



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Inn - Tarasp

weitere Erläuterungen: [Leitfaden](#)
Kontakt: hydrologie@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: 1958-2015	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: 1969-2015	11
2.1.3.a	Stationäre Modellvariante	11
2.2	Peaks Over Threshold Ansatz (POT)	12
2.2.1	Auswertungsperiode POT: 1974-2015	13
2.2.1.a	Stationäre Modellvariante	13
3	Vergleich der verschiedenen Resultate	16
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden	16
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze	16
4	Literatur	18
Anhang		19
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten	19
B	Glossar	20

1 Datengrundlage

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

Vorhandene Daten	seit	bis
Digitale Monatsmaxima	01.01.1957	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1974	31.12.2015

Ein Limmigraph wurde am 30. Januar 1957 in Betrieb genommen.

Für die Auswertungen werden entweder die mit Limmigraph 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	17.09.1960	500 m ³ /s
Grösstes Tagesmaximum	19.07.1987	441 m ³ /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

Abflussverlauf	Beschreibung
Abflussregime	Nival alpin: Hohe Abflüsse im Sommer, tiefe Abflüsse im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Monats- und Tagesmaxima deutlich zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)
Beeinflussung	Beeinflussung durch die Speicherseen Lago di Livigno 164.6 Mio. m ³ (1968) und Lai dad Ova Spin 7.39 Mio. m ³ (1968): Das Wasser, das aus den Oberliegern entnommen und dem Kraftwerk Pradella zugeführt wird, wird von der Abflussmessstation in Tarasp nicht erfasst. Mehrere Laufkraftwerke am Inn.

Die meisten Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 100 und 300 m³/s, nur sechs Werte liegen über 300 m³/s. Vier davon wurden vor 1968 beobachtet, seither sind die Jahresmaxima im Mittel gesunken, wobei aber immer wieder einzelne höhere Jahresmaxima auftreten. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen signifikanten Bruchpunkt ab 1969 (Konfidenzintervall 1963-1981). Im Jahr 1968 wurden die Stauseen Lago di Livigno und Lai dad Ova Spin fertiggestellt, welche das Abflussverhalten deutlich verändert haben. Dies ist auch in Abbildung 2 klar zu erkennen. Die Abnahme der Maxima und die Übereinstimmung mit der Bruchpunktanalyse führen dazu, dass die Datenreihe ab 1969 unterteilt wird.

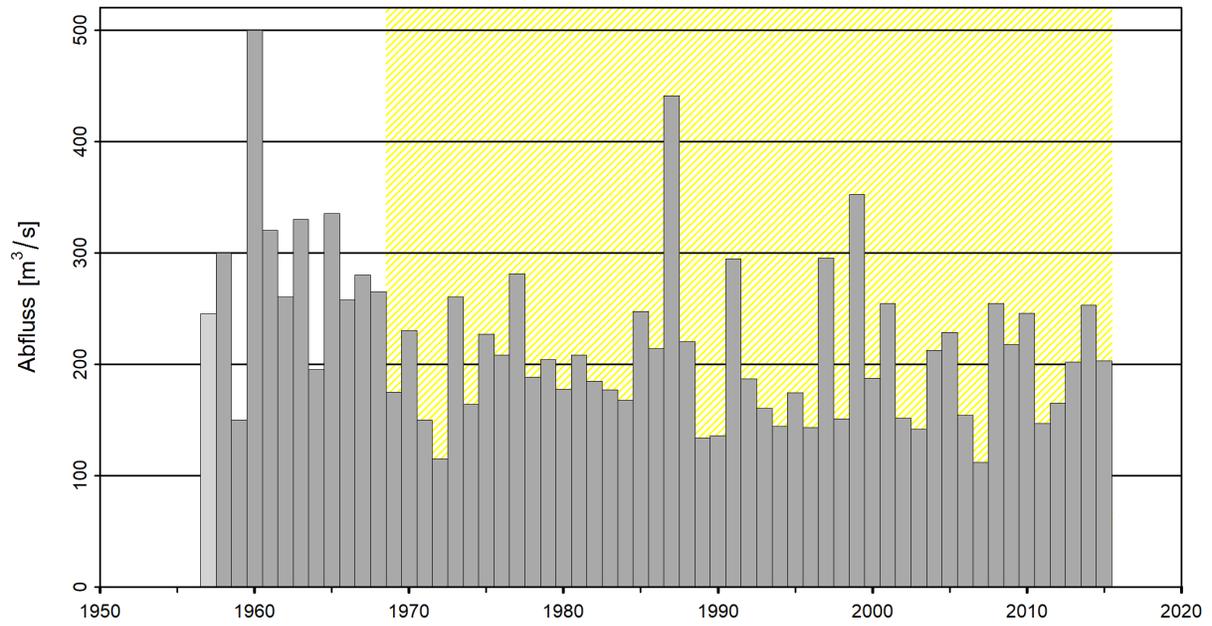


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] (1957 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendetes Jahresmaximum, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Limnigrapheninstallation). Gelb schraffiert: Auswertungsperiode ab Bruchpunkt (1969)

