



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Umwelt BAFU**

# HOCHWASSERSTATISTIK

## STATIONSBERICHT

# Emme - Eggiwil, Heidbüel

weitere Erläuterungen: [Leitfaden](#)  
Kontakt: [hydrologie@bafu.admin.ch](mailto:hydrologie@bafu.admin.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Resultate der parametrischen Verfahren</b>	<b>5</b>
2.1	Block Maximum Ansatz (BLOCK) . . . . .	6
2.1.1	Gesamte Auswertungsperiode: 1975-2015 . . . . .	6
2.1.1.a	Stationäre Modellvariante . . . . .	6
2.1.1.b	Nicht stationäre Modellvariante . . . . .	8
2.2	Peaks Over Threshold Ansatz (POT) . . . . .	9
2.2.1	Auswertungsperiode POT: 1975-2015 . . . . .	10
2.2.1.a	Stationäre Modellvariante . . . . .	10
2.2.1.b	Nicht stationäre Modellvariante . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Vergleich der verschiedenen Resultate</b>	<b>14</b>
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden . . . . .	14
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Literatur</b>	<b>16</b>
<b>Anhang</b>		<b>17</b>
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten . . . . .	17
B	Glossar . . . . .	18

# 1 Datengrundlage

Es stehen die folgenden Abflussdaten für die extremwertstatistischen Auswertungen zur Verfügung:

<b>Vorhandene Daten</b>	<b>seit</b>	<b>bis</b>
Digitale Monatsmaxima	01.01.1975	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1975	31.12.2015

Ein Limnigraph wurde am 25. September 1974 in Betrieb genommen. Damit liegen die Daten vollständig ab 1.1.1975 vor. Die Daten der Vorgängerstation Emme - Eggiwil, Bächlern (01.01.1931 - 31.12.1974) werden für die vorliegenden Auswertungen nicht berücksichtigt, da das Einzugsgebiet dieser Messstation deutlich kleiner war (102 km<sup>2</sup> anstelle der aktuellen 124 km<sup>2</sup>).

Für die Auswertungen werden entweder die mit Limnigraph erfassten vollständigen Jahre der Monatsmaxima oder die digitalen Tagesmaxima verwendet (siehe Kapitel 2).

Der grösste Abfluss wurde wie folgt beobachtet:

<b>Grösste Abflussspitze</b>	<b>Datum</b>	<b>Abfluss</b>
Grösstes Monatsmaximum	24.07.2014	338 m <sup>3</sup> /s
Grösstes Tagesmaximum	24.07.2014	338 m <sup>3</sup> /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

<b>Abflussverlauf</b>	<b>Beschreibung</b>
Abflussregime	Nivo-pluvial préalpin: im Sommer im Allgemeinen etwas höhere Abflüsse als im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Monats- und Tagesmaxima schwach zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)
Beeinflussung	Keine Beeinflussung von Bedeutung bekannt

Die Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 60 und 130 m<sup>3</sup>/s. Deutlich grösser sind die Hochwasserspitzen aus den Jahren 1997 (245 m<sup>3</sup>/s) und 2014 (338 m<sup>3</sup>/s). Auffallend ist die zunehmende Tendenz bei den Jahresmaxima (Abbildung 1). Auch die Zeitreihen der Monats- und der Tagesmaxima (Abbildung 2 und Abbildung 4) deuten darauf hin, dass die grössten Werte im Verlauf der Zeit zugenommen haben. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen signifikanten Bruchpunkt ab 1997 (Konfidenzintervall 1987-1998). Im Einzugsgebiet sind keine bedeutenden anthropogenen Eingriffe bekannt. Der Bruchpunkt kann daher nicht auf eine Veränderung der Beeinflussung zurückgeführt werden. Aus diesem Grund wird keine Auswertungsperiode ab Bruchpunkt berücksichtigt.

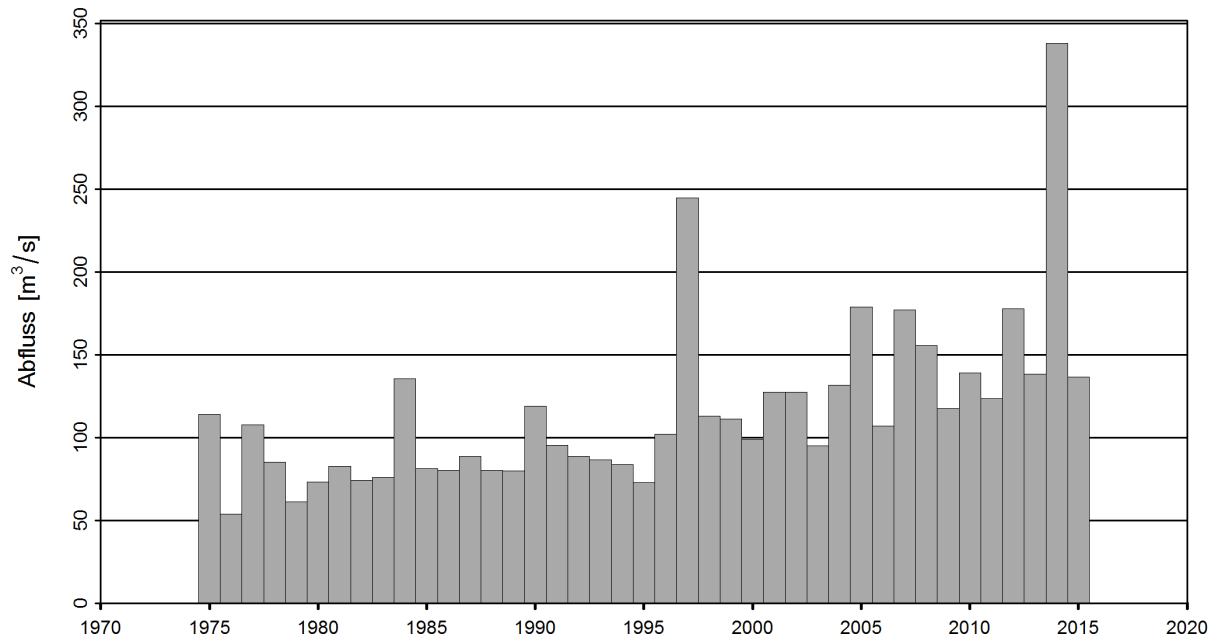


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m<sup>3</sup>/s] (1975 - 2015, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Limmigrapheninstallation)

