



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# HOCHWASSERSTATISTIK

## STATIONSBERICHT

# Sihl - Zürich, Sihlhölzli

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: 1926-2015 . . . . .                         | 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         |
| 2.1.3         | Auswertungsperiode ab Bruchpunkt: 1938-2015 . . . . .                   | 11        |
| 2.1.3.a       | Stationäre Modellvariante . . . . .                                     | 11        |
| 2.1.3.b       | Nicht stationäre Modellvariante . . . . .                               | 12        |
| 2.2           | Peaks Over Threshold Ansatz (POT) . . . . .                             | 14        |
| 2.2.1         | Auswertungsperiode POT: 1974-2015 . . . . .                             | 15        |
| 2.2.1.a       | Stationäre Modellvariante . . . . .                                     | 15        |
| 2.2.1.b       | Nicht stationäre Modellvariante . . . . .                               | 17        |
| <b>3</b>      | <b>Vergleich der verschiedenen Resultate</b>                            | <b>19</b> |
| 3.1           | Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden . . . . .         | 19        |
| 3.2           | Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze . . . . .         | 19        |
| <b>4</b>      | <b>Literatur</b>  | <b>22</b> |
| <b>Anhang</b> |   | <b>23</b> |
| A             | Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten . . . . . | 23        |
| B             | Glossar . . . . .   | 24        |

# 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   | 01.06.1918  | 31.12.2015 |
| Digitale Tagesmaxima    | 01.01.1974  | 31.12.2015 |

Ein Limnigraph wurde am 15. Februar 1925 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:

| <b>Grösste Abflussspitze</b> | <b>Datum</b> | <b>Abfluss</b>        |
|------------------------------|--------------|-----------------------|
| Grösstes Monatsmaximum       | 14.05.1930   | 340 m <sup>3</sup> /s |
| Grösstes Tagesmaximum        | 22.08.2005   | 280 m <sup>3</sup> /s |

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

| <b>Abflussverlauf</b>       | <b>Beschreibung</b>  |
|-----------------------------|--|
| Abflussregime               | Nivo pluvial préalpin: etwas höhere Abflüsse im Sommer als im Winter   |
| Ausprägung der Saisonalität | In Monats- und Tagesmaxima zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)   |
| Beeinflussung               | Beeinflussung durch Stausee und mehrere Laufkraftwerke. Stärkste Beeinflussung des Abflusses durch Inbetriebnahme des Etzelwerks mit dem Sihlsee (50.8 Mio. m <sup>3</sup> ) 1937. Die Monatsmaxima sind danach mit einigen Ausnahmen deutlich geringer (siehe Abbildung 2). |

Die Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 65 und 340 m<sup>3</sup>/s, wobei die Werte in diesem Bereich stark streuen. Seit Beginn der 1940er-Jahre sind die Jahresmaxima stark gesunken (s. Abbildung 2). Seither wurden nur noch viermal Werte deutlich über 200 m<sup>3</sup>/s registriert, drei davon seit 1999. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen signifikanten Bruchpunkt ab 1941 (Konfidenzintervall 1939-1944). Im Jahr 1937 wurde der Stausee Sihlsee in Betrieb genommen, welcher das Abflussverhalten deutlich verändert hat. Das turbinierete Wasser wird dem Zürichsee zugeführt und fehlt damit im Einzugsgebiet der Sihl. Die Abnahme der Maxima und die Übereinstimmung mit der Bruchpunktanalyse führen dazu, dass die Datenreihe unterteilt wird. Der Beginn der Periode ab Bruchpunkt wird dabei auf 1938 festgelegt.

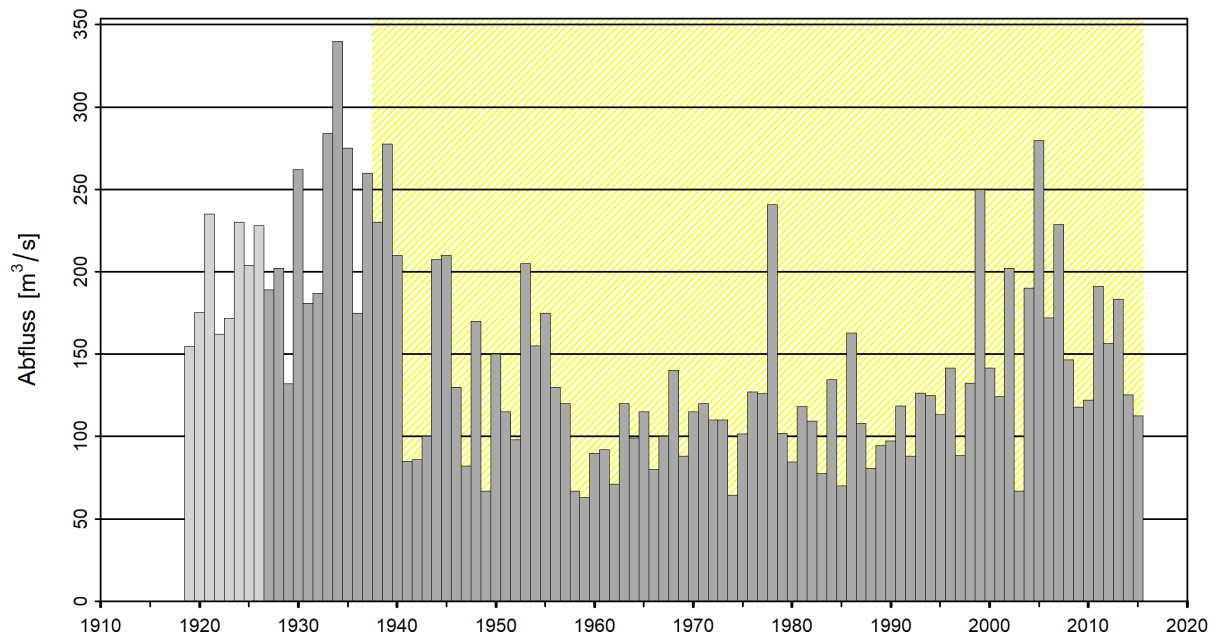


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (1918 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendete Jahresmaxima, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Limnigraphen-installation). Gelb schraffiert: Auswertungsperiode ab Bruchpunkt (1938)

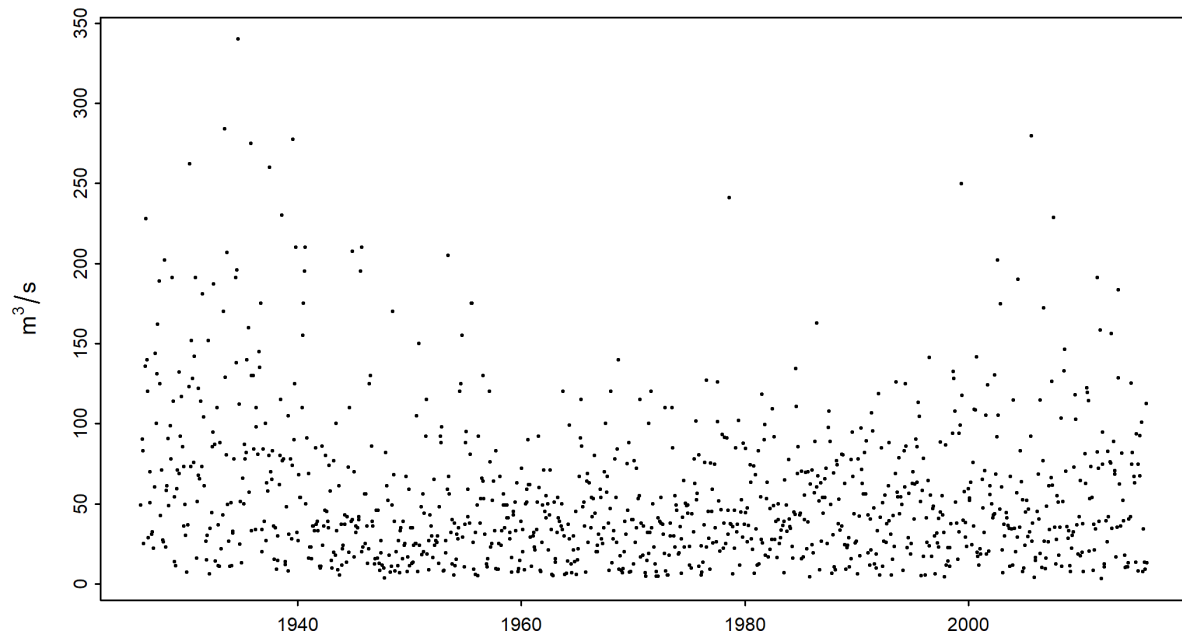


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1926 - 31.12.2015)

