



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Simme - Oberwil

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

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 1 | Datengrundlage | 2 |
| 2 | Resultate der parametrischen Verfahren | 5 |
| 2.1 | Block Maximum Ansatz (BLOCK) | 6 |
| 2.1.1 | Gesamte Auswertungsperiode: 1922-2015 | 6 |
| 2.1.1.a | Stationäre Modellvariante | 6 |
| 2.1.1.b | Nicht stationäre Modellvariante | 8 |
| 2.1.2 | Vergleichsperiode: 1974-2015 | 9 |
| 2.1.2.a | Stationäre Modellvariante | 9 |
| 2.2 | Peaks Over Threshold Ansatz (POT) | 11 |
| 2.2.1 | Auswertungsperiode POT: 1974-2015 | 11 |
| 2.2.1.a | Stationäre Modellvariante | 11 |
| 2.2.1.b | Nicht stationäre Modellvariante | 13 |
| 3 | Vergleich der verschiedenen Resultate | 15 |
| 3.1 | Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden | 15 |
| 3.2 | Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze | 15 |
| 4 | Literatur | 17 |
| Anhang | | 18 |
| A | Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten | 18 |
| B | Glossar | 19 |

1 Datengrundlage

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

| Vorhandene Daten | seit | bis |
|-----------------------|------------|------------|
| Digitale Monatsmaxima | 01.01.1921 | 31.12.2015 |
| Digitale Tagesmaxima | 01.01.1974 | 31.12.2015 |

Ein Limnigraph wurde am 29. Januar 1921 in Betrieb genommen.

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:

| Grösste Abflussspitze | Datum | Abfluss |
|------------------------|------------|-----------------------|
| Grösstes Monatsmaximum | 23.11.1944 | 200 m ³ /s |
| Grösstes Tagesmaximum | 22.08.2005 | 167 m ³ /s |

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

| Abflussverlauf | Beschreibung |
|-----------------------------|---|
| Abflussregime | Nival de transition: Hohe Abflüsse im Sommer, tiefe Abflüsse im Winter |
| Ausprägung der Saisonalität | In Monats- und Tagesmaxima deutlich zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4) |
| Beeinflussung | Sehr geringe Beeinflussung durch mehrere Laufkraftwerke (Laubegg sowie Fermel- und Albristbach), welche jedoch erst nach dem Ende der Auswertungsperiode im Jahre 2016 in Betrieb genommen wurden. Ansonsten ist im ganzen Einzugsgebiet keine Beeinflussung bekannt, welche eine Auswirkung auf das Abflussverhalten der Simme aufweisen könnte. |

Die Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 40 und 200 m³/s, wobei die Werte in diesem Bereich stark streuen. Vier Werte über 150 m³/s bilden die Spitze der Jahreshochwasser, während ein Grossteil der Werte zwischen 50 und 110 m³/s liegen. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen nicht signifikanten Bruchpunkt um 1999 (Konfidenzintervall 1973-2015+). Ab 1999 sind wieder vermehrt höhere Jahresabflüsse auch deutlich über 100 m³/s zu verzeichnen, nachdem vorher eine Hochwasserlücke registriert wurde. Der Bruchpunkt ist somit in den Daten schwach erkennbar, aber aus hydrologischer Sicht nicht zu erklären. Deshalb wird keine Auswertungsperiode ab Bruchpunkt berücksichtigt.

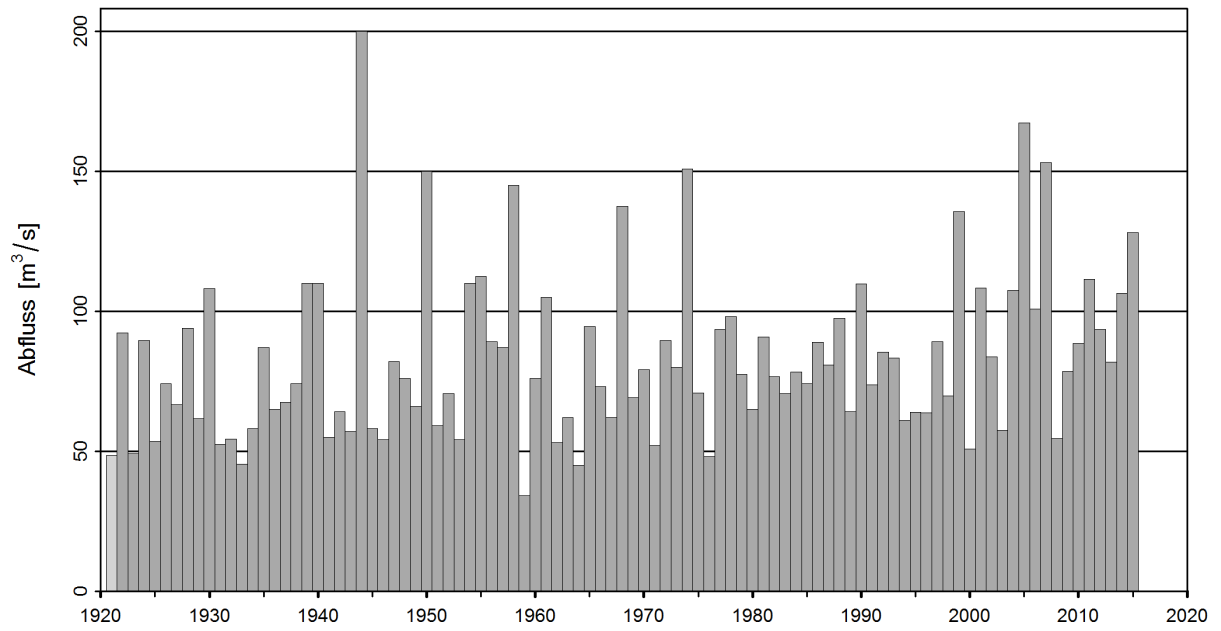


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] (1921 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendete Jahresmaxima, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima)

