



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Saane - Laupen

weitere Erläuterungen: [Leitfaden](#)
Kontakt: hydrologie@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: 1944-2015	7
2.1.1.a	Stationäre Modellvariante	7
2.1.2	Vergleichsperiode: 1974-2015	9
2.1.2.a	Stationäre Modellvariante	9
2.1.3	Auswertungsperiode ab Bruchpunkt: 1965-2015	10
2.1.3.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
3	Vergleich der verschiedenen Resultate	15
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden	15
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze	15
4	Literatur	17
	Anhang	18
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten	18
B	Glossar	19

1 Datengrundlage

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

Vorhandene Daten	seit	bis
Digitale Monatsmaxima	01.01.1944	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1974	31.12.2015

Ein Limnigraph wurde am 01. Februar 1943 in Betrieb genommen. Am 10.11.1970 wurde die Messstation rund 500 m flussaufwärts verschoben.

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	24.11.1944	1000 m ³ /s
Grösstes Tagesmaximum	22.08.2005	925 m ³ /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

Abflussverlauf	Beschreibung
Abflussregime	Nicht eindeutig klassifizierbar: Im Sommer allgemein etwas höhere Abflüsse als im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Tagesmaxima bis ca. 1988 recht gut zu sehen (Abbildung 4), in Monatsmaxima zu erkennen (Abbildung 3)
Beeinflussung	Starke Beeinflussung durch die Speicherseen Schiffenensee 58 Mio. m ³ /s (1964), Lac de la Gruyère 200 Mio. m ³ /s (1948), Lac de Montsalvens 12.6 Mio. m ³ /s (1920) und Lac de Hongrin 53.2 Mio. m ³ /s (1969). Weitere kleine Speicherseen und Laufkraftwerke beeinflussen den Abfluss schon ab Messbeginn. Der Schwankungsbereich der Monatsmaxima ist nach Inbetriebnahme Schiffenensee geringer, insbesondere kleine Monatsmaxima sind seither grösser geworden (siehe Abbildung 2).

Die Jahresmaxima bewegen sich zwischen 160 und 1000 m³/s, wobei die meisten Werte zwischen etwa 200 und 500 m³/s liegen. Nur in 4 Jahren wurden Maxima über 750 m³/s beobachtet. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen signifikanten Bruchpunkt ab 1956 mit einem Konfidenzintervall 1948-1972. In diesen Zeitraum fallen die Inbetriebnahme des KW Rossens (Lac de la Gruyère, 1948), des KW Schiffenen (1964) und des KW Veytaux (Lac de Hongrin, 1971). Da in den Monatsmaxima nach Inbetriebnahme des KW Schiffenen eine Veränderung des Abflussverhaltens sichtbar ist, wird die Datenreihe ab 1965 unterteilt. In der Zeitreihe der Monatsmaxima (Abbildung 2) ist allerdings keine deutliche Veränderung zu erkennen.

