



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Massa - Blatten bei Naters

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

Inhaltsverzeichnis

1	Datengrundlage	2
2	Resultate der parametrischen Verfahren	6
2.1	Block Maximum Ansatz (BLOCK)	7
2.1.1	Gesamte Auswertungsperiode: 1923-2015	7
2.1.1.a	Stationäre Modellvariante	7
2.1.1.b	Nicht stationäre Modellvariante	9
2.1.2	Vergleichsperiode: 1974-2015	10
2.1.2.a	Stationäre Modellvariante	10
2.2	Peaks Over Threshold Ansatz (POT)	12
2.2.1	Auswertungsperiode POT: 1974-2015	12
2.2.1.a	Stationäre Modellvariante	12
2.2.1.b	Nicht stationäre Modellvariante	14
3	Vergleich der verschiedenen Resultate	16
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden	16
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze	16
4	Literatur	19
Anhang		20
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten	20
B	Glossar	21

1 Datengrundlage

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

Vorhandene Daten	seit	bis
Digitale Monatsmaxima	01.05.1922	31.03.1929
	01.01.1931	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1974	31.12.2015

Ein Limnigraph wurde am 07. April 1922 in Betrieb genommen. Die Datenlücke 1929 - 1931 ist aufgrund einer Stationsverschiebung zu begründen.

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	05.08.1939	128 m ³ /s
Grösstes Tagesmaximum	13.07.2011	124 m ³ /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

Abflussverlauf	Beschreibung
Abflussregime	A-glaciaire: Hohe Abflüsse im Sommer, sehr tiefe Abflüsse im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Monats- und Tagesmaxima sehr deutlich zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)
Beeinflussung	Im gesamten Einzugsgebiet sind keine Beeinflussungen in Form von Wasserkraftnutzung o.Ä. bekannt. Aufgrund des sehr hohen Vergletscherungsanteils des Gebietes ist der Effekt der Temperatur auf den Abfluss allerdings sehr deutlich zu sehen: Ab ca. 1965 ist die Temperatur in der Schweiz angestiegen, wobei seitdem auch ein deutliches Erhöhen der Jahresmaxima zu erkennen ist. Davor gab es Anfang der 20er- sowie Ende der 40er- / Anfang der 50er-Jahre bereits Phasen mit höherer Temperatur, welche zu den hohen Abflüssen zu Beginn der Auswertungsperiode passen (siehe Abbildung 2).

Die Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 60 und 130 m³/s, wobei die Werte in diesem Bereich verhältnismässig nur schwach streuen. Sieben Mal wurde ein Abfluss von 120 m³/s erreicht, wobei der höchste je registrierte Abfluss mit 128 m³/s nur geringfügig höher liegt. Die Bruchpunktanalyse ergibt hier zwei signifikante Bruchpunkte um 1951 (Konfidenzintervall 1945 - 1971) sowie um 1987 (Konfidenzintervall 1983 - 1989). Der erste Bruchpunkt liegt in einer Phase, wo die Jahreshöchstabflüsse wieder gesunken sind aufgrund einer kühleren Episode, wodurch eine Änderung um diese Zeit erkennbar ist. Noch deutlicher zu sehen ist der zweite Bruchpunkt um 1987: Ab diesem Jahr traten sehr viele Abflüsse über 100 m³/s auf, wobei eine deutliche Tendenz zu immer höheren Maxima erkennbar ist, auch wenn der absolut höchste Wert aus dem Jahre 1929 nicht erreicht wurde. Diese Bruchpunkte machen aus hydrologischer Sicht allerdings wenig Sinn, da die Prozesse, welche zum veränderten Abflussverhalten führen, kontinuierlich ablaufen und nicht mit einem Sprung im Modell zu erklären sind. Deshalb wird auf die Analyse einer Auswertungsperiode ab Bruchpunkt verzichtet.

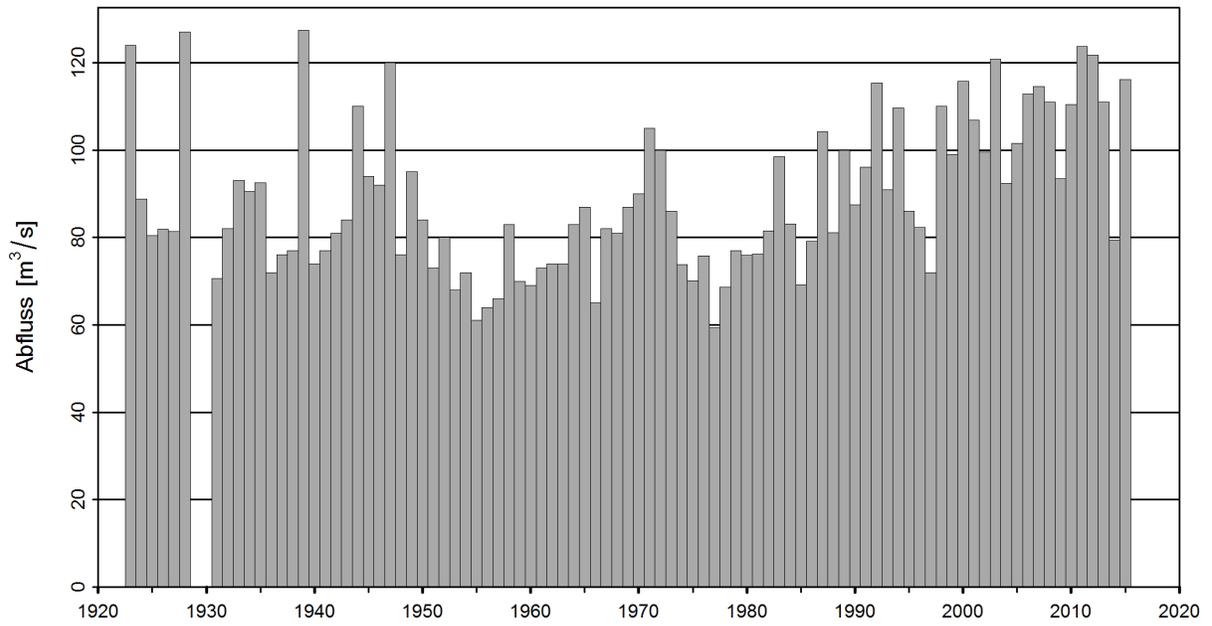


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] (1922 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendete Jahresmaxima, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima)