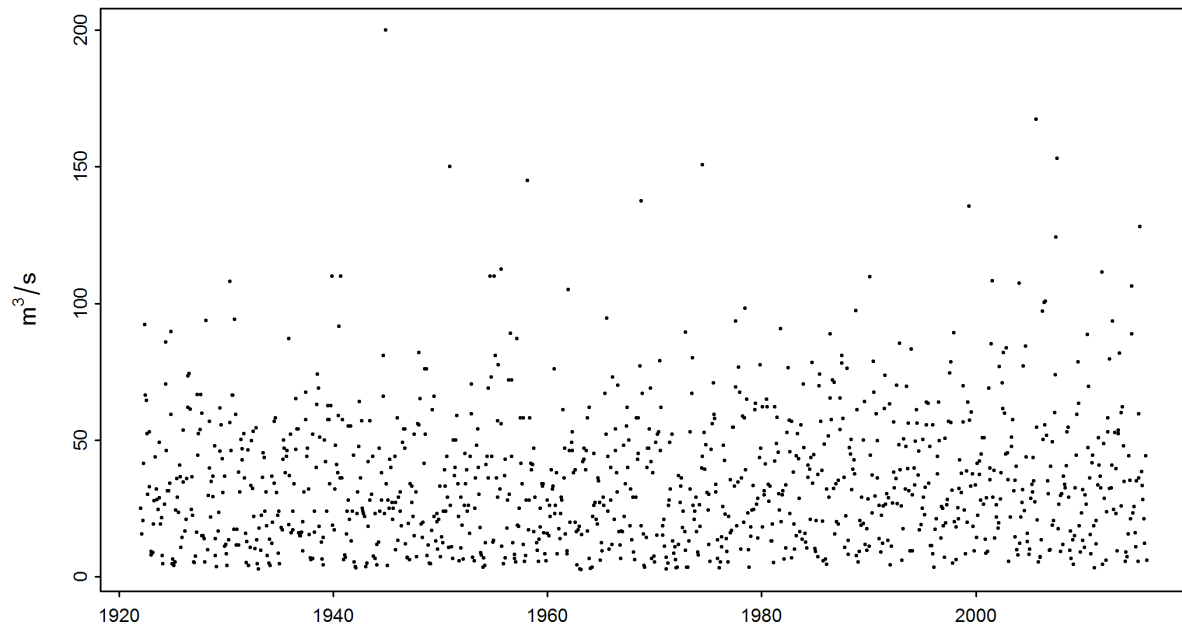


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1922 - 31.12.2015)

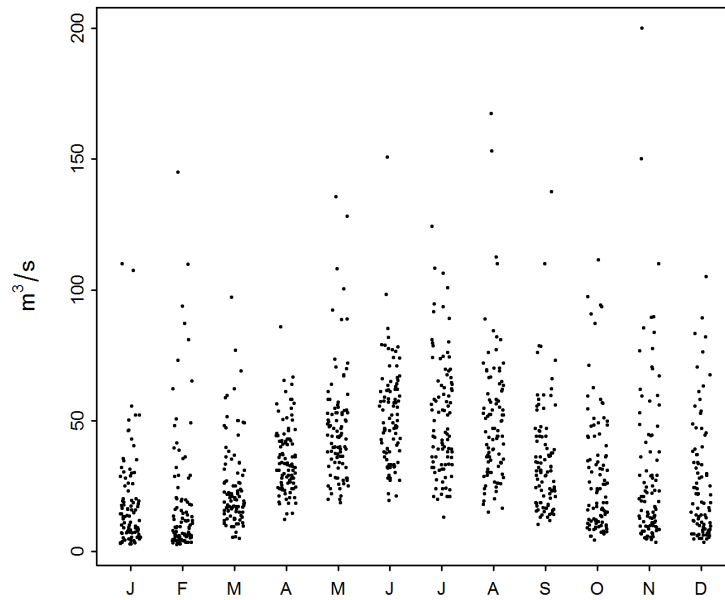


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1922 - 31.12.2015)

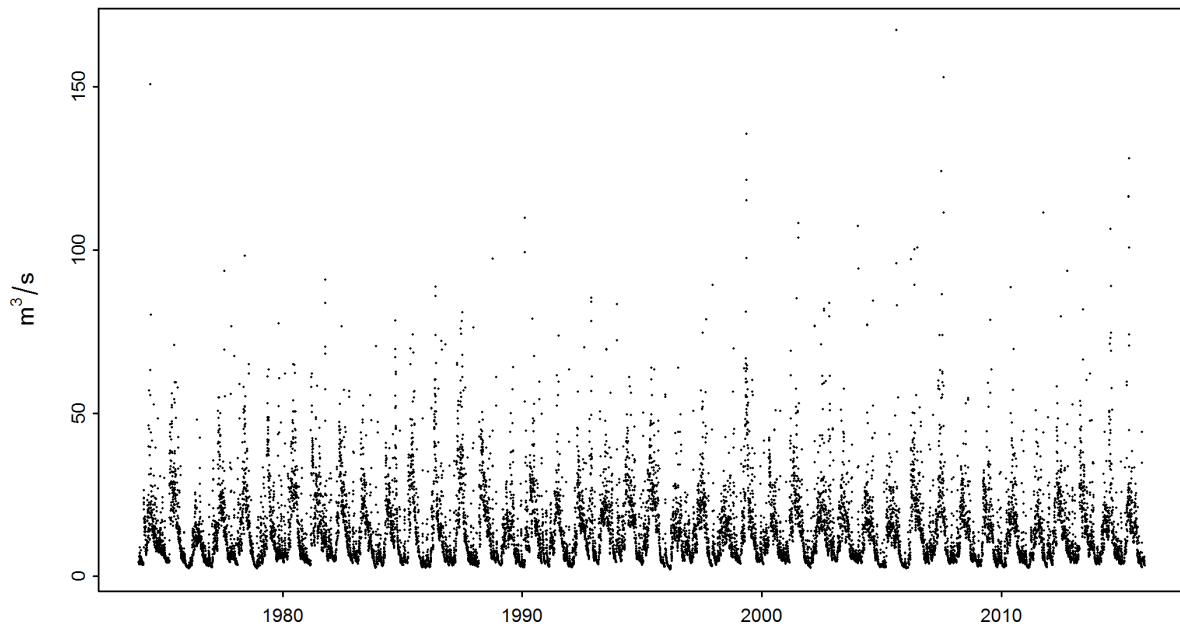


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m^3/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

| Veränderungen | Auswirkungen | Folgerungen |
|---------------|--------------|----------------------|
| keine bekannt | - | Vermutlich stationär |

Bruchpunktanalyse

| Jahr | Signifikanter Bruchpunkt | Folgerungen |
|-------------|--------------------------|--|
| 1998 / 1999 | nein | Keine Unterteilung der Auswertungsperiode, da nicht aus Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet begründbar. Verwendung 1999 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) | μ Lageparameter | Jahresmaxima |
| | σ Skalenparameter | |
| | κ Formparameter | |
| Peaks Over Threshold (POT) | λ Ereignisrate | Tagesmaxima |
| | σ Skalenparameter ¹ | |
| | κ 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. μ Lageparameter (mu), σ Skalenparameter (sigma), κ Formparameter (kappa)

| Modellvarianten BLOCK | | | |
|-----------------------|---|---|------------------|
| Name | Beschreibung | Parameter (t: Jahr) | Anzahl Parameter |
| stat | Stationäre Variante | μ, σ, κ | 3 |
| mul | Linearer Trend von μ | $\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$ | 4 |
| muq | Quadratischer Trend von μ | $\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$ | 5 |
| sigl | Linearer Trend von σ | $\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$ | 4 |
| musigl | Linearer Trend von μ und σ | $\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$ | 5 |
| mujump | Nicht-kontinuierliche Veränderung von μ 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. σ Lageparameter (sigma), κ Formparameter (kappa)

| Modellvarianten POT | | | |
|---------------------|--|--|------------------|
| Name | Beschreibung | Parameter (t: Jahr) | Anzahl Parameter |
| stat | Stationäre Variante | σ, κ | 2 |
| sigl | Linearer Trend von σ | $\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$ | 3 |
| sigjump | Nicht-kontinuierliche Veränderung von σ 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.