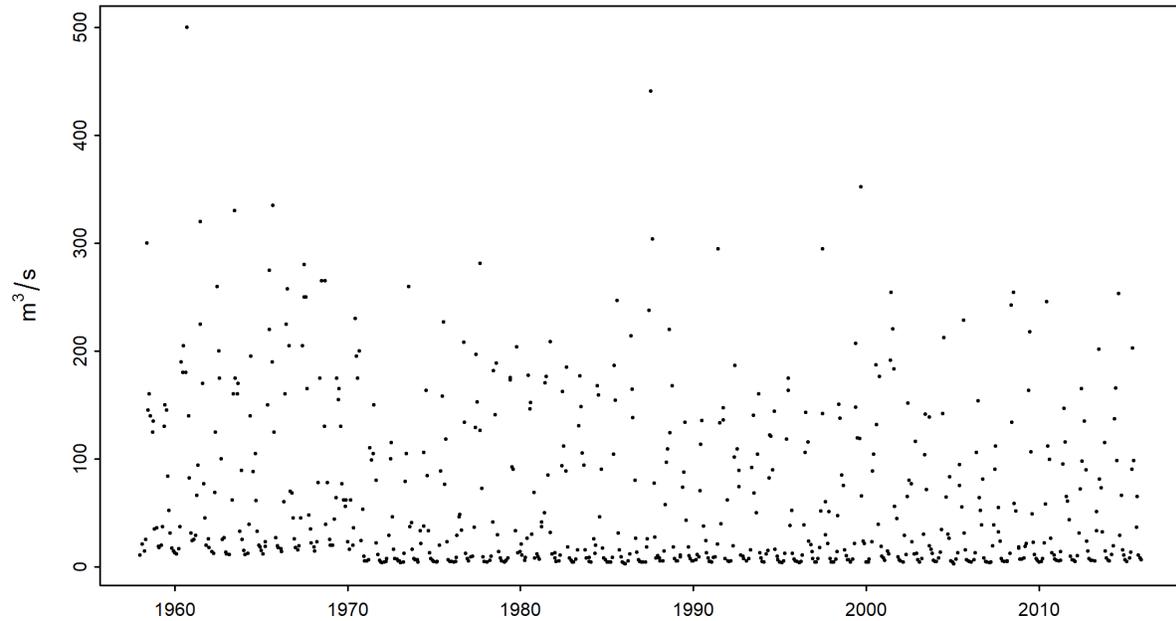


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1958 - 31.12.2015)

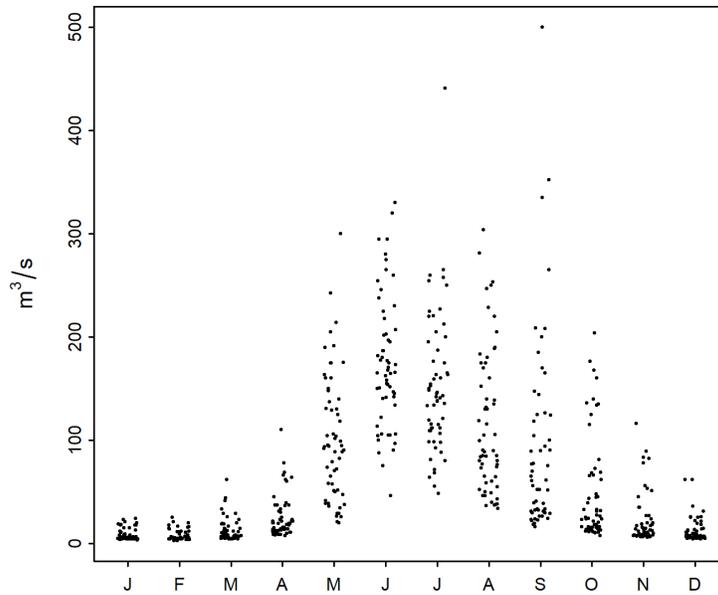


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1958 - 31.12.2015)

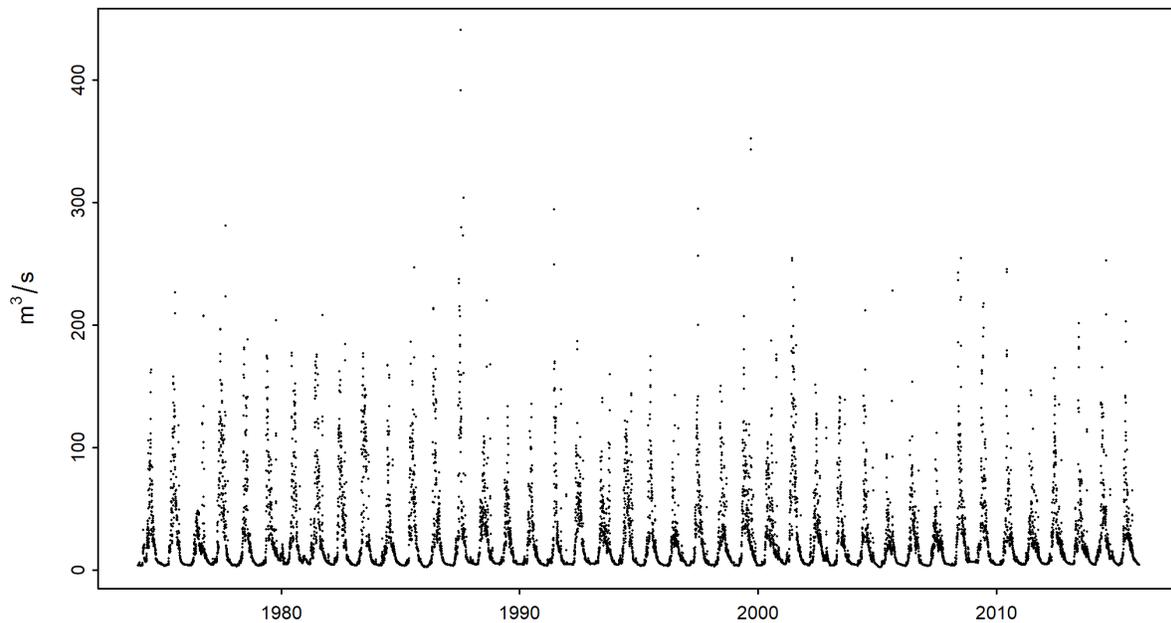


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m^3/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
Stauseen ab 1968	Monatsmaxima werden kleiner	Vermutlich nicht stationär

Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1968 / 1969	ja	Unterteilung der Daten, da der Bruchpunkt mit Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet (Inbetriebnahme Stausee) 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)	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:

Auswertungsperiode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1958 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat mujump	Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b
1974 - 2015	Vergleichsperiode	stat	Kapitel 2.1.2.a
1969 - 2015	Auswertungsperiode ab Bruchpunkt	stat	Kapitel 2.1.3.a

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1958-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1958-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
58	183.63	51.96	0.106

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

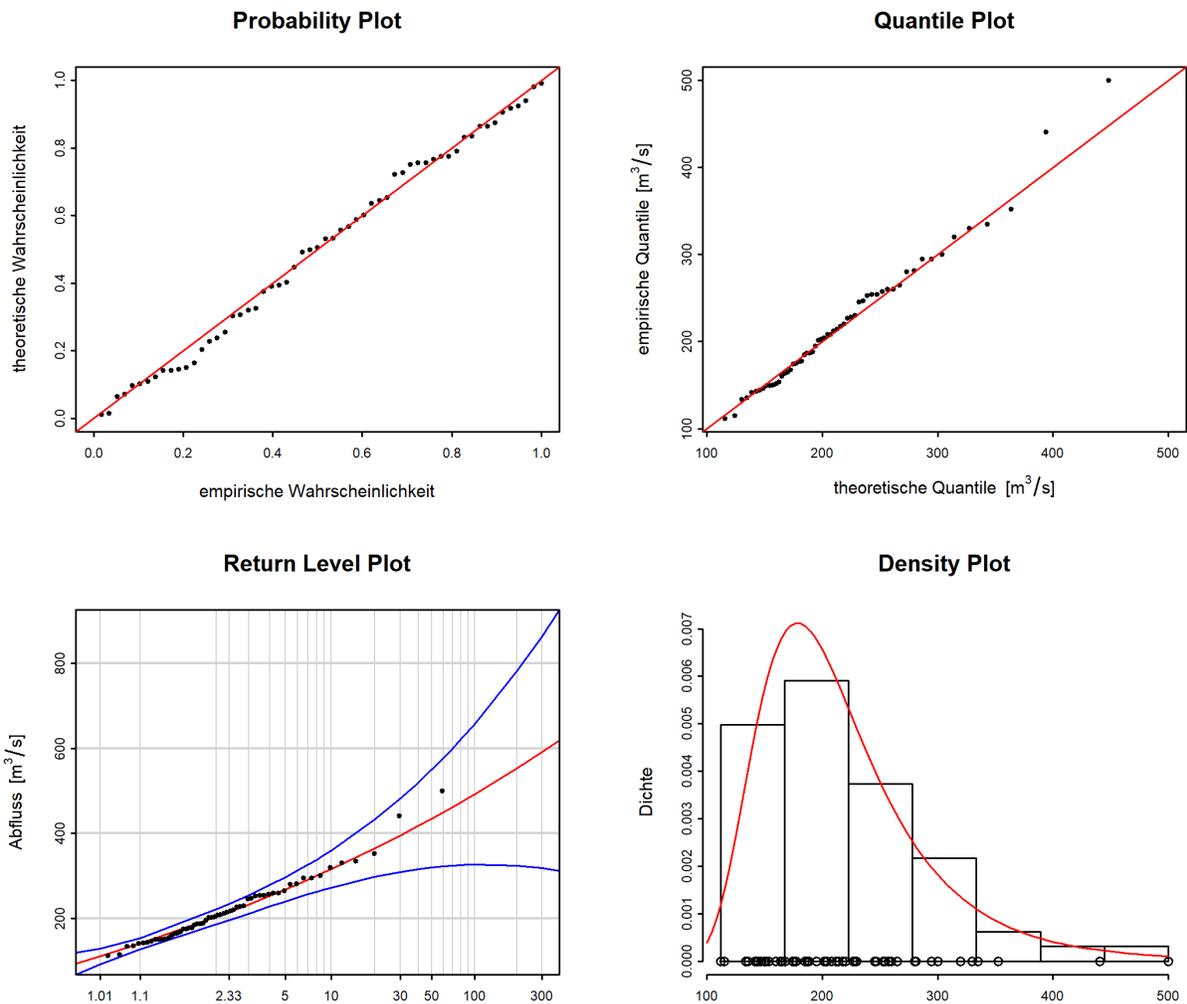


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1958-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

Kriterien	Bewertung ²	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für grosse Wiederkehrperioden gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1958-2015 (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	185	203	221
HQ ₁₀	272	316	359
HQ ₃₀	309	395	481
HQ ₁₀₀	326	492	657
HQ ₃₀₀	318	591	863

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 das Modell „mujump“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheidet.³ Daher werden im Folgenden die Resultate von „mujump“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	mujump1969	1958-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}^4$		Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
	a_1	a_2		
58	236.33	-58.14	51.31	0.0156

Die Güte der Modellvariante „mujump1969“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 6 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

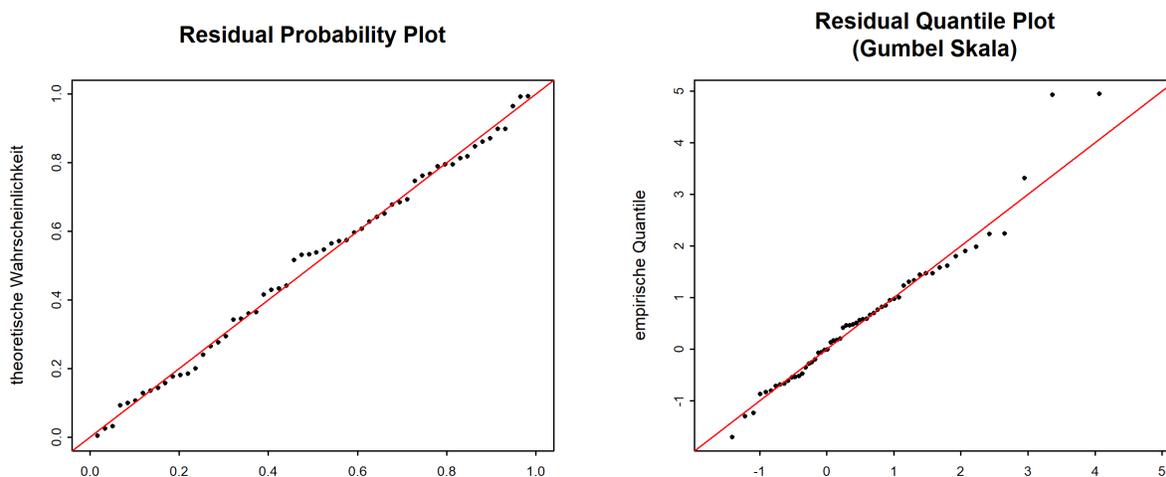


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „mujump1969“ des BLOCK-Ansatzes (1958-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