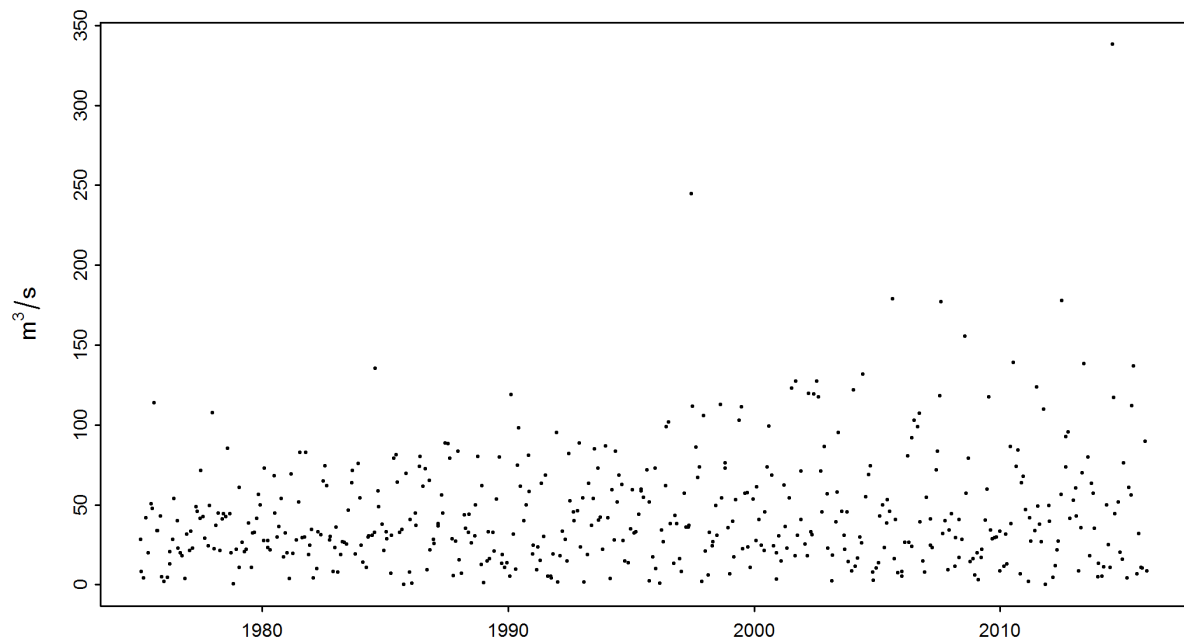


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m<sup>3</sup>/s] (01.01.1975 - 31.12.2015)

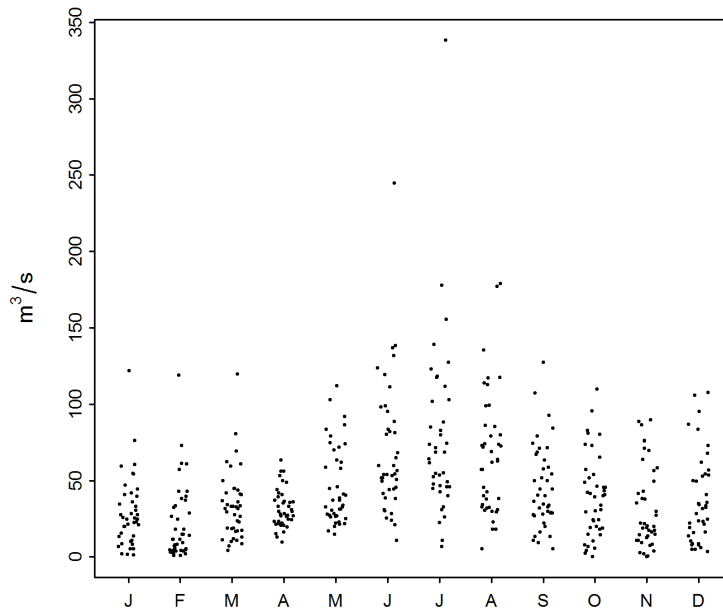


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1975 - 31.12.2015)

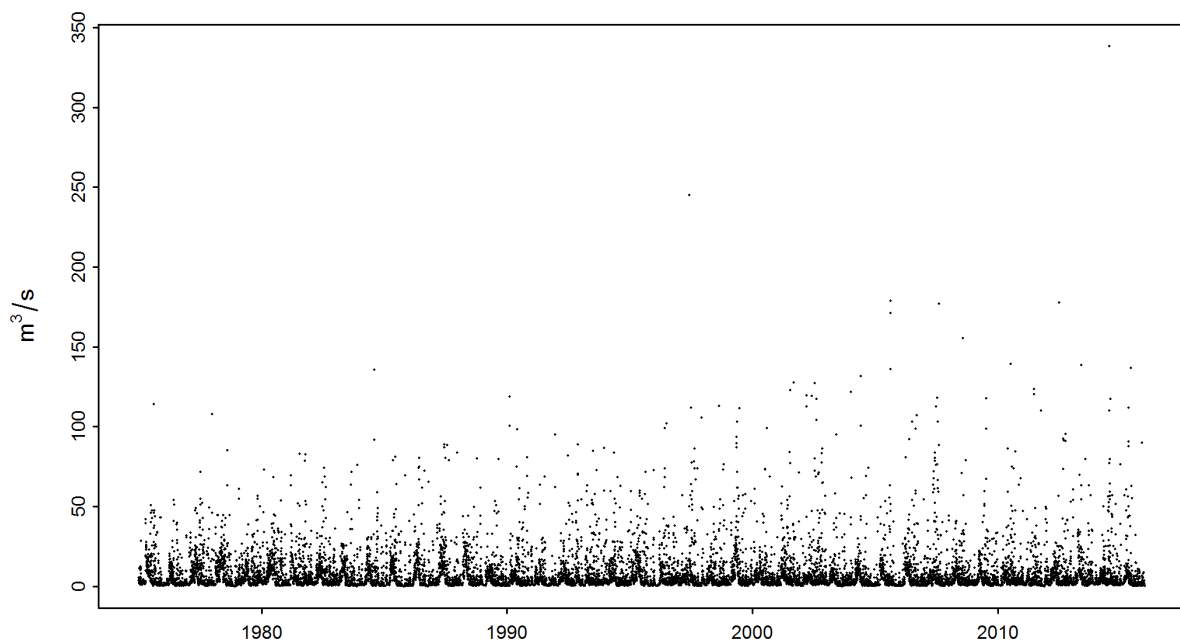


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1975 - 31.12.2015)

### Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
keine Veränderungen bekannt	Monatsmaxima werden grösser	Vermutlich nicht stationär

### Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1996 / 1997	ja	Keine Unterteilung der Auswertungsperiode, da nicht aus Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet begründbar. Verwendung 1997 als $t_0$ (siehe Kapitel 2).

## 2 Resultate der parametrischen Verfahren

Mit Hilfe von zwei parametrischen Verfahren (BLOCK- und POT-Ansatz) werden Hochwasserwahrscheinlichkeiten  $HQ_T$  abgeschätzt. Die beiden Ansätze unterscheiden sich in der Methode wie Extremwerte identifiziert werden. Sie basieren auf folgenden Modelleingangsdaten und Parametern:

Parametrisches Verfahren	Parameter	Modelleingangsdaten
Block Maximum (BLOCK)	$\mu$ Lageparameter	Jahresmaxima
	$\sigma$ Skalenparameter	
	$\kappa$ Formparameter	
Peaks Over Threshold (POT)	$\lambda$ Ereignisrate	Tagesmaxima
	$\sigma$ Skalenparameter <sup>1</sup>	
	$\kappa$ Formparameter	

Für beide parametrischen Ansätze wird jeweils der stationäre Fall berechnet. Das heisst es wird angenommen, dass alle Parameter der Verteilungsfunktion über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind. Wenn die Stationsgeschichte jedoch eine zeitliche Veränderung vermuten lässt, können die Parameter der entsprechenden Verteilungsfunktion zeitlich abhängig modelliert werden. Folgende, in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführten Modellvarianten werden verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes.  $\mu$  Lageparameter (mu),  $\sigma$  Skalenparameter (sigma),  $\kappa$  Formparameter (kappa)

