1$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = \frac{530}{248.5} = 2.13 > 1$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = \frac{530}{280.1} = 1.89 > 1$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = \frac{530}{319.6} = 1.65 > 1$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = \frac{530}{228.6} = 2.31 > 1$$

–  $HQ^2$ 

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = \frac{500}{248.5} = 2.01 > 1$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = \frac{500}{280.1} = 1.78 > 1$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = \frac{500}{319.6} = 1.56 > 1$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = \frac{500}{228.6} = 2.18 > 1$$

–  $HQ^3$ 

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = \frac{458}{248.5} = 1.84 > 1$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = \frac{458}{280.1} = 1.63 > 1$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = \frac{458}{319.6} = 1.43 > 1$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = \frac{458}{228.6} = 2.00 > 1$$

–  $HQ^4$ 

$$RZA^{4.1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = \frac{410}{248.5} = 1.65 > 1$$

$$RZA^{4.2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = \frac{410}{280.1} = 1.46 > 1$$

$$RZA^{4.4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = \frac{410}{319.6} = 1.28 > 1$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = \frac{410}{228.6} = 1.79 > 1$$



- Station Mauthen – Allgemeine Extremwertverteilung

$$- HQ_{10}^i$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit zwei Grossereignisse

$$RZA^2(1) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^1} = \frac{256.3}{232.3} = 1.10 > 1$$

$$RZA^2(4) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^4} = \frac{256.3}{293.3} = 0.87 < 1$$

$$RZA^2(0) = \frac{HQ_{10}^2}{HQ_{10}^0} = \frac{256.3}{215.7} = 1.18 > 1$$

– Reihe: 1951 bis 2002 mit ein Grossereignis

$$RZA^1(0) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^0} = \frac{232.3}{215.7} = 1.08 > 1$$

$$RZA^1(2) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^2} = \frac{232.3}{256.3} = 0.90 < 1$$

$$RZA^1(4) = \frac{HQ_{10}^1}{HQ_{10}^4} = \frac{232.3}{293.3} = 0.79 < 1$$

– Reihe: 1951 bis 2004 mit vier Grossereignisse

$$RZA^4(0) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^0} = \frac{293.3}{215.7} = 1.36 > 1$$

$$RZA^4(1) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^1} = \frac{293.3}{232.3} = 1.26 > 1$$

$$RZA^4(2) = \frac{HQ_{10}^4}{HQ_{10}^2} = \frac{293.3}{256.3} = 1.14 > 1$$

$$- HQ^1$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = \frac{530}{232.3} = 2.28 > 1$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = \frac{530}{256.3} = 2.07 > 1$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = \frac{530}{293.3} = 1.81 > 1$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = \frac{530}{215.7} = 2.45 > 1$$

$$- HQ^2$$
$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = \frac{500}{232.2} = 2.15 > 1$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = \frac{500}{256.3} = 1.95 > 1$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = \frac{500}{293.3} = 1.70 > 1$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = \frac{500}{215.7} = 2.32 > 1$$

$$- HQ^3$$
$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = \frac{458}{232.3} = 1.97 > 1$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = \frac{458}{256.3} = 1.79 > 1$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = \frac{458}{293.3} = 1.56 > 1$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = \frac{458}{215.7} = 2.12 > 1$$

$$- HQ^4$$
$$RZA^{4.1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = \frac{410}{232.3} = 1.76 > 1$$

$$RZA^{4.2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = \frac{410}{256.3} = 1.60 > 1$$

$$RZA^{4.4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = \frac{410}{293.3} = 1.40 > 1$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = \frac{410}{215.7} = 1.90 > 1$$

2. Berechnungen der Untersuchung in Hinblick auf „Ausreißer“ –  $RZA^i(n)$ 

- Station Maria – Luggau – Gumbel Verteilung

✓ Stichprobe I: 1951 bis 2002

$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$  - Verhältnis zwischen des n – jährliches Hochwasser und 10 –

jährliches Hochwasser

wo  $n = 100, 500, 1000$  und  $i = 1, 2, 4, 0$  – Anzahl der Grossereignisse

$$RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{182.1}{101.5} = 1.79$$

$$RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{237.5}{101.5} = 2.34$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{261.3}{101.5} = 2.57$$

✓ Stichprobe II: von 1951 bis 2002

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{112.0}{68.1} = 1.64$$

$$RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{142.1}{68.1} = 2.08$$

$$RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{155.0}{68.1} = 2.28$$

✓ Stichprobe III: 1951 bis 2004

$$RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{229.6}{125.2} = 1.83$$

$$RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{301.3}{125.2} = 2.41$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{332.1}{125.2} = 2.65$$

✓ Stichprobe IV: 1951 bis 2002

$$RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{152.9}{87.3} = 1.75$$

$$RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{198.0}{87.3} = 2.27$$

$$RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{217.4}{87.3} = 2.49$$

- Station Maria – Luggau – Allgemeine Extremwertverteilung

- ✓ Stichprobe I: 1951 bis 2002

$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$  - Verhältnis zwischen des n – jährliches Hochwasser und 10 – jährliches Hochwasser, wo n = 100, 500, 1000 und i = 1, 2, 4, 0 – Anzahl der Grossereignisse

$$RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{188.4}{88.2} = 2.14$$

$$RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{286.4}{88.2} = 3.25$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{338.2}{88.2} = 3.83$$

- ✓ Stichprobe II: 1951 bis 2002

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{108.3}{63.9} = 1.69$$

$$RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{142.4}{63.9} = 2.23$$

$$RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{158.0}{63.9} = 2.47$$

- ✓ Stichprobe III: 1951 bis 2004

$$RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{234.6}{110.2} = 2.13$$

$$RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{349.5}{110.2} = 3.17$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{408.1}{110.2} = 3.70$$

- ✓ Stichprobe IV: 1951 bis 2002

$$RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{158.6}{76.1} = 2.08$$

$$RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{240.9}{76.1} = 3.17$$

$$RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{284.9}{76.1} = 3.74$$

▪ Station Mauthen – Gumbel Verteilung

✓ Stichprobe I: 1951 bis 2002

$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$  - Verhältnis zwischen des n – jährliches Hochwasser und 10 – jährliches Hochwasser  
 wo n = 100, 500, 1000 und i = 1, 2, 4, 0 – Anzahl der Grossereignisse

$$RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{487.5}{280.1} = 1.74$$

$$RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{630.0}{280.1} = 2.25$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{691.2}{280.1} = 2.47$$

✓ Stichprobe II: 1951 bis 2002

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{383.7}{228.6} = 1.68$$

$$RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{490.2}{228.6} = 2.14$$

$$RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{536.0}{228.6} = 2.34$$

✓ Stichprobe III: 1951 bis 2004

$$RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{563.8}{319.6} = 1.76$$

$$RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{731.5}{319.6} = 2.29$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{803.6}{319.6} = 2.51$$

✓ Stichprobe IV: 1951 bis 2002

$$RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{423.2}{248.5} = 1.70$$

$$RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{543.1}{248.5} = 2.19$$

$$RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{594.7}{248.5} = 2.39$$

▪ Station Mauthen – Allgemeine Extremwertverteilung – GEV

✓ Stichprobe I: 1951 bis 2002

$RZA^i(n) = \frac{HQ_n}{HQ_{10}}$  - Verhältnis zwischen des n – jährliches Hochwasser und 10 – jährliches Hochwasser, wo n = 100, 500, 1000 und i = 1, 2, 4, 0 – Anzahl der Grossereignisse

$$RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{483.0}{256.3} = 1.88$$

$$RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{671.3}{256.3} = 2.62$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{761.8}{256.3} = 2.97$$

✓ Stichprobe II: 1951 bis 2002

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{359.4}{215.7} = 1.67$$

$$RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{460.2}{215.7} = 2.13$$

$$RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{504.0}{215.7} = 2.34$$

✓ Stichprobe III: 1951 bis 2004

$$RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{553.1}{293.3} = 1.89$$

$$RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{762.8}{293.3} = 2.60$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{861.8}{293.3} = 2.94$$

✓ Stichprobe IV: 1951 bis 2002

$$RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = \frac{404.9}{232.3} = 1.74$$

$$RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = \frac{534.0}{232.3} = 2.30$$

$$RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = \frac{592.3}{232.3} = 2.55$$

3. Vergleich der Relativzahlen:  $RZA^{k,i}$  und  $RZA^i(n)$  (Tabellen 44 und 46 für  $RZA^i(k)$  und Tabellen 41 und 42 für  $RZA^{k,i}$  für beide Stationen)

✓ Station Maria – Luggau

1)  $HQ^1$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{1,1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.54 > RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.49 > RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.27 >$$

$$RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.75$$

$$RZA^{1,2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.18 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.79$$

$$RZA^{1,2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.18 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.34 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.57$$

$$RZA^{1,4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = 1.77 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.83 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.41 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.65$$

$$RZA^{1,0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = 3.25 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.28 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.08 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.64$$