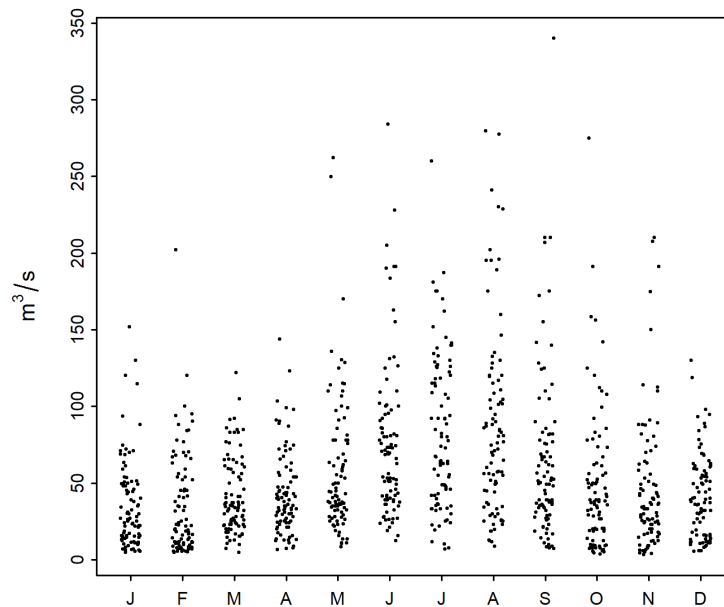


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1926 - 31.12.2015)

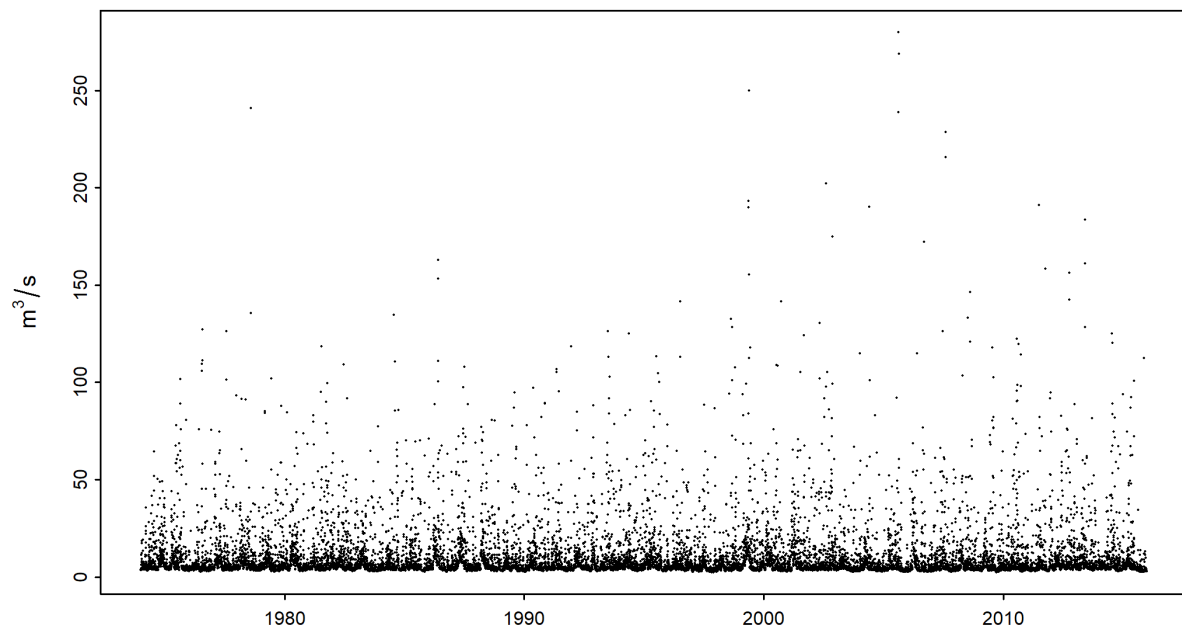


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1974 - 31.12.2015)

### Fazit für die Modellvarianten

| Veränderungen                   | Auswirkungen                | Folgerungen                |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Wasserkraftwerk Sihlsee ab 1937 | Monatsmaxima werden kleiner | Vermutlich nicht stationär |

### Bruchpunktanalyse

| Jahr        | Signifikanter Bruchpunkt | Folgerungen   |
|-------------|--------------------------|---|
| 1937 / 1938 | ja                       | Unterteilung der Daten, da der Bruchpunkt mit Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet (Inbetriebnahme Kraftwerk) begründbar |

## 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<br>$\sigma$ Skalenparameter<br>$\kappa$ Formparameter                 | Jahresmaxima        |
| Peaks Over Threshold (POT) | $\lambda$ Ereignisrate<br>$\sigma$ Skalenparameter <sup>1</sup><br>$\kappa$ Formparameter | Tagesmaxima         |

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 $t_0$ | $\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa,$<br>$i = 0$ 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 $t_0$ | $\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$<br>$i = 0$ 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:

| Auswertungs-<br>periode | Beschreibung                     | ausgewählte<br>Modellvariante | Kapitel                            |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1926 - 2015             | gesamte Auswertungsperiode       | stat<br>mujump                | Kapitel 2.1.1.a<br>Kapitel 2.1.1.b |
| 1974 - 2015             | Vergleichsperiode                | stat                          | Kapitel 2.1.2.a                    |
| 1938 - 2015             | Auswertungsperiode ab Bruchpunkt | stat<br>mujump                | Kapitel 2.1.3.a<br>Kapitel 2.1.3.b |

### 2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1926-2015

#### 2.1.1.a Stationäre Modellvariante

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK     | stat           | 1926-2015          | Jahresmaxima        | -         |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte $n$ | Lageparameter $\hat{\mu}$ | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 90               | 112.46                    | 40.95                          | 0.1751                       |