¹Der Skalenparameter σ des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem σ 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:

| Auswertungs- periode | Beschreibung | ausgewählte Modellvariante | Kapitel |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1922 - 2015 | gesamte Auswertungsperiode | stat mul | Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b |
| 1974 - 2015 | Vergleichsperiode | stat | Kapitel 2.1.2.a |

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1922-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK | stat | 1922-2015 | Jahresmaxima | - |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}$ | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 94 | 69.71 | 20.76 | 0.0792 |

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

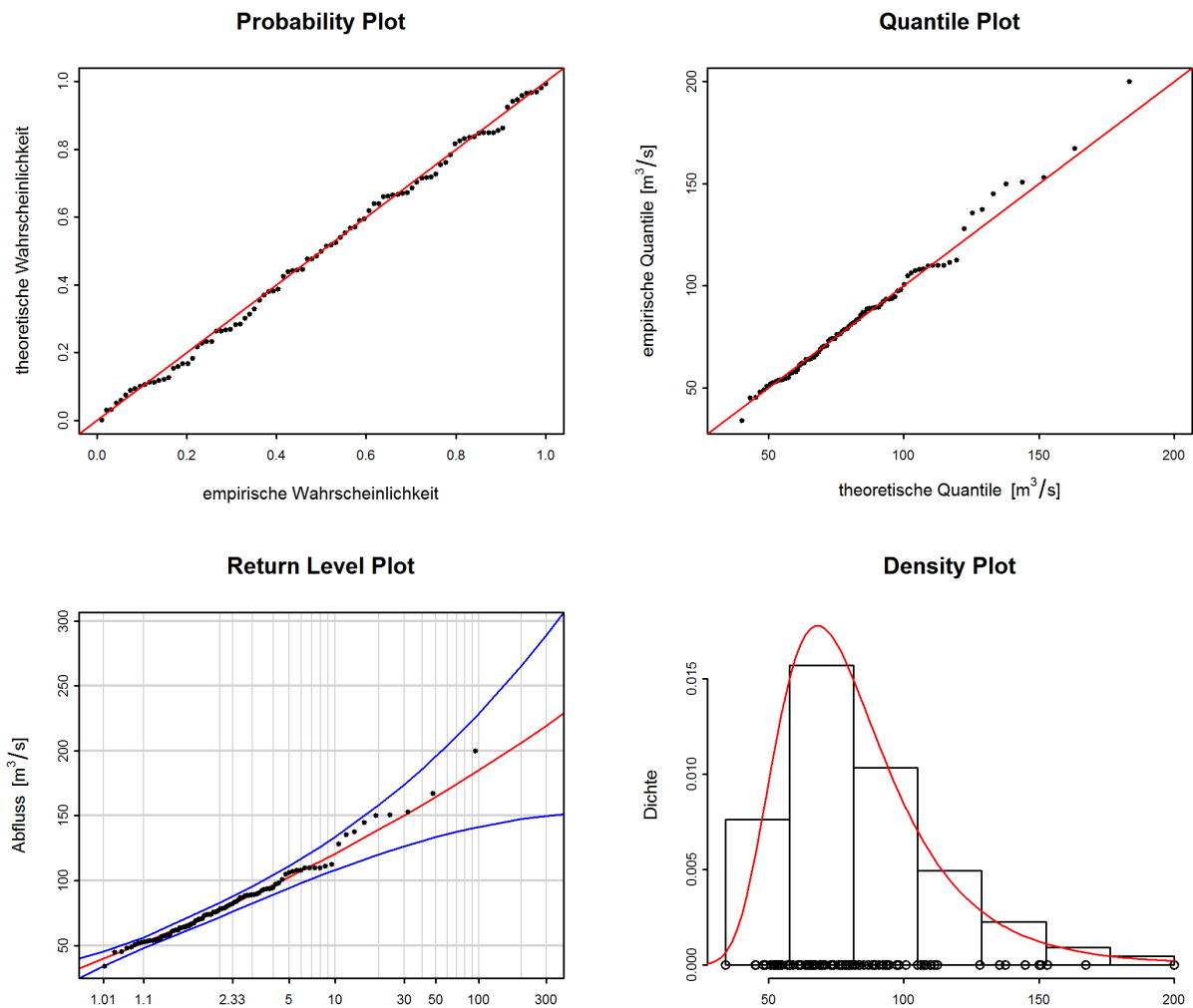


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1922-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

| Kriterien | Bewertung ² | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Anpassung unterer Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel | mittelgrosse Streuung der Werte |
| Anpassung oberer Bereich | mittel | einige Werte etwas unterschätzt |
| Konfidenzintervall | mittel | gross für grosse Wiederkehrperioden |

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1922-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ _T | untere Konfidenzgrenze [m³/s] | Abfluss [m³/s] | obere Konfidenzgrenze [m³/s] |
|-------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| HQ ₂ | 72 | 77.4 | 82.8 |
| HQ ₁₀ | 108 | 121 | 134 |
| HQ ₃₀ | 127 | 150 | 174 |
| HQ ₁₀₀ | 141 | 185 | 228 |
| HQ ₃₀₀ | 150 | 219 | 289 |

²Siehe [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“ und „musigl“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheiden.³ Aufgrund des im Ablaufschema beschriebenen Vergleichsansatzes verschiedener nicht stationärer Modellvarianten kommt „mul“ als bestes nicht stationäres Modell in Frage. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind nur geringfügig. Daher werden im Folgenden die Resultate von „mul“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK | mul | 1922-2015 | Jahresmaxima | - |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}^4$ | | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|-----------------------------|-------|--------------------------------|------------------------------|
| | a_1 | a_2 | | |
| 94 | 60.54 | 0.2 | 20.09 | 0.077 |