Kriterien	Bewertung ⁵	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel	grössten Werte werden stark unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	keine Verbesserung	grössten Werte eher stärker unterschätzt

³ Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1969 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁴ $\hat{\mu} = a_1 + a_2 * i$, $i = 0$ für $t < t_0$, $i = 1$ für $t \geq t_0$ (s. Tabelle 1)

⁵ Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „mujump1969“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1958-2015 (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	180	197	214
HQ ₁₀	261	296	331
HQ ₃₀	295	357	418
HQ ₁₀₀	317	423	529
HQ ₃₀₀	323	484	645

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „mujump1969“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1958 und 2015 dargestellt.

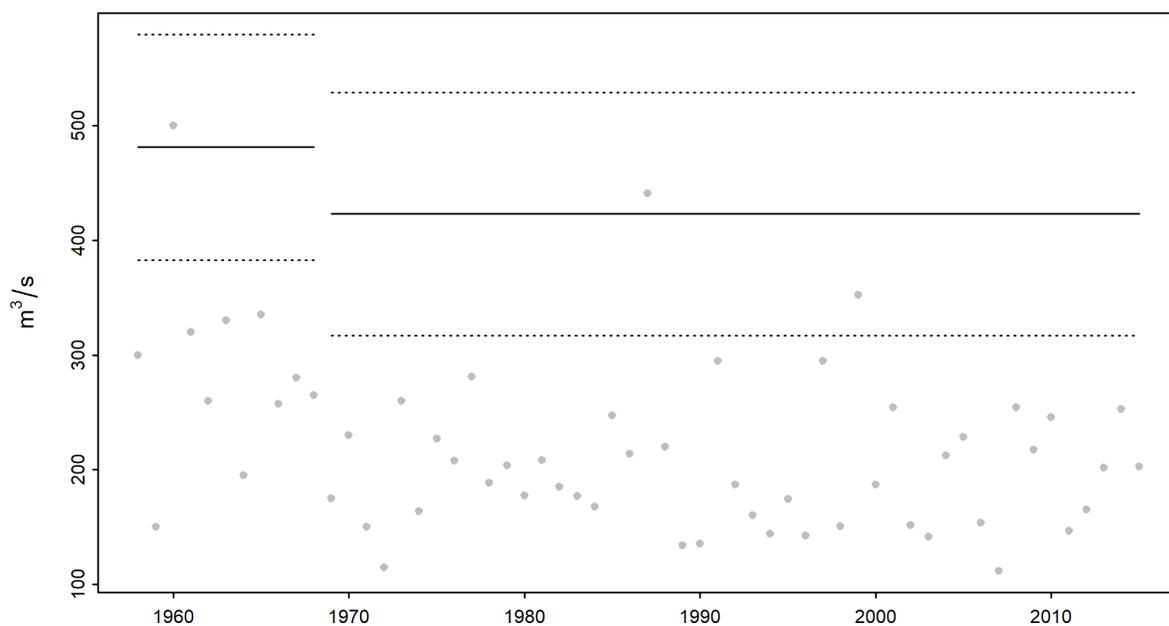


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „mujump1969“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1958-2015