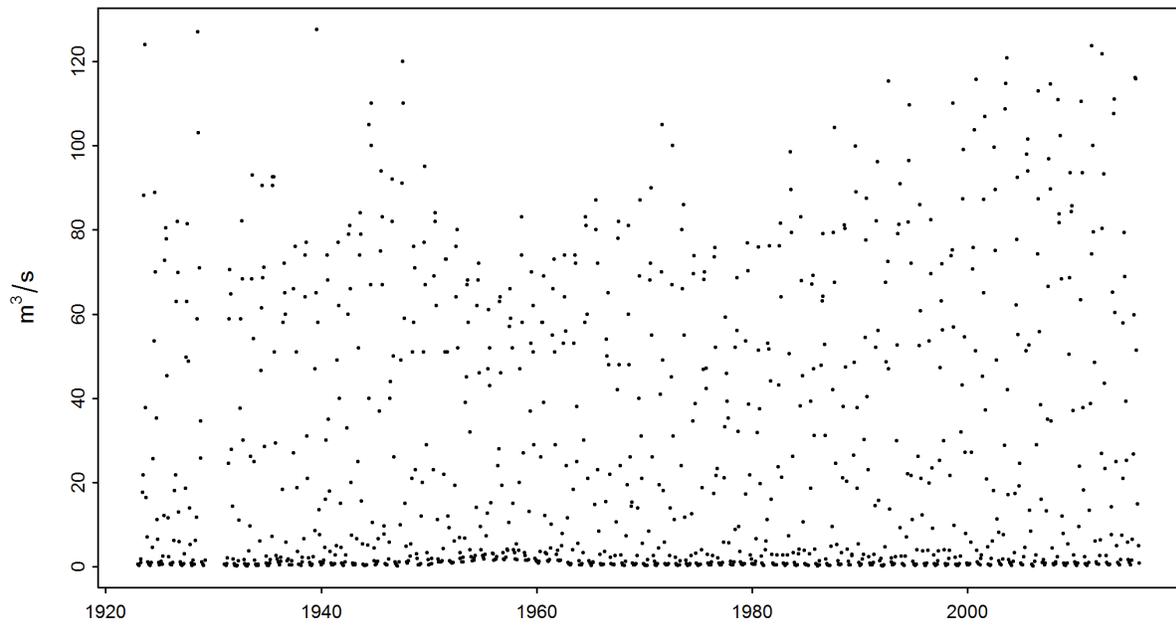


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1923 - 31.12.2015)

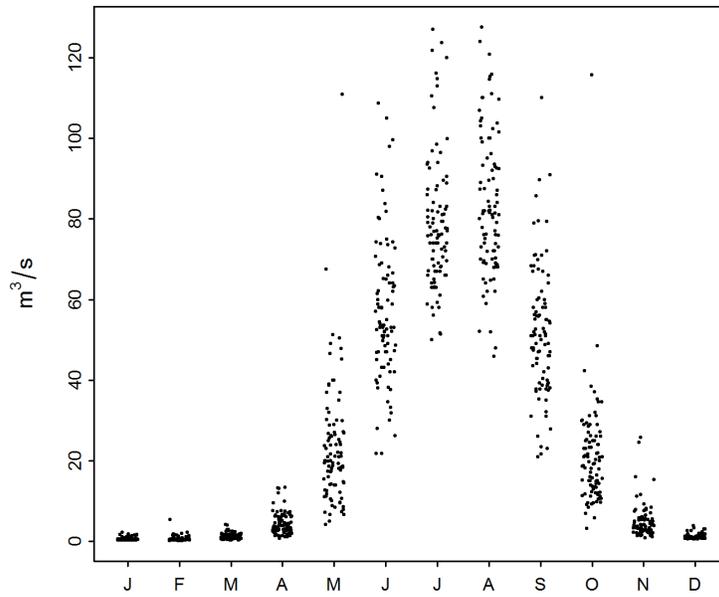


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1923 - 31.12.2015)