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

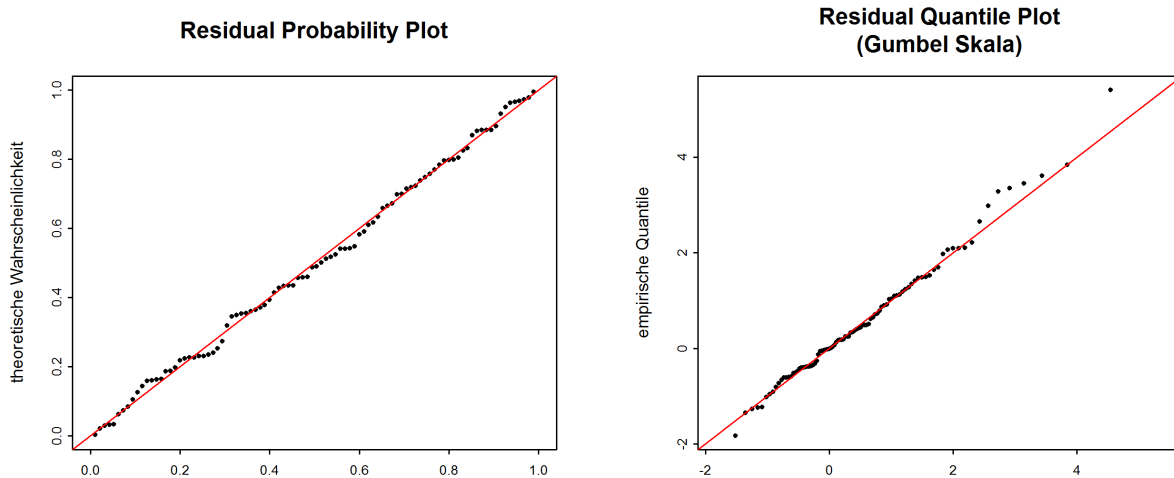


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „mul“ des BLOCK-Ansatzes (1922-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

| Kriterien | Bewertung ⁵ | Bemerkungen |
|----------------------------------|------------------------|--|
| Anpassung unterer Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung oberer Bereich | mittel | einige Werte etwas unterschätzt |
| Vergleich mit stationärem Modell | verbessert | einige Werte etwas näher an Einheitsdiagonale; Konfidenzintervall etwas kleiner |

³Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1999 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁴ $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot t$ (s. Tabelle 1)

⁵Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „mul“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1922-2015 (inkl. 95%-Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ _T | untere Konfidenzgrenze [m ³ /s] | Abfluss [m ³ /s] | obere Konfidenzgrenze [m ³ /s] |
|-------------------|--|-----------------------------|---|
| HQ ₂ | 78 | 87.1 | 96.2 |
| HQ ₁₀ | 115 | 129 | 143 |
| HQ ₃₀ | 134 | 157 | 181 |
| HQ ₁₀₀ | 150 | 191 | 231 |
| HQ ₃₀₀ | 159 | 224 | 288 |

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „mul“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1922 und 2015 dargestellt.

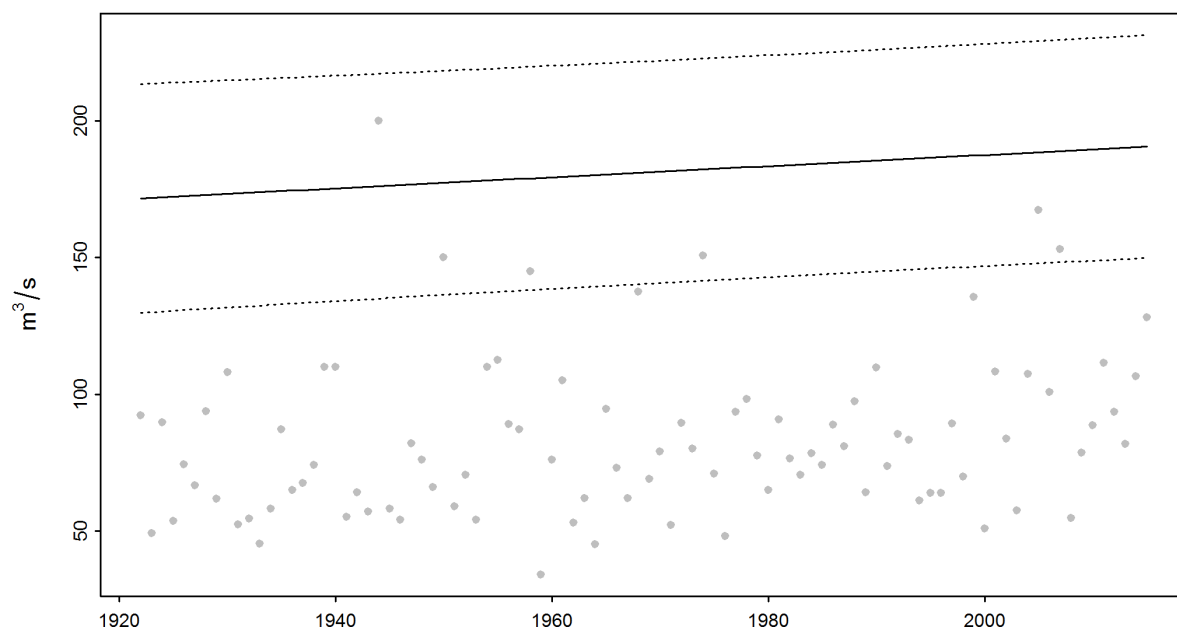


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „mul“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1922-2015

2.1.2 Vergleichsperiode: 1974-2015

2.1.2.a Stationäre Modellvariante

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK | stat | 1974-2015 | Jahresmaxima | - |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}$ | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 42 | 76.22 | 20.06 | 0.0495 |

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Vergleichsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 8 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