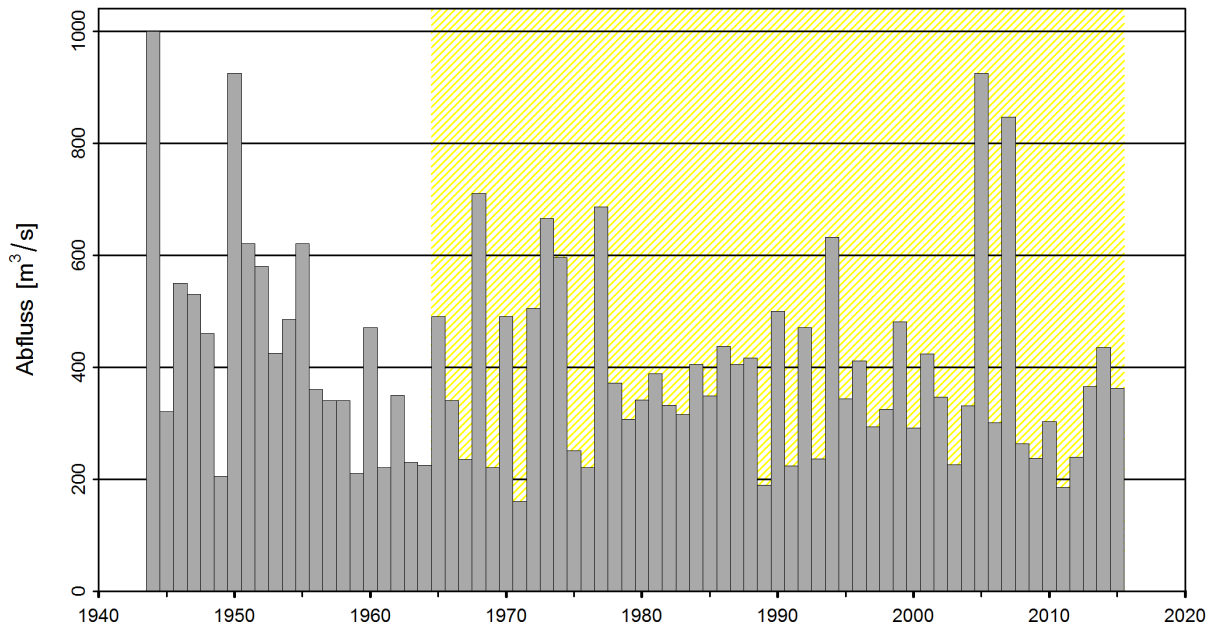


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] (1944 - 2015, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Linnigrapheninstallation). Gelb schraffiert: Auswertungsperiode ab Bruchpunkt (1965)



Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1944 - 31.12.2015)

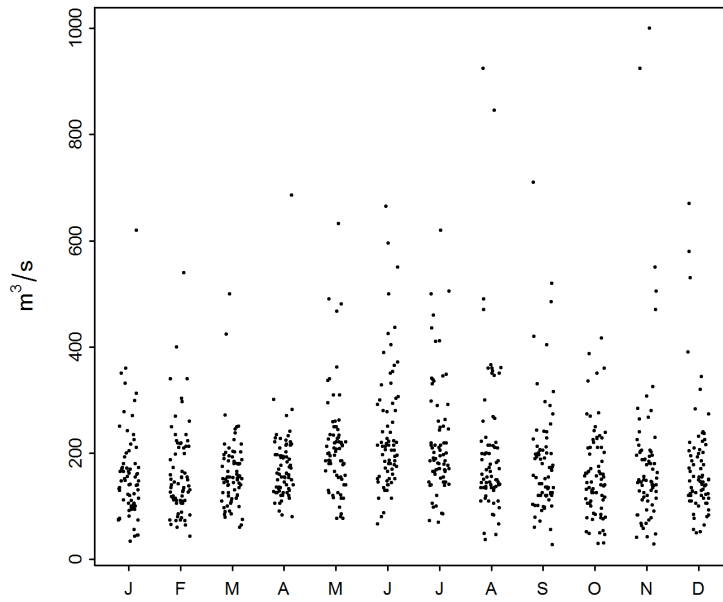


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m³/s] (01.01.1944 - 31.12.2015)

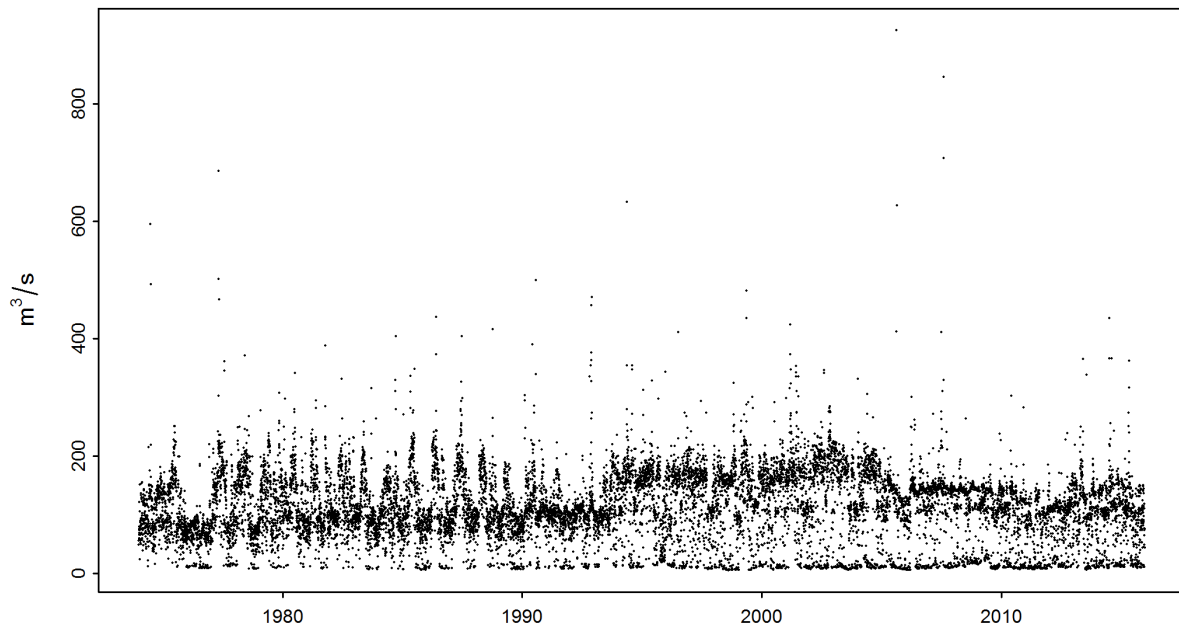


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m³/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
Stausee ab 1965	Schwankungsbereich der Monatsmaxima wird kleiner	Vermutlich nicht stationär

Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1964 / 1965	ja	Unterteilung der Daten, da der Bruchpunkt mit Unterlagen zu Station (Bau von Stausee) und Einzugsgebiet 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
1944 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat	Kapitel 2.1.1.a
1974 - 2015	Vergleichsperiode	stat	Kapitel 2.1.2.a
1965 - 2015	Auswertungsperiode ab Bruchpunkt	stat	Kapitel 2.1.3.a

Für die gesamte Auswertungsperiode zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht stationären Modellvarianten.² Wird als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ das Jahr 1956 gewählt, das aus der Bruchpunktanalyse hervorgeht, unterscheidet sich diese Modellvariante signifikant von der stationären Variante. Für die Wahl dieses Jahres als Bruchpunkt gibt es allerdings keine hydrologische Begründung (s. oben).

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1944-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1944-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
72	316.07	118.05	0.1741

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

²Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird das Jahr 1965 gewählt.

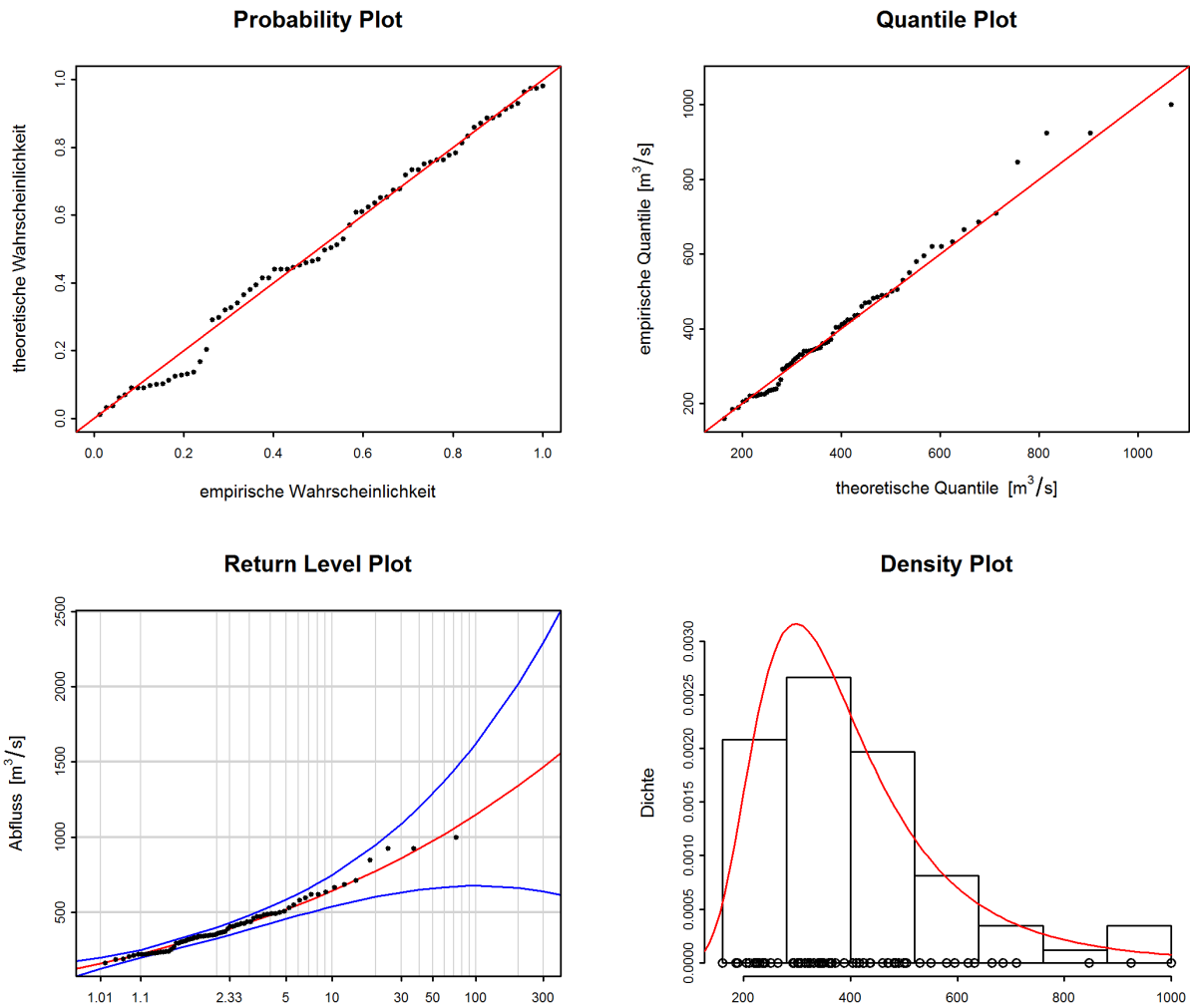


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1944-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