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

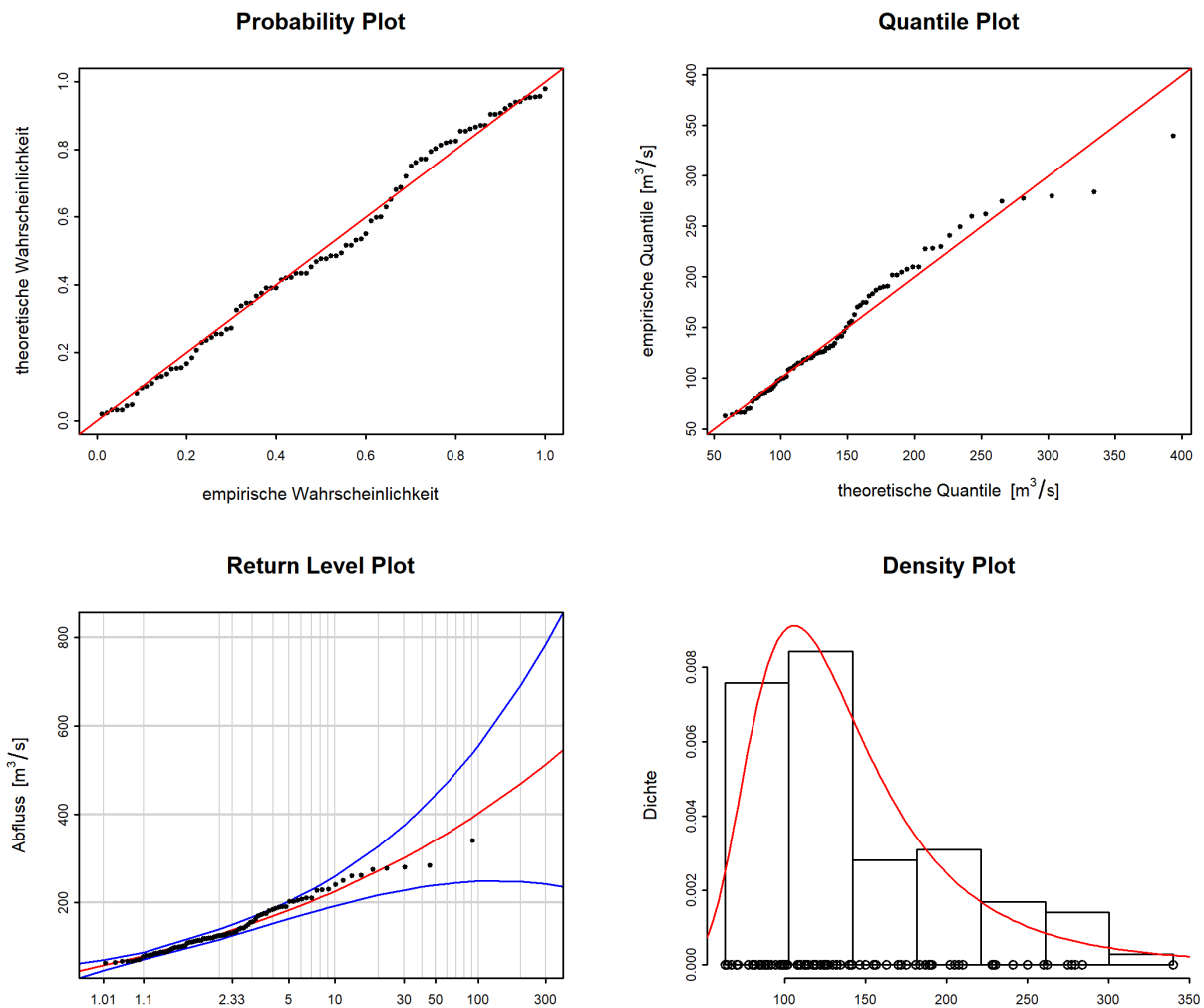


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1926-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

| Kriterien                   | Bewertung <sup>2</sup> | Bemerkungen                              |
|-----------------------------|------------------------|--|
| Anpassung unterer Bereich   | gut                    | -  |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel             | einige Werte werden unterschätzt         |
| Anpassung oberer Bereich    | mittel                 | grössten drei Werte werden überschätzt   |
| 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 1926-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| HQ <sub>T</sub>   | untere Konfidenzgrenze [m³/s] | Abfluss [m³/s] | obere Konfidenzgrenze [m³/s] |
|-------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| HQ <sub>2</sub>   | 116                           | 128            | 140                          |
| HQ <sub>10</sub>  | 192                           | 225            | 259                          |
| HQ <sub>30</sub>  | 228                           | 302            | 375                          |
| HQ <sub>100</sub> | 248                           | 402            | 556                          |
| HQ <sub>300</sub> | 242                           | 513            | 784                          |

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

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK     | mujump1938     | 1926-2015          | Jahresmaxima        | -         |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}^4$ |        | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|-----------------------------|--------|--------------------------------|------------------------------|
|                | $a_1$                       | $a_2$  |                                |                              |
| 90             | 188.37                      | -80.61 | 37.3                           | 0.0936                       |

Die Güte der Modellvariante „mujump1938“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 6 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

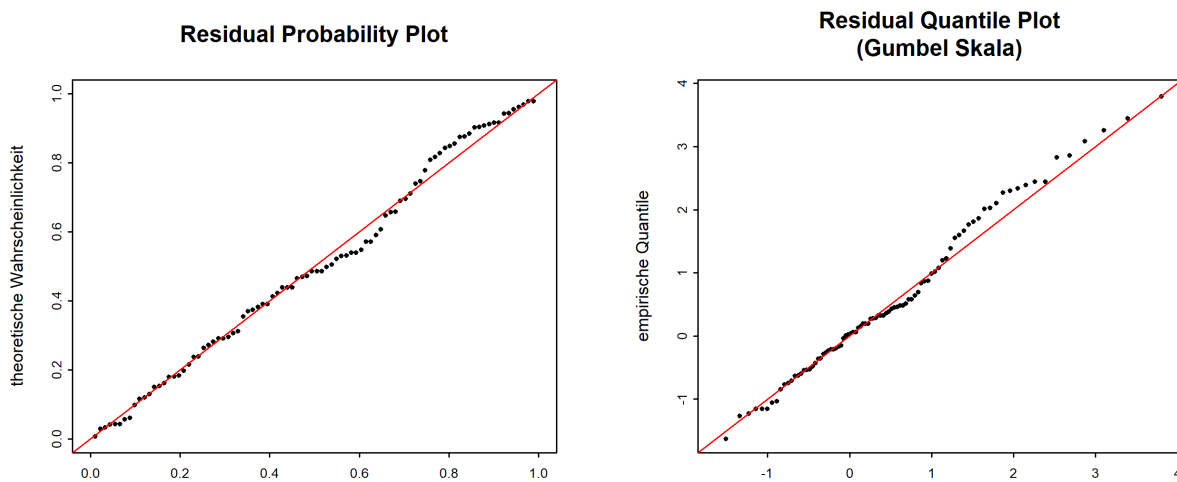


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „mujump1938“ des BLOCK-Ansatzes (1926-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

| Kriterien                        | Bewertung <sup>5</sup> | Bemerkungen   |
|----------------------------------|------------------------|---|
| Anpassung unterer Bereich        | gut                    | -   |
| Anpassung mittlerer Bereich      | gut-mittel             | einige Werte werden unterschätzt                                      |
| Anpassung oberer Bereich         | gut-mittel             | einige Werte werden unterschätzt, grössten Werte werden gut angepasst |
| Vergleich mit stationärem Modell | verbessert             | grössten Werte werden viel besser an Einheitsdiagonale angepasst      |

<sup>3</sup>Als Zeitpunkt  $t_0$  für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1938 gewählt (siehe Kapitel 1).

<sup>4</sup> $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot i$ ,  $i = 0$  für  $t < t_0$ ,  $i = 1$  für  $t \geq t_0$  (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 „mujump1938“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1926-2015 (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>   | 111  | 122                         | 132                                       |
| HQ <sub>10</sub>  | 176  | 201                         | 226                                       |
| HQ <sub>30</sub>  | 206  | 256                         | 307                                       |
| HQ <sub>100</sub> | 225  | 322                         | 419                                       |
| HQ <sub>300</sub> | 229  | 389                         | 549                                       |

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „mujump1938“ berechneten HQ<sub>100</sub> zwischen 1926 und 2015 dargestellt.

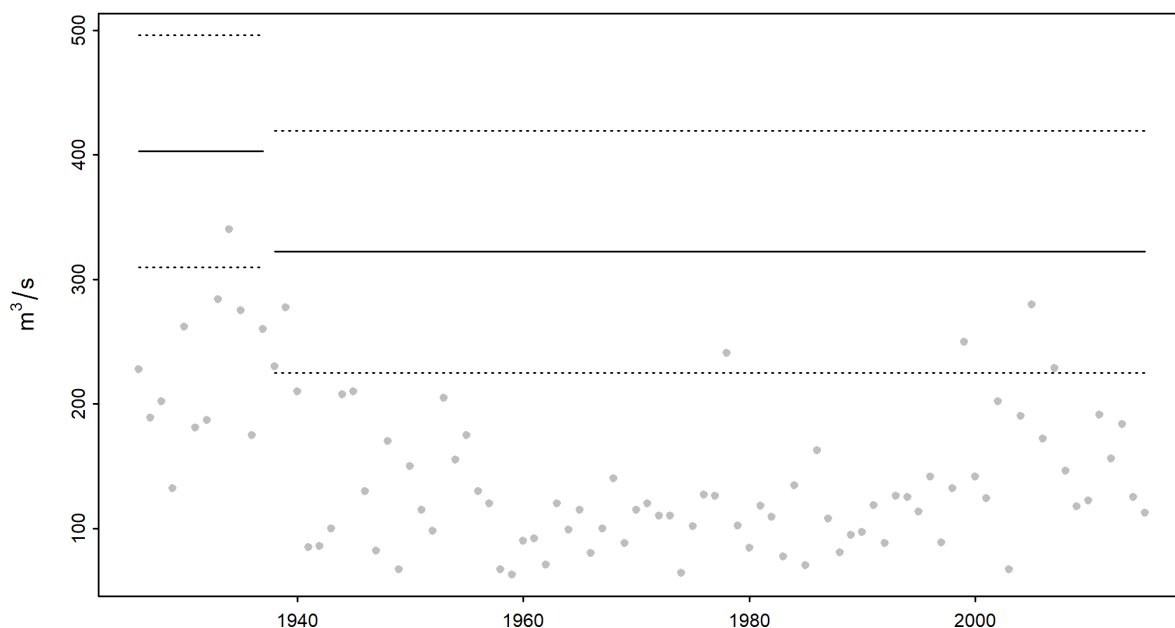


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „mujump1938“ berechneten HQ<sub>100</sub> (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1926-2015