Modellvarianten BLOCK			
Name	Beschreibung	Parameter (t: Jahr)	Anzahl Parameter
stat	Stationäre Variante	$\mu, \sigma, \kappa$	3
mul	Linearer Trend von $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$	4
muq	Quadratischer Trend von $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$	5
sigl	Linearer Trend von $\sigma$	$\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	4
musigl	Linearer Trend von $\mu$ und $\sigma$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	5
mujump	Nicht-kontinuierliche Veränderung von $\mu$ zum Zeitpunkt $t_0$	$\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa,$ $i = 0$ für $t < t_0, i = 1$ für $t \geq t_0$	4

Tabelle 2: Verwendete Modellvarianten des POT-Ansatzes.  $\sigma$  Lageparameter (sigma),  $\kappa$  Formparameter (kappa)

Modellvarianten POT			
Name	Beschreibung	Parameter (t: Jahr)	Anzahl Parameter
stat	Stationäre Variante	$\sigma, \kappa$	2
sigl	Linearer Trend von $\sigma$	$\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	3
sigjump	Nicht-kontinuierliche Veränderung von $\sigma$ zum Zeitpunkt $t_0$	$\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$ $i = 0$ für $t < t_0, i = 1$ für $t \geq t_0$	3

Die Güte der Modellvarianten wird jeweils grafisch mit Hilfe eines Probability und eines Quantile Plots beurteilt (siehe z.B. Abbildung 5 oben und [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3). Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonale liegen, desto eher kann davon ausgegangen werden, dass die Modellannahmen korrekt sind. Anhand eines Ablaufschemas wird schliesslich entschieden, welches nicht stationäre Modell allenfalls weiterverwendet wird (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#) Kapitel 2.1.3). Im Folgenden sind jeweils die Verfahren mit den besten Resultaten aufgeführt.

<sup>1</sup>Der Skalenparameter  $\sigma$  des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem  $\sigma$  des BLOCK-Ansatzes.

## 2.1 Block Maximum Ansatz (BLOCK)

Der Block Maximum Ansatz (BLOCK) definiert den höchsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert.

Folgende Varianten des BLOCK-Ansatzes werden in diesem Bericht beschrieben:

<b>Auswertungs- periode</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>ausgewählte Modellvariante</b>	<b>Kapitel</b>
1975 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat muq	Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b

### 2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1975-2015

#### 2.1.1.a Stationäre Modellvariante

<b>Verfahren</b>	<b>Modellvariante</b>	<b>Auswertungsperiode</b>	<b>Modelleingangsdaten</b>	<b>Bemerkung</b>
BLOCK	stat	1975-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

<b>Anzahl Werte n</b>	<b>Lageparameter <math>\hat{\mu}</math></b>	<b>Skalenparameter <math>\hat{\sigma}</math></b>	<b>Formparameter <math>\hat{\kappa}</math></b>
41	92.79	27.94	0.2079

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 5 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

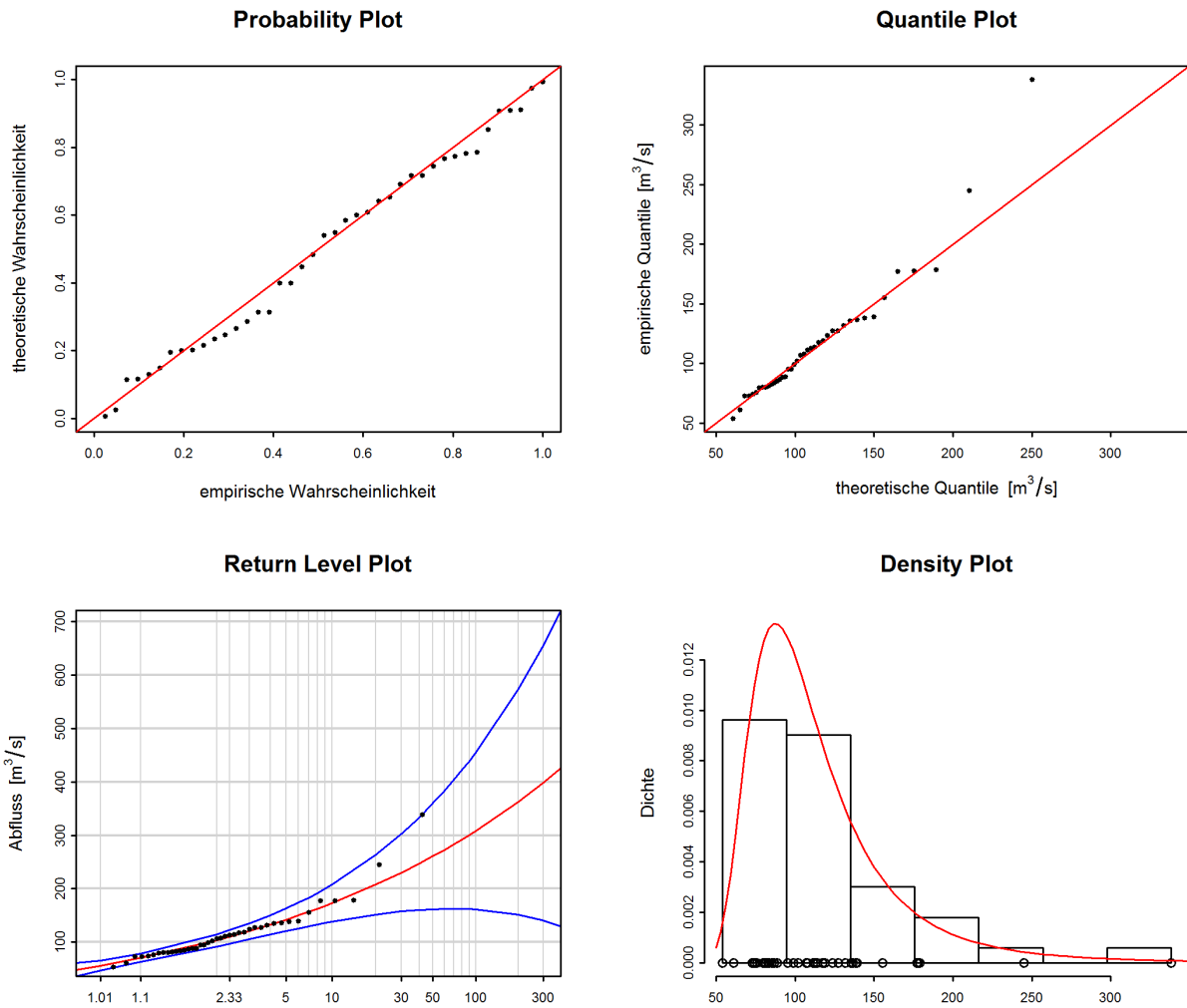


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1975-2015)

**Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):**

Kriterien	Bewertung <sup>2</sup>	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut-mittel	wenige Werte über- oder unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	schlecht	höchster Wert stark unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für grosse Wiederkehrperioden sehr gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1975-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ <sub>T</sub>	untere Konfidenzgrenze [ $m^3/s$ ]	Abfluss [ $m^3/s$ ]	obere Konfidenzgrenze [ $m^3/s$ ]
HQ <sub>2</sub>	92	103	115
HQ <sub>10</sub>	138	173	208
HQ <sub>30</sub>	158	230	302
HQ <sub>100</sub>	161	308	455
HQ <sub>300</sub>	140	398	656