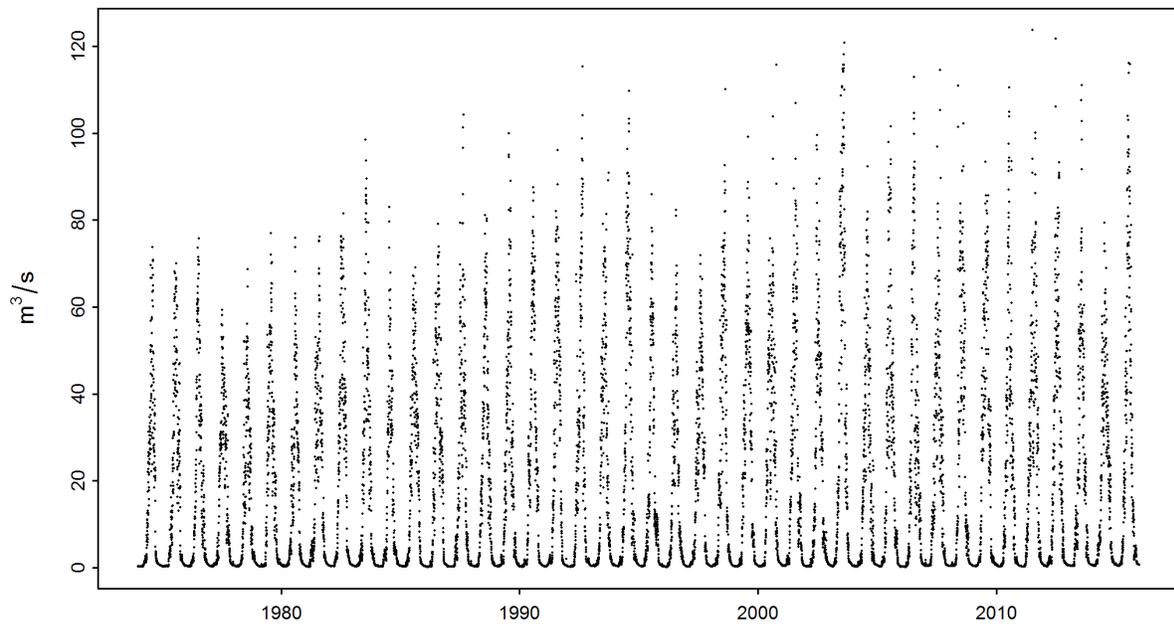


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m^3/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
fortschreitende Erwärmung	Abflussmaxima werden seit ca. 1965 grösser	Vermutlich nicht stationär

Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1986 / 1987	ja	Keine Unterteilung der Auswertungsperiode, da aus hydrologischer Sicht nicht sinnvoll. Verwendung 1987 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
1923 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat muq	Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b
1974 - 2015	Vergleichsperiode	stat	Kapitel 2.1.2.a

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1923-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1923-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
93	81.07	13.93	-0.0184

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

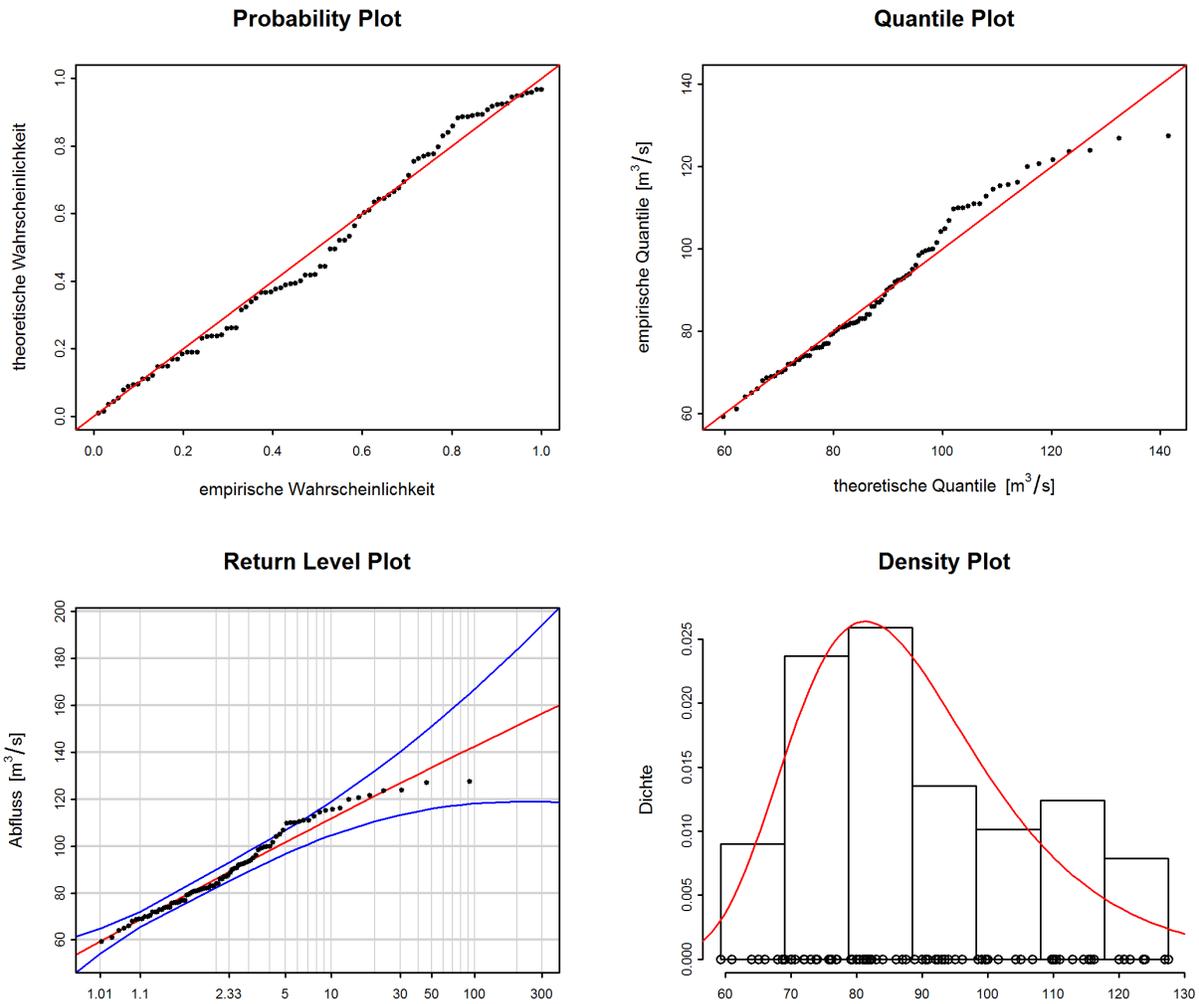


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1923-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

Kriterien	Bewertung ²	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	BsGukom
Anpassung mittlerer Bereich	mittel-schlecht	viele Werte unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	mittel-schlecht	einige Werte unter- und Spitzenwerte überschätzt
Konfidenzintervall	mittel	für grosse Wiederkehrperioden gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1923-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	82.4	86.2	89.9
HQ ₁₀	105	112	119
HQ ₃₀	113	127	140
HQ ₁₀₀	118	143	167
HQ ₃₀₀	119	156	194

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“, „musigl“ und „mujump1987“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheiden.³Aufgrund des im Ablaufschema beschriebenen Vergleichsansatzes verschiedener nicht stationärer Modellvarianten kommt „muq“ als bestes nicht stationäres Modell in Frage, da es vor allem aus hydrologischer Sicht am meisten Sinn macht. Daher werden im Folgenden die Resultate von „muq“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	muq	1923-2015	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		
93	90.68	-0.86	0.01	12.21	-0.1097