## 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             | 110.16                    | 35.54                          | 0.0966                       |

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

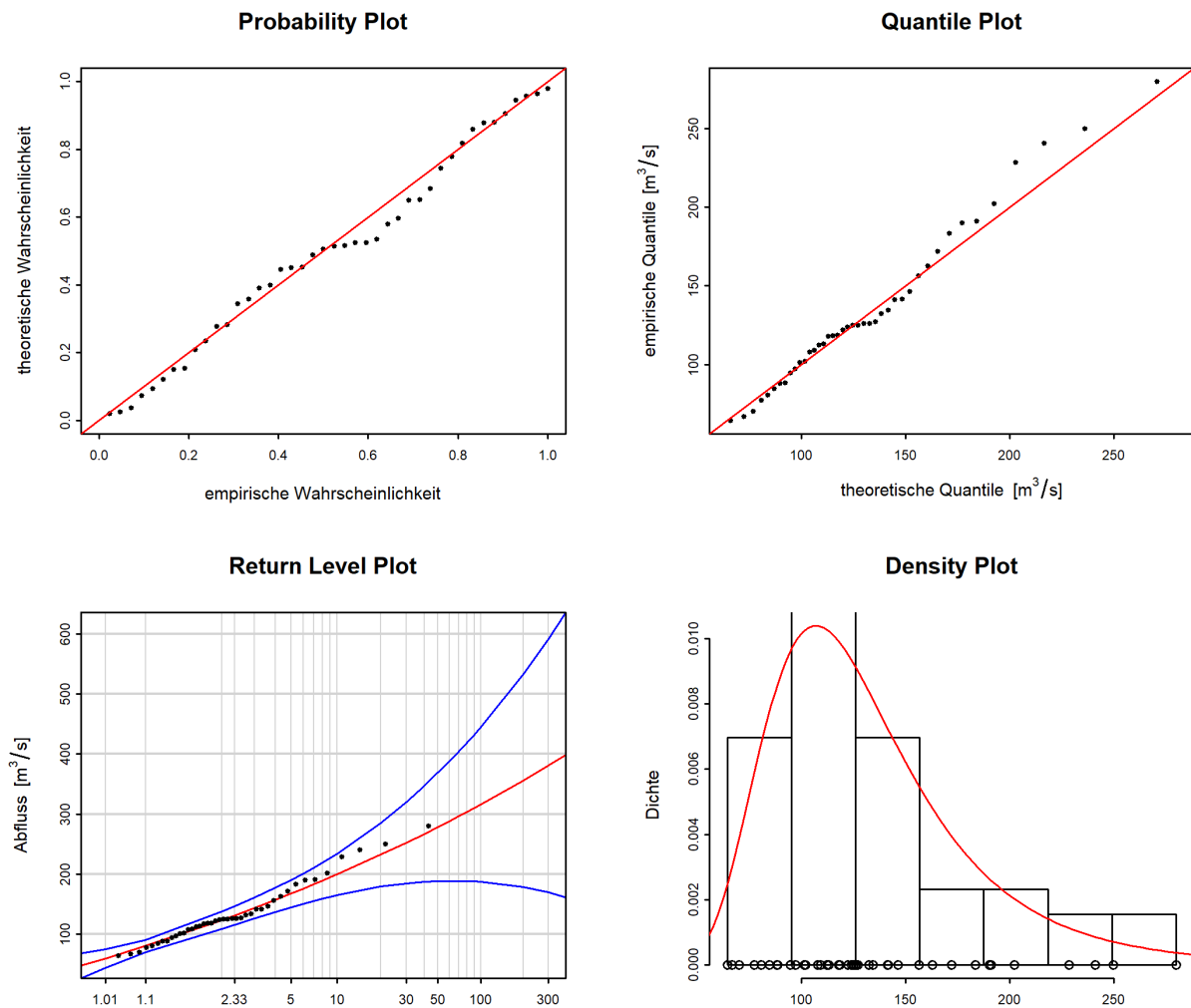


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

| Kriterien                   | Bewertung <sup>6</sup> | Bemerkungen                                   |
|-----------------------------|------------------------|---|
| Anpassung unterer Bereich   | gut                    | -   |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel             | einige Werte werden unterschätzt              |
| Anpassung oberer Bereich    | gut                    | grössten Werte werden nur leicht unterschätzt |
| Konfidenzintervall          | sehr gross             | für grosse Wiederkehrperioden sehr 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 <sub>T</sub>   | untere Konfidenzgrenze [m³/s] | Abfluss [m³/s] | obere Konfidenzgrenze [m³/s] |
|-------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| HQ <sub>2</sub>   | 109                           | 123            | 138                          |
| HQ <sub>10</sub>  | 165                           | 199            | 234                          |
| HQ <sub>30</sub>  | 185                           | 252            | 320                          |
| HQ <sub>100</sub> | 187                           | 316            | 445                          |
| HQ <sub>300</sub> | 170                           | 380            | 591                          |

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

### 2.1.3 Auswertungsperiode ab Bruchpunkt: 1938-2015

#### 2.1.3.a Stationäre Modellvariante

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK     | stat           | 1938-2015          | Jahresmaxima        | -         |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}$ | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 78             | 105.67                    | 34.54                          | 0.1468                       |