2)  $HQ^2$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{2,1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.48 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.49$$

$$RZA^{2,1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.48 > RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.27 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.75$$

$$RZA^{2,2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 2.13 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.79$$

$$RZA^{2,2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 2.13 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.34 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.57$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = 1.73 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.83 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.41 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.65$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 3.18 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.28 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.08 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.64$$

3)  $HQ^3$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 2.40 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.49$$

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 2.40 > RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.27 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.75$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 2.06 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.79$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 2.06 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.34 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.57$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = 1.67 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.83 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.41 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.65$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 3.18 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.28 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.08 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.64$$

4)  $HQ^4$  – Gumbel Verteilung

– **Identisch mit  $HQ^3$**



5)  $HQ^1$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.91 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.74$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.91 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.08$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.52 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.14$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.52 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.25 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.83$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = 2.01 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.13 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.70$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = 3.47 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.23 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.69$$

6)  $HQ^2$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.85 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.08$$

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.85 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.74$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 2.46 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.14$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 2.46 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.25 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.83$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = 1.97 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.13 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.70$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 3.40 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.23 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.69$$

7)  $HQ^3$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 2.76 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.08$$

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 2.76 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.74$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 2.38 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.14$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 2.38 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.25 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.83$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = 1.91 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 2.13 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 3.17 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 3.70$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 3.29 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.23 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.69$$

8)  $HQ^4$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

– *Identisch mit  $HQ^3$*

✓ Station Mauthen

$$HQ^1 = 530 \text{ m}^3 / \text{s} - \text{Annahme}$$

$$HQ^2 = 500 \text{ m}^3 / \text{s} - \text{Beobachtungsreihe}$$

$$HQ^3 = 458 \text{ m}^3 / \text{s} - \text{Annahme}$$

$$HQ^4 = 410 \text{ m}^3 / \text{s} - \text{Beobachtungsreihe}$$

1)  $HQ^1$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.13 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.19 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.39$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.13 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.70$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 1.89 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 1.89 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.25 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = 1.65 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.76 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.29 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.51$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = 2.31 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.14 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.68$$

2)  $HQ^2$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.01 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.19 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.39$$

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.01 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.70$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 1.78 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 1.78 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.25 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = 1.56 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.76 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.29 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.51$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 2.18 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 2.18 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.14 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.68$$

3)  $HQ^3$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 1.84 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.19 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.39$$

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 1.84 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.70$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 1.63 < RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.25 <$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = 1.43 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.76 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.29 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.51$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 2.00 < RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.14 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 2.00 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.68$$

4)  $HQ^4$  – Gumbel Verteilung

$$RZA^{4.1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = 1.65 < RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.70 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.19 <$$

$$RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.39$$

$$RZA^{4.2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = 1.46 < RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.25 <$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.47$$

$$RZA^{4.4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = 1.28 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.76 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.29 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.51$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = 1.79 < RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.14 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = 1.79 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.68$$

5)  $HQ^1$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.28 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.30 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.55$$

$$RZA^{1.1} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^1} = 2.28 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.07 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.62 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.97$$

$$RZA^{1.2} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^2} = 2.07 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.88$$

$$RZA^{1.4} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^4} = 1.81 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.89 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.60 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.94$$

$$RZA^{1.0} = \frac{HQ^1}{HQ_{10}^0} = 2.45 > RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.13 >$$

$$RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.67$$

6)  $HQ^2$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.15 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.30 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.55$$

$$RZA^{2.1} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^1} = 2.15 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 1.95 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.62 < RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.97$$

$$RZA^{2.2} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^2} = 1.95 > RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.88$$

$$RZA^{2.4} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^4} = 1.70 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.89 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.60 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.94$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 2.32 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{2.0} = \frac{HQ^2}{HQ_{10}^0} = 2.32 > RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.13 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.67$$

7)  $HQ^3$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 1.97 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.30 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.55$$

$$RZA^{3.1} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^1} = 1.97 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{3.2} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^2} = 1.56 < RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.88 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.62 <$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.97$$

$$RZA^{3.4} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^4} = 1.79 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.89 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.60 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.94$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 2.12 < RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.13 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{3.0} = \frac{HQ^3}{HQ_{10}^0} = 2.12 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.67$$

8)  $HQ^4$  – Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

$$RZA^{4.1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = 1.76 < RZA^1(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.30 < RZA^1(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.55$$

$$RZA^{4.1} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^1} = 1.76 > RZA^1(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.74$$

$$RZA^{4.2} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^2} = 1.60 < RZA^2(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.88 < RZA^2(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.62 <$$

$$RZA^2(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.97$$

$$RZA^{4.4} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^4} = 1.40 < RZA^4(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.89 < RZA^4(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.60 <$$

$$RZA^4(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.94$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = 1.90 < RZA^0(500) = \frac{HQ_{500}}{HQ_{10}} = 2.13 < RZA^0(1000) = \frac{HQ_{1000}}{HQ_{10}} = 2.34$$

$$RZA^{4.0} = \frac{HQ^4}{HQ_{10}^0} = 1.90 > RZA^0(100) = \frac{HQ_{100}}{HQ_{10}} = 1.67$$

## 4. Berechnungen der Untersuchung in Hinblick auf „Ausreißer“ nach DVWK, 1999

- Station: Maria – Luggau – Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse

Tabelle A2: Maria - Luggau 1951 - 2002 – Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ- $x_m$	(lnHQ- $x_m$ ) <sup>2</sup>
1	04:11:1966	210.00	5.347	1.825	3.332
2	03:09:1965	210.00	5.347	1.825	3.332
3	12:11:1951	113.00	4.727	1.206	1.453
4	28:10:1953	90.00	4.500	0.978	0.956
5	07:10:1998	75.60	4.325	0.804	0.646
6	02:10:1993	74.20	4.307	0.785	0.616
7	12:06:1972	69.00	4.234	0.712	0.507
8	17:10:1980	66.60	4.199	0.677	0.458
9	05:10:1992	64.30	4.164	0.642	0.412
10	16:10:1996	58.00	4.060	0.539	0.290
11	15:10:1979	56.60	4.036	0.514	0.264
12	20:09:1960	53.50	3.980	0.458	0.210
13	22:05:1978	51.50	3.942	0.420	0.176
14	26:11:2002	49.26	3.897	0.375	0.141
15	12:10:1987	47.80	3.867	0.345	0.119
16	27:05:1981	45.60	3.820	0.298	0.089
17	21:05:1984	44.50	3.795	0.274	0.075
18	01:06:1962	42.00	3.738	0.216	0.047
19	12:10:2000	41.50	3.726	0.204	0.042
20	14:09:1994	37.80	3.632	0.110	0.012
21	17:06:1991	37.30	3.619	0.097	0.009
22	10:05:1958	33.00	3.497	-0.025	0.001
23	23:06:1973	30.00	3.401	-0.121	0.015
24	19:05:1975	29.00	3.367	-0.155	0.024
25	05:04:1989	28.30	3.343	-0.179	0.032
26	12:06:1957	28.00	3.332	-0.190	0.036
27	26:10:1952	27.90	3.329	-0.193	0.037
28	20:05:1977	26.10	3.262	-0.260	0.068
29	06:05:1969	26.00	3.258	-0.264	0.070
30	07:06:1954	26.00	3.258	-0.264	0.070
31	14:09:1976	25.80	3.250	-0.271	0.074
32	05:05:1999	24.10	3.182	-0.340	0.115
33	20:07:2001	23.76	3.168	-0.354	0.125
34	28:06:1997	23.60	3.161	-0.361	0.130
35	13:10:1988	23.50	3.157	-0.365	0.133
36	08:10:1961	23.00	3.135	-0.386	0.149
37	21:05:1986	22.30	3.105	-0.417	0.174
38	10:05:1971	22.00	3.091	-0.431	0.186



**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

39	23:05:1983	21.40	3.063	-0.458	0.210
40	06:08:1985	21.30	3.059	-0.463	0.214
41	01:06:1995	21.20	3.054	-0.468	0.219
42	18:06:1970	21.00	3.045	-0.477	0.228
43	30:05:1967	21.00	3.045	-0.477	0.228
44	16:06:1968	21.00	3.045	-0.477	0.228
45	29:06:1959	18.50	2.918	-0.604	0.365
46	28:05:1963	18.00	2.890	-0.631	0.399
47	27:06:1974	18.00	2.890	-0.631	0.399
48	23:10:1982	17.90	2.885	-0.637	0.406
49	26:09:1956	17.50	2.862	-0.660	0.435
50	10:07:1990	17.20	2.845	-0.677	0.458
51	15:05:1955	14.50	2.674	-0.848	0.719
52	15:06:1964	10.00	2.303	-1.219	1.487