<sup>2</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3



### 2.1.1.b Nicht stationäre Modellvariante

Der Vergleich der verschiedenen Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode zeigt, dass sich die Modelle „mul“, „muq“, „musigl“ und „mujump“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheiden.<sup>3</sup>Aufgrund des im Ablaufschema beschriebenen Vergleichsansatzes verschiedener nicht stationärer Modellvarianten kommt „muq“ als bestes nicht stationäres Modell in Frage. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind nur geringfügig. Daher werden im Folgenden die Resultate von „muq“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	muq	1975-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}^4$			Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
	$a_1$	$a_2$	$a_3$		
41	69.15	0.36	0.04	16.33	0.3626

Die Güte der Modellvariante „muq“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 6 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

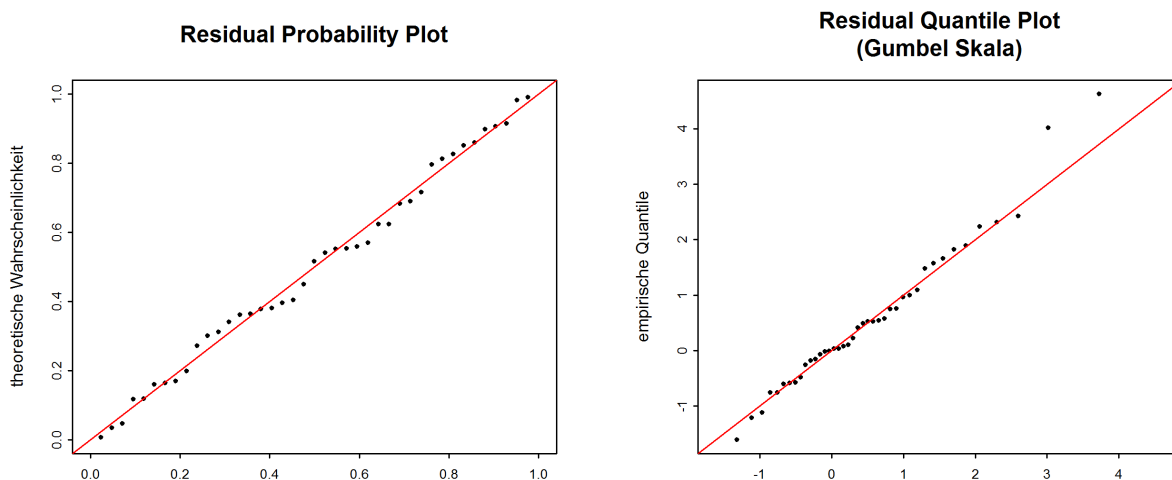


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „muq“ des BLOCK-Ansatzes (1975-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

Kriterien	Bewertung <sup>5</sup>	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	schlecht	höchsten zwei Werte werden stark unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	etwas besser	bis auf den höchsten Wert leichte Verbesserung

<sup>3</sup>Als Zeitpunkt  $t_0$  für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1997 gewählt (siehe Kapitel 1).

<sup>4</sup> $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot t + a_3 \cdot t^2$  (s. Tabelle 1)

<sup>5</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „muq“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1975-2015 (inkl. 95%-Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ <sub>T</sub>	untere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	obere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	139	152	164
HQ <sub>10</sub>	170	202	234
HQ <sub>30</sub>	181	254	327
HQ <sub>100</sub>	169	339	509
HQ <sub>300</sub>	116	456	796

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „muq“ berechneten HQ<sub>100</sub> zwischen 1975 und 2015 dargestellt.

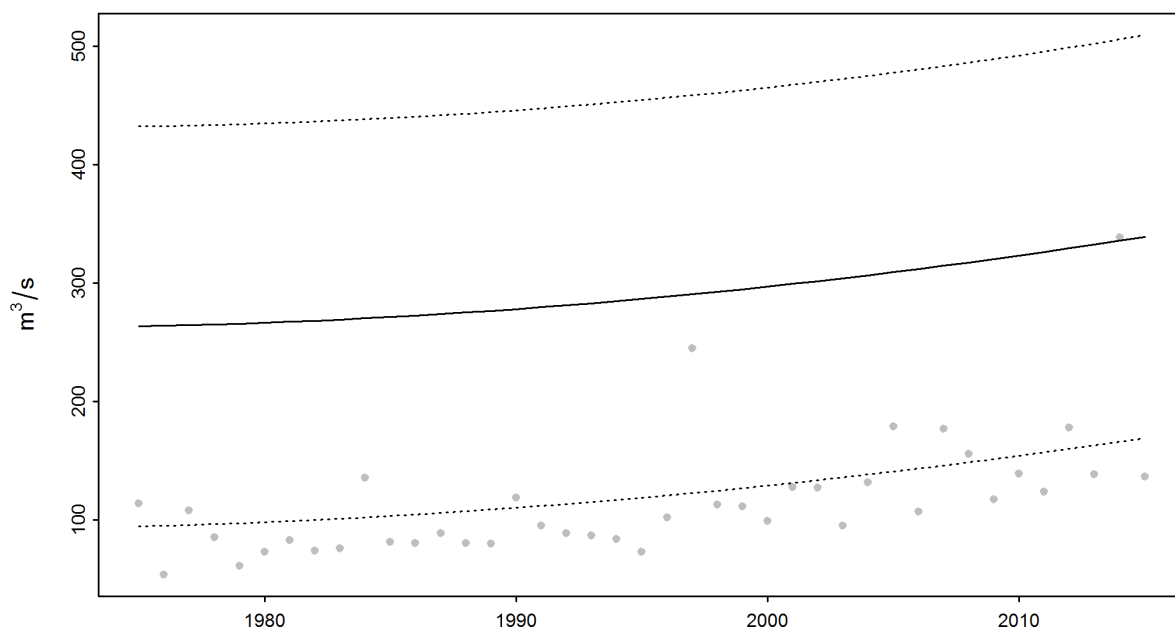


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „muq“ berechneten HQ<sub>100</sub> (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1975-2015

## 2.2 Peaks Over Threshold Ansatz (POT)

Beim Peaks Over Threshold Ansatz (POT) gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen hohen Schwellenwert  $u$  überschreiten.

Zur Berechnung des POT-Ansatzes werden die Tagesmaxima ab 1975 verwendet. Vor der Bearbeitung müssen diese von Clustern bereinigt werden. Für Emme - Eggiwil, Heidbüel wird der Zeitabstand  $L$  zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 11 Tagen festgelegt.

Folgende Modellvarianten des POT-Ansatzes werden in diesem Bericht beschrieben:

Auswertungsperiode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1975 - 2015	Auswertungsperiode POT	stat sigjump	Kapitel 2.2.1.a Kapitel 2.2.1.b

### 2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1975-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert  $u = 75 \text{ m}^3/\text{s}$  gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 8 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