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	175.8	42.83	0.0964

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

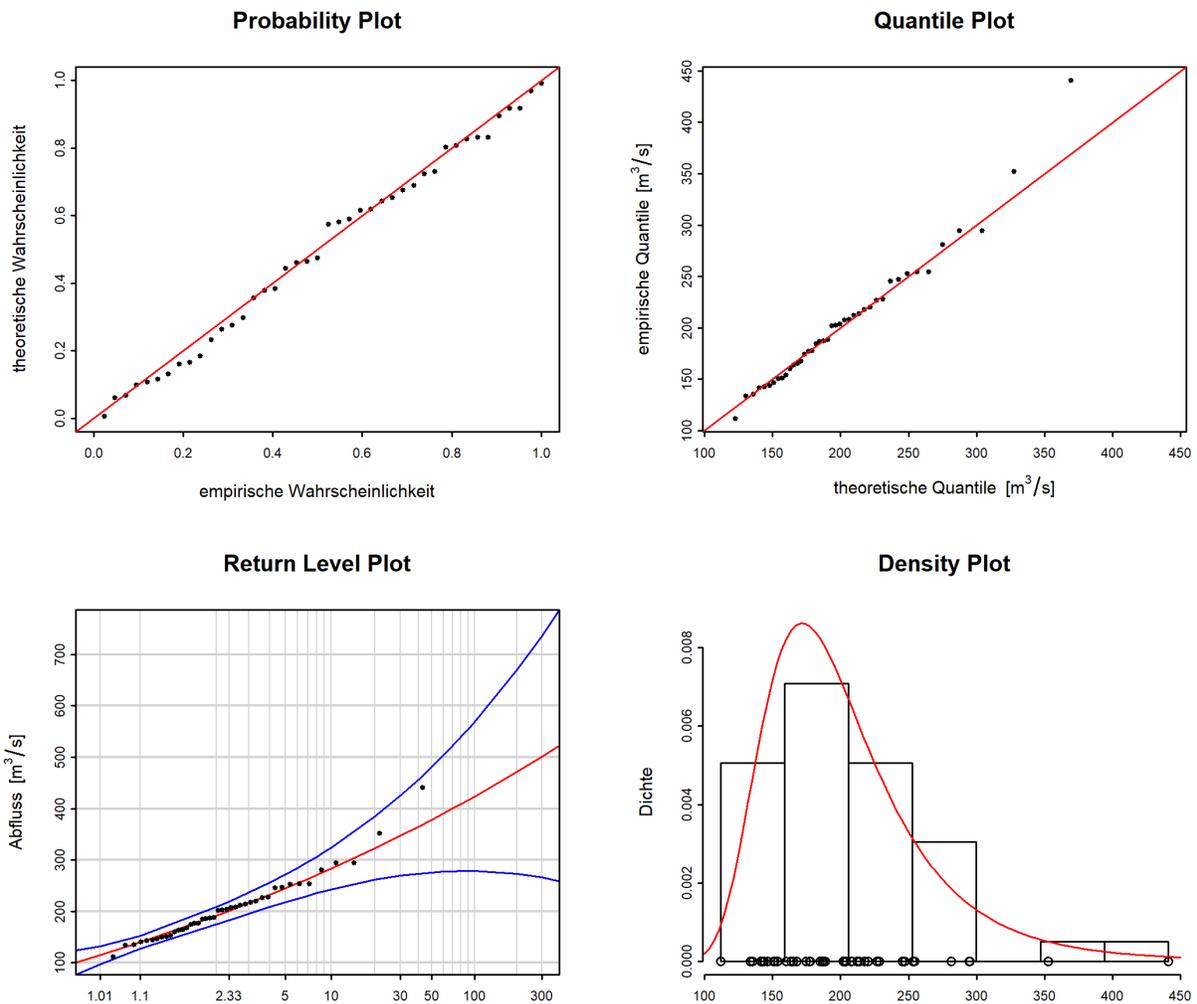


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

Kriterien	Bewertung ⁶	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	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 _T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	175	192	209
HQ ₁₀	243	283	324
HQ ₃₀	269	347	425
HQ ₁₀₀	279	424	569
HQ ₃₀₀	266	501	737

⁶Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

2.1.3 Auswertungsperiode ab Bruchpunkt: 1969-2015

2.1.3.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1969-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
47	174.34	44.04	0.0694

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

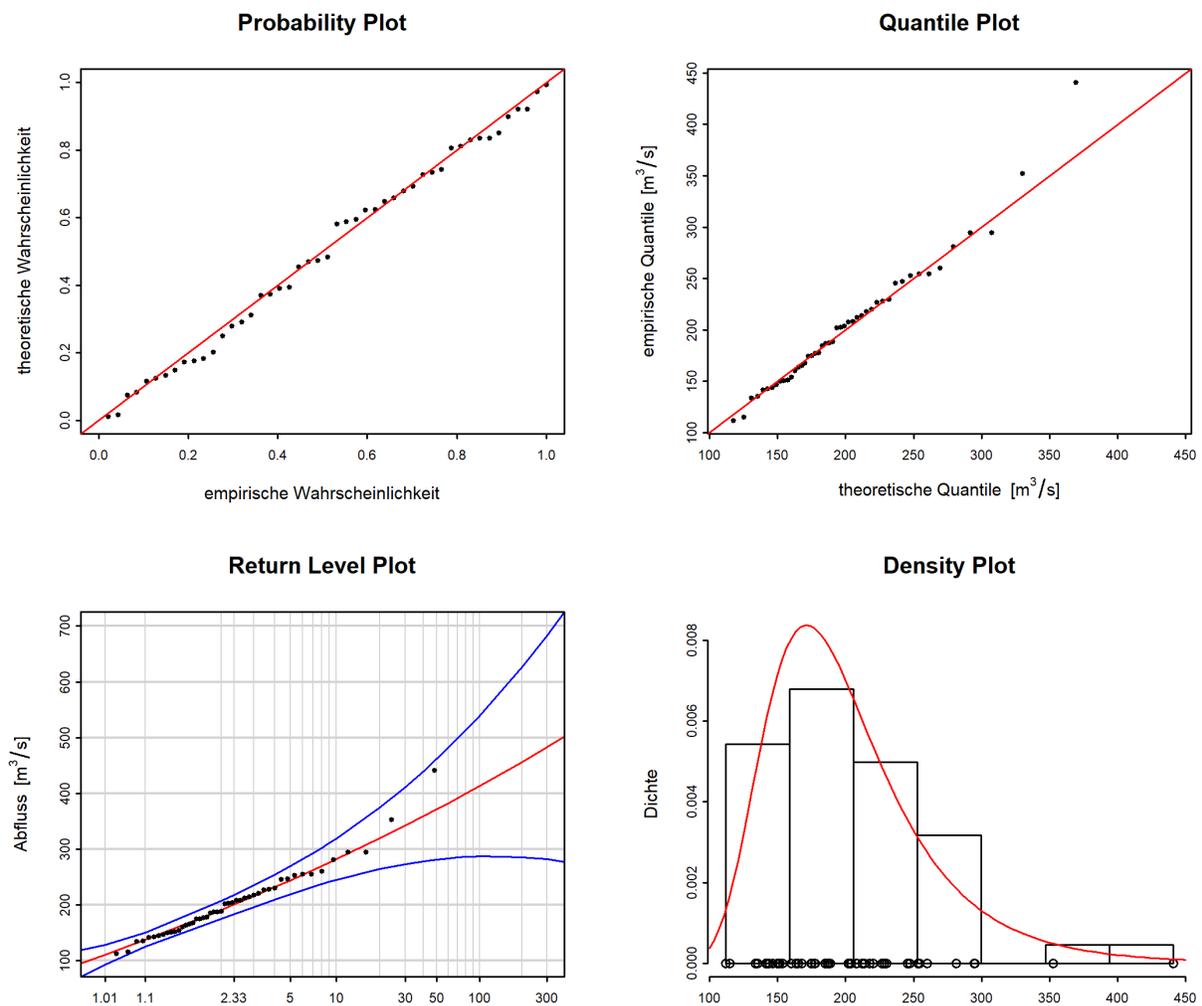


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1969-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):

Kriterien	Bewertung ⁷	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für grosse Wiederkehrperioden sehr gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt 1969-2015 (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	174	191	207
HQ ₁₀	245	282	319
HQ ₃₀	273	342	412
HQ ₁₀₀	287	413	539
HQ ₃₀₀	282	482	683

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 Inn - Tarasp wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 12 Tagen festgelegt.