– Station: Maria – Luggau – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle A3: Maria - Luggau 1951 - 2002 - ohne Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	12:11:1951	113.00	4.727	1.279	1.635
2	28:10:1953	90.00	4.500	1.051	1.105
3	07:10:1998	75.60	4.325	0.877	0.768
4	02:10:1993	74.20	4.307	0.858	0.736
5	12:06:1972	69.00	4.234	0.785	0.617
6	17:10:1980	66.60	4.199	0.750	0.562
7	05:10:1992	64.30	4.164	0.715	0.511
8	16:10:1996	58.00	4.060	0.612	0.374
9	15:10:1979	56.60	4.036	0.587	0.345
10	20:09:1960	53.50	3.980	0.531	0.282
11	22:05:1978	51.50	3.942	0.493	0.243
12	26:11:2002	49.26	3.897	0.448	0.201
13	12:10:1987	47.80	3.867	0.418	0.175
14	27:05:1981	45.60	3.820	0.371	0.138
15	21:05:1984	44.50	3.795	0.347	0.120
16	01:06:1962	42.00	3.738	0.289	0.083
17	12:10:2000	41.50	3.726	0.277	0.077
18	14:09:1994	37.80	3.632	0.183	0.034
19	17:06:1991	37.30	3.619	0.170	0.029
20	10:05:1958	33.00	3.497	0.048	0.002
21	23:06:1973	30.00	3.401	-0.048	0.002
22	19:05:1975	29.00	3.367	-0.082	0.007
23	05:04:1989	28.30	3.343	-0.106	0.011
24	12:06:1957	28.00	3.332	-0.117	0.014
25	26:10:1952	27.90	3.329	-0.120	0.014
26	20:05:1977	26.10	3.262	-0.187	0.035

27	06:05:1969	26.00	3.258	-0.191	0.036
28	07:06:1954	26.00	3.258	-0.191	0.036
29	14:09:1976	25.80	3.250	-0.198	0.039
30	05:05:1999	24.10	3.182	-0.267	0.071
31	20:07:2001	23.76	3.168	-0.281	0.079
32	28:06:1997	23.60	3.161	-0.288	0.083
33	13:10:1988	23.50	3.157	-0.292	0.085
34	08:10:1961	23.00	3.135	-0.313	0.098
35	21:05:1986	22.30	3.105	-0.344	0.118
36	10:05:1971	22.00	3.091	-0.358	0.128
37	23:05:1983	21.40	3.063	-0.385	0.149
38	06:08:1985	21.30	3.059	-0.390	0.152
39	01:06:1995	21.20	3.054	-0.395	0.156
40	18:06:1970	21.00	3.045	-0.404	0.163
41	30:05:1967	21.00	3.045	-0.404	0.163
42	16:06:1968	21.00	3.045	-0.404	0.163
43	29:06:1959	18.50	2.918	-0.531	0.282
44	28:05:1963	18.00	2.890	-0.558	0.312
45	27:06:1974	18.00	2.890	-0.558	0.312
46	23:10:1982	17.90	2.885	-0.564	0.318
47	26:09:1956	17.50	2.862	-0.587	0.344
48	10:07:1990	17.20	2.845	-0.604	0.365
49	15:05:1955	14.50	2.674	-0.775	0.600
50	15:06:1964	10.00	2.303	-1.146	1.314

– Station: Maria – Luggau – Beobachtungsreihe mit 1 Großereignis

Tabelle A4: Maria - Luggau 1951 - 2002 - mit 1 Großereignis

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	03:09:1965	210.00	5.347	1.966	3.865
2	12:11:1951	113.00	4.727	1.346	1.812
3	28:10:1953	90.00	4.500	1.119	1.251
4	07:10:1998	75.60	4.325	0.944	0.892
5	02:10:1993	74.20	4.307	0.926	0.857
6	12:06:1972	69.00	4.234	0.853	0.727
7	17:10:1980	66.60	4.199	0.818	0.668
8	05:10:1992	64.30	4.164	0.782	0.612
9	16:10:1996	58.00	4.060	0.679	0.461
10	15:10:1979	56.60	4.036	0.655	0.429
11	20:09:1960	53.50	3.980	0.598	0.358
12	22:05:1978	51.50	3.942	0.560	0.314
13	26:11:2002	49.26	3.897	0.516	0.266
14	12:10:1987	47.80	3.867	0.486	0.236
15	27:05:1981	45.60	3.820	0.439	0.192
16	21:05:1984	44.50	3.795	0.414	0.172
17	01:06:1962	42.00	3.738	0.356	0.127

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

18	12:10:2000	41.50	3.726	0.345	0.119
19	14:09:1994	37.80	3.632	0.251	0.063
20	17:06:1991	37.30	3.619	0.238	0.057
21	10:05:1958	33.00	3.497	0.115	0.013
22	23:06:1973	30.00	3.401	0.020	0.000
23	19:05:1975	29.00	3.367	-0.014	0.000
24	05:04:1989	28.30	3.343	-0.038	0.001
25	12:06:1957	28.00	3.332	-0.049	0.002
26	26:10:1952	27.90	3.329	-0.053	0.003
27	20:05:1977	26.10	3.262	-0.119	0.014
28	06:05:1969	26.00	3.258	-0.123	0.015
29	07:06:1954	26.00	3.258	-0.123	0.015
30	14:09:1976	25.80	3.250	-0.131	0.017
31	05:05:1999	24.10	3.182	-0.199	0.040
32	20:07:2001	23.76	3.168	-0.213	0.046
33	28:06:1997	23.60	3.161	-0.220	0.048
34	13:10:1988	23.50	3.157	-0.224	0.050
35	08:10:1961	23.00	3.135	-0.246	0.060
36	21:05:1986	22.30	3.105	-0.277	0.077
37	10:05:1971	22.00	3.091	-0.290	0.084
38	23:05:1983	21.40	3.063	-0.318	0.101
39	06:08:1985	21.30	3.059	-0.322	0.104
40	01:06:1995	21.20	3.054	-0.327	0.107
41	18:06:1970	21.00	3.045	-0.337	0.113
42	30:05:1967	21.00	3.045	-0.337	0.113
43	16:06:1968	21.00	3.045	-0.337	0.113
44	29:06:1959	18.50	2.918	-0.463	0.215
45	28:05:1963	18.00	2.890	-0.491	0.241
46	27:06:1974	18.00	2.890	-0.491	0.241
47	23:10:1982	17.90	2.885	-0.496	0.246
48	26:09:1956	17.50	2.862	-0.519	0.269
49	10:07:1990	17.20	2.845	-0.536	0.288
50	15:05:1955	14.50	2.674	-0.707	0.500
51	15:06:1964	10.00	2.3026	-1.0786	1.163

Tabelle A5: Maria - Luggau 1951 - 2004 mit 4 Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	05:15:2004	222.00	5.403	1.673	2.801
2	09:09:2003	217.00	5.380	1.651	2.725
3	04:11:1966	210.00	5.347	1.618	2.618
4	03:09:1965	210.00	5.347	1.618	2.618
5	12:11:1951	113.00	4.727	0.998	0.996
6	28:10:1953	90.00	4.500	0.771	0.594
7	07:10:1998	75.60	4.325	0.596	0.356
8	02:10:1993	74.20	4.307	0.578	0.334
9	12:06:1972	69.00	4.234	0.505	0.255
10	17:10:1980	66.60	4.199	0.470	0.220
11	05:10:1992	64.30	4.164	0.434	0.189
12	16:10:1996	58.00	4.060	0.331	0.110
13	15:10:1979	56.60	4.036	0.307	0.094
14	20:09:1960	53.50	3.980	0.250	0.063
15	22:05:1978	51.50	3.942	0.212	0.045
16	26:11:2002	49.26	3.897	0.168	0.028
17	12:10:1987	47.80	3.867	0.138	0.019
18	27:05:1981	45.60	3.820	0.091	0.008
19	21:05:1984	44.50	3.795	0.066	0.004
20	01:06:1962	42.00	3.738	0.008	0.000
21	12:10:2000	41.50	3.726	-0.003	0.000
22	14:09:1994	37.80	3.632	-0.097	0.009
23	17:06:1991	37.30	3.619	-0.110	0.012
24	10:05:1958	33.00	3.497	-0.233	0.054
25	23:06:1973	30.00	3.401	-0.328	0.108
26	19:05:1975	29.00	3.367	-0.362	0.131
27	05:04:1989	28.30	3.343	-0.386	0.149
28	12:06:1957	28.00	3.332	-0.397	0.158
29	26:10:1952	27.90	3.329	-0.401	0.160
30	20:05:1977	26.10	3.262	-0.467	0.218
31	06:05:1969	26.00	3.258	-0.471	0.222
32	07:06:1954	26.00	3.258	-0.471	0.222
33	14:09:1976	25.80	3.250	-0.479	0.229
34	05:05:1999	24.10	3.182	-0.547	0.299
35	20:07:2001	23.76	3.168	-0.561	0.315
36	28:06:1997	23.60	3.161	-0.568	0.323
37	13:10:1988	23.50	3.157	-0.572	0.327
38	08:10:1961	23.00	3.135	-0.594	0.352
39	21:05:1986	22.30	3.105	-0.625	0.390
40	10:05:1971	22.00	3.091	-0.638	0.407
41	23:05:1983	21.40	3.063	-0.666	0.443
42	06:08:1985	21.30	3.059	-0.670	0.450