Kriterien	Bewertung ³	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	mittel	mässige Erfassung der vielen kleineren Jahresmaxima ähnlicher Grössenordnung
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	recht gute Erfassung der grössten Werte
Konfidenzintervall	gross	für hohe Wiederkehrperioden sehr gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1944-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	323	361	398
HQ ₁₀	536	641	746
HQ ₃₀	631	860	1089
HQ ₁₀₀	675	1148	1621
HQ ₃₀₀	639	1468	2297

³Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

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	305.47	96.47	0.1795

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Vergleichsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 6 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

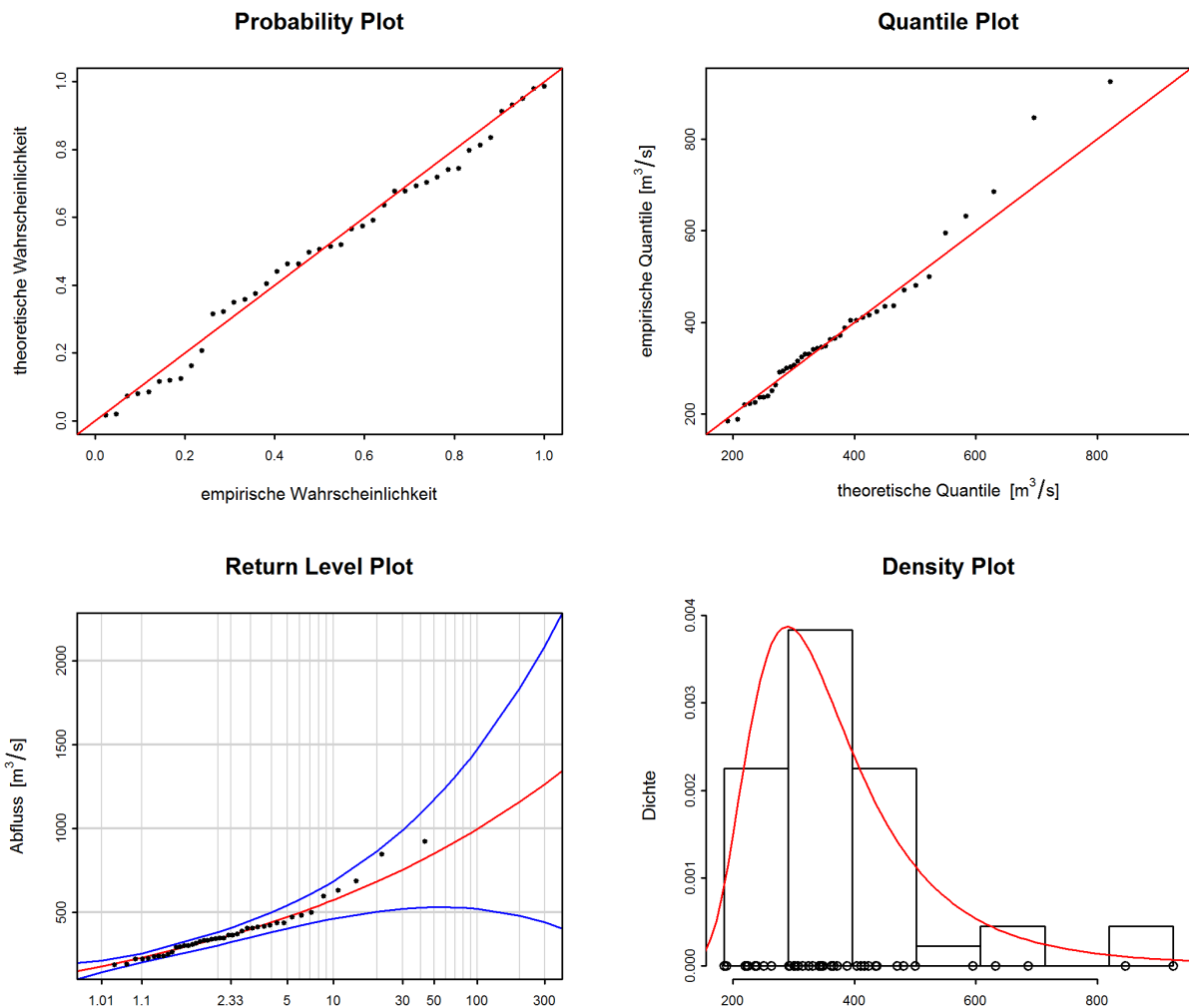


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

Kriterien	Bewertung ⁴	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	höchste Werte werden etwas unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für hohe 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 [m ³ /s]	Abfluss [m ³ /s]	obere Konfidenzgrenze [m ³ /s]
HQ ₂	303	342	381
HQ ₁₀	461	573	685
HQ ₃₀	520	755	990
HQ ₁₀₀	520	995	1471
HQ ₃₀₀	439	1264	2089