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

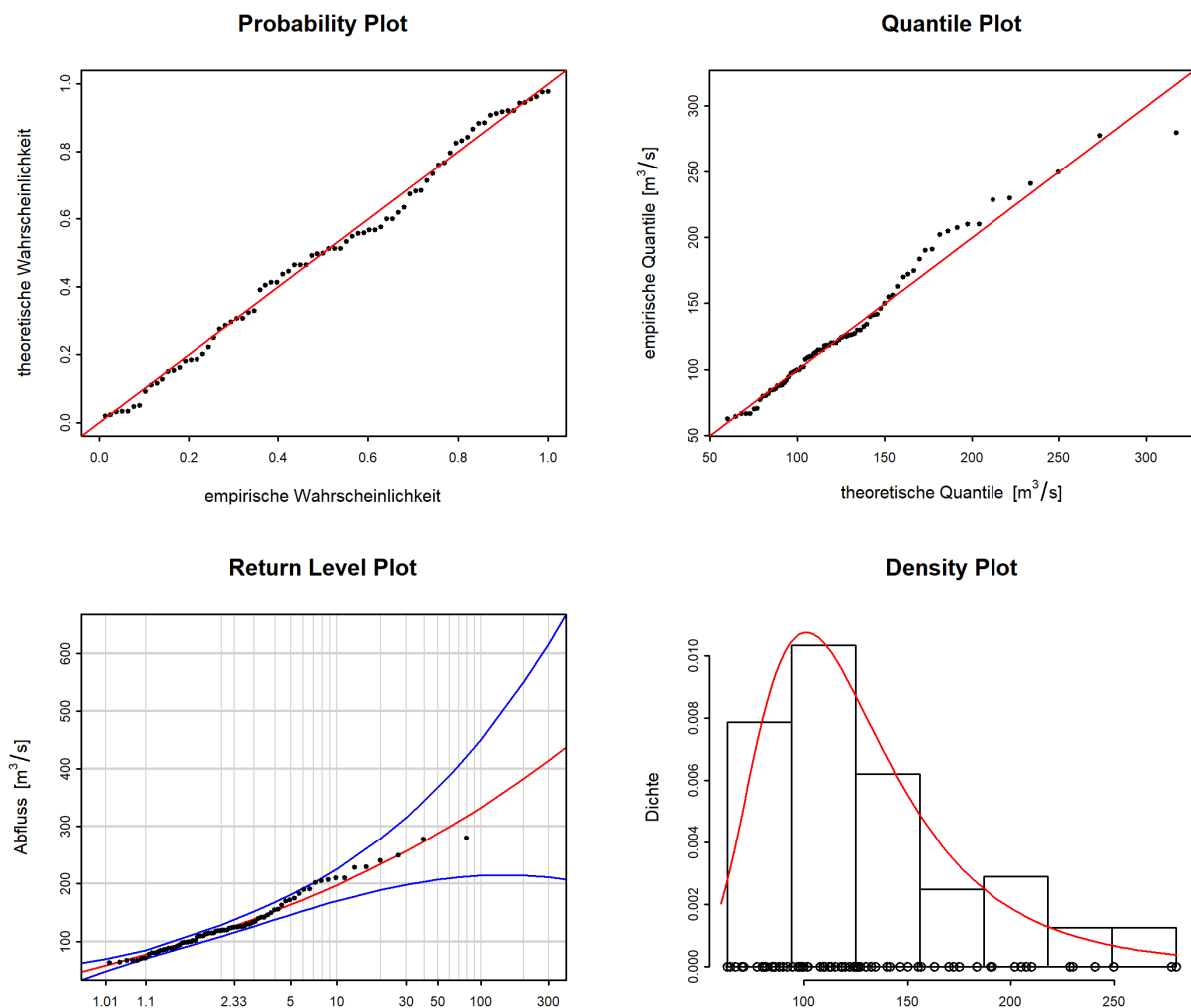


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1938-2015)

### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):

| Kriterien                   | Bewertung <sup>7</sup> | Bemerkungen                         |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Anpassung unterer Bereich   | gut                    | -                                   |
| Anpassung mittlerer Bereich | mittel                 | einige Werte werden unterschätzt    |
| Anpassung oberer Bereich    | gut-mittel             | grösster Wert wird überschätzt      |
| Konfidenzintervall          | gross                  | für grosse Wiederkehrperioden gross |

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt 1938-2015 (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>   | 108  | 119                         | 129                                       |
| HQ <sub>10</sub>  | 170  | 198                         | 226                                       |
| HQ <sub>30</sub>  | 198  | 257                         | 316                                       |
| HQ <sub>100</sub> | 215  | 333                         | 451                                       |
| HQ <sub>300</sub> | 212  | 414                         | 616                                       |

### 2.1.3.b Nicht stationäre Modellvariante

Der Vergleich der verschiedenen Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes über die Periode ab Bruchpunkt zeigt, dass sich die Modelle „muq“ und „mujump“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheiden.<sup>8</sup> Am besten schneidet dabei die Variante „mujump“ ab, deren Resultate im Folgenden dargestellt sind (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

| Verfahren | Modellvariante | Auswertungsperiode | Modelleingangsdaten | Bemerkung |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| BLOCK     | mujump1999     | 1938-2015          | Jahresmaxima        | -         |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}$ <sup>9</sup> |       | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|--|-------|--------------------------------|------------------------------|
|                | $a_1$                                  | $a_2$ |                                |                              |
| 78             | 102.81                                 | 26.92 | 34.92                          | 0.0593                       |

Die Güte der „mujump1999“ Modellvariante über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt wird grafisch anhand der in Abbildung 10 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

<sup>7</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

<sup>8</sup>Als Zeitpunkt  $t_0$  für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse der Periode ab Bruchpunkt das Jahr 1999 gewählt.

<sup>9</sup> $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot i$ ,  $i = 0$  für  $t < t_0$ ,  $i = 1$  für  $t \geq t_0$  (s. Tabelle 1)

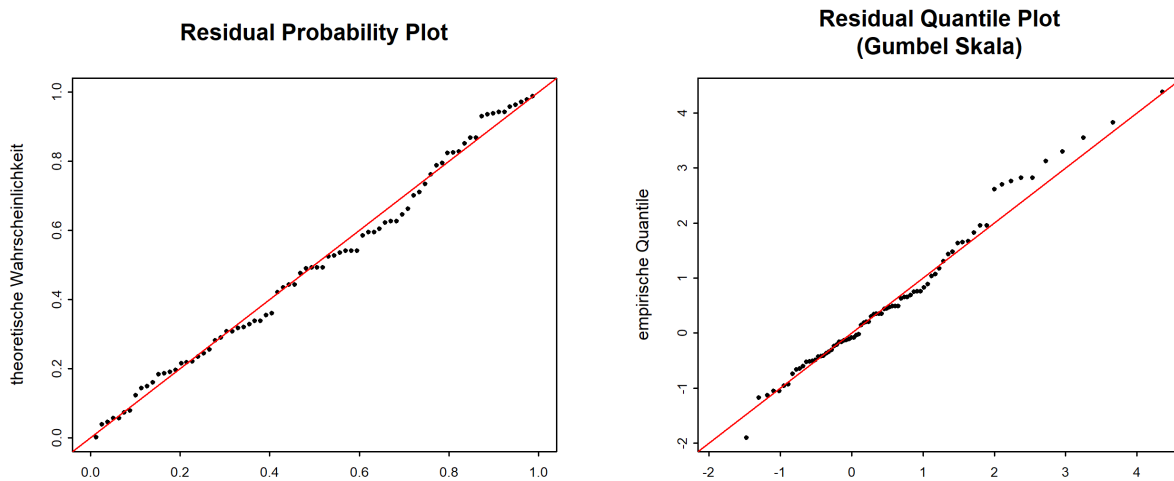


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „mujump1999“ des BLOCK-Ansatzes (1938-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

| Kriterien                        | Bewertung <sup>10</sup> | Bemerkungen                           |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Anpassung unterer Bereich        | mittel                  | kleinster Wert wird überschätzt       |
| Anpassung mittlerer Bereich      | gut                     | -                                     |
| Anpassung oberer Bereich         | mittel                  | einige Werte werden unterschätzt      |
| Vergleich mit stationärem Modell | etwas verbessert        | bessere Anpassung im obersten Bereich |

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „mujump1999“ des BLOCK-Ansatzes über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt 1938-2015 (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>   | 121  | 143                         | 164                                       |
| HQ <sub>10</sub>  | 187  | 214                         | 240                                       |
| HQ <sub>30</sub>  | 220  | 261                         | 302                                       |
| HQ <sub>100</sub> | 241  | 314                         | 388                                       |
| HQ <sub>300</sub> | 249  | 367                         | 484                                       |

In Abbildung 11 ist die Veränderung des mit dem Modell „mujump1999“ berechneten HQ<sub>100</sub> zwischen 1938 und 2015 dargestellt.