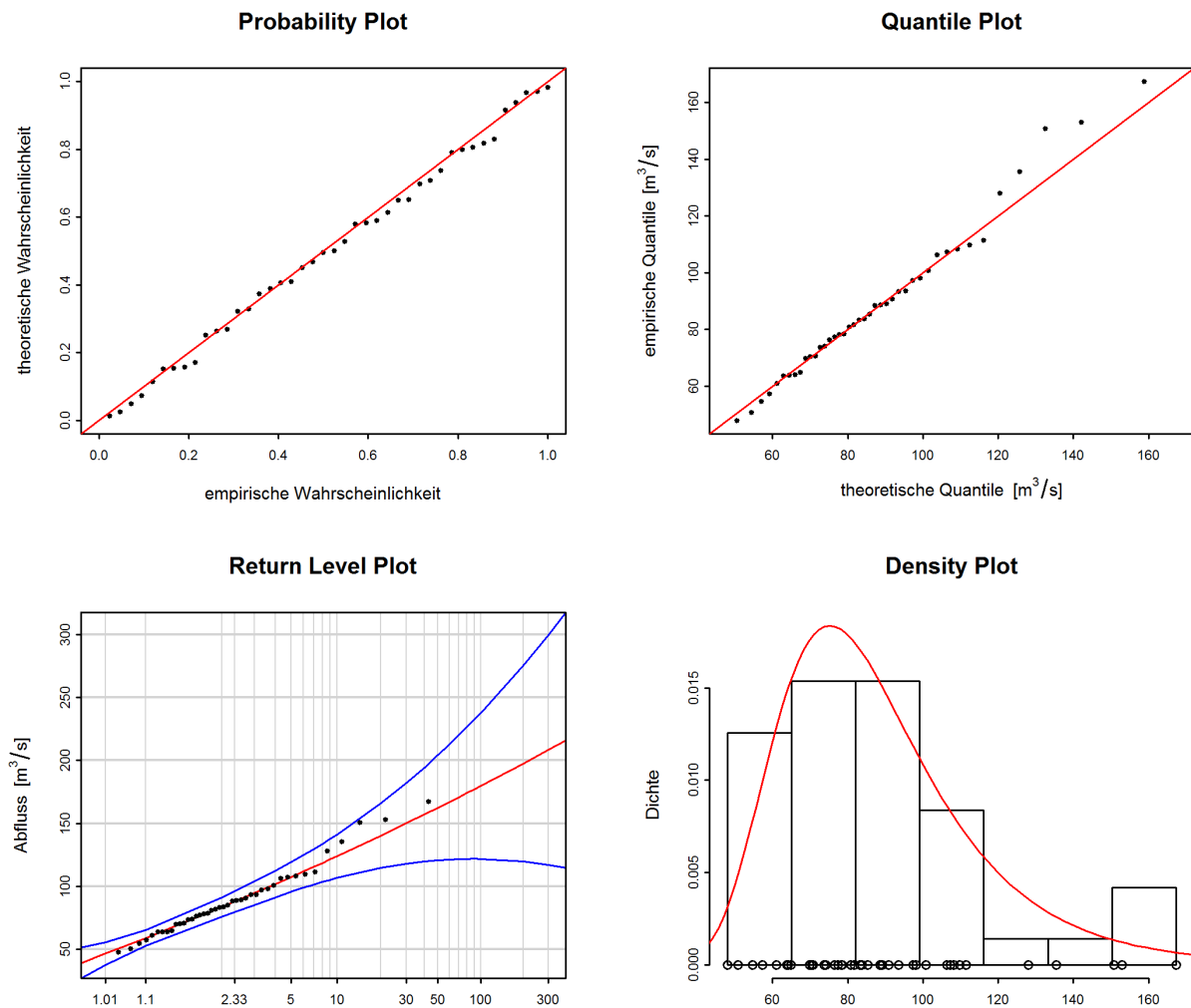


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

| Kriterien | Bewertung ⁶ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|---|
| Anpassung unterer Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung oberer Bereich | mittel | alle höheren Werte etwas unterschätzt |
| Konfidenzintervall | gross | vor allem für hohe Wiederkehrperioden gross |

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Vergleichsperiode 1974-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ _T | untere Konfidenzgrenze [m³/s] | Abfluss [m³/s] | obere Konfidenzgrenze [m³/s] |
|-------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| HQ ₂ | 75.8 | 83.6 | 91.4 |
| HQ ₁₀ | 107 | 124 | 141 |
| HQ ₃₀ | 118 | 150 | 182 |
| HQ ₁₀₀ | 122 | 180 | 238 |
| HQ ₃₀₀ | 117 | 208 | 300 |

⁶Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

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 1974 verwendet. Vor der Bearbeitung müssen diese von Clustern bereinigt werden. Für Simme - Oberwil wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 11 Tagen festgelegt.

Folgende Modellvarianten des POT-Ansatzes wurden analysiert:

| Auswertungs- periode | Beschreibung | ausgewählte Modellvariante | Kapitel |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1974 - 2015 | Auswertungsperiode POT | stat sigjump | Kapitel 2.2.1.a Kapitel 2.2.1.b |

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert u $65 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 9 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

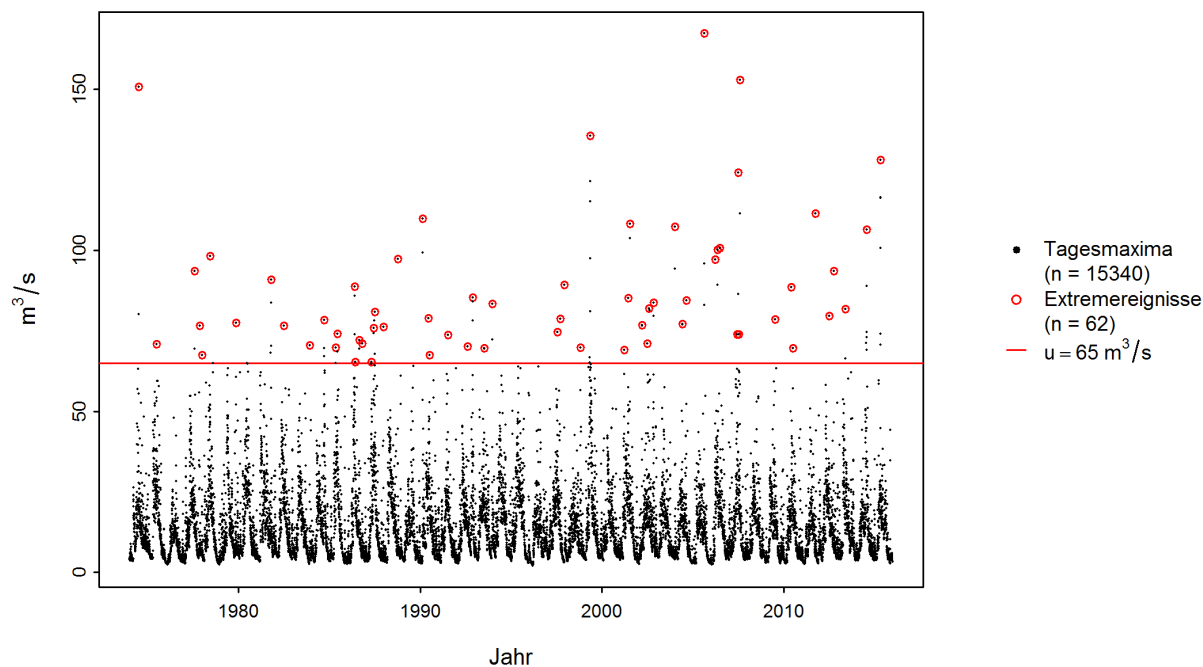


Abbildung 9: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

2.2.1.a Stationäre Modellvariante

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| POT | stat | 1974-2015 | Tagesmaxima | - |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Schwellenwert | Anzahl Werte | Ereignisrate | Skalenparameter | Formparameter |
|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| u | n | $\hat{\lambda}$ | $\hat{\sigma}$ | $\hat{\kappa}$ |
| 65 m ³ /s | 62 | 1.48 | 23.69 | -0.0371 |