2.1.3 Auswertungsperiode ab Bruchpunkt: 1965-2015

2.1.3.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1965-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
51	308.9	109.65	0.1383

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt wird grafisch anhand der in Abbildung 7 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

⁴Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

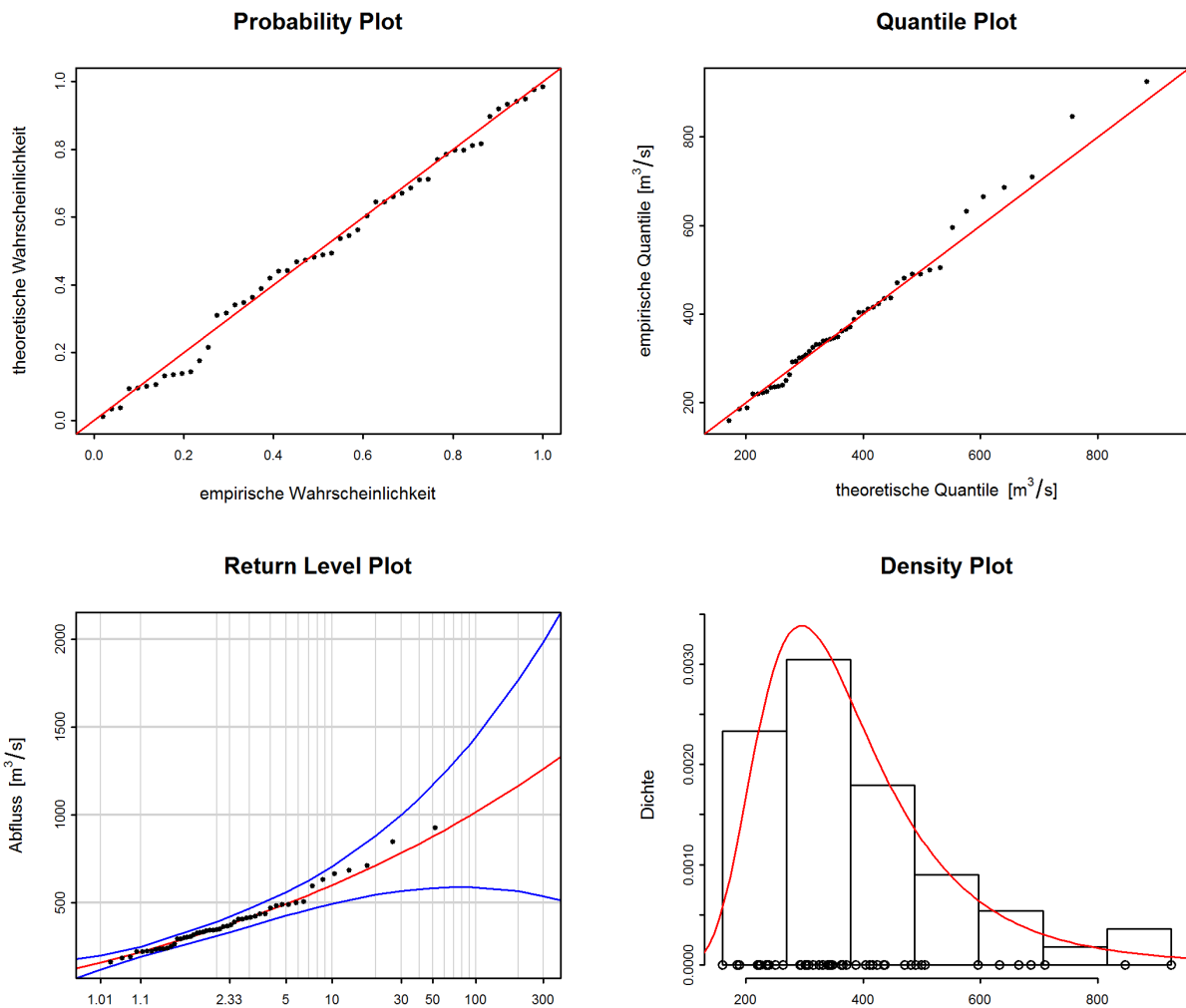


Abbildung 7: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1965-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 7):

Kriterien	Bewertung ⁵	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut-mittel	weniger Jahresmaxima mit ähnlich kleiner Gröszenordnung vorhanden
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	höchste Werte werden etwas unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für hohe Wiederkehrperioden sehr gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Auswertungsperiode ab Bruchpunkt 1965-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	310	350	390
HQ ₁₀	493	598	704
HQ ₃₀	565	782	999
HQ ₁₀₀	586	1014	1442
HQ ₃₀₀	536	1261	1985

⁵Siehe [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 Saane - Laupen wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 12 Tagen festgelegt.