<sup>10</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

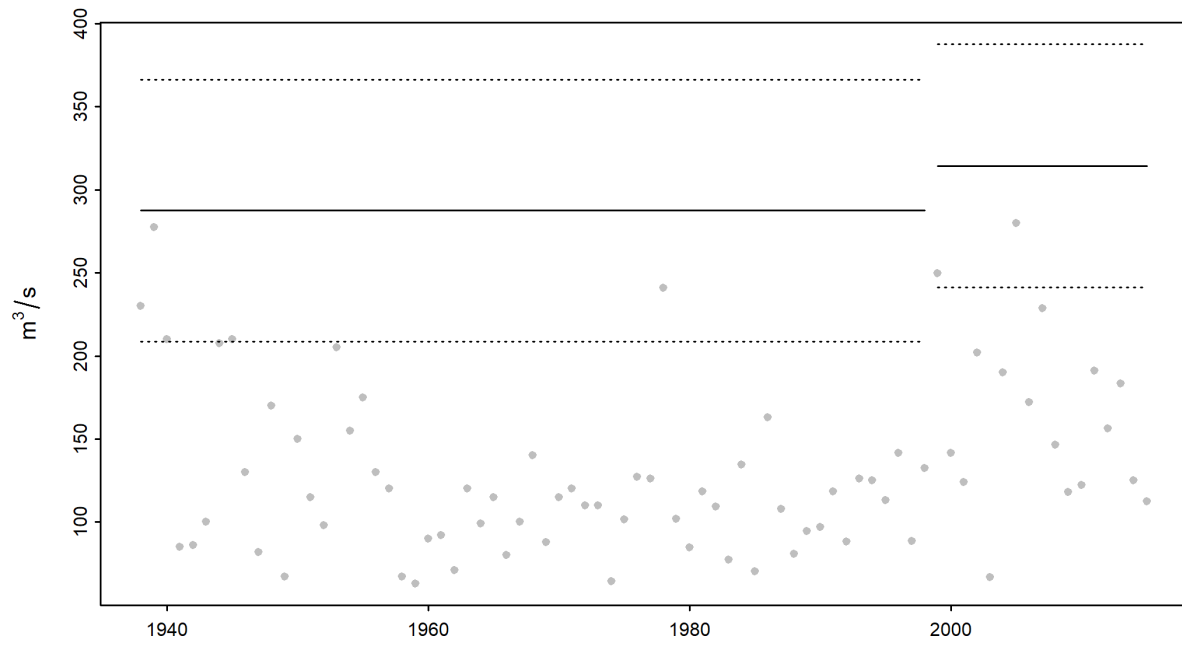


Abbildung 11: Veränderung der mit der Modellvariante „mujump1999“ berechneten  $HQ_{100}$  (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1938-2015

## 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 1974 verwendet. Vor der Bearbeitung müssen diese von Clustern bereinigt werden. Für Sihl - Zürich, Sihlhölzli 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:

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

### 2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert  $u$   $85 \text{ m}^3/\text{s}$  gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 12 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

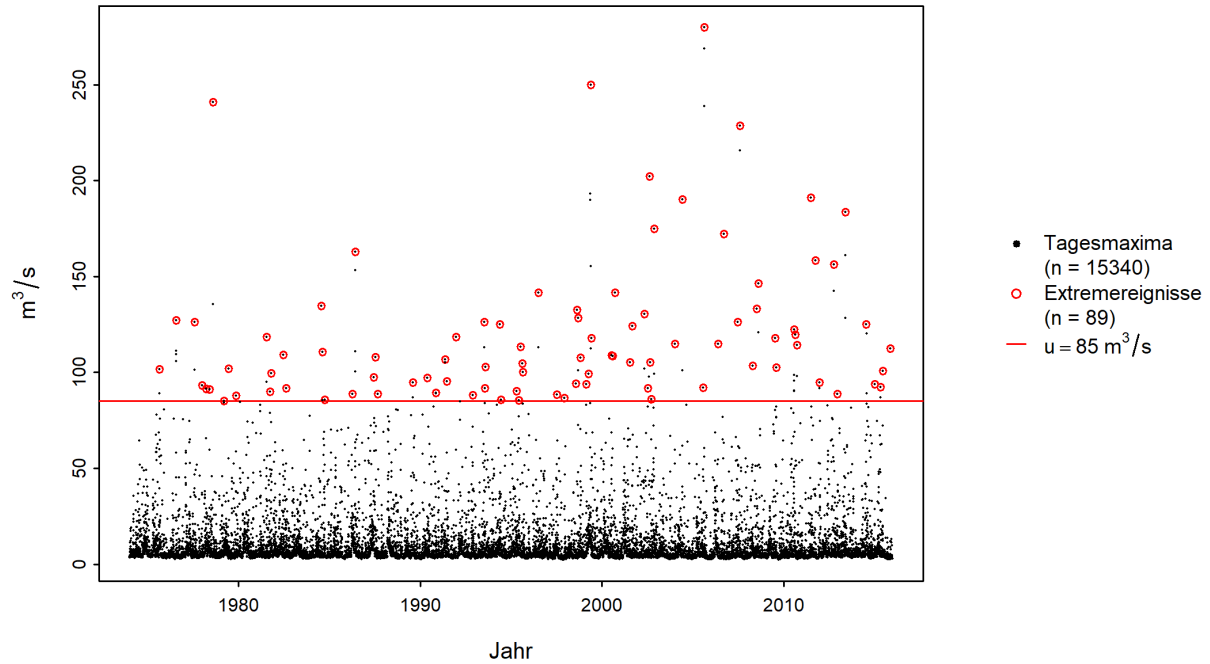


Abbildung 12: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

#### 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  |
|---------------------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| $u$                       | $n$          | $\hat{\lambda}$ | $\hat{\sigma}$  | $\hat{\kappa}$ |
| $85 \text{ m}^3/\text{s}$ | 89           | 2.12            | 29.68           | 0.1436         |

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 13 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.



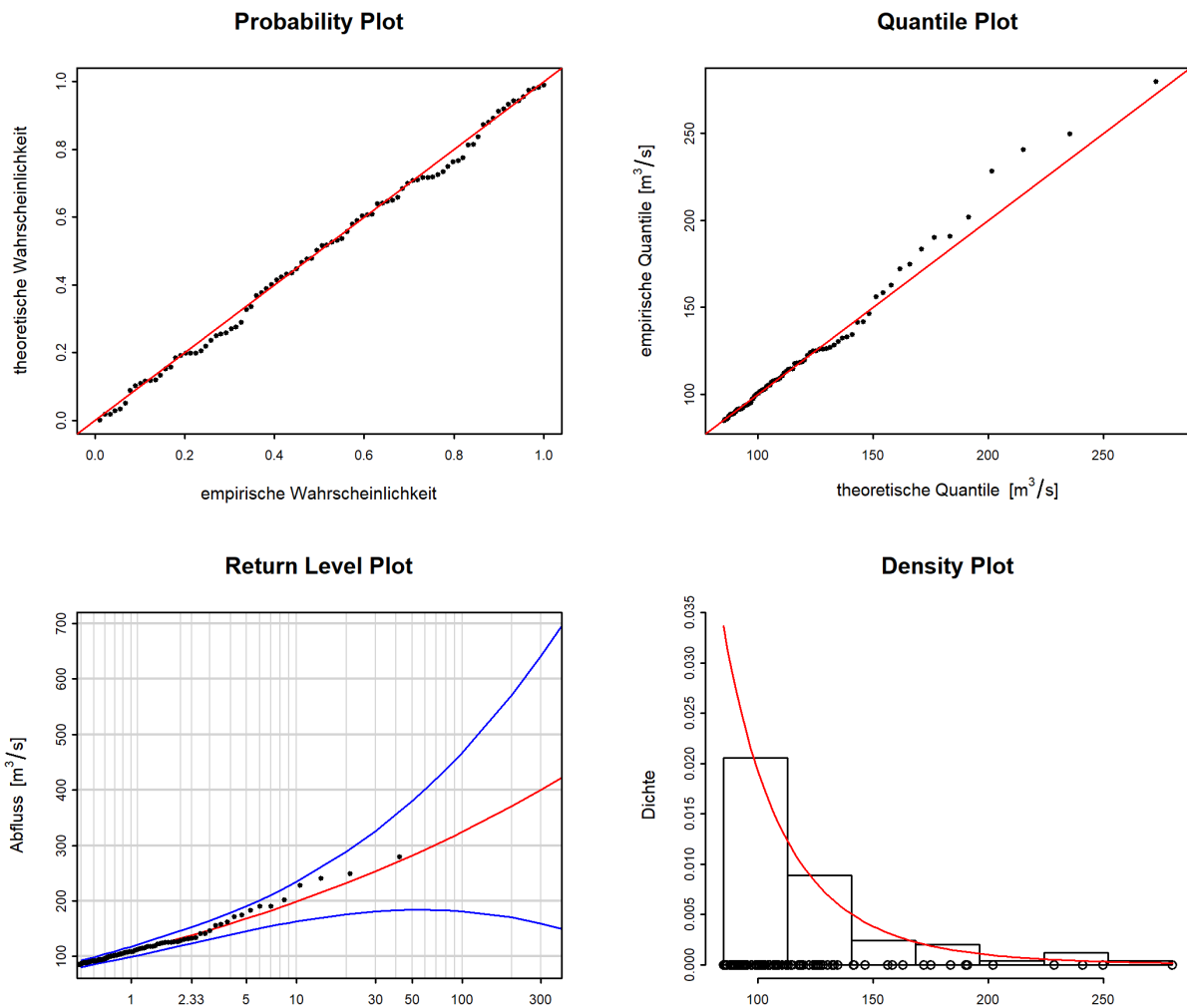


Abbildung 13: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

#### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 13):

| Kriterien                   | Bewertung <sup>11</sup> | Bemerkungen                         |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Anpassung unterer Bereich   | gut                     | -                                   |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut-mittel              | Werte werden unterschätzt           |
| Anpassung oberer Bereich    | gut                     | -                                   |
| Konfidenzintervall          | gross                   | für grosse Wiederkehrperioden gross |