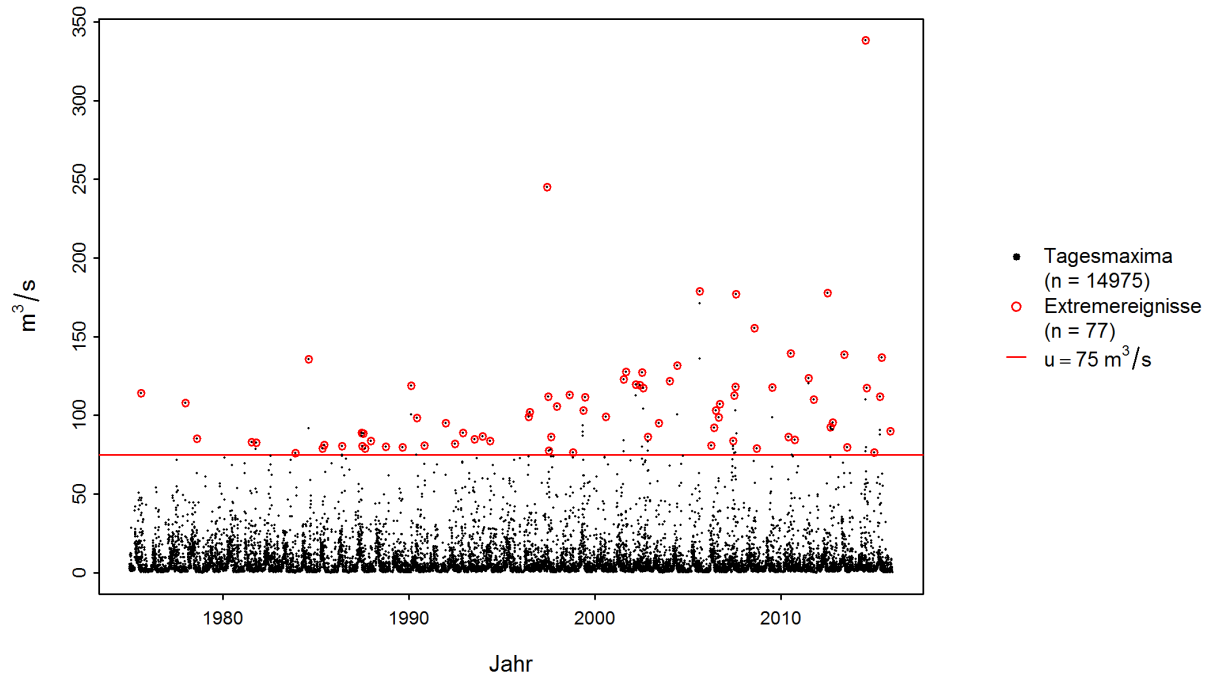


Abbildung 8: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

#### 2.2.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
POT	stat	1975-2015	Tagesmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter	Formparameter
$u$	$n$	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$75 \text{ m}^3/\text{s}$	77	1.88	29.29	0.1132

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 9 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

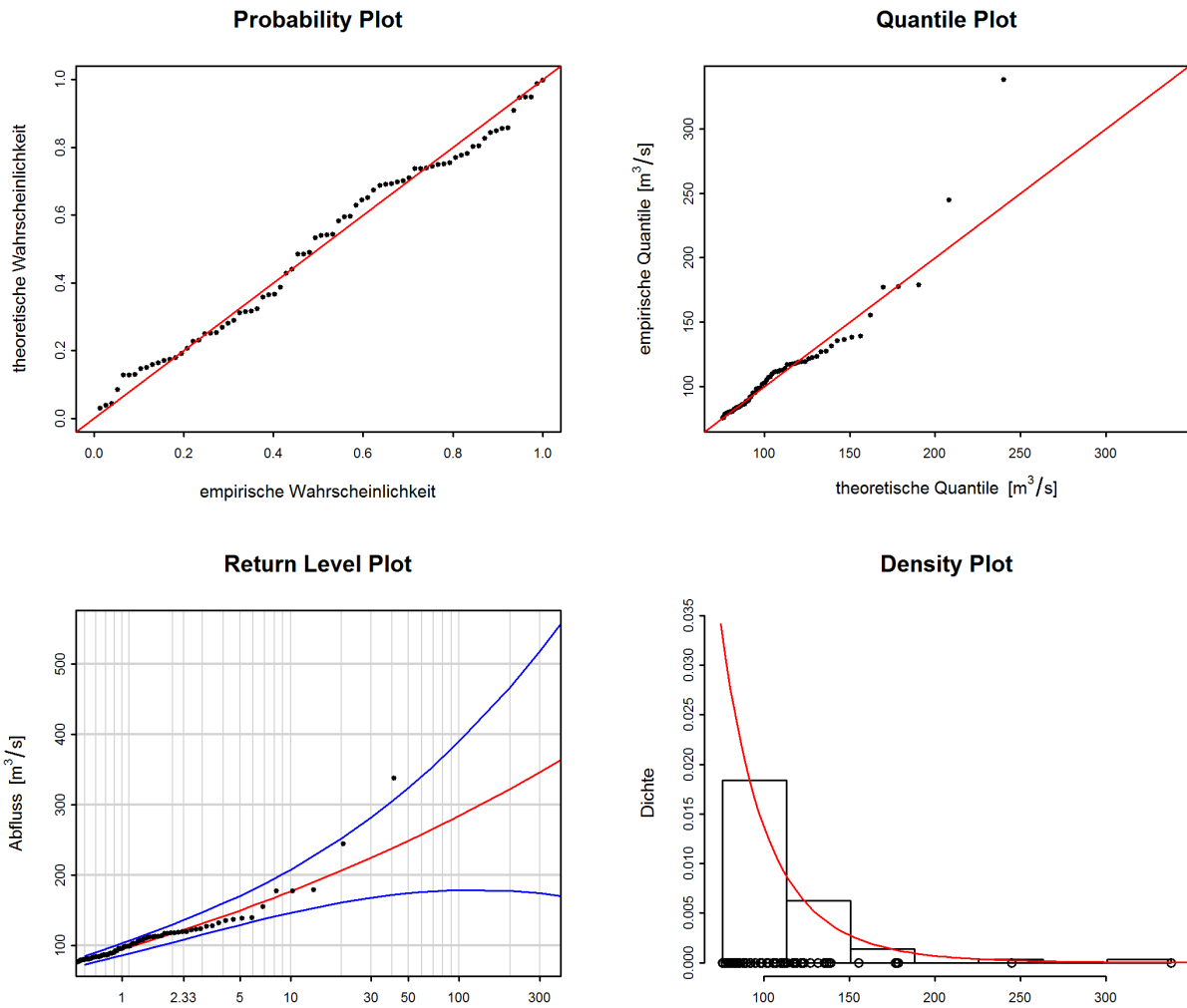


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1975-2015)

**Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):**

Kriterien	Bewertung <sup>6</sup>	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut-mittel	-
Anpassung oberer Bereich	schlecht	zwei höchsten Werte werden stark unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für grosse Wiederkehrperioden sehr gross

<sup>6</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode POT 1975-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ <sub>T</sub>	untere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	obere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	104	117	130
HQ <sub>10</sub>	146	177	207
HQ <sub>30</sub>	168	225	282
HQ <sub>100</sub>	179	284	390
HQ <sub>300</sub>	174	346	518

### 2.2.1.b Nicht stationäre Modellvariante

Der Vergleich der verschiedenen Modelle zeigt, dass sich die Modelle „sigl“ und „sigjump“ signifikant vom stationären Modell „stat“ unterscheiden.<sup>7</sup> Am besten schneidet dabei die Variante „sigjump“ ab, deren Resultate im Folgenden dargestellt sind (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
POT	sigjump1997	1975-2015	Tagesmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter $\hat{\sigma}^8$		Formparameter
			$\mathbf{b}_1$	$\mathbf{b}_2$	$\hat{\kappa}$
75 m <sup>3</sup> /s	77	1.88	15.24	28.39	-0.0061

Die Güte der „sigjump1997“ Modellvariante über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 10 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