Folgende Modellvarianten des POT-Ansatzes wurden analysiert:

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.⁶

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert u $244 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 8 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

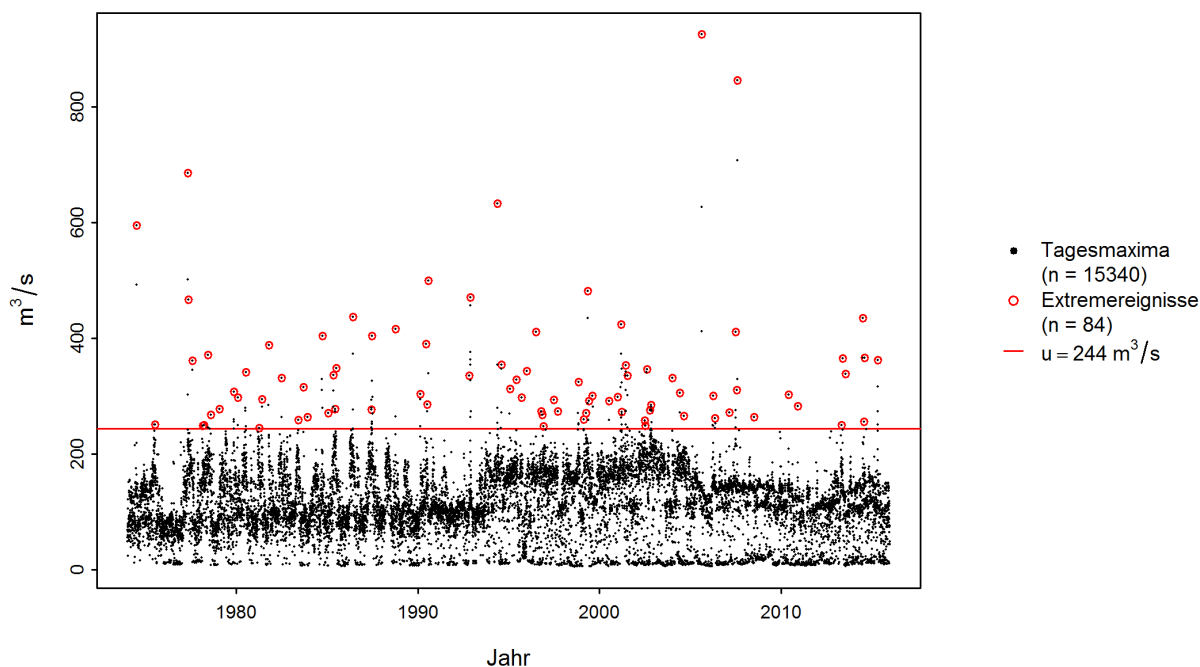


Abbildung 8: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

2.2.1.a Stationäre Modellvariante

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

⁶Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „sigjump“ wird das Jahr 1995 gewählt.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter	Formparameter
u	n	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
244 m ³ /s	84	2	88.75	0.1311