43	01:06:1995	21.20	3.054	-0.675	0.456
44	18:06:1970	21.00	3.045	-0.685	0.469
45	30:05:1967	21.00	3.045	-0.685	0.469
46	16:06:1968	21.00	3.045	-0.685	0.469
47	29:06:1959	18.50	2.918	-0.811	0.658
48	28:05:1963	18.00	2.890	-0.839	0.704
49	27:06:1974	18.00	2.890	-0.839	0.704
50	23:10:1982	17.90	2.885	-0.844	0.713
51	26:09:1956	17.50	2.862	-0.867	0.752
52	10:07:1990	17.20	2.845	-0.884	0.782
53	15:05:1955	14.50	2.674	-1.055	1.113
54	15:06:1964	10.00	2.303	-1.427	2.035

– Station: Mauthen – Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse

Tabelle A6: Mauthen 1951 - 2002 - Beobachtungsreihe mit 2 Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	04:11:1966	530.00	6.273	1.647	2.714
2	02:09:1965	410.00	6.016	1.391	1.934
3	12:11:1951	325.00	5.784	1.158	1.342
4	14:09:1994	309.00	5.733	1.108	1.227
5	02:10:1993	286.00	5.656	1.030	1.062
6	07:10:1998	238.00	5.472	0.847	0.717
7	17:10:1980	235.00	5.460	0.834	0.696
8	15:10:1979	230.00	5.438	0.813	0.660
9	28:10:1953	230.00	5.438	0.813	0.660
10	26:11:2002	216.57	5.378	0.752	0.566
11	13:10:2000	201.23	5.304	0.679	0.461
12	12:06:1972	195.00	5.273	0.647	0.419
13	05:10:1992	183.00	5.209	0.584	0.341
14	20:09:1960	180.00	5.193	0.567	0.322
15	27:05:1981	151.00	5.017	0.392	0.153
16	22:05:1978	149.00	5.004	0.378	0.143
17	12:10:1987	137.00	4.920	0.294	0.087
18	16:10:1996	128.00	4.852	0.226	0.051
19	01:06:1962	125.00	4.828	0.203	0.041
20	21:09:1999	116.00	4.754	0.128	0.016
21	21:05:1984	108.00	4.682	0.057	0.003
22	08:10:1961	105.00	4.654	0.028	0.001
23	03:11:1968	105.00	4.654	0.028	0.001
24	08:09:1967	98.00	4.585	-0.041	0.002
25	13:10:1976	96.50	4.570	-0.056	0.003
26	26:10:1952	95.00	4.554	-0.072	0.005
27	05:04:1989	93.50	4.538	-0.088	0.008
28	28:10:1959	85.00	4.443	-0.183	0.033

**Thema: Untersuchung der Unsicherheit in Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnungen**

29	06:08:1985	80.20	4.385	-0.241	0.058
30	17:06:1991	75.30	4.321	-0.304	0.092
31	02:10:1958	74.00	4.304	-0.321	0.103
32	04:06:1954	72.00	4.277	-0.349	0.122
33	23:06:1973	71.00	4.263	-0.363	0.132
34	09:06:1956	70.00	4.248	-0.377	0.142
35	14:05:1977	68.60	4.228	-0.397	0.158
36	13:10:1988	67.00	4.205	-0.421	0.177
37	19:05:1975	66.00	4.190	-0.436	0.190
38	28:06:1997	65.50	4.182	-0.444	0.197
39	22:11:1990	61.90	4.126	-0.500	0.250
40	15:09:1955	60.00	4.094	-0.531	0.282
41	24:05:1983	57.80	4.057	-0.569	0.323
42	07:11:1963	57.00	4.043	-0.583	0.339
43	29:05:1986	50.00	3.912	-0.714	0.509
44	27:04:1970	49.00	3.892	-0.734	0.538
45	01:06:1995	48.20	3.875	-0.750	0.563
46	06:10:1982	48.20	3.875	-0.750	0.563
47	20:07:2001	44.91	3.805	-0.821	0.674
48	08:10:1964	43.00	3.761	-0.864	0.747
49	13:06:1957	42.00	3.738	-0.888	0.788
50	08:05:1969	41.00	3.714	-0.912	0.832
51	11:05:1971	40.00	3.689	-0.937	0.877
52	29:06:1974	39.00	3.664	-0.962	0.925

– Station: Mauthen – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle A7: Mauthen 1951 - 2002 - ohne Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	12:11:1951	325.00	5.784	1.219	1.486
2	14:09:1994	309.00	5.733	1.169	1.365
3	02:10:1993	286.00	5.656	1.091	1.191
4	07:10:1998	238.00	5.472	0.907	0.824
5	17:10:1980	235.00	5.460	0.895	0.801
6	15:10:1979	230.00	5.438	0.873	0.763
7	28:10:1953	230.00	5.438	0.873	0.763
8	26:11:2002	216.57	5.378	0.813	0.661
9	13:10:2000	201.23	5.304	0.740	0.547
10	12:06:1972	195.00	5.273	0.708	0.502
11	05:10:1992	183.00	5.209	0.645	0.416
12	20:09:1960	180.00	5.193	0.628	0.395
13	27:05:1981	151.00	5.017	0.452	0.205
14	22:05:1978	149.00	5.004	0.439	0.193
15	12:10:1987	137.00	4.920	0.355	0.126
16	16:10:1996	128.00	4.852	0.287	0.083
17	01:06:1962	125.00	4.828	0.264	0.069

18	21:09:1999	116.00	4.754	0.189	0.036
19	21:05:1984	108.00	4.682	0.117	0.014
20	08:10:1961	105.00	4.654	0.089	0.008
21	03:11:1968	105.00	4.654	0.089	0.008
22	08:09:1967	98.00	4.585	0.020	0.000
23	13:10:1976	96.50	4.570	0.005	0.000
24	26:10:1952	95.00	4.554	-0.011	0.000
25	05:04:1989	93.50	4.538	-0.027	0.001
26	28:10:1959	85.00	4.443	-0.122	0.015
27	06:08:1985	80.20	4.385	-0.180	0.032
28	17:06:1991	75.30	4.321	-0.243	0.059
29	02:10:1958	74.00	4.304	-0.261	0.068
30	04:06:1954	72.00	4.277	-0.288	0.083
31	23:06:1973	71.00	4.263	-0.302	0.091
32	09:06:1956	70.00	4.248	-0.316	0.100
33	14:05:1977	68.60	4.228	-0.337	0.113
34	13:10:1988	67.00	4.205	-0.360	0.130
35	19:05:1975	66.00	4.190	-0.375	0.141
36	28:06:1997	65.50	4.182	-0.383	0.146
37	22:11:1990	61.90	4.126	-0.439	0.193
38	15:09:1955	60.00	4.094	-0.470	0.221
39	24:05:1983	57.80	4.057	-0.508	0.258
40	07:11:1963	57.00	4.043	-0.522	0.272
41	29:05:1986	50.00	3.912	-0.653	0.426
42	27:04:1970	49.00	3.892	-0.673	0.453
43	01:06:1995	48.20	3.875	-0.689	0.475
44	06:10:1982	48.20	3.875	-0.689	0.475
45	20:07:2001	44.91	3.805	-0.760	0.578
46	08:10:1964	43.00	3.761	-0.804	0.646
47	13:06:1957	42.00	3.738	-0.827	0.684
48	08:05:1969	41.00	3.714	-0.851	0.725
49	11:05:1971	40.00	3.689	-0.876	0.767
50	29:06:1974	39.00	3.664	-0.901	0.812

– Station: Mauthen – Beobachtungsreihe mit ohne Großereignisse

Tabelle A8: Mauthen 1951 - 2002 - mit 1 Großereignis

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	02:09:1965	410.00	6.016	1.541	2.374
2	12:11:1951	325.00	5.784	1.309	1.712
3	14:09:1994	309.00	5.733	1.258	1.583
4	02:10:1993	286.00	5.656	1.181	1.394
5	07:10:1998	238.00	5.472	0.997	0.994
6	17:10:1980	235.00	5.460	0.984	0.969
7	15:10:1979	230.00	5.438	0.963	0.927
8	28:10:1953	230.00	5.438	0.963	0.927
9	26:11:2002	216.57	5.378	0.903	0.815
10	13:10:2000	201.23	5.304	0.829	0.688
11	12:06:1972	195.00	5.273	0.798	0.636
12	05:10:1992	183.00	5.209	0.734	0.539
13	20:09:1960	180.00	5.193	0.718	0.515
14	27:05:1981	151.00	5.017	0.542	0.294
15	22:05:1978	149.00	5.004	0.529	0.279
16	12:10:1987	137.00	4.920	0.445	0.198
17	16:10:1996	128.00	4.852	0.377	0.142
18	01:06:1962	125.00	4.828	0.353	0.125
19	21:09:1999	116.00	4.754	0.278	0.077
20	21:05:1984	108.00	4.682	0.207	0.043
21	08:10:1961	105.00	4.654	0.179	0.032
22	03:11:1968	105.00	4.654	0.179	0.032
23	08:09:1967	98.00	4.585	0.110	0.012
24	13:10:1976	96.50	4.570	0.094	0.009
25	26:10:1952	95.00	4.554	0.079	0.006
26	05:04:1989	93.50	4.538	0.063	0.004
27	28:10:1959	85.00	4.443	-0.033	0.001
28	06:08:1985	80.20	4.385	-0.091	0.008
29	17:06:1991	75.30	4.321	-0.154	0.024
30	02:10:1958	74.00	4.304	-0.171	0.029
31	04:06:1954	72.00	4.277	-0.199	0.039
32	23:06:1973	71.00	4.263	-0.213	0.045
33	09:06:1956	70.00	4.248	-0.227	0.051
34	14:05:1977	68.60	4.228	-0.247	0.061
35	13:10:1988	67.00	4.205	-0.271	0.073
36	19:05:1975	66.00	4.190	-0.286	0.082
37	28:06:1997	65.50	4.182	-0.293	0.086
38	22:11:1990	61.90	4.126	-0.350	0.122
39	15:09:1955	60.00	4.094	-0.381	0.145
40	24:05:1983	57.80	4.057	-0.418	0.175
41	07:11:1963	57.00	4.043	-0.432	0.187