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

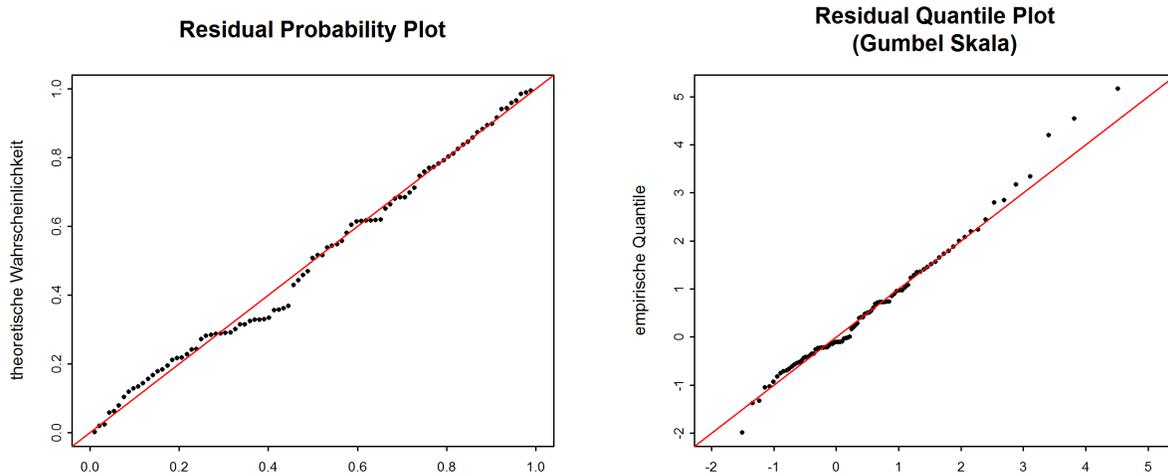


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „muq“ des BLOCK-Ansatzes (1923-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

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

³Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1987 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁴ $\hat{\mu} = a_1 + a_2*t + a_3*t^2$ (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 „muq“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1923-2015 (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	100	112	124
HQ ₁₀	121	132	143
HQ ₃₀	132	142	152
HQ ₁₀₀	140	152	164
HQ ₃₀₀	143	159	176

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „muq“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1923 und 2015 dargestellt.

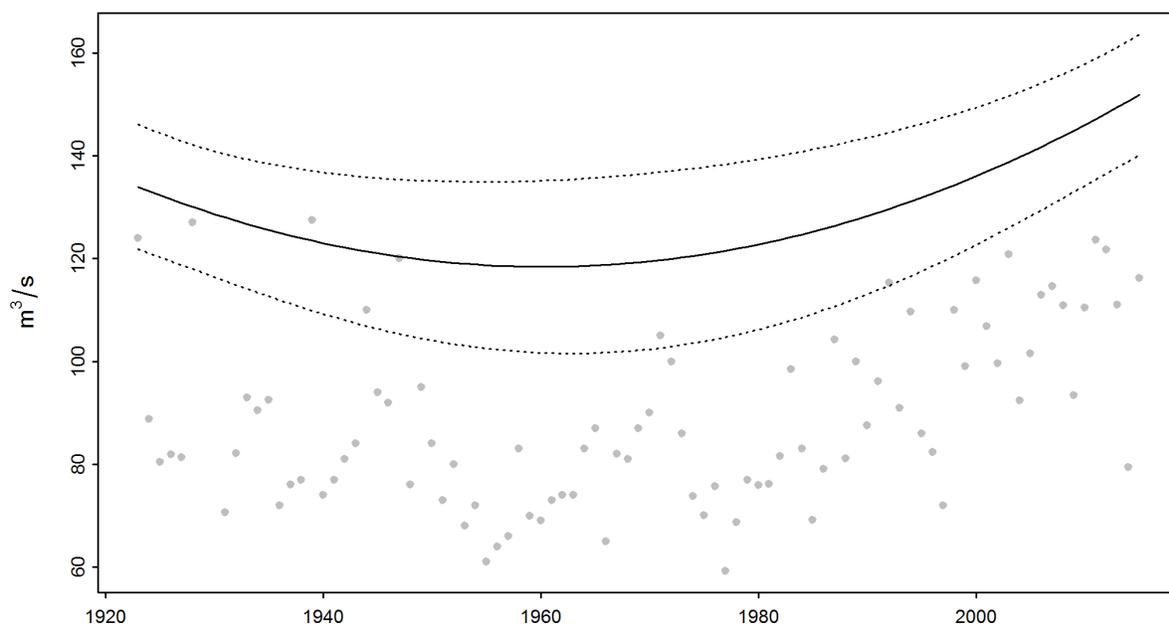


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „muq“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1923-2015