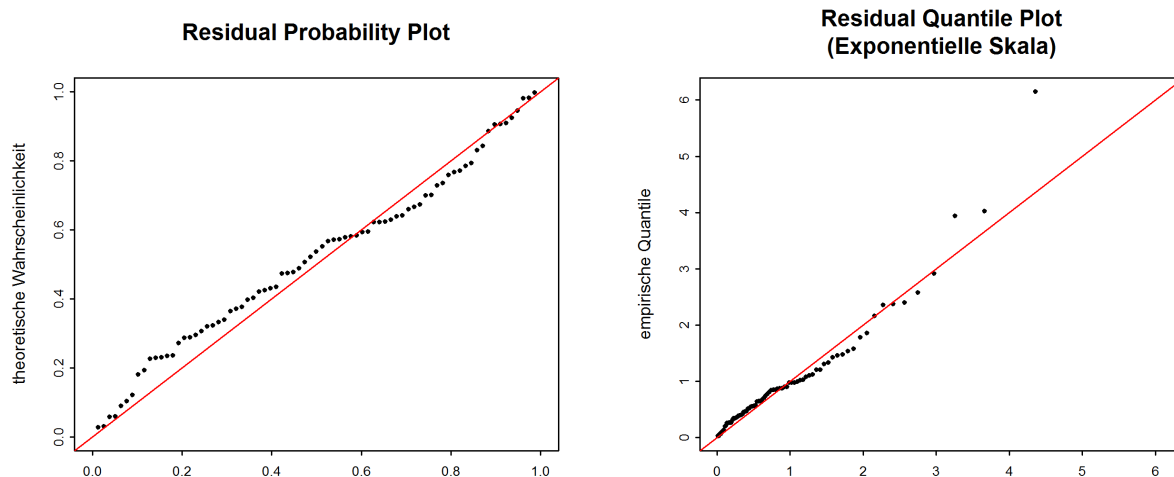


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „sigjump1997“ des POT-Ansatzes (1975-2015)

<sup>7</sup>Als Zeitpunkt  $t_0$  für das Modell „sigjump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1997 gewählt (siehe Kapitel 1).

<sup>8</sup> $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 * i, i = 0$  für  $t < t_0, i = 1$  für  $t \geq t_0$  (s. Tabelle 1)

### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

Kriterien	Bewertung <sup>9</sup>	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut-mittel	-
Anpassung oberer Bereich	schlecht	höchsten Werte werden unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	ähnlich	kaum Verbesserung sichtbar

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „sigjump1997“ des POT-Ansatzes über die Auswertungsperiode POT 1975-2015 (inkl. 95%-Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ <sub>T</sub>	untere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	obere Konfidenzgrenze [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	113	133	152
HQ <sub>10</sub>	164	202	239
HQ <sub>30</sub>	191	249	306
HQ <sub>100</sub>	210	300	390
HQ <sub>300</sub>	216	346	476

In Abbildung 11 ist die Veränderung des mit dem Modell „sigjump1997“ berechneten HQ<sub>100</sub> zwischen 1975 und 2015 dargestellt.

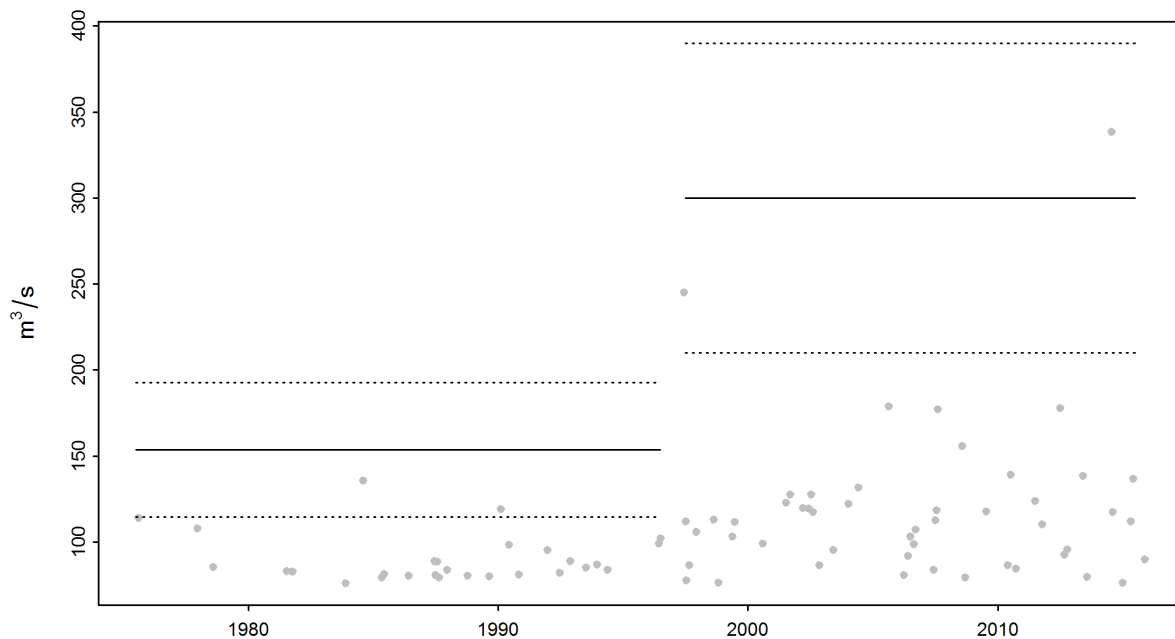


Abbildung 11: Veränderung der mit der Modellvariante „sigjump1997“ berechneten HQ<sub>100</sub> (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1975-2015

<sup>9</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

### 3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 12 zeigt die  $HQ_T$  der stationären sowie jener nicht stationären Modellvarianten, welche bei beiden parametrischen Verfahren jeweils am besten an die Daten angepasst waren. Sowohl die Werte wie auch die Grösse der Konfidenzintervalle, welche ein Mass für die Unsicherheit sind, variieren stark. Generell werden diese Unterschiede grösser, je grösser die Wiederkehrperiode  $T$  ist.

#### 3.1 Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden

Nur mit dem BLOCK-Ansatz, der auf der Untersuchung von Monatsmaxima basiert, ist eine Analyse der Auswertungsperiode 1975 - 2015 möglich. Für die Darstellung des Einflusses der Messperiode werden normalerweise die verschiedenen Auswertungsperioden verglichen. Da die Vergleichperiode auch der gesamten Auswertungsperiode entspricht, fällt somit ein Vergleich weg.

#### 3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 12 und der zugehörigen Tabelle sind die Resultate der verschiedenen Modellansätze zusammengefasst und zeigen folgende Sachverhalte auf:

**Differenzen der Resultate der berechneten  $HQ_T$  der beiden Ansätze:**

Die  $HQ_T$  des POT-Ansatzes liegen - bis auf  $HQ_2$  und  $HQ_{10}$  - immer tiefer als diejenigen des BLOCK-Ansatzes.

**Differenzen der berechneten Konfidenzintervalle der beiden Ansätze:**

Allgemein nehmen die Unsicherheiten und somit die Konfidenzintervalle zu, je grösser die Wiederkehrperiode  $T$  ist. Die Konfidenzintervalle der verschiedenen Ansätze unterscheiden sich nur geringfügig.