42	29:05:1986	50.00	3.912	-0.563	0.317
43	27:04:1970	49.00	3.892	-0.583	0.340
44	01:06:1995	48.20	3.875	-0.600	0.360
45	06:10:1982	48.20	3.875	-0.600	0.360
46	20:07:2001	44.91	3.805	-0.671	0.450
47	08:10:1964	43.00	3.761	-0.714	0.510
48	13:06:1957	42.00	3.738	-0.738	0.544
49	08:05:1969	41.00	3.714	-0.762	0.580
50	11:05:1971	40.00	3.689	-0.786	0.618
51	29:06:1974	39.00	3.6636	-0.8117	0.659

– Station: Mauthen – Beobachtungsreihe ohne Großereignisse

Tabelle A9: Mauthen 1951 - 2004 mit 4 Großereignisse

n	Datum	HQ	lnHQ	lnHQ-x <sub>m</sub>	(lnHQ-x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1	06:26:2004	500.00	6.215	1.352	1.827
2	03:34:2003	458.00	6.127	1.264	1.598
3	04:11:1966	530.00	6.273	1.410	1.988
4	02:09:1965	410.00	6.016	1.153	1.330
5	12:11:1951	325.00	5.784	0.921	0.848
6	14:09:1994	309.00	5.733	0.870	0.758
7	02:10:1993	286.00	5.656	0.793	0.629
8	07:10:1998	238.00	5.472	0.609	0.371
9	17:10:1980	235.00	5.460	0.597	0.356
10	15:10:1979	230.00	5.438	0.575	0.331
11	28:10:1953	230.00	5.438	0.575	0.331
12	26:11:2002	216.57	5.378	0.515	0.265
13	13:10:2000	201.23	5.304	0.442	0.195
14	12:06:1972	195.00	5.273	0.410	0.168
15	05:10:1992	183.00	5.209	0.347	0.120
16	20:09:1960	180.00	5.193	0.330	0.109
17	27:05:1981	151.00	5.017	0.154	0.024
18	22:05:1978	149.00	5.004	0.141	0.020
19	12:10:1987	137.00	4.920	0.057	0.003
20	16:10:1996	128.00	4.852	-0.011	0.000
21	01:06:1962	125.00	4.828	-0.035	0.001
22	21:09:1999	116.00	4.754	-0.109	0.012
23	21:05:1984	108.00	4.682	-0.181	0.033
24	08:10:1961	105.00	4.654	-0.209	0.044
25	03:11:1968	105.00	4.654	-0.209	0.044
26	08:09:1967	98.00	4.585	-0.278	0.077
27	13:10:1976	96.50	4.570	-0.293	0.086
28	26:10:1952	95.00	4.554	-0.309	0.095
29	05:04:1989	93.50	4.538	-0.325	0.106
30	28:10:1959	85.00	4.443	-0.420	0.177
31	06:08:1985	80.20	4.385	-0.478	0.229

32	17:06:1991	75.30	4.321	-0.541	0.293
33	02:10:1958	74.00	4.304	-0.559	0.312
34	04:06:1954	72.00	4.277	-0.586	0.344
35	23:06:1973	71.00	4.263	-0.600	0.360
36	09:06:1956	70.00	4.248	-0.614	0.377
37	14:05:1977	68.60	4.228	-0.635	0.403
38	13:10:1988	67.00	4.205	-0.658	0.433
39	19:05:1975	66.00	4.190	-0.673	0.453
40	28:06:1997	65.50	4.182	-0.681	0.464
41	22:11:1990	61.90	4.126	-0.737	0.544
42	15:09:1955	60.00	4.094	-0.769	0.591
43	24:05:1983	57.80	4.057	-0.806	0.649
44	07:11:1963	57.00	4.043	-0.820	0.672
45	29:05:1986	50.00	3.912	-0.951	0.904
46	27:04:1970	49.00	3.892	-0.971	0.943
47	01:06:1995	48.20	3.875	-0.988	0.975
48	06:10:1982	48.20	3.875	-0.988	0.975
49	20:07:2001	44.91	3.805	-1.058	1.120
50	08:10:1964	43.00	3.761	-1.102	1.214
51	13:06:1957	42.00	3.738	-1.125	1.266
52	08:05:1969	41.00	3.714	-1.149	1.321
53	11:05:1971	40.00	3.689	-1.174	1.378
54	29:06:1974	39.00	3.664	-1.199	1.438

5. Kritische Werte  $w_{n,\alpha}$  für den Ausreißertest nach DVWK, 1999

**A2 Ausreißer**

In Stichproben von Jahreshöchstabflüssen vom Umfang  $n$  können mitunter der Maximalwert oder die  $m$  größten Werte auffällig größer sein als die übrigen Stichprobenelemente. Es kann sich hierbei um „Ausreißer“ handeln, welche in der Regel statistische Untersuchungen stark beeinflussen. Zu ihrer Erkennung existieren sogenannte Ausreißertests.

Bei einem einfach durchzuführenden Test für „Ausreißer nach oben“ wird ein kritischer Schwellenwert  $x_{krit}$  berechnet [Müller et al., 1973].

$$x_{krit} = \bar{x} + w_{n,\alpha} \cdot s$$

mit

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \ln \cdot HQ_i$$

$$s^2 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (\ln \cdot HQ_i - \bar{x})^2$$

$HQ_i$  = beobachtete Jahreshöchstabflüsse  $i = 1, 2, \dots, n$

$w_{n,\alpha}$  = Werte der folgenden Tafel für den Stichprobenumfang  $n$  und die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  (i.a.  $\alpha = 0,05$ )

Gilt für den Maximalwert  $HQ_{max}$

$$\ln HQ_{max} > x_{krit}$$

so ist dieser mit der Sicherheit  $1 - \alpha$  als Ausreißer anzusehen. Ein solcher Abflußwert ist gründlich zu überprüfen!

**Tabelle A2: Kritische Werte  $w_{n,\alpha}$  für den Ausreißertest**

Umfang n	Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$		
	0,01	0,05	0,10
10	2,540	2,294	2,146
15	2,800	2,494	2,327
20	2,959	2,623	2,447
25	3,071	2,718	2,537
30	3,156	2,792	2,609
35	3,224	2,853	2,668
40	3,281	2,904	2,718
50	3,370	2,987	2,800
60	3,440	3,052	2,865
80	3,543	3,152	2,965
100	3,618	3,226	3,039

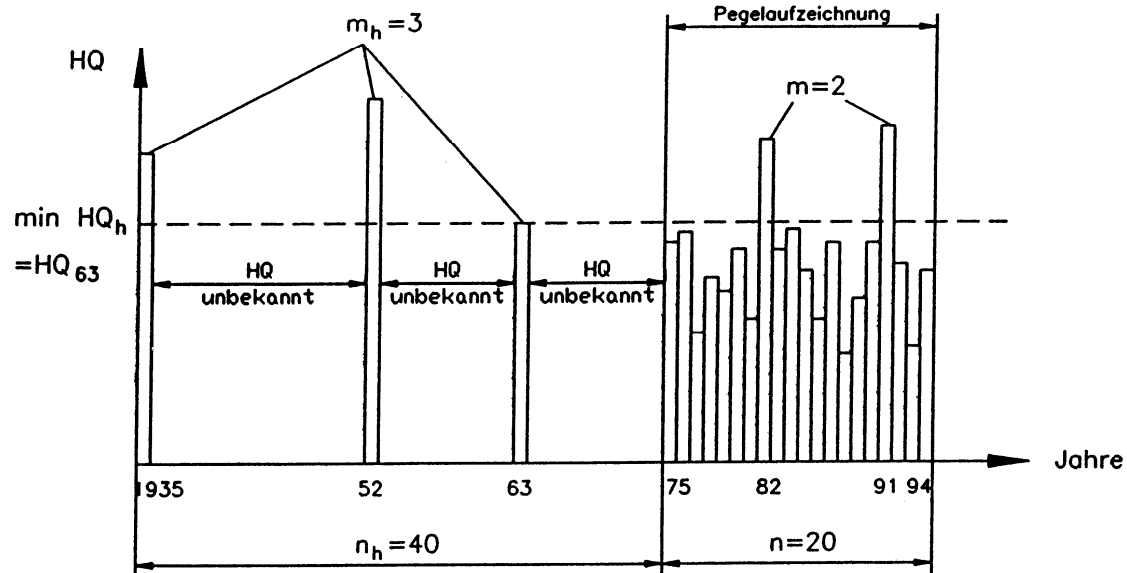
Führt die Überprüfung des Ausreißers zu einer Korrektur seines Wertes, ist die Wiederholung des Tests mit dem korrigierten Wert nur dann erforderlich, wenn dieser Ausreißer nicht mehr den Maximalwert darstellt. Die Prüfung bezieht sich dann auf den zweithöchsten Wert der ursprünglichen Stichprobe.