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	89.58	18.54	-0.4687

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

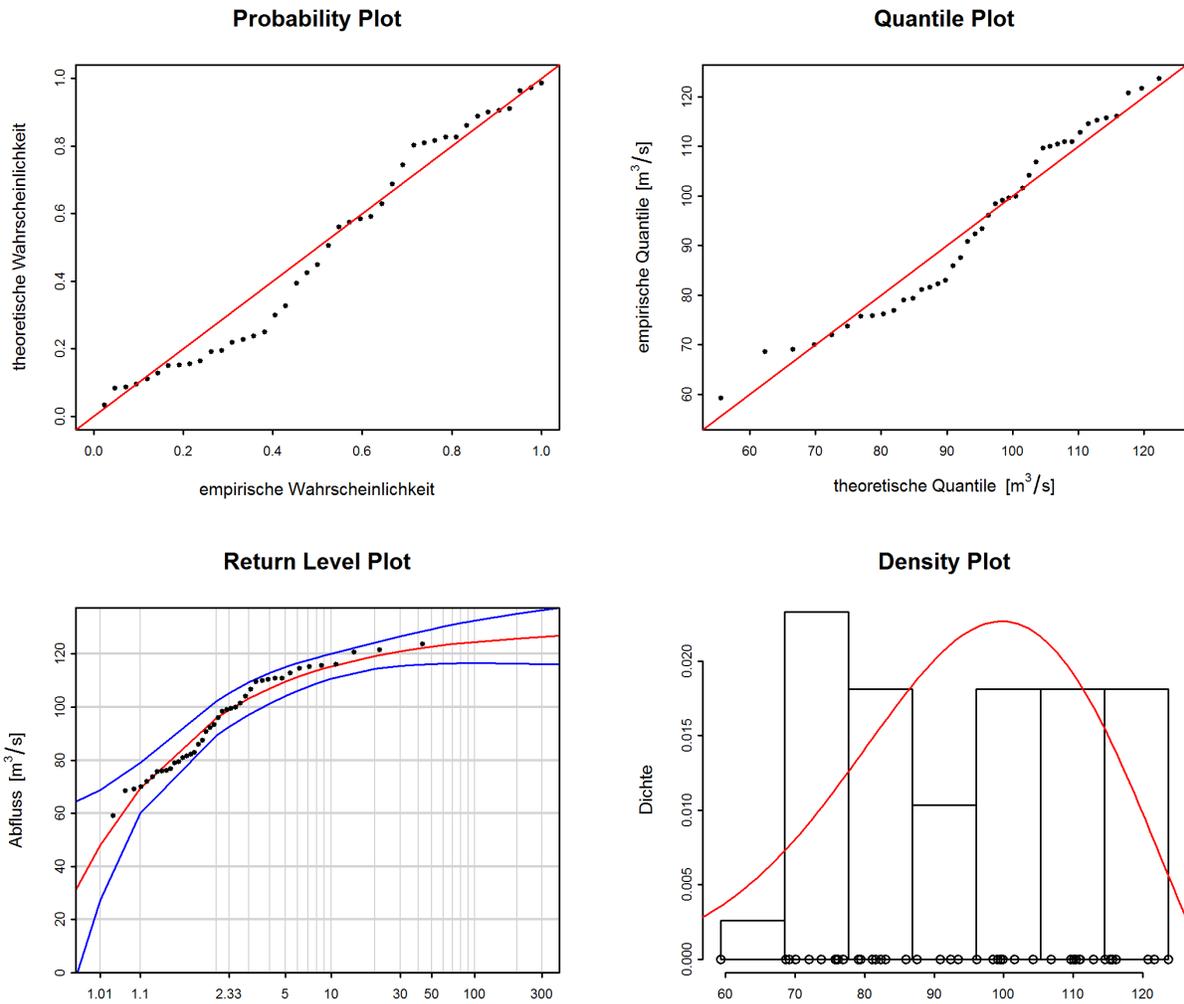


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

Kriterien	Bewertung ⁶	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut-mittel	mittlere Streuung der Werte
Anpassung mittlerer Bereich	gut-mittel	mittlere Streuung der Werte
Anpassung oberer Bereich	gut	Spitzenwerte gut getroffen
Konfidenzintervall	klein	für sehr kleine 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	89.4	95.8	102
HQ ₁₀	111	115	120
HQ ₃₀	115	121	127
HQ ₁₀₀	117	125	133
HQ ₃₀₀	116	126	137

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 Massa - Blatten bei Naters wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 11 Tagen festgelegt.

Folgende Modellvarianten des POT-Ansatzes wurden analysiert:

Auswertungsperiode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1974 - 2015	Auswertungsperiode POT	stat sigl	Kapitel 2.2.1.a Kapitel 2.2.1.b

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert $u = 74 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 9 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

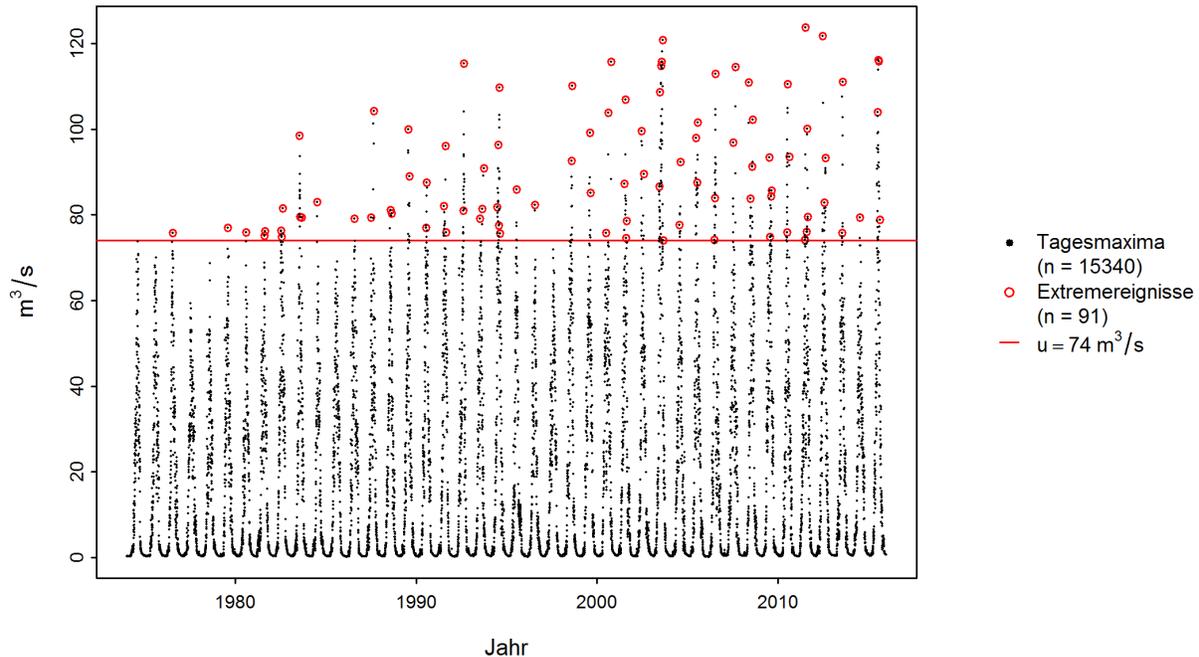


Abbildung 9: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

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	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
74 m ³ /s	91	2.17	25.22	-0.4469