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

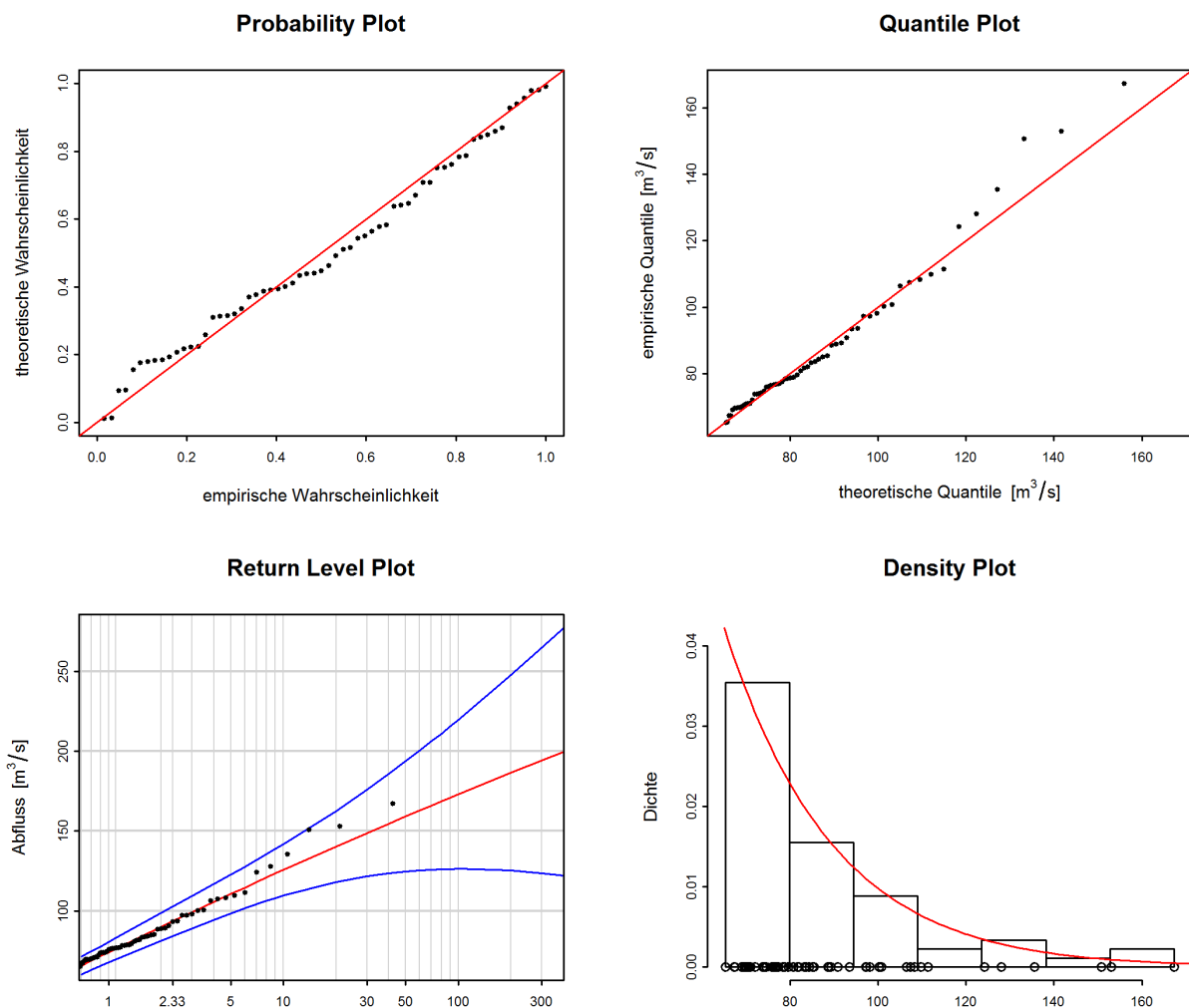


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

| Kriterien | Bewertung ⁷ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|---|
| Anpassung unterer Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel | mittelgrosse Streuung der Werte |
| Anpassung oberer Bereich | mittel | alle höheren Werte unterschätzt |
| Konfidenzintervall | gross | vor allem für hohe Wiederkehrperioden gross |

⁷Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode POT 1974-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ _T | untere Konfidenzgrenze [m ³ /s] | Abfluss [m ³ /s] | obere Konfidenzgrenze [m ³ /s] |
|-------------------|--|-----------------------------|---|
| HQ ₂ | 81.4 | 90.1 | 98.9 |
| HQ ₁₀ | 110 | 126 | 142 |
| HQ ₃₀ | 122 | 149 | 176 |
| HQ ₁₀₀ | 126 | 173 | 220 |
| HQ ₃₀₀ | 124 | 194 | 265 |

2.2.1.b Nicht stationäre Modellvariante

Der Vergleich der verschiedenen Modelle zeigt, dass sich nur das Modell „sigjump“ signifikant vom stationären Modell „stat“ unterscheidet.⁸ Also werden im folgenden die Resultate von „sigjump“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| POT | sigjump1999 | 1974-2015 | Tagesmaxima | - |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Schwellenwert | Anzahl Werte | Ereignisrate | Skalenparameter $\hat{\sigma}^9$ | | Formparameter |
|----------------------|--------------|-----------------|----------------------------------|----------------------|----------------|
| u | n | $\hat{\lambda}$ | b₁ | b₂ | $\hat{\kappa}$ |
| 65 m ³ /s | 62 | 1.48 | 16.65 | 16.31 | -0.0577 |

Die Güte der „sigjump1999“ Modellvariante über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 11 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

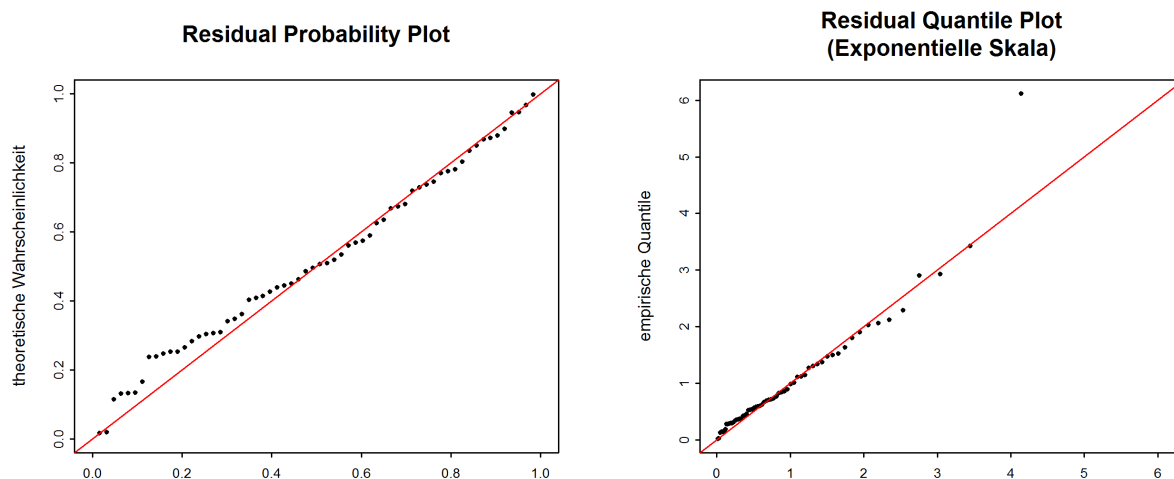


Abbildung 11: Diagnostikplots der Modellvariante „sigjump1999“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