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

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

Für die Auswertungsperiode POT zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht stationären Modellvarianten.⁸

⁷Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

⁸Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „sigjump“ wird das Jahr 1995 gewählt.

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert u $135 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 10 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

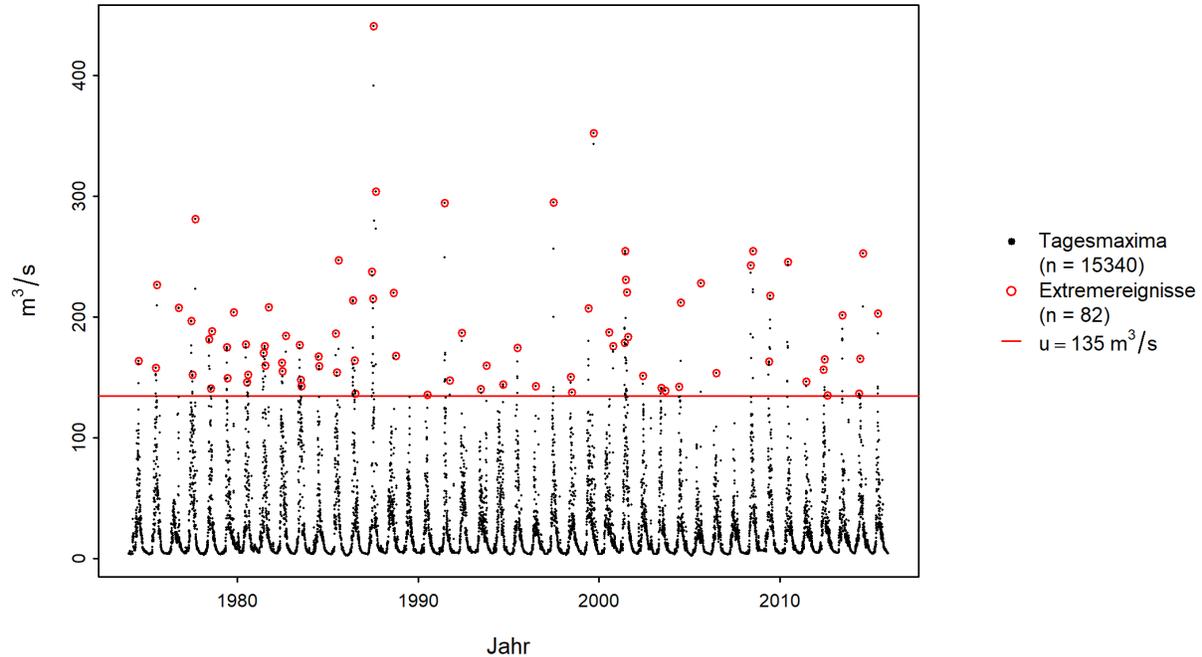


Abbildung 10: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

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	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$135 \text{ m}^3/\text{s}$	82	1.95	56.5	-0.0317