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

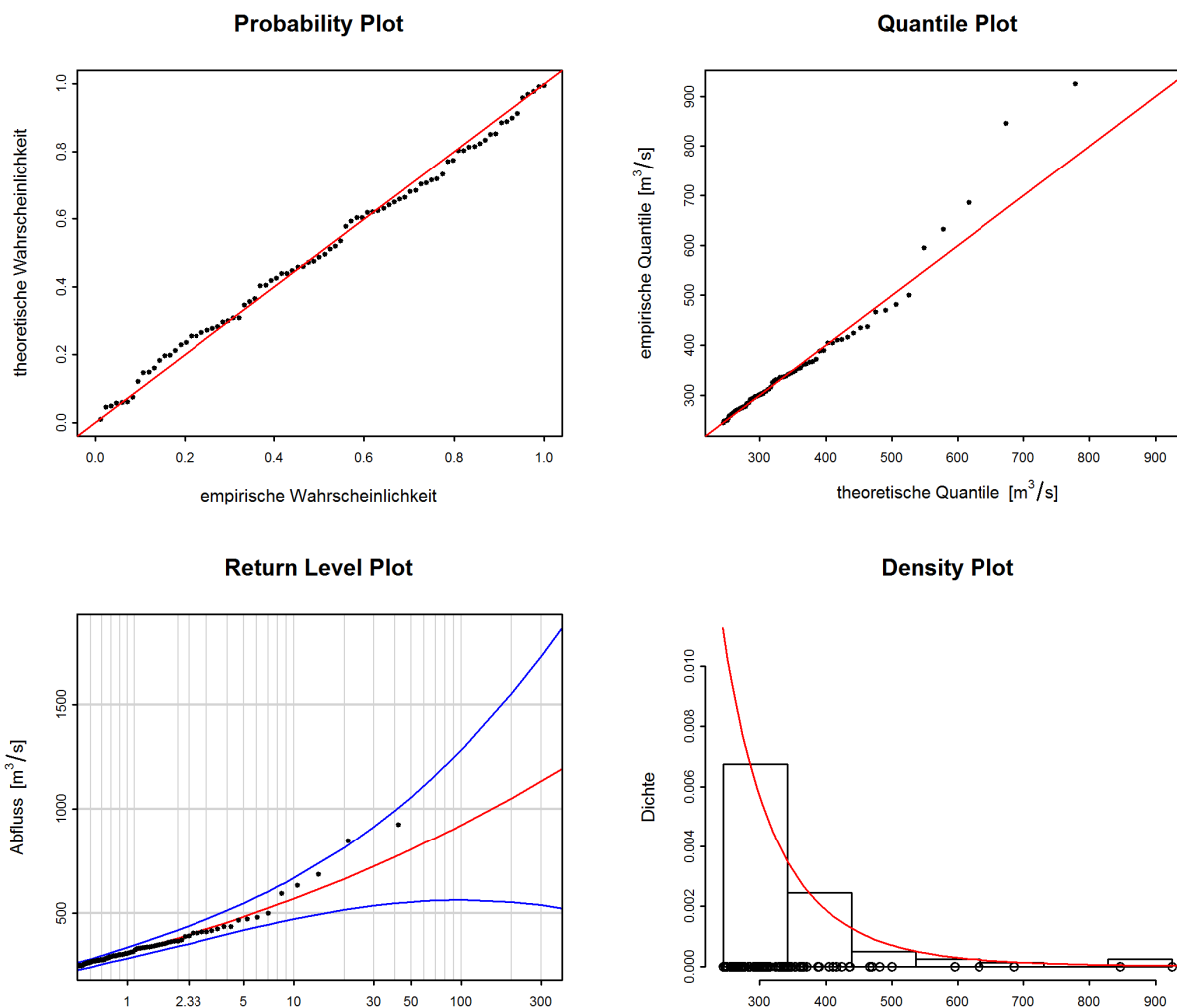


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):

Kriterien	Bewertung ⁷	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	schlecht	höchste Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	gross	für hohe Wiederkehrperioden sehr gross

⁷Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

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

HQ_T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	340	379	418
HQ ₁₀	471	570	668
HQ ₃₀	535	725	915
HQ ₁₀₀	563	923	1283
HQ ₃₀₀	537	1133	1729

3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 10 zeigt die HQ_T der beiden verwendeten Modellansätze BLOCK und POT und der unterschiedlichen Auswertungsperioden. Während die Werte ziemlich variieren, ist die Grösse der Konfidenzintervalle, welche ein Mass für die Unsicherheit sind, recht ähnlich. Generell werden die Unterschiede grösser, je grösser die Wiederkehrperiode T ist.

3.1 Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden

Nur mit dem BLOCK-Ansatz, der auf der Untersuchung von Monatsmaxima basiert, ist eine Analyse der Auswertungsperiode 1944 - 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 tiefere Werte	praktisch gleich gross
Periode ab Bruchpunkt / Gesamte Auswertungsperiode	deutlich tiefere Werte	minim kleiner
Periode ab Bruchpunkt / Vergleichs- periode	ähnliche Werte	minim kleiner

Nach 1965 wurden durchschnittlich etwas tiefere Jahreshochwasser beobachtet. Dies führt zu kleineren HQ_T in der Periode ab Bruchpunkt und der Vergleichsperiode. Aufgrund der geringeren Datenmenge ist das Konfidenzintervall in der Vergleichsperiode etwas grösser als in der Auswertungsperiode ab Bruchpunkt. Das Konfidenzintervall der gesamten Auswertungsperiode ist vergleichbar mit jenem der Vergleichsperiode, da zwar die Datenmenge grösser ist, die Jahresmaxima aber stärker variieren.

3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 10 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 des HQ_2 liegen die HQ_T des POT-Ansatzes tiefer als diejenigen des BLOCK-Ansatzes. Dies gilt unabhängig von der betrachteten Periode beim BLOCK-Ansatz, wobei die Differenzen bei Verwendung der Vergleichsperiode am kleinsten sind.

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:

Bei der Station Saane - Laupen wurden nur stationäre Modellvarianten verwendet, wodurch der Vergleich zu den nicht stationären Modellvarianten entfällt.

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.

