



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Emme - Emmenmatt

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: 1919-2015	6
2.1.1.a	Stationäre Modellvariante	6
2.1.1.b	Nicht stationäre Modellvariante	8
2.1.2	Vergleichsperiode: 1997-2015	9
2.1.2.a	Stationäre Modellvariante	9
2.2	Peaks Over Threshold Ansatz (POT)	11
2.2.1	Auswertungsperiode POT: 1997-2015	11
2.2.1.a	Stationäre Modellvariante	11
3	Vergleich der verschiedenen Resultate	14
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden	14
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze	14
4	Literatur	16
Anhang		17
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten	17
B	Glossar	18

1 Datengrundlage

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

Vorhandene Daten	seit	bis
Digitale Monatsmaxima	01.01.1909	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1997	30.12.2015

Vom 1.1.1909 - 31.12.1928 stammen die Daten von der Messstation „7231 Emme - Emmenmatt“. Ein Limniograph wurde (am 11. März 1918) in Betrieb genommen. Vom 1.1.1929 - 31.12.1965 stammen die Daten von der Totalstation „8131 Emme - Emmenmatt“, welche sich aus der Hauptstation „7231 Emme - Emmenmatt“ und der Nebenstation „2071 Ilfiskanal - Emmenmatt“ zusammensetzt. Seit dem 1.1.1966 liegen die Daten von der Totalstation „0070 Emme - Emmenmatt“ vor, die wiederum aus der neuen Hauptstation „2070 Emme - Emmenmatt“ und der bisherigen Nebenstation „2071 Ilfiskanal - Emmenmatt“ zusammengesetzt wurde. Digitale Tagesmaxima liegen erst seit dem 1.1.1997 vor, was an der Nebenstation liegt, für welche zuvor keine kontinuierlichen Daten vorliegen.

Die Messreihen der genannten Stationen wurden aneinandergehängt, um eine lange Datenreihe zu erhalten, welche für den vorliegenden Stationsbericht verwendet wird.

Für die Auswertungen werden entweder die mit Limniograph 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	12.06.1997	495 m ³ /s
Grösstes Tagesmaximum	12.06.1997	495 m ³ /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

Abflussverlauf	Beschreibung
Abflussregime	Nivo-pluvial préalpin: Hohe Abflüsse im Sommer, tiefere Abflüsse im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Monats- und Tagesmaxima gut zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)
Beeinflussung	keine bekannt

Die meisten Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 100 und 300 m³/s, wobei die Werte in diesem Bereich stark streuen. Ab dem Jahr 1919 sind insgesamt nur 14 Werte oberhalb von 300 m³/s, davon sechs Werte oberhalb von 400 m³/s zu verzeichnen. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen signifikanten Bruchpunkt ab 1991 (Konfidenzintervall 1970-2003). Dieser Bruchpunkt lässt sich nicht auf eine Veränderung der Beeinflussung zurückführen und kann daher aus hydrologischer Sicht nicht erklärt werden. Aus diesem Grund wird keine Auswertungsperiode ab Bruchpunkt berücksichtigt.