⁸Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „sigjump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1999 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁹ $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 \cdot i$, $i = 0$ für $t < t_0$, $i = 1$ für $t \geq t_0$ (s. Tabelle 1)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 11):

| Kriterien | Bewertung ¹⁰ | Bemerkungen |
|----------------------------------|-------------------------|--|
| Anpassung unterer Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel | ein paar Werte leicht unterschätzt |
| Anpassung oberer Bereich | schlecht | höchster Wert stark unterschätzt |
| Vergleich mit stationärem Modell | verschlechtert | höchster Wert viel deutlicher unterschätzt |

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „sigjump1999“ des POT-Ansatzes über die Auswertungsperiode POT 1974-2015 (inkl. 95%-Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ _T | untere Konfidenzgrenze [m ³ /s] | Abfluss [m ³ /s] | obere Konfidenzgrenze [m ³ /s] |
|-------------------|--|-----------------------------|---|
| HQ ₂ | 85.2 | 99.6 | 114 |
| HQ ₁₀ | 116 | 147 | 179 |
| HQ ₃₀ | 129 | 177 | 225 |
| HQ ₁₀₀ | 137 | 208 | 279 |
| HQ ₃₀₀ | 138 | 234 | 331 |

In Abbildung 12 ist die Veränderung des mit dem Modell „sigjump1999“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1974 und 2015 dargestellt.

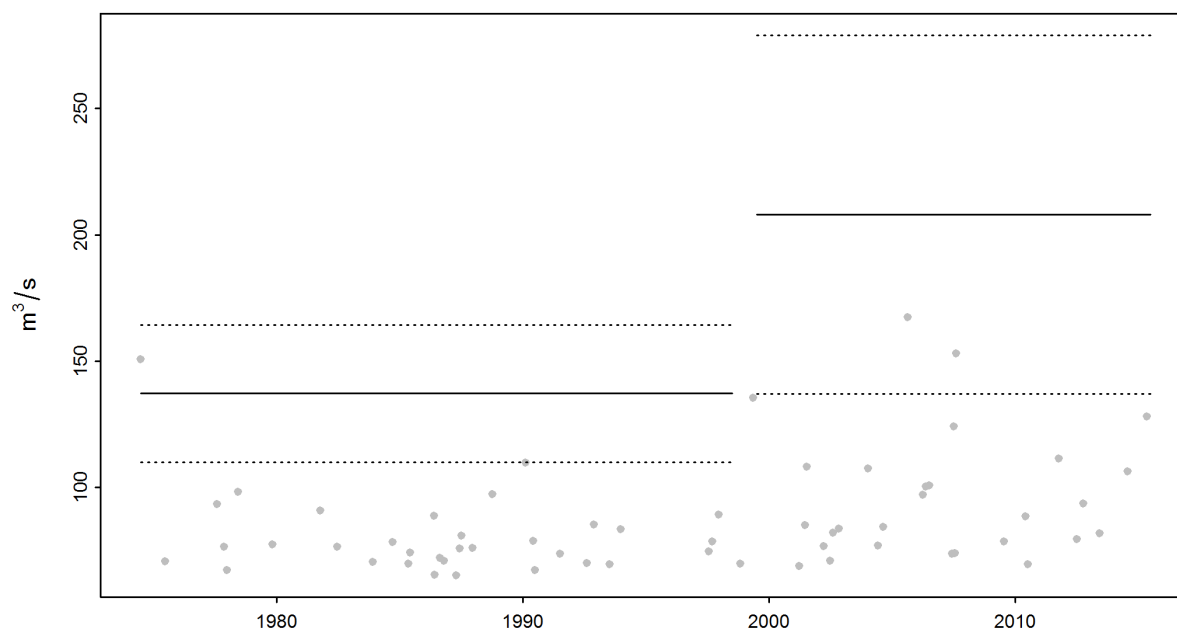


Abbildung 12: Veränderung der mit der Modellvariante „sigjump1999“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1974-2015

¹⁰Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 13 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. Generell werden diese Unterschiede grösser, je grösser die Wiederkehrperiode T und je kleiner die zugrunde liegende Datenmenge ist.

3.1 Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden

Nur mit dem BLOCK-Ansatz, der auf der Untersuchung von Monatsmaxima basiert, ist eine Analyse der Auswertungsperiode 1922 - 2015 möglich. Für die Darstellung des Einflusses der Messperiode wurden die Resultate des BLOCK-Ansatzes für die verschiedenen Auswertungsperioden verglichen:

| Perioden | HQ_T | Konfidenzintervall |
|---|--|--------------------|
| Vergleichsperiode / Gesamte Auswertungsperiode | etwas tiefere Werte für hohe Wiederkehrperioden | etwas grösser |

Dier mit Abstand höchste Abflusswert wurde vor 1974 registriert. Dies führt zu etwas tieferen HQ_T in der Vergleichsperiode für grosse Wiederkehrperioden. Aufgrund der geringeren Datenmenge ist das Konfidenzintervall bei der Vergleichsperiode grösser als in der gesamten Auswertungsperiode.

3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 13 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:

Im stationären Fall liegen die HQ_T des POT-Ansatzes für grosse Wiederkehrperioden etwas tiefer als diejenigen des BLOCK-Ansatzes. Im nicht stationären Fall dagegen sind die HQ_T des POT-Ansatzes höher, neben den hohen Werten vor allem auch für geringe Wiederkehrperioden.

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:

Beim BLOCK-Ansatz kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte zu einem geringen Ausmass verbessert werden, da die leichte Erhöhung der grossen Hochwasserwerte in den letzten Jahren in das Modell einbezogen wird. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge ein wenig höher als mit den stationären Modellvarianten. Beim POT-Ansatz wird durch die Verwendung eines nicht stationären Modelles die Qualität eher schlechter, da der höchste Wert dadurch noch stärker unterschätzt wird. Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung ist nicht möglich, da den Veränderungen 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.