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

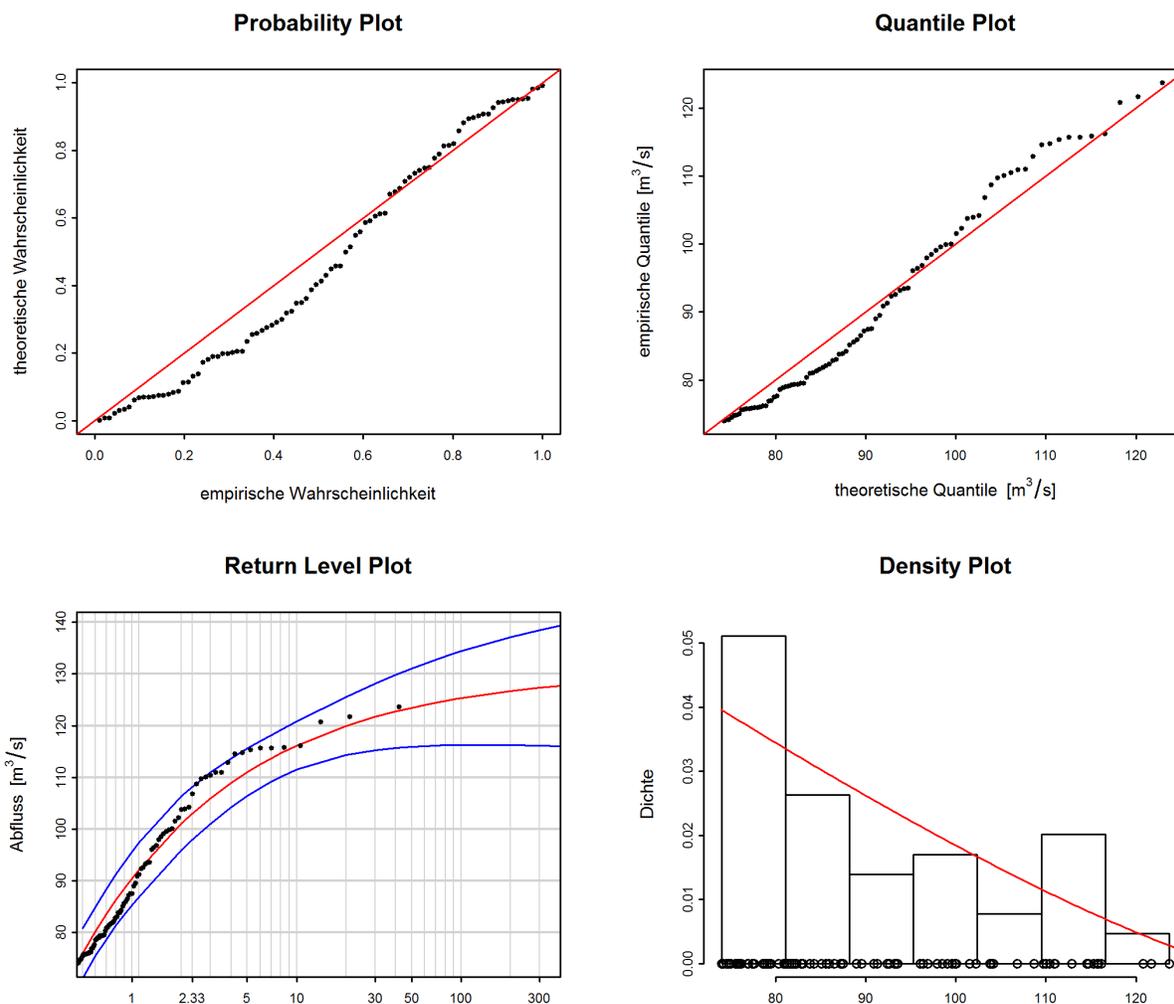


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

Kriterien	Bewertung ⁷	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	mittel	einige Werte überschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	mittel	einige Werte unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	gut	Spitzenwerte gut getroffen
Konfidenzintervall	klein	etwas grösser für grosse Wiederkehrperioden

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	95.9	101	106
HQ ₁₀	111	116	121
HQ ₃₀	115	122	128
HQ ₁₀₀	116	125	134
HQ ₃₀₀	116	127	138

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.⁸ Am besten schneidet dabei die Variante „sigl“ ab, deren Resultate im Folgenden dargestellt sind (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
POT	sigl	1974-2015	Tagesmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter $\hat{\sigma}^9$		Formparameter
u	n	$\hat{\lambda}$	\mathbf{b}_1	\mathbf{b}_2	$\hat{\kappa}$
74 m ³ /s	91	2.17	4.59	0.7	-0.3752

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

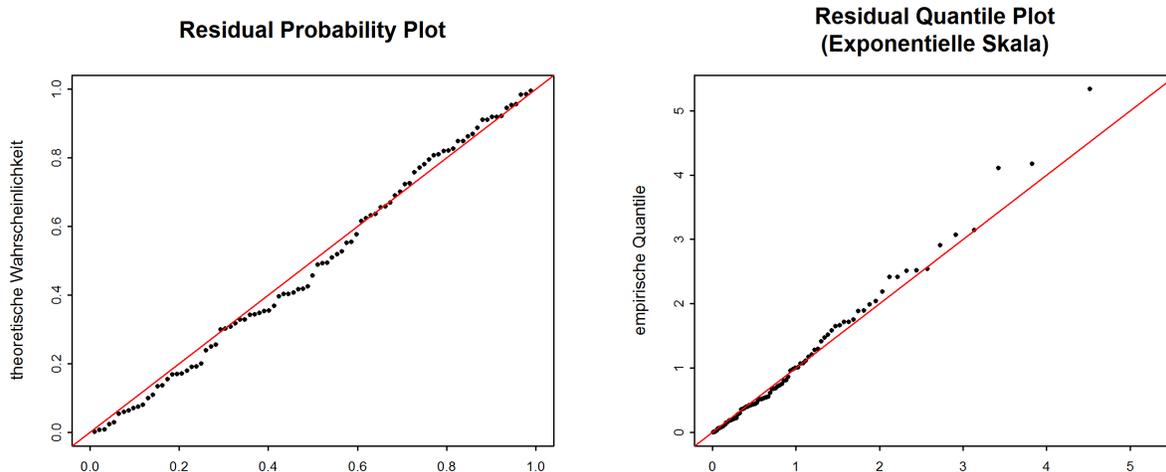


Abbildung 11: Diagnostikplots der Modellvariante „sigl“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