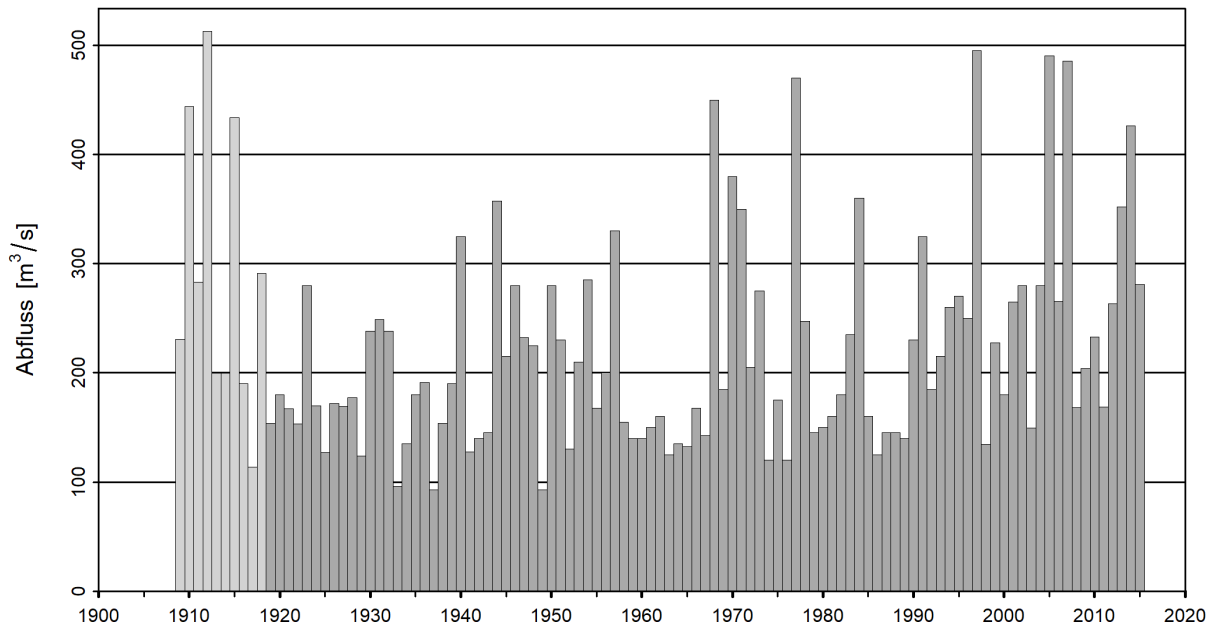


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] (1909 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendete Jahresmaxima, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Limnigrapheninstallation).

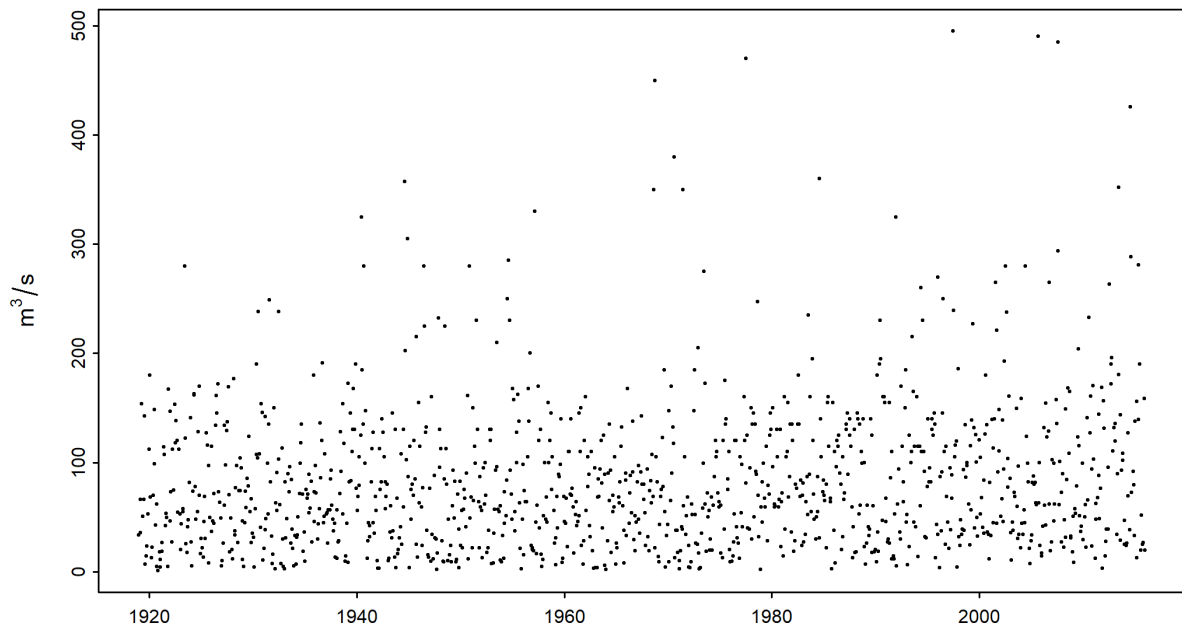


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1919 - 31.12.2015)