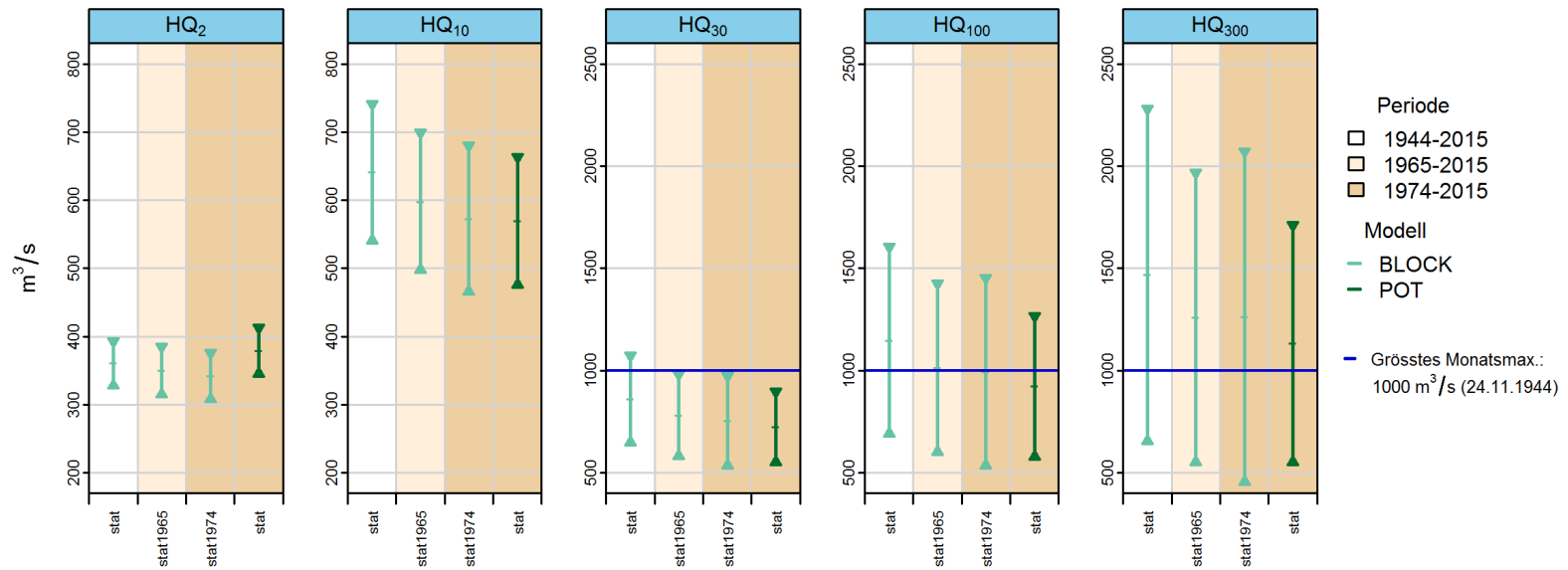


Abbildung 10: HQ_T [m^3/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

Auswertungsperiode	Verfahren	Anpassung			Bemerkung
1944 - 2015	BLOCK stat	mittel	gut	gut-mittel	recht gute Erfassung der grössten Werte
1965 - 2015	BLOCK stat	gut-mittel	gut	gut-mittel	höchste Werte werden etwas unterschätzt
1974 - 2015	BLOCK stat	gut	gut	gut-mittel	höchste Werte werden etwas unterschätzt
1974 - 2015	POT stat	gut	gut	schlecht	höchste Werte werden 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 $244 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 11).

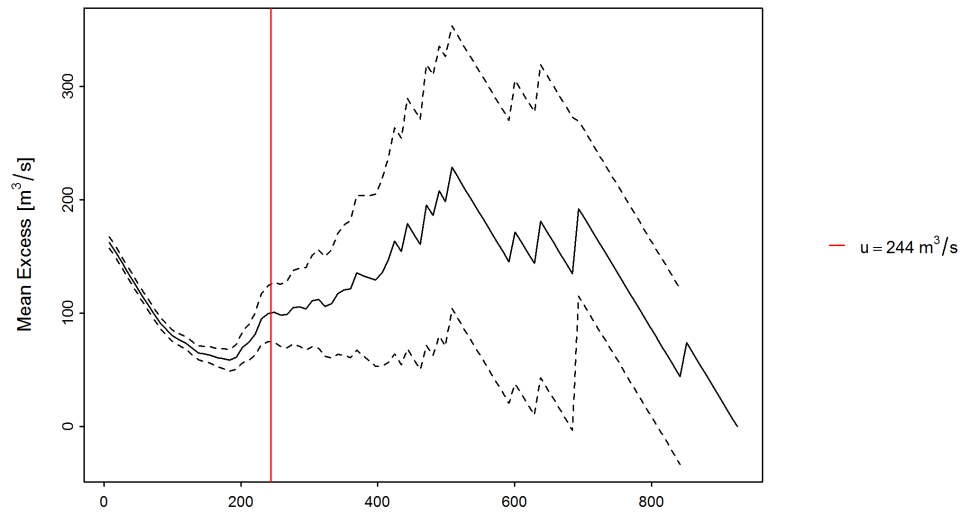


Abbildung 11: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

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).