<sup>11</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 1974-2015 (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>   | 119  | 133                         | 146                                       |
| HQ <sub>10</sub>  | 163  | 199                         | 234                                       |
| HQ <sub>30</sub>  | 181  | 254                         | 326                                       |
| HQ <sub>100</sub> | 182  | 324                         | 467                                       |
| HQ <sub>300</sub> | 160  | 401                         | 641                                       |

### 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>12</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       | sigjump1995    | 1974-2015          | Tagesmaxima         | -         |

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Schwellenwert        | Anzahl Werte | Ereignisrate    | Skalenparameter $\hat{\sigma}^{13}$ |                      | Formparameter  |
|----------------------|--------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|
| u                    | n            | $\hat{\lambda}$ | <b>b<sub>1</sub></b>                | <b>b<sub>2</sub></b> | $\hat{\kappa}$ |
| 85 m <sup>3</sup> /s | 89           | 2.12            | 19.25                               | 19.41                | 0.1084         |

Die Güte der „sigjump1995“ Modellvariante über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 14 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

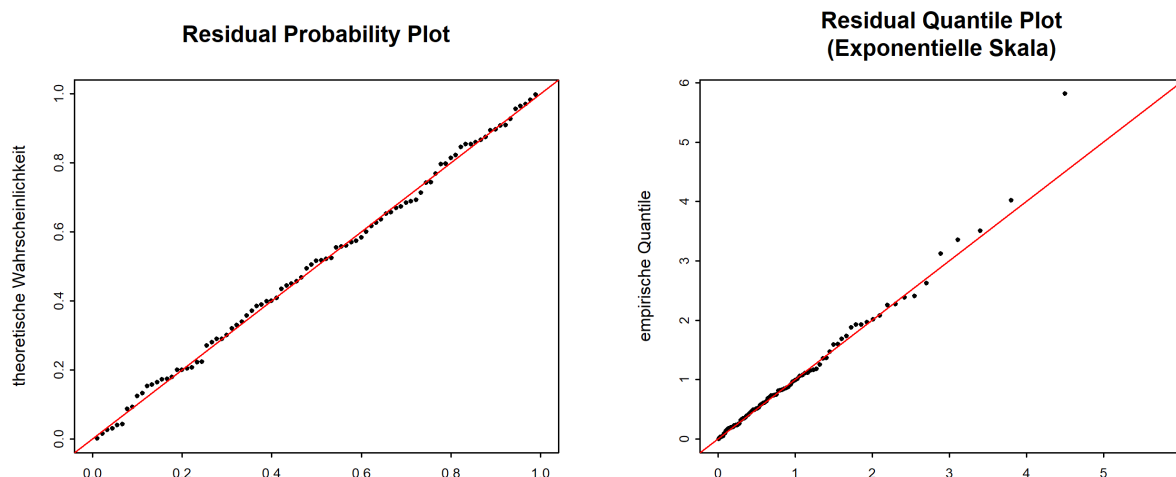


Abbildung 14: Diagnostikplots der Modellvariante „sigjump1995“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

<sup>12</sup>Als Zeitpunkt  $t_0$  für das Modell „sigjump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1995 gewählt (siehe Kapitel 1).

<sup>13</sup> $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 \cdot i, i = 0$  für  $t < t_0$ ,  $i = 1$  für  $t \geq t_0$  (s. Tabelle 1)

### Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 14):

| Kriterien                        | Bewertung <sup>14</sup> | Bemerkungen                             |
|----------------------------------|-------------------------|---|
| Anpassung unterer Bereich        | gut                     | -                                       |
| Anpassung mittlerer Bereich      | gut-mittel              | einige Werte werden etwas unterschätzt  |
| Anpassung oberer Bereich         | schlecht                | grösster Wert wird stark unterschätzt   |
| Vergleich mit stationärem Modell | verschlechtert          | schlechtere Anpassung im oberen Bereich |

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „sigjump1995“ des POT-Ansatzes über die Auswertungsperiode POT 1974-2015 (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>   | 126  | 145                         | 165                                       |
| HQ <sub>10</sub>  | 175  | 225                         | 275                                       |
| HQ <sub>30</sub>  | 197  | 288                         | 378                                       |
| HQ <sub>100</sub> | 205  | 366                         | 527                                       |
| HQ <sub>300</sub> | 190  | 446                         | 702                                       |

In Abbildung 15 ist die Veränderung des mit dem Modell „sigjump1995“ berechneten HQ<sub>100</sub> zwischen 1974 und 2015 dargestellt.

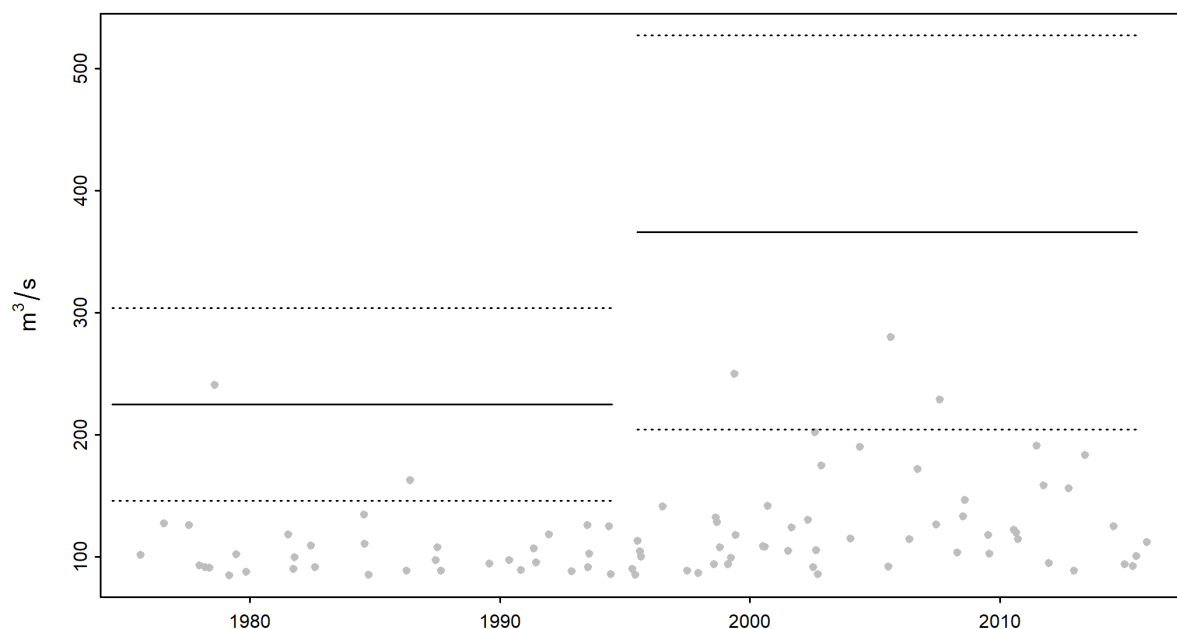


Abbildung 15: Veränderung der mit der Modellvariante „sigjump1995“ berechneten HQ<sub>100</sub> (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1974-2015

<sup>14</sup>Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

### 3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 16 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  $T$  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 1926 - 2015 und der Periode ab Bruchpunkt 1938 - 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 /<br>Gesamte Auswertungsperiode     | deutlich tiefere Werte | etwa gleich gross  |
| Periode ab Bruchpunkt / Gesamte<br>Auswertungsperiode | deutlich tiefere Werte | etwa gleich gross  |
| Periode ab Bruchpunkt / Vergleichs-<br>periode        | kaum Unterschiede      | etwas gleich gross |

Nach 1938 wurden durchschnittlich kleinere Jahreshochwasser beobachtet. Dies führt zu tieferen  $HQ_T$  in der Periode ab Bruchpunkt und der Vergleichsperiode. Das Konfidenzintervall ist jeweils ähnlich gross.