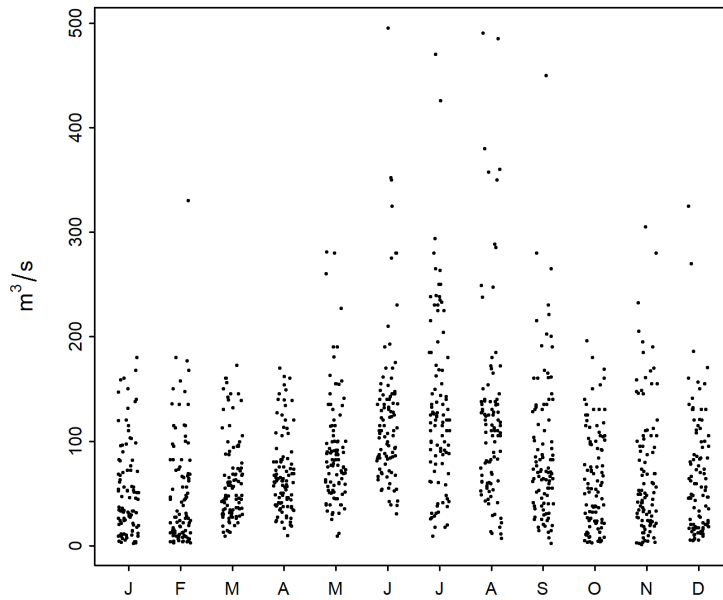


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1919 - 31.12.2015)

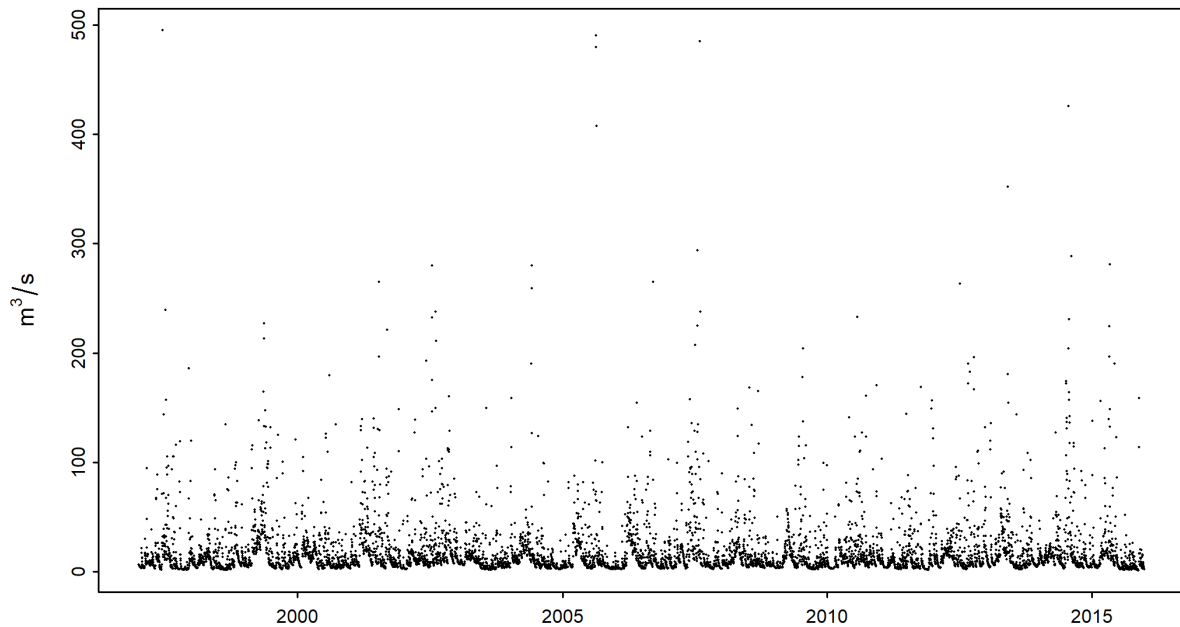


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m^3/s] (01.01.1997 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
keine	-	Vermutlich stationär

Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1990 / 1991	ja	Keine Unterteilung der Auswertungsperiode, da nicht aus Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet begründbar. Verwendung 1991 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
1919 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat muq	Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b
1997 - 2015	Vergleichsperiode	stat	Kapitel 2.1.2.a

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1919-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1919-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
97	170.07	57.4	0.2137

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

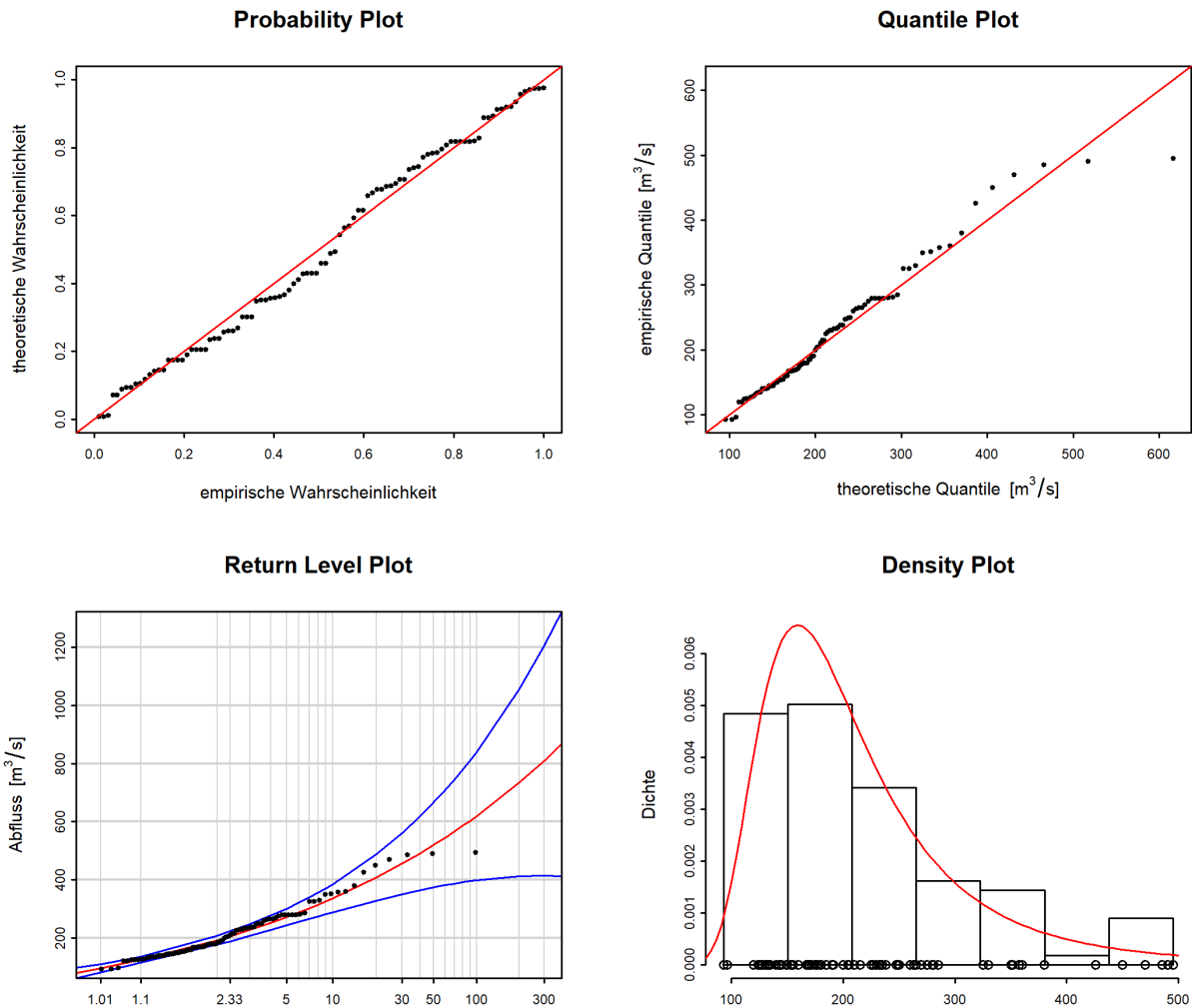


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1919-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

Kriterien	Bewertung ²	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	kleinsten Werte leicht überschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel	meisten Werte leicht unterschätzt, grösster Wert überschätzt
Konfidenzintervall	gross	bei grosser Wiederkehrperiode gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1919-2015 (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	176	192	208
HQ ₁₀	288	336	384
HQ ₃₀	350	455	560
HQ ₁₀₀	398	619	840
HQ ₃₀₀	414	810	1205