\* Nach DVWK, 1999, Seite 20

## **Anhang V**

1. Abbildung der Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse
2. Ermittlung der Jährlichkeit
3. Wasserstände der historischen Ereignisse

1. Abbildung der Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse



**Bild A3:** Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse  
 Abb. A.3: Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse (nach DVWK, 1999, S. 21)

## 2. Ermittlung der Jährlichkeit

## 2.1. Station Maria – Luggau – untere Grenze

Tabelle A.10: Ermittlung der Jährlichkeit für Maria – Luggau, untere Grenze

Datum	HQ	n
1851	215.00	152.00
1903	215.00	99.00
1965	210.00	53.00
1966	210.00	26.50
1951	113.00	17.67
1953	90.00	13.25
1998	75.60	10.60
1993	74.20	8.83
1972	69.00	7.57
1980	66.60	6.63
1992	64.30	5.89
1996	58.00	5.30
1979	56.60	4.82
1960	53.50	4.42
1978	51.50	4.08
2002	49.26	3.79
1987	47.80	3.53
1981	45.60	3.31
1984	44.50	3.12
1962	42.00	2.94
2000	41.50	2.79
1994	37.80	2.65
1991	37.30	2.52
1958	33.00	2.41
1973	30.00	2.30
1975	29.00	2.21
1989	28.30	2.12
1957	28.00	2.04
1952	27.90	1.96
1977	26.10	1.89
1954	26.00	1.83
1969	26.00	1.77
1976	25.80	1.71
1999	24.10	1.66
2001	23.76	1.61
1997	23.60	1.56
1988	23.50	1.51
1961	23.00	1.47
1986	22.30	1.43
1971	22.00	1.39

1983	21.40	1.36
1985	21.30	1.33
1995	21.20	1.29
1967	21.00	1.26
1968	21.00	1.23
1970	21.00	1.20
1959	18.50	1.18
1963	18.00	1.15
1974	18.00	1.13
1982	17.90	1.10
1956	17.50	1.08
1990	17.20	1.06
1955	14.50	1.04
1964	10.00	1.02

Tabelle A.11: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK – Maria – Luggau – untere Grenze

Datum	HQ	n
1851	215.00	155.00
1903	215.00	76.00
1965	210.00	51.00
1966	210.00	38.25
1951	113.00	30.60
1951	113.00	25.50
1951	113.00	21.86
1953	90.00	19.13
1953	90.00	17.00
1953	90.00	15.30
1998	75.60	13.91
1998	75.60	12.75
1998	75.60	11.77
1993	74.20	10.93
1993	74.20	10.20
1993	74.20	9.56
1972	69.00	9.00
1972	69.00	8.50
1972	69.00	8.05
1980	66.60	7.65
1980	66.60	7.29
1980	66.60	6.95
1992	64.30	6.65
1992	64.30	6.38
1992	64.30	6.12
1996	58.00	5.88
1996	58.00	5.67
1996	58.00	5.46
1979	56.60	5.28

1979	56.60	5.10
1979	56.60	4.94
1960	53.50	4.78
1960	53.50	4.64
1960	53.50	4.50
1978	51.50	4.37
1978	51.50	4.25
1978	51.50	4.14
2002	49.26	4.03
2002	49.26	3.92
2002	49.26	3.83
1987	47.80	3.73
1987	47.80	3.64
1987	47.80	3.56
1981	45.60	3.48
1981	45.60	3.40
1981	45.60	3.33
1984	44.50	3.26
1984	44.50	3.19
1984	44.50	3.12
1962	42.00	3.06
1962	42.00	3.00
1962	42.00	2.94
2000	41.50	2.89
2000	41.50	2.83
2000	41.50	2.78
1994	37.80	2.73
1994	37.80	2.68
1994	37.80	2.64
1991	37.30	2.59
1991	37.30	2.55
1991	37.30	2.51
1958	1959	2.47
1958	1959	2.43
1958	1959	2.39
1973	30.00	2.35
1973	30.00	2.32
1973	30.00	2.28
1975	29.00	2.25
1975	29.00	2.22
1975	29.00	2.19
1989	28.30	2.15
1989	28.30	2.13
1989	28.30	2.10
1957	28.00	2.07



1957	28.00	2.04
1957	28.00	2.01
1952	27.90	1.99
1952	27.90	1.96
1952	27.90	1.94
1977	26.10	1.91
1977	26.10	1.89
1977	26.10	1.87
1954	26.00	1.84
1954	26.00	1.82
1954	26.00	1.80
1969	26.00	1.78
1969	26.00	1.76
1969	26.00	1.74
1976	25.80	1.72
1976	25.80	1.70
1976	25.80	1.68
1999	24.10	1.66
1999	24.10	1.65
1999	24.10	1.63
2001	23.76	1.61
2001	23.76	1.59
2001	23.76	1.58
1997	23.60	1.56
1997	23.60	1.55
1997	23.60	1.53
1988	23.50	1.51
1988	23.50	1.50
1988	23.50	1.49
1961	23.00	1.47
1961	23.00	1.46
1961	23.00	1.44
1986	22.30	1.43
1986	22.30	1.42
1986	22.30	1.40
1971	22.00	1.39
1971	22.00	1.38
1971	22.00	1.37
1983	21.40	1.35
1983	21.40	1.34
1983	21.40	1.33
1985	21.30	1.32
1985	21.30	1.31
1985	21.30	1.30
1995	21.20	1.29

1995	21.20	1.28
1995	21.20	1.26
1967	21.00	1.25
1967	21.00	1.24
1967	21.00	1.23
1968	21.00	1.22
1968	21.00	1.21
1968	21.00	1.20
1970	21.00	1.20
1970	21.00	1.19
1970	21.00	1.18
1959	18.50	1.17
1959	18.50	1.16
1959	18.50	1.15
1963	18.00	1.14
1963	18.00	1.13
1963	18.00	1.13
1974	18.00	1.12
1974	18.00	1.11
1974	18.00	1.10
1982	17.90	1.09
1982	17.90	1.09
1982	17.90	1.08
1956	17.50	1.07
1956	17.50	1.06
1956	17.50	1.06
1990	17.20	1.05
1990	17.20	1.04
1990	17.20	1.03
1955	14.50	1.03
1955	14.50	1.02
1955	14.50	1.01
1964	10.00	1.01
1964	10.00	1.00
1964	10.00	0.99

## 2.2. Station Mauthen – untere Grenze

Tabelle A.12: Ermittlung der Jährlichkeit für Mauthen, untere Grenze

Datum	HQ	n
1851	535.00	152.00
1903	535.00	99.00
1966	530.00	53.00
1965	410.00	26.50
1951	325.00	17.67
1994	309.00	13.25
1993	286.00	10.60
1998	238.00	8.83
1980	235.00	7.57
1979	230.00	6.63
1953	230.00	5.89
2002	216.57	5.30
2000	201.23	4.82
1972	195.00	4.42
1992	183.00	4.08
1960	180.00	3.79
1981	151.00	3.53
1978	149.00	3.31
1987	137.00	3.12
1996	128.00	2.94
1962	125.00	2.79
1999	116.00	2.65
1984	108.00	2.52
1961	105.00	2.41
1968	105.00	2.30
1967	98.00	2.21
1976	96.50	2.12
1952	95.00	2.04
1989	93.50	1.96
1959	85.00	1.89
1985	80.20	1.83
1991	75.30	1.77
1958	74.00	1.71
1954	72.00	1.66
1973	71.00	1.61
1956	70.00	1.56
1977	68.60	1.51
1988	67.00	1.47
1975	66.00	1.43
1997	65.50	1.39
1990	61.90	1.36

1955	60.00	1.33
1983	57.80	1.29
1963	57.00	1.26
1986	50.00	1.23
1970	49.00	1.20
1995	48.20	1.18
1982	48.20	1.15
2001	44.91	1.13
1964	43.00	1.10
1957	42.00	1.08
1969	41.00	1.06
1971	40.00	1.04
1974	39.00	1.02

Tabelle A.13: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Mauthen – untere grenze