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

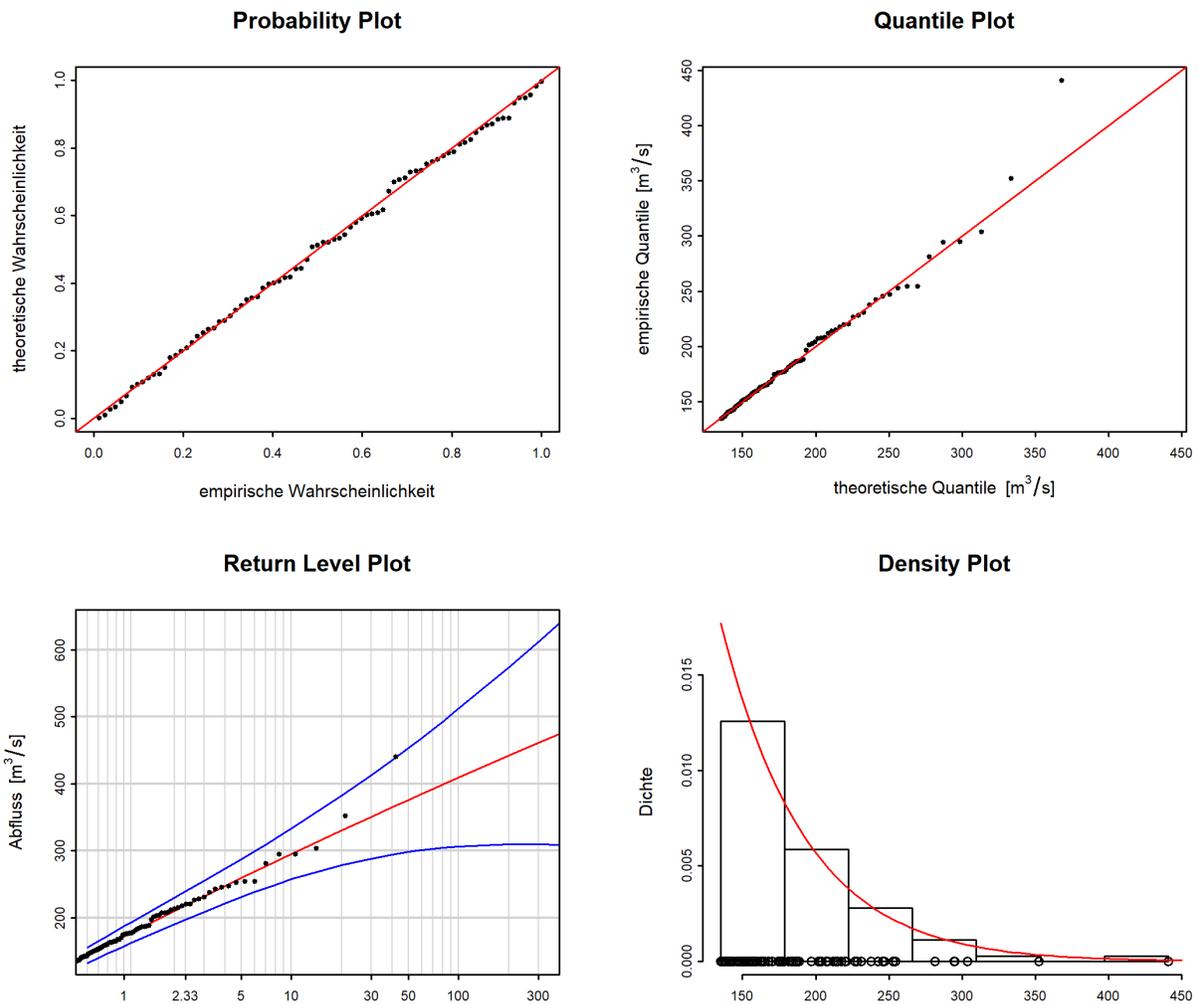


Abbildung 11: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 11):

Kriterien	Bewertung ⁹	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel-schlecht	grösster Wert wird stark unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für grosse Wiederkehrperioden gross

⁹Siehe [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 [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	190	210	230
HQ ₁₀	257	295	333
HQ ₃₀	288	351	413
HQ ₁₀₀	307	409	512
HQ ₃₀₀	310	461	612

3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 12 zeigt die HQ_T der stationären sowie jener nicht stationären Modellvarianten, welche bei beiden parametrischen Verfahren jeweils am besten an die Daten angepasst waren. Sowohl die Werte wie auch die Grösse der Konfidenzintervalle, welche ein Mass für die Unsicherheit sind, variieren stark. Generell werden diese Unterschiede grösser, je grösser die Wiederkehrperiode T 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 1958 - 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	deutlich kleinere Werte	minim kleiner
Periode ab Bruchpunkt / Gesamte Auswertungsperiode	deutlich kleinere Werte	minim kleiner
Periode ab Bruchpunkt / Vergleichs- periode	kaum Unterschiede	etwa gleich gross

Nach 1969 wurden durchschnittlich kleinere Jahreshochwasser beobachtet. Dies führt zu etwas kleineren HQ_T in der Periode ab Bruchpunkt und der Vergleichsperiode. Das Konfidenzintervall verändert sich zwischen den verschiedenen Auswertungsperioden nur geringfügig.

3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

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

Differenzen der Resultate der berechneten HQ_T der beiden Ansätze:

Mit Ausnahme von HQ_2 liegen die HQ_T des POT-Ansatzes tiefer als diejenigen des BLOCK-Ansatzes der gesamten Auswertungsperiode. Im Vergleich mit dem BLOCK-Ansatz der Vergleichsperiode und der Periode ab Bruchpunkt liegen die kleineren HQ_T des POT-Ansatzes etwas höher, die grösseren HQ_T dagegen etwas tiefer.

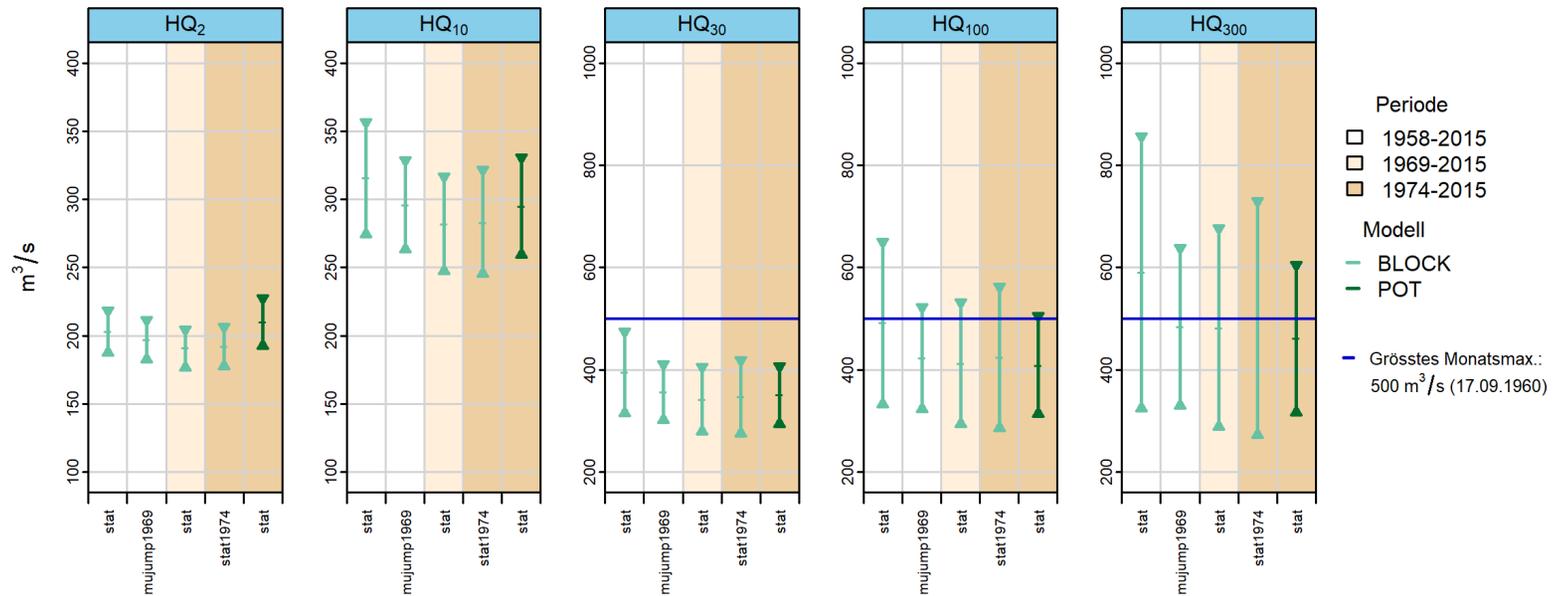
Differenzen der berechneten Konfidenzintervalle der beiden Ansätze:

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 kaum verbessert werden, obwohl die Abnahme grosser Hochwasser in den letzten Jahren in das Modell einbezogen wird. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge tiefer als mit der stationären Modellvariante.

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.



LI

Abbildung 12: 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
1958 - 2015	BLOCK stat	gut	gut	gut-mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
	BLOCK mujump1969	gut	gut	mittel	grössten Werte werden stark unterschätzt grössten Werte eher stärker unterschätzt
1974 - 2015	BLOCK stat	gut	gut	gut-mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
1969 - 2015	BLOCK stat	gut	gut	mittel	grössten zwei Werte werden unterschätzt
1974 - 2015	POT stat	gut	gut	mittel-schlecht	grösster Wert wird stark 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 $135 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 13).

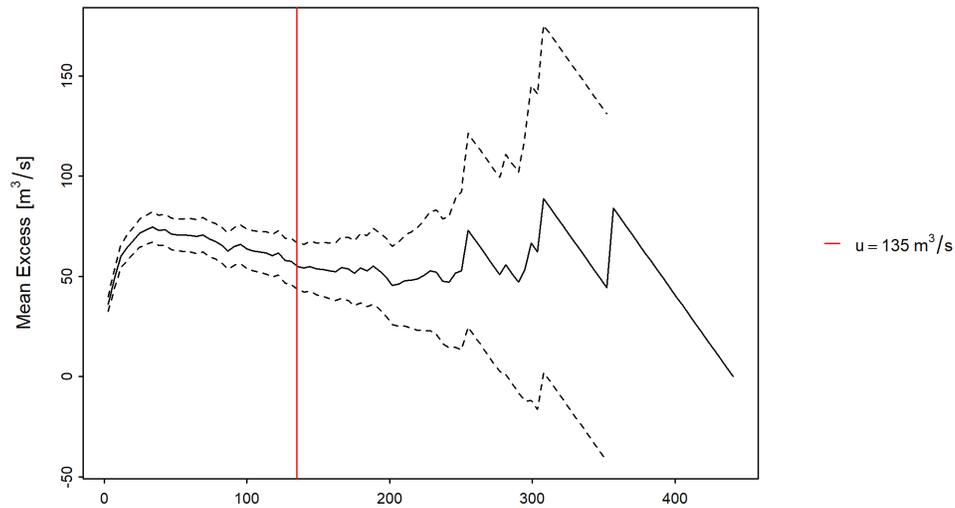


Abbildung 13: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

B Glossar

Auswertungsperiode	Begrenzter Zeitraum, aus welchem eine Stichprobe der Hochwasserabflüsse stammt, die als repräsentativ für die Grundgesamtheit angenommen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der Grundgesamtheit mit dieser Stichprobe annähernd abgebildet werden.
Devianzstatistik	Mit der Devianzstatistik kann die Anpassungsgüte eines Modells für einen gegebenen Datensatz untersucht werden.
Deltamethode	Das BAFU nutzt die Deltamethode zur Berechnung von Konfidenzintervallen in den Return Level Plots. Die Methode basiert auf einer Taylor-Entwicklung der Funktion der HQ_T und einer asymptotischen Normalverteilung (für technische Details siehe Coles 2001, S. 33).
Güte auch Anpassungsgüte oder Anpassung	Mass für die Abweichung eines statistischen Modells (theoretische Werte) und einer Menge von Beobachtungen bzw. Messungen (empirische Daten).
HQ_T	Der mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit T bestimmte Hochwasserabfluss. HQ_T ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert der Hochwasserabflüsse mit statistisch gesehen T -jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. HQ_T wird auch als Wiederkehrwert bezeichnet. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten HQ_T gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall).
Konfidenzintervall auch Vertrauensintervall	Konfidenzintervalle beschreiben die Unsicherheit des Outputs eines statistischen Modells. Sie berücksichtigen dabei den Fehler des Modells selbst, nicht aber weitere Unsicherheiten (z.B. Messfehler).
Maximum-Likelihood-Methode	Bezeichnung für ein Verfahren, das die Parameter einer Verteilungsfunktion aus den Informationen einer Stichprobe schätzt, indem der Maximum-Likelihood-Wert der Funktion maximiert wird.
Parametrische Verfahren	Ein wichtiges Ziel der Statistik ist es, mittels der Daten einer Stichprobe Aussagen über eine unbekannte Grundgesamtheit herzuleiten. Dafür eignen sich u. a. parametrische Verfahren, bei welchen angenommen wird, dass die Grundgesamtheit eine vorgegebene Wahrscheinlichkeitsverteilung besitzt, welche durch einen oder mehrere Parameter eindeutig bestimmt ist. Die beiden betrachteten Verfahren stützen sich auf die Allgemeine Extremwertverteilung (BLOCK), bzw. auf die Allgemeine Pareto-Verteilung (POT), weil diese Verteilungen die Natur der Daten (Blockmaxima, bzw. Daten ab einem gewissen Schwellwert) am besten reflektieren (siehe Coles 2001).
Block-Maximum-Ansatz (BLOCK)	Der Block Maximum Ansatz (BLOCK) definiert den höchsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert (siehe 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).