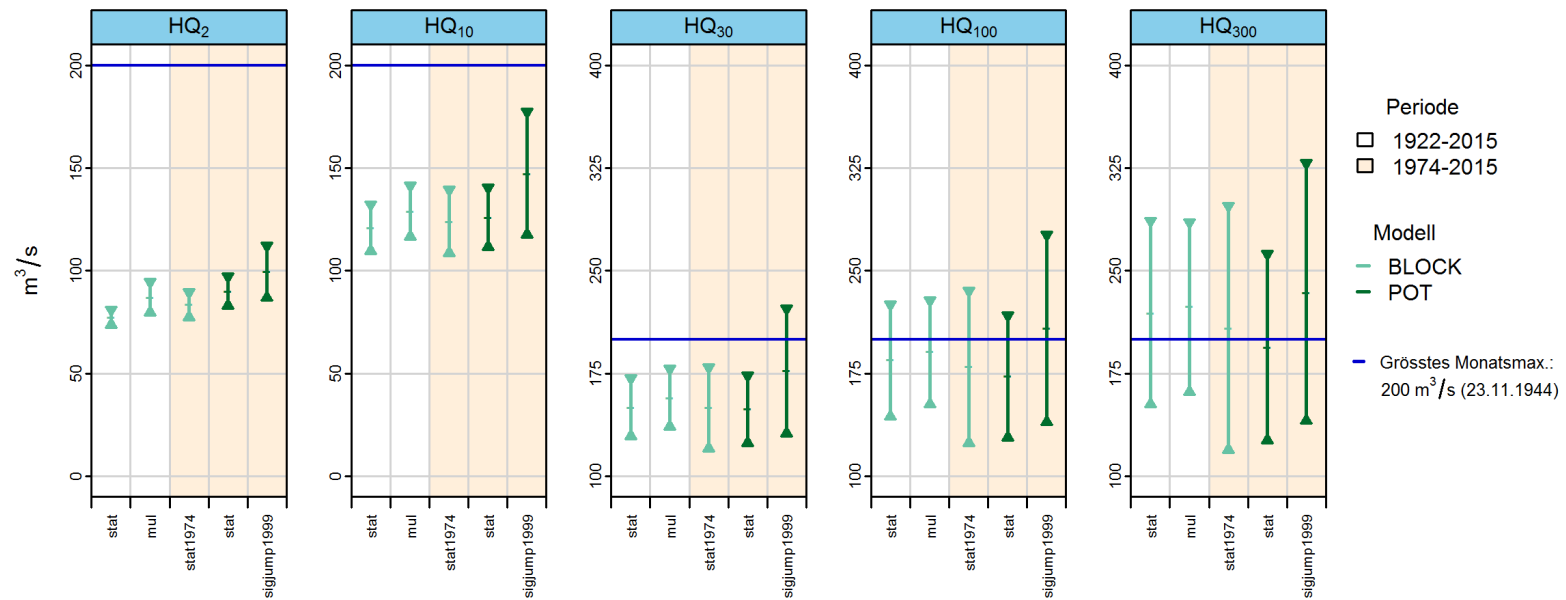


Abbildung 13: HQ_T [m^3/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

| Auswertungsperiode | Verfahren | Anpassung | | | Bemerkung |
|--------------------|-----------------|-----------|------------|----------|--|
| 1922 - 2015 | BLOCK stat | gut | gut-mittel | mittel | einige Werte etwas unterschätzt |
| | BLOCK mul | gut | gut | mittel | einige Werte etwas unterschätzt einige Werte etwas näher an Einheitsdiagonale; Konfidenzintervall etwas kleiner |
| 1974 - 2015 | BLOCK stat | gut | gut | mittel | alle höheren Werte etwas unterschätzt |
| 1974 - 2015 | POT stat | gut | gut-mittel | mittel | alle höheren Werte unterschätzt |
| | POT sigjump1999 | gut | gut-mittel | schlecht | höchster Wert stark unterschätzt höchster Wert viel deutlicher unterschätzt |

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. Hennef.

Anhang

A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten

Der Schwellenwert u zur Abgrenzung der Extremwerte des POT-Ansatzes für die Auswertungsperiode 1974 - 2015 (siehe Kapitel 2.2.1) wird anhand des „mean residual life plots“ auf $65 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 14).

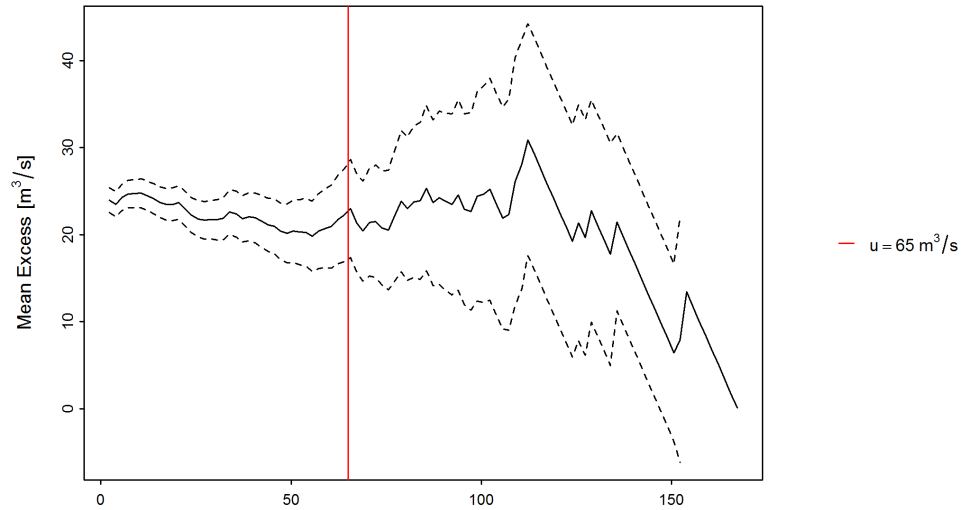


Abbildung 14: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

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 Leitfaden 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 Leitfaden 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 | |
| κ Formparameter (kappa) | Der Formparameter κ steht in direktem Zusammenhang mit der sogenannten "Heaviness of Tail" der Verteilung. Als Tail wird der Bereich mit den Ausreissern nach oben bezeichnet. Ist κ gross, so werden viele solche Ausreisser angenommen. Bei negativen Werten für κ hingegen wird angenommen, dass für die Extremwerte eine obere Schranke existiert. |
| λ Ereignisrate (lambda) | Beim POT-Ansatz entspricht die Ereignisrate λ der mittleren Anzahl Schwellenwertüberschreitungen während des Zeitintervalls von einem Jahr. |
| μ Lageparameter (mu) | Beschreibt die mittlere Lage der Stichprobenelemente (hier: Abflussmessungen) in Bezug auf die Messskala (hier: m^3/s bzw. l/s). |