Datum	HQ	n
1851	215.00	155.00
1903	215.00	76.00
1965	530.00	51.00
1966	410.00	38.25
1951	325.00	30.60
1951	325.00	25.50
1951	325.00	21.86
1994	309.00	19.13
1994	309.00	17.00
1994	309.00	15.30
1993	286.00	13.91
1993	286.00	12.75
1993	286.00	11.77
1998	238.00	10.93
1998	238.00	10.20
1998	238.00	9.56
1980	235.00	9.00
1980	235.00	8.50
1980	235.00	8.05
1979	230.00	7.65
1979	230.00	7.29
1979	230.00	6.95
1953	230.00	6.65
1953	230.00	6.38
1953	230.00	6.12
2002	216.57	5.88
2002	216.57	5.67
2002	216.57	5.46
2000	201.23	5.28
2000	201.23	5.10

2000	201.23	4.94
1972	195.00	4.78
1972	195.00	4.64
1972	195.00	4.50
1992	183.00	4.37
1992	183.00	4.25
1992	183.00	4.14
1960	180.00	4.03
1960	180.00	3.92
1960	180.00	3.83
1981	151.00	3.73
1981	151.00	3.64
1981	151.00	3.56
1978	149.00	3.48
1978	149.00	3.40
1978	149.00	3.33
1987	137.00	3.26
1987	137.00	3.19
1987	137.00	3.12
1996	128.00	3.06
1996	128.00	3.00
1996	128.00	2.94
1962	125.00	2.89
1962	125.00	2.83
1962	125.00	2.78
1999	116.00	2.73
1999	116.00	2.68
1999	116.00	2.64
1984	108.00	2.59
1984	108.00	2.55
1984	108.00	2.51
1958	1959	2.47
1958	1959	2.43
1958	1959	2.39
1968	105.00	2.35
1968	105.00	2.32
1968	105.00	2.28
1967	98.00	2.25
1967	98.00	2.22
1967	98.00	2.19
1976	96.50	2.15
1976	96.50	2.13
1976	96.50	2.10
1952	95.00	2.07
1952	95.00	2.04

1952	95.00	2.01
1989	93.50	1.99
1989	93.50	1.96
1989	93.50	1.94
1959	85.00	1.91
1959	85.00	1.89
1959	85.00	1.87
1985	80.20	1.84
1985	80.20	1.82
1985	80.20	1.80
1991	75.30	1.78
1991	75.30	1.76
1991	75.30	1.74
1958	74.00	1.72
1958	74.00	1.70
1958	74.00	1.68
1954	72.00	1.66
1954	72.00	1.65
1954	72.00	1.63
1973	71.00	1.61
1973	71.00	1.59
1973	71.00	1.58
1956	70.00	1.56
1956	70.00	1.55
1956	70.00	1.53
1977	68.60	1.51
1977	68.60	1.50
1977	68.60	1.49
1988	67.00	1.47
1988	67.00	1.46
1988	67.00	1.44
1975	66.00	1.43
1975	66.00	1.42
1975	66.00	1.40
1997	65.50	1.39
1997	65.50	1.38
1997	65.50	1.37
1990	61.90	1.35
1990	61.90	1.34
1990	61.90	1.33
1955	60.00	1.32
1955	60.00	1.31
1955	60.00	1.30
1983	57.80	1.29
1983	57.80	1.28

1983	57.80	1.26
1963	57.00	1.25
1963	57.00	1.24
1963	57.00	1.23
1986	50.00	1.22
1986	50.00	1.21
1986	50.00	1.20
1970	49.00	1.20
1970	49.00	1.19
1970	49.00	1.18
1995	48.20	1.17
1995	48.20	1.16
1995	48.20	1.15
1982	48.20	1.14
1982	48.20	1.13
1982	48.20	1.13
2001	44.91	1.12
2001	44.91	1.11
2001	44.91	1.10
1964	43.00	1.09
1964	43.00	1.09
1964	43.00	1.08
1957	42.00	1.07
1957	42.00	1.06
1957	42.00	1.06
1969	41.00	1.05
1969	41.00	1.04
1969	41.00	1.03
1971	40.00	1.03
1971	40.00	1.02
1971	40.00	1.01
1974	39.00	1.01
1974	39.00	1.00
1974	39.00	0.99

## 2.3. Station Maria – Luggau – obere Grenze

Tabelle A.14: Ermittlung der Jährlichkeit für Maria – Luggau – obere Grenze

Datum	HQ	n
1851	300.00	152.00
1903	300.00	99.00
1965	210.00	53.00
1966	210.00	26.50
1951	113.00	17.67
1953	90.00	13.25
1998	75.60	10.60
1993	74.20	8.83
1972	69.00	7.57
1980	66.60	6.63
1992	64.30	5.89
1996	58.00	5.30
1979	56.60	4.82
1960	53.50	4.42
1978	51.50	4.08
2002	49.26	3.79
1987	47.80	3.53
1981	45.60	3.31
1984	44.50	3.12
1962	42.00	2.94
2000	41.50	2.79
1994	37.80	2.65
1991	37.30	2.52
1958	33.00	2.41
1973	30.00	2.30
1975	29.00	2.21
1989	28.30	2.12
1957	28.00	2.04
1952	27.90	1.96
1977	26.10	1.89
1954	26.00	1.83
1969	26.00	1.77
1976	25.80	1.71
1999	24.10	1.66
2001	23.76	1.61
1997	23.60	1.56
1988	23.50	1.51
1961	23.00	1.47
1986	22.30	1.43
1971	22.00	1.39
1983	21.40	1.36



1985	21.30	1.33
1995	21.20	1.29
1967	21.00	1.26
1968	21.00	1.23
1970	21.00	1.20
1959	18.50	1.18
1963	18.00	1.15
1974	18.00	1.13
1982	17.90	1.10
1956	17.50	1.08
1990	17.20	1.06
1955	14.50	1.04
1964	10.00	1.02

Tabelle A.15: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Maria – Luggau – obere Grenze

Datum	HQ	n
1851	300.00	155.00
1903	300.00	76.00
1965	210.00	51.00
1966	210.00	38.25
1951	113.00	30.60
1951	113.00	25.50
1951	113.00	21.86
1953	90.00	19.13
1953	90.00	17.00
1953	90.00	15.30
1998	75.60	13.91
1998	75.60	12.75
1998	75.60	11.77
1993	74.20	10.93
1993	74.20	10.20
1993	74.20	9.56
1972	69.00	9.00
1972	69.00	8.50
1972	69.00	8.05
1980	66.60	7.65
1980	66.60	7.29
1980	66.60	6.95
1992	64.30	6.65
1992	64.30	6.38
1992	64.30	6.12
1996	58.00	5.88
1996	58.00	5.67
1996	58.00	5.46
1979	56.60	5.28

1979	56.60	5.10
1979	56.60	4.94
1960	53.50	4.78
1960	53.50	4.64
1960	53.50	4.50
1978	51.50	4.37
1978	51.50	4.25
1978	51.50	4.14
2002	49.26	4.03
2002	49.26	3.92
2002	49.26	3.83
1987	47.80	3.73
1987	47.80	3.64
1987	47.80	3.56
1981	45.60	3.48
1981	45.60	3.40
1981	45.60	3.33
1984	44.50	3.26
1984	44.50	3.19
1984	44.50	3.12
1962	42.00	3.06
1962	42.00	3.00
1962	42.00	2.94
2000	41.50	2.89
2000	41.50	2.83
2000	41.50	2.78
1994	37.80	2.73
1994	37.80	2.68
1994	37.80	2.64
1991	37.30	2.59
1991	37.30	2.55
1991	37.30	2.51
1958	1959	2.47
1958	1959	2.43
1958	1959	2.39
1973	30.00	2.35
1973	30.00	2.32
1973	30.00	2.28
1975	29.00	2.25
1975	29.00	2.22
1975	29.00	2.19
1989	28.30	2.15
1989	28.30	2.13
1989	28.30	2.10
1957	28.00	2.07

1957	28.00	2.04
1957	28.00	2.01
1952	27.90	1.99
1952	27.90	1.96
1952	27.90	1.94
1977	26.10	1.91
1977	26.10	1.89
1977	26.10	1.87
1954	26.00	1.84
1954	26.00	1.82
1954	26.00	1.80
1969	26.00	1.78
1969	26.00	1.76
1969	26.00	1.74
1976	25.80	1.72
1976	25.80	1.70
1976	25.80	1.68
1999	24.10	1.66
1999	24.10	1.65
1999	24.10	1.63
2001	23.76	1.61
2001	23.76	1.59
2001	23.76	1.58
1997	23.60	1.56
1997	23.60	1.55
1997	23.60	1.53
1988	23.50	1.51
1988	23.50	1.50
1988	23.50	1.49
1961	23.00	1.47
1961	23.00	1.46
1961	23.00	1.44
1986	22.30	1.43
1986	22.30	1.42
1986	22.30	1.40
1971	22.00	1.39
1971	22.00	1.38
1971	22.00	1.37
1983	21.40	1.35
1983	21.40	1.34
1983	21.40	1.33
1985	21.30	1.32
1985	21.30	1.31
1985	21.30	1.30
1995	21.20	1.29