⁸Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „sigjump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1987 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁹ $\hat{\sigma} = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \cdot t$ (s. Tabelle 1)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 11):

Kriterien	Bewertung ¹⁰	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel-schlecht	höchste Werte relativ stark unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	verschlechtert	für hohe Wiederkehrperioden liegen die Punkte weiter weg von der Einheitsdiagonale

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „sigl“ 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	103	112	122
HQ ₁₀	118	136	155
HQ ₃₀	121	146	171
HQ ₁₀₀	121	153	185
HQ ₃₀₀	119	157	194

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

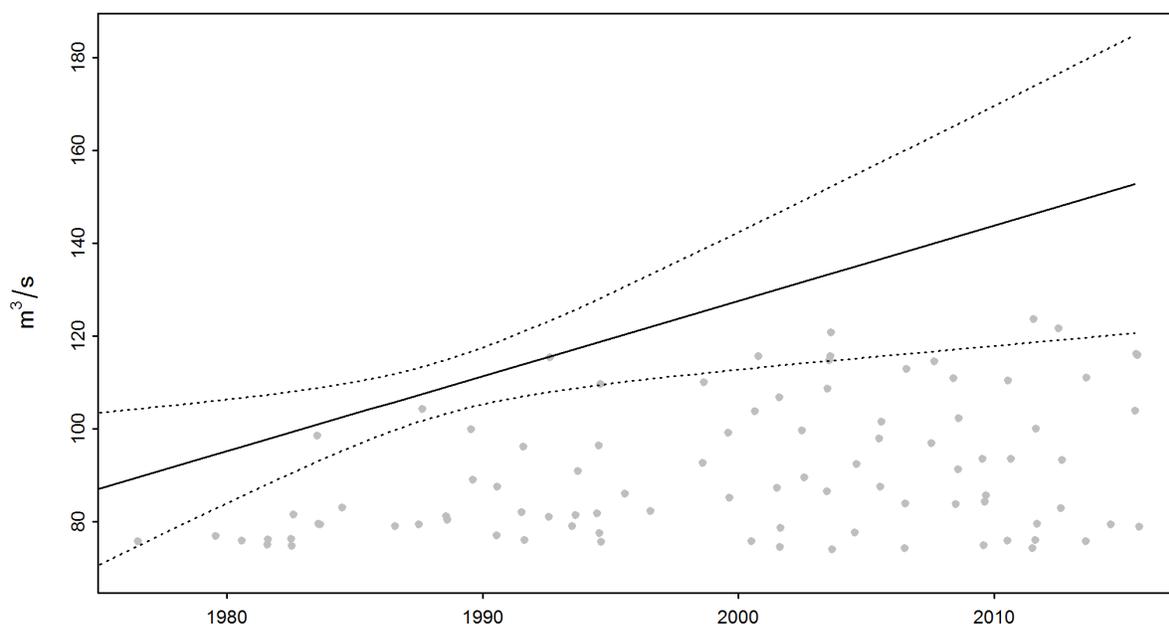


Abbildung 12: Veränderung der mit der Modellvariante „sigl“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1974-2015

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 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 1923 - 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	höhere Werte für kleine so- wie deutlich tiefere Werte für grosse Wiederkehrperioden	deutlich kleiner

Nach 1974 sind die Abflüsse durchschnittlich viel höher als in der gesamten Auswertungsperiode, was die höheren Wiederkehrwerte für kleine Wiederkehrperioden erklärt. Die Werte variieren viel weniger in der Vergleichsperiode, wodurch das Konfidenzintervall entsprechend kleiner ist. Durch die Konstanz der Werte führt eine Hochrechnung einer knapp 100-jährigen Messreihe auf ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren zu deutlich geringeren Werten als in der gesamten Auswertungsperiode, in welcher zudem noch etwas höhere Abflusswerte registriert wurden.

Die HQ_T der Vergleichsperiode reichen von $96 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_2) bis $126 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_{300}), was eine sehr kleine Spanne von verschiedenen Abflusswerten ist. Im Vergleich dazu reicht die Spanne bei der gesamten Auswertungsperiode von $86 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_2) bis $156 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_{300}), was den oben angesprochenen Effekt verdeutlicht.

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:

Die HQ_T des stationären POT-Ansatzes liegen im Wesentlichen auf demselben Niveau wie diejenigen des BLOCK-Ansatzes für die Vergleichsperiode. Die HQ_T des nicht stationären POT-Ansatzes dagegen sind viel höher und erreichen durchgehend ähnliche Werte wie der nicht stationäre BLOCK-Ansatz der gesamten Auswertungsperiode.

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. Auffallend ist, dass beim BLOCK-Ansatz die nicht stationäre Variante ein deutlich kleineres Konfidenzintervall aufweist als die stationäre Variante, während dies beim POT-Ansatz genau umgekehrt ist.

Vergleich von stationären und nicht stationären Varianten:

Beim BLOCK-Ansatz kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte deutlich verbessert werden, da die Ab- und Zunahmen der Jahresmaxima in den letzten Jahrzehnten fliegend in das Modell einbezogen werden. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge für kleine Wiederkehrperioden deutlich höher als mit den stationären Modellvarianten, während für hohe Wiederkehrperioden ähnliche Werte erreicht werden bei einem allerdings deutlich geringeren Konfidenzintervall.