**Vergleich von stationären und nicht stationären Varianten:**

Sowohl beim BLOCK-, als auch beim POT-Ansatz kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte nur in einem geringen Ausmass verbessert werden, da die Zunahme grosser Hochwasser in den letzten Jahren in das Modell einbezogen wird. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge etwas höher - mit Ausnahme des POT-Ansatzes für  $HQ_{300}$  - als mit den stationären Modellvarianten. Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung ist nicht möglich, da den Veränderungen (Zunahme der Jahresmaxima ab 1997) keine eindeutigen Ursachen zugewiesen werden können.

Für die Beantwortung konkreter Fragestellungen bilden die Resultate dieser statistischen Auswertungen nur eine von verschiedenen Grundlagen. Kenntnisse über die hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet, Überlegungen zu Worst-Case-Szenarien für Niederschlag und Abfluss etc. sind unerlässlich, um das Hochwasserrisiko abzuschätzen. Die Abteilung Hydrologie des BAFUs befürwortet eine „hydrologisch-argumentative Vorgehensweise“ wie sie Merz und Blöschl (2008 zitiert in DWA 2015:52) vorschlagen.

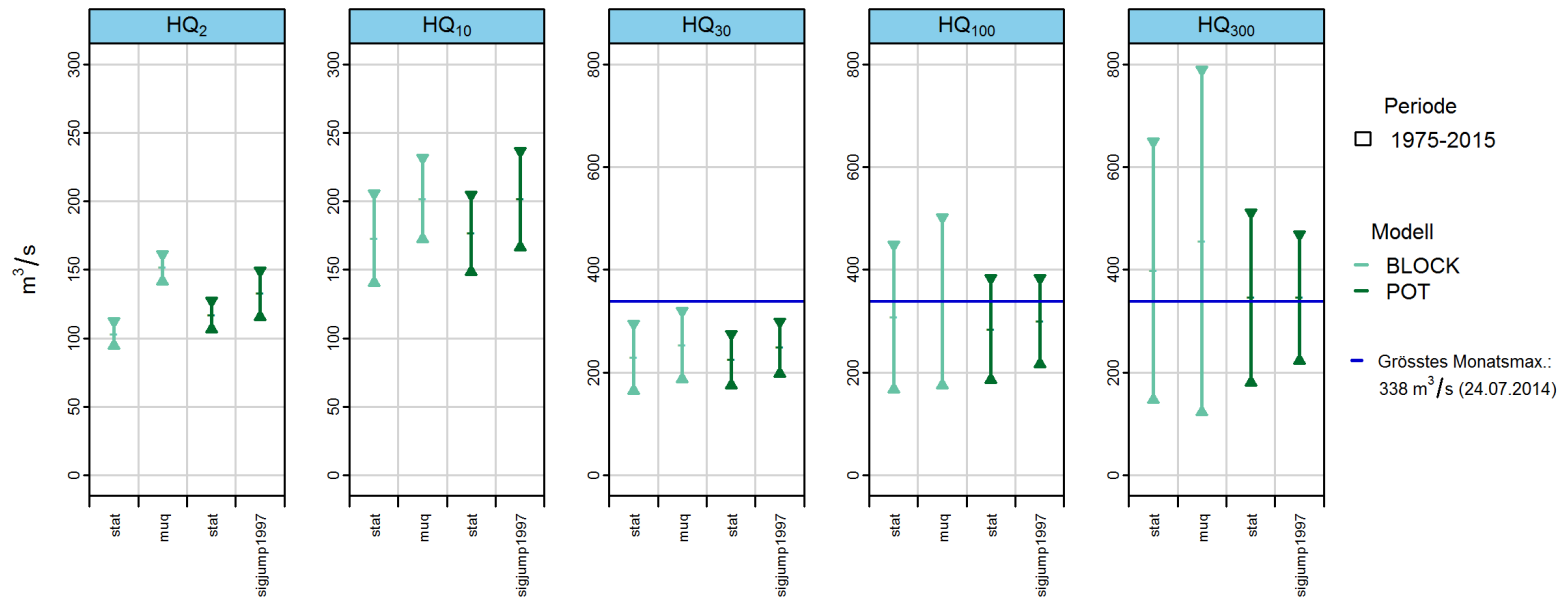


Abbildung 12:  $HQ_T$  [ $m^3/s$ ] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

Auswertungsperiode	Verfahren	Anpassung		Bemerkung	
1975 - 2015	BLOCK stat	gut	gut-mittel	schlecht	höchster Wert stark unterschätzt
	BLOCK muq	gut	gut	schlecht	höchsten zwei Werte werden stark unterschätzt bis auf den höchsten Wert leichte Verbesserung
1975 - 2015	POT stat	gut	gut-mittel	schlecht	zwei höchsten Werte werden stark unterschätzt
	POT sigjump1997	gut	gut-mittel	schlecht	höchsten Werte werden unterschätzt kaum Verbesserung sichtbar



## 4 Literatur

*BAFU (2015)*: Leitfaden zu den Stationsberichten der Hochwasserstatistik. BAFU, Bern.

*Baumgartner, E., Boldi, M.-O., Kan, C., Schick, S. (2013)*: Hochwasserstatistik am BAFU - Diskussion eines neuen Methodensets. Wasser Energie Luft, Heft 2/2013. Baden.

*BWG (Hrsg.) (2003a)*: Wörterbuch Hochwasserschutz. Haupt Verlag, Bern.

*BWG (Hrsg.) (2003b)*: Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4, Bern.

*Coles, S. (2001)*: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. London.

*DWA (Hrsg.) (2012)*: Merkblatt DWA-M 552. Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hef. Hennef.

# Anhang

## A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten

Der Schwellenwert  $u$  zur Abgrenzung der Extremwerte des POT-Ansatzes für die Auswertungsperiode 1975 - 2015 (siehe Kapitel 2.2.1) wird anhand des „mean residual life plots“ auf  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  festgelegt (siehe Abbildung 13).

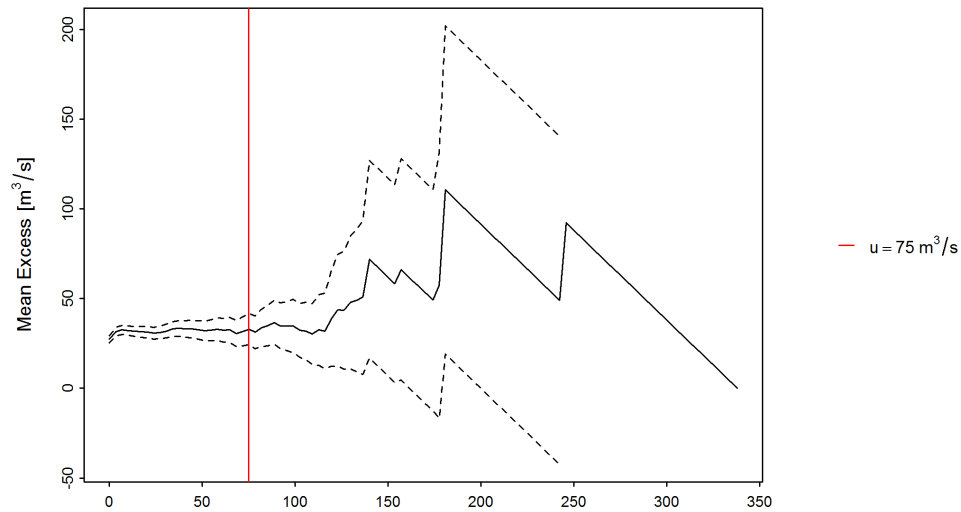


Abbildung 13: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert  $u$  (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