1995	21.20	1.28
1995	21.20	1.26
1967	21	1.25
1967	21	1.24
1967	21	1.23
1968	21.00	1.22
1968	21.00	1.21
1968	21.00	1.20
1970	21.00	1.20
1970	21.00	1.19
1970	21.00	1.18
1959	18.50	1.17
1959	18.50	1.16
1959	18.50	1.15
1963	18.00	1.14
1963	18.00	1.13
1963	18.00	1.13
1974	18.00	1.12
1974	18.00	1.11
1974	18.00	1.10
1982	17.90	1.09
1982	17.90	1.09
1982	17.90	1.08
1956	17.50	1.07
1956	17.50	1.06
1956	17.50	1.06
1990	17.20	1.05
1990	17.20	1.04
1990	17.20	1.03
1955	14.50	1.03
1955	14.50	1.02
1955	14.50	1.01
1964	10.00	1.01
1964	10.00	1.00
1964	10.00	0.99

## 2.4. Station Mauthen– obere Grenze

Tabelle A.16: Ermittlung der Jährlichkeit für Mauthen – obere Grenze

Datum	HQ	n
1851	750.00	152.00
1903	750.00	99.00
1966	530.00	53.00
1965	410.00	26.50
1951	325.00	17.67
1994	309.00	13.25
1993	286.00	10.60
1998	238.00	8.83
1980	235.00	7.57
1979	230.00	6.63
1953	230.00	5.89
2002	216.57	5.30
2000	201.23	4.82
1972	195.00	4.42
1992	183.00	4.08
1960	180.00	3.79
1981	151.00	3.53
1978	149.00	3.31
1987	137.00	3.12
1996	128.00	2.94
1962	125.00	2.79
1999	116.00	2.65
1984	108.00	2.52
1961	105.00	2.41
1968	105.00	2.30
1967	98.00	2.21
1976	96.50	2.12
1952	95.00	2.04
1989	93.50	1.96
1959	85.00	1.89
1985	80.20	1.83
1991	75.30	1.77
1958	74.00	1.71
1954	72.00	1.66
1973	71.00	1.61
1956	70.00	1.56
1977	68.60	1.51
1988	67.00	1.47
1975	66.00	1.43
1997	65.50	1.39
1990	61.90	1.36

1955	60.00	1.33
1983	57.80	1.29
1963	57.00	1.26
1986	50.00	1.23
1970	49.00	1.20
1995	48.20	1.18
1982	48.20	1.15
2001	44.91	1.13
1964	43.00	1.10
1957	42.00	1.08
1969	41.00	1.06
1971	40.00	1.04
1974	39.00	1.02

Tabelle A.17: Ermittlung der Jährlichkeit nach DVWK für Mauthen – obere Grenze

Datum	HQ	n
1851	215.00	155.00
1903	215.00	76.00
1965	530.00	51.00
1966	410.00	38.25
1951	325.00	30.60
1951	325.00	25.50
1951	325.00	21.86
1994	309.00	19.13
1994	309.00	17.00
1994	309.00	15.30
1993	286.00	13.91
1993	286.00	12.75
1993	286.00	11.77
1998	238.00	10.93
1998	238.00	10.20
1998	238.00	9.56
1980	235.00	9.00
1980	235.00	8.50
1980	235.00	8.05
1979	230.00	7.65
1979	230.00	7.29
1979	230.00	6.95
1953	230.00	6.65
1953	230.00	6.38
1953	230.00	6.12
2002	216.57	5.88
2002	216.57	5.67
2002	216.57	5.46
2000	201.23	5.28

2000	201.23	5.10
2000	201.23	4.94
1972	195.00	4.78
1972	195.00	4.64
1972	195.00	4.50
1992	183.00	4.37
1992	183.00	4.25
1992	183.00	4.14
1960	180.00	4.03
1960	180.00	3.92
1960	180.00	3.83
1981	151.00	3.73
1981	151.00	3.64
1981	151.00	3.56
1978	149.00	3.48
1978	149.00	3.40
1978	149.00	3.33
1987	137.00	3.26
1987	137.00	3.19
1987	137.00	3.12
1996	128.00	3.06
1996	128.00	3.00
1996	128.00	2.94
1962	125.00	2.89
1962	125.00	2.83
1962	125.00	2.78
1999	116.00	2.73
1999	116.00	2.68
1999	116.00	2.64
1984	108.00	2.59
1984	108.00	2.55
1984	108.00	2.51
1958	1959	2.47
1958	1959	2.43
1958	1959	2.39
1968	105.00	2.35
1968	105.00	2.32
1968	105.00	2.28
1967	98.00	2.25
1967	98.00	2.22
1967	98.00	2.19
1976	96.50	2.15
1976	96.50	2.13
1976	96.50	2.10
1952	95.00	2.07

1952	95.00	2.04
1952	95.00	2.01
1989	93.50	1.99
1989	93.50	1.96
1989	93.50	1.94
1959	85.00	1.91
1959	85.00	1.89
1959	85.00	1.87
1985	80.20	1.84
1985	80.20	1.82
1985	80.20	1.80
1991	75.30	1.78
1991	75.30	1.76
1991	75.30	1.74
1958	74.00	1.72
1958	74.00	1.70
1958	74.00	1.68
1954	72.00	1.66
1954	72.00	1.65
1954	72.00	1.63
1973	71.00	1.61
1973	71.00	1.59
1973	71.00	1.58
1956	70.00	1.56
1956	70.00	1.55
1956	70.00	1.53
1977	68.60	1.51
1977	68.60	1.50
1977	68.60	1.49
1988	67.00	1.47
1988	67.00	1.46
1988	67.00	1.44
1975	66.00	1.43
1975	66.00	1.42
1975	66.00	1.40
1997	65.50	1.39
1997	65.50	1.38
1997	65.50	1.37
1990	61.90	1.35
1990	61.90	1.34
1990	61.90	1.33
1955	60.00	1.32
1955	60.00	1.31
1955	60.00	1.30
1983	57.80	1.29



1983	57.80	1.28
1983	57.80	1.26
1963	57.00	1.25
1963	57.00	1.24
1963	57.00	1.23
1986	50.00	1.22
1986	50.00	1.21
1986	50.00	1.20
1970	49.00	1.20
1970	49.00	1.19
1970	49.00	1.18
1995	48.20	1.17
1995	48.20	1.16
1995	48.20	1.15
1982	48.20	1.14
1982	48.20	1.13
1982	48.20	1.13
2001	44.91	1.12
2001	44.91	1.11
2001	44.91	1.10
1964	43.00	1.09
1964	43.00	1.09
1964	43.00	1.08
1957	42.00	1.07
1957	42.00	1.06
1957	42.00	1.06
1969	41.00	1.05
1969	41.00	1.04
1969	41.00	1.03
1971	40.00	1.03
1971	40.00	1.02
1971	40.00	1.01
1974	39.00	1.01
1974	39.00	1.00
1974	39.00	0.99

### 3. Wasserstände der historischen Ereignisse

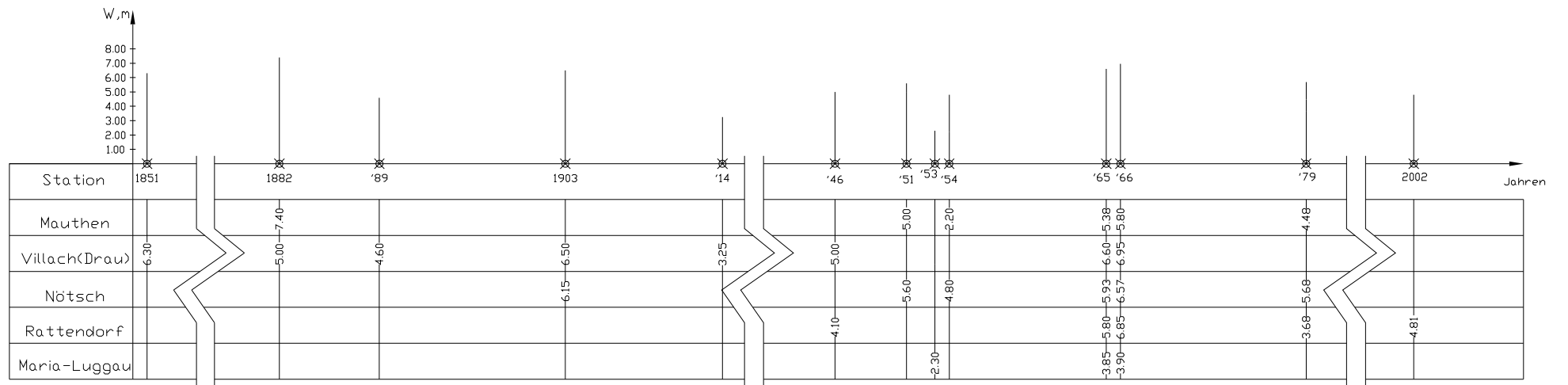


Abb.A.4: Wasserstände den historischen Ereignissen