#### 3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 16 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  $HQ_T$  der stationären Variante des POT-Ansatzes liegen nur minim höher als diejenigen des BLOCK-Ansatzes der Vergleichsperiode.

##### 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 für die gesamte Auswertungsperiode kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte deutlich verbessert werden, da die Abnahme grosser Hochwasser in den Jahren nach 1938 in das Modell einbezogen wird. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge tiefer als mit der stationären Modellvariante. Für die Periode ab Bruchpunkt kann die Modellgüte mit einer nicht stationären Variante ebenfalls leicht verbessert werden. Die  $HQ_2$  bis  $HQ_{30}$  für das Jahr 2015 sind in der Folge etwas höher als mit der stationären Modellvariante. Die grösseren  $HQ_T$  liegen dagegen etwas tiefer, wobei hier die kleinsten Konfidenzintervalle berechnet werden. Die nicht stationäre Modellvariante beim POT-Ansatz bringt dagegen keine Verbesserung der Modellgüte. Die  $HQ_T$  für das Jahr 2015 liegen durchwegs höher als mit der stationären Variante des POT-Ansatzes.

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.

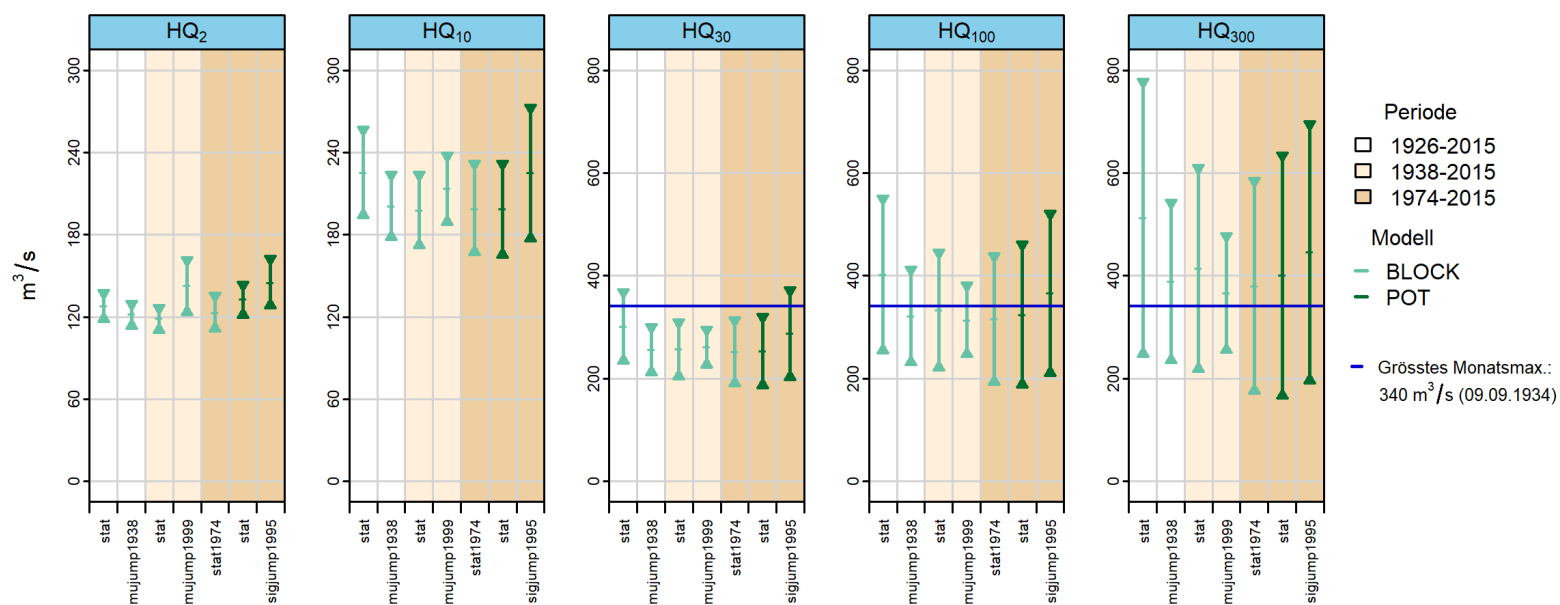


Abbildung 16:  $HQ_T$  [ $m^3/s$ ] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

| Auswertungsperiode | Verfahren        | Anpassung |            |            | Bemerkung   |
|--------------------|------------------|-----------|------------|------------|---|
| 1926 - 2015        | BLOCK stat       | gut       | gut-mittel | mittel     | grössten drei Werte werden überschätzt  |
|                    | BLOCK mujump1938 | gut       | gut-mittel | gut-mittel | einige Werte werden unterschätzt, grössten Werte werden gut angepasst<br>grössten Werte werden viel besser an Einheitsdiagonale angepasst |
| 1974 - 2015        | BLOCK stat       | gut       | gut-mittel | gut        | grössten Werte werden nur leicht unterschätzt   |
| 1938 - 2015        | BLOCK stat       | gut       | mittel     | gut-mittel | grösster Wert wird überschätzt  |
|                    | BLOCK mujump1999 | mittel    | gut        | mittel     | einige Werte werden unterschätzt<br>bessere Anpassung im obersten Bereich   |
| 1974 - 2015        | POT stat         | gut       | gut-mittel | gut        | -   |
|                    | POT sigjump1995  | gut       | gut-mittel | schlecht   | grösster Wert wird stark unterschätzt<br>schlechtere Anpassung im oberen Bereich  |

## 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  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  festgelegt (siehe Abbildung 17).

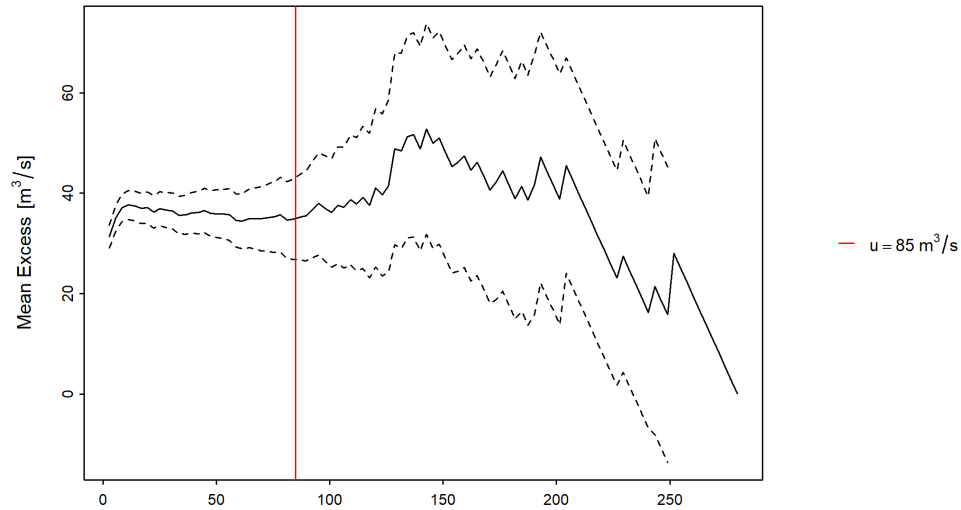


Abbildung 17: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert  $u$  (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)



## 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. $l/s$ ).   |