Beim POT-Ansatz integriert der nicht stationäre Ansatz zwar ebenfalls die Veränderungen der Jahresspitzen in das Modell, jedoch ist das Modell aus diagnostischer (statistischer) Sicht weniger gut zu bewerten und weist zudem ein um ein Vielfaches grösseres Konfidenzintervall auf. 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.

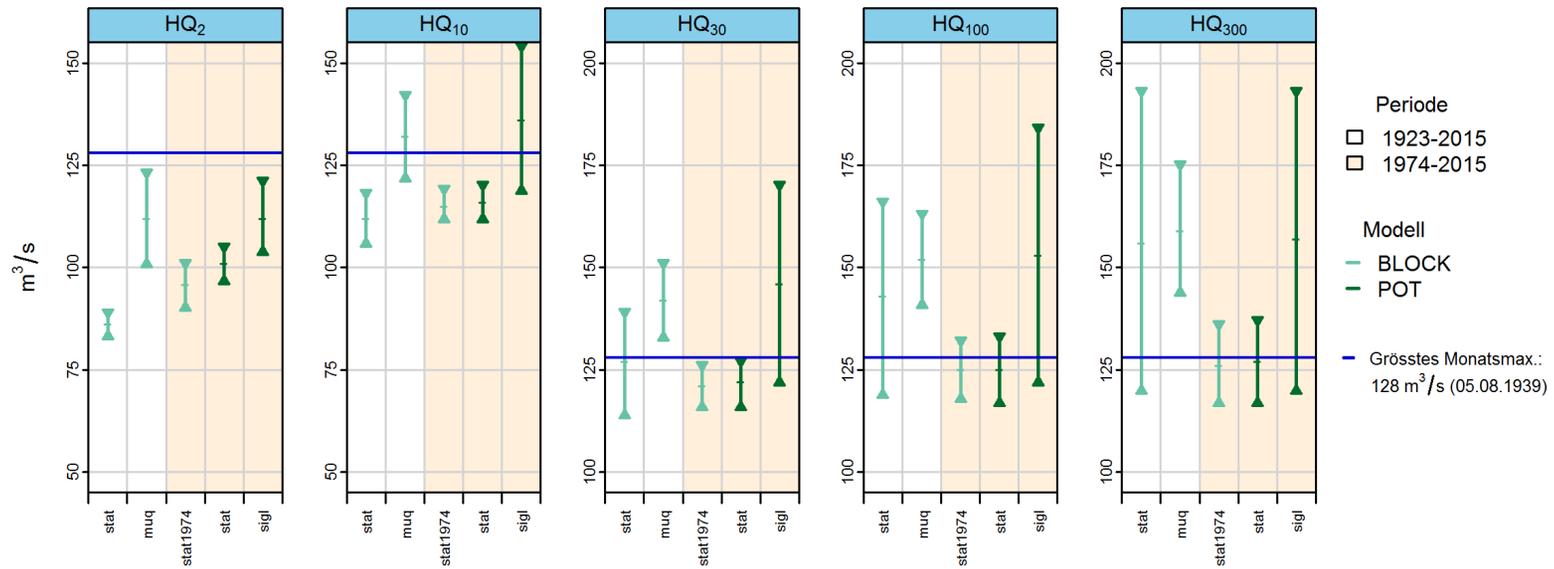


Abbildung 13: HQ_T [m³/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

Auswertungsperiode	Verfahren	Anpassung			Bemerkung
1923 - 2015	BLOCK stat	gut	mittel-schlecht	mittel-schlecht	einige Werte unter- und Spitzenwerte überschätzt
	BLOCK muq	gut	gut	mittel	Spitzenwerte etwas unterschätzt einige Werte liegen näher an Einheitsdiagonale
1974 - 2015	BLOCK stat	gut-mittel	gut-mittel	gut	Spitzenwerte gut getroffen
1974 - 2015	POT stat	mittel	mittel	gut	Spitzenwerte gut getroffen
	POT sigl	gut	gut	mittel-schlecht	höchste Werte relativ stark unterschätzt für hohe Wiederkehrperioden liegen die Punkte weiter weg von der Einheitsdiagonale

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 $74 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 14).

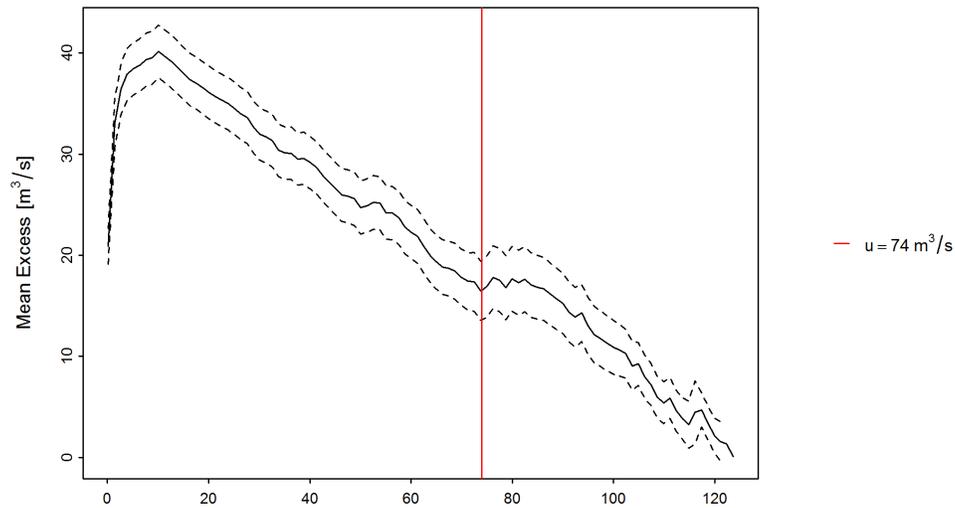


Abbildung 14: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

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 unbekanntes 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).