## B Glossar

Auswertungsperiode	Begrenzter Zeitraum, aus welchem eine Stichprobe der Hochwasserabflüsse stammt, die als repräsentativ für die Grundgesamtheit angenommen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der Grundgesamtheit mit dieser Stichprobe annähernd abgebildet werden.
Devianzstatistik	Mit der Devianzstatistik kann die Anpassungsgüte eines Modells für einen gegebenen Datensatz untersucht werden.
Deltamethode	Das BAFU nutzt die Deltamethode zur Berechnung von Konfidenzintervallen in den Return Level Plots. Die Methode basiert auf einer Taylor-Entwicklung der Funktion der $HQ_T$ und einer asymptotischen Normalverteilung (für technische Details siehe Coles 2001, S. 33).
Güte auch Anpassungsgüte oder Anpassung	Mass für die Abweichung eines statistischen Modells (theoretische Werte) und einer Menge von Beobachtungen bzw. Messungen (empirische Daten).
$HQ_T$	Der mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit $T$ bestimmte Hochwasserabfluss. $HQ_T$ ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert der Hochwasserabflüsse mit statistisch gesehen $T$ -jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. $HQ_T$ wird auch als Wiederkehrwert bezeichnet. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten $HQ_T$ gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall).
Konfidenzintervall auch Vertrauensintervall	Konfidenzintervalle beschreiben die Unsicherheit des Outputs eines statistischen Modells. Sie berücksichtigen dabei den Fehler des Modells selbst, nicht aber weitere Unsicherheiten (z.B. Messfehler).
Maximum-Likelihood-Methode	Bezeichnung für ein Verfahren, das die Parameter einer Verteilungsfunktion aus den Informationen einer Stichprobe schätzt, indem der Maximum-Likelihood-Wert der Funktion maximiert wird.
Parametrische Verfahren	Ein wichtiges Ziel der Statistik ist es, mittels der Daten einer Stichprobe Aussagen über eine unbekannte Grundgesamtheit herzuleiten. Dafür eignen sich u. a. parametrische Verfahren, bei welchen angenommen wird, dass die Grundgesamtheit eine vorgegebene Wahrscheinlichkeitsverteilung besitzt, welche durch einen oder mehrere Parameter eindeutig bestimmt ist. Die beiden betrachteten Verfahren stützen sich auf die Allgemeine Extremwertverteilung (BLOCK), bzw. auf die Allgemeine Pareto-Verteilung (POT), weil diese Verteilungen die Natur der Daten (Blockmaxima, bzw. Daten ab einem gewissen Schwellwert) am besten reflektieren (siehe Coles 2001).
Block-Maximum-Ansatz (BLOCK)	Der Block Maximum Ansatz (BLOCK) definiert den höchsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert (siehe <a href="#">Leitfaden</a> Kapitel 2.1.1 oder Coles 2001, Kapitel 3.1).
Peaks Over Threshold (POT)	Beim Peaks-Over-Threshold-Ansatz (POT) gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen gewissen Schwellenwert $u$ (in $m^3/s$ bzw. $l/s$ ) überschreiten. Die verwendeten Daten werden vorgängig von Clustern befreit (siehe <a href="#">Leitfaden</a> Kapitel 2.1.2 oder Coles 2001, Kapitel 4.2).
Probability Plot (P-P-Plot)	Exploratives, grafisches Werkzeug, in dem die Verteilungsfunktionen zweier statistischer Variablen gegeneinander aufgetragen werden, um ihre Verteilungen zu vergleichen. Hier: aufsummierte empirische Häufigkeiten vs. die theoretische, kumulierte Verteilungsfunktion. Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonale liegen, desto mehr kann davon ausgegangen werden, dass die Modellannahmen korrekt sind. (Enthält die gleichen Informationen wie der Q-Q-Plot, dargestellt auf einer unterschiedlichen Skala.)

Quantile Plot (Q-Q-Plot)	Exploratives, grafisches Werkzeug, in dem die Quantile zweier statistischer Variablen gegeneinander aufgetragen werden, um ihre Verteilung zu vergleichen. Hier: beobachtete Abflusswerte vs. die mit Hilfe eines Modells berechneten Abflussdaten. Stimmen die empirischen und theoretischen Quantile annähernd überein, liegen die Werte in der Grafik nahe der Diagonalen. (Enthält die gleichen Informationen wie der P-P-Plot, dargestellt auf einer unterschiedlichen Skala.) Hinweis: Die theoretischen Quantile werden aus der Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion berechnet. Für den direkten, optischen Vergleich mit dem entsprechenden Probability Plot sind die Achsen des Quantile Plots daher vertauscht.
Stationarität	Beobachtet man bei einer Messstation, dass sich das Abflussverhalten über die Beobachtungsperiode nicht wesentlich ändert, so empfiehlt es sich, ein stationäres Modell zu verwenden. Im stationären Fall wird angenommen, dass alle Parameter der Verteilungsfunktion über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind.
Nicht-Stationarität	Nicht-stationäre Modelle werden verwendet, um ein Abflussverhalten zu beschreiben, welches zeitlichen Änderungen unterliegt. Solche Änderungen können durch einen Wechsel der Messgeräte und Messmethoden, durch Stationsverlagerung, durch Gerinneveränderungen und durch anthropogene Einflüsse verursacht werden. Bei anthropogenen Einflüssen können die Veränderungen meist nicht einem einzelnen Eingriff zugeordnet werden, sondern sie bestehen aus Überlagerungen von verschiedenen, wasserwirtschaftlichen Massnahmen. Werden zeitliche Veränderungen der Daten vermutet, werden die Parameter der entsprechenden Verteilungsfunktion zeitlich abhängig modelliert. Dies führt dazu, dass sich auch die berechneten $HQ_T$ über die Zeit verändern.
Verteilungsfunktion	Beschreibt die Grundgesamtheit der Hochwasserabflüsse aus einem Einzugsgebiet. Die Verteilungsfunktion gibt die Wahrscheinlichkeiten an, dass ein Hochwasserabfluss $HQ$ in einem Jahr erreicht oder unterschritten wird.
Empirische Häufigkeitsverteilung	Kann aus der gewählten Stichprobe bestimmt werden.
Theoretische Wahrscheinlichkeitsverteilung	Schliesst von der gewählten Stichprobe auf die Grundgesamtheit. Es gibt viele verschiedene theoretische Verteilungsfunktionen, welche die Voraussetzungen für die Anwendung in der Hochwasserstatistik erfüllen, aber keine, die für alle Stichproben die besten Resultate gewährleistet.
Verteilungsparameter	
$\kappa$ Formparameter (kappa)	Der Formparameter $\kappa$ steht in direktem Zusammenhang mit der sogenannten "Heaviness of Tail" der Verteilung. Als Tail wird der Bereich mit den Ausreißern nach oben bezeichnet. Ist $\kappa$ gross, so werden viele solche Ausreisser angenommen. Bei negativen Werten für $\kappa$ hingegen wird angenommen, dass für die Extremwerte eine obere Schranke existiert.
$\lambda$ Ereignisrate (lambda)	Beim POT-Ansatz entspricht die Ereignisrate $\lambda$ der mittleren Anzahl Schwellenwertüberschreitungen während des Zeitintervalls von einem Jahr.
$\mu$ Lageparameter (mu)	Beschreibt die mittlere Lage der Stichprobenelemente (hier: Abflussmessungen) in Bezug auf die Messskala (hier: $m^3/s$ bzw. $l/s$ ).