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 „mujump“ 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. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind nur geringfügig. Daher werden im Folgenden die Resultate von „muq“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	muq	1919-2015	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		
97	168.65	-1.02	0.02	52.59	0.2551

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

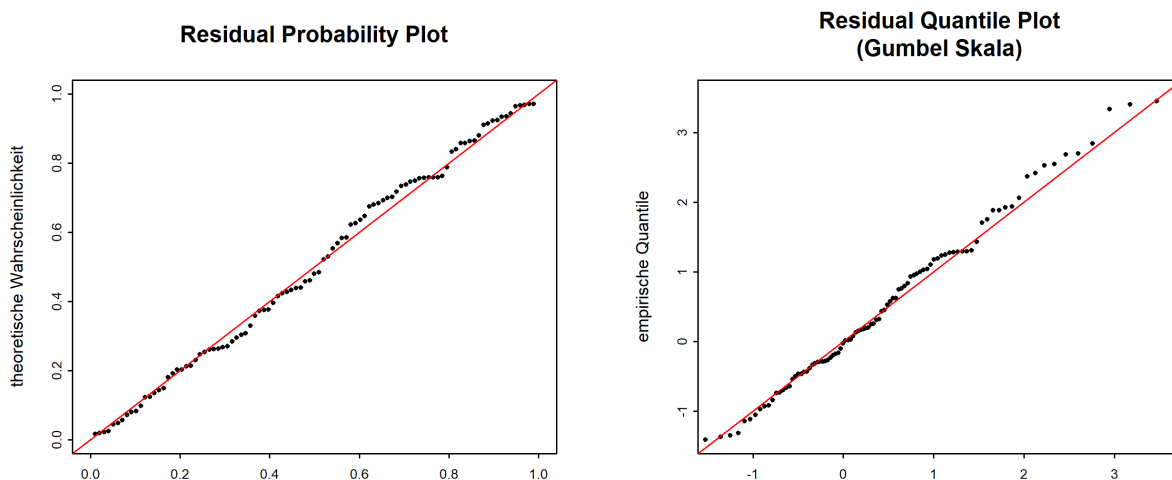


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „muq“ des BLOCK-Ansatzes (1919-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

Kriterien	Bewertung ⁵	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	gut-mittel	meisten Werte im oberen Bereich etwas unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	etwas besser	deutliche Verbesserung im oberen Bereich

³Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1991 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 1919-2015 (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	214	246	278
HQ ₁₀	332	386	440
HQ ₃₀	393	508	624
HQ ₁₀₀	430	686	942
HQ ₃₀₀	420	903	1385

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „muq“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1919 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 1919-2015

2.1.2 Vergleichsperiode: 1997-2015

2.1.2.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1997-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
19	222.92	79.21	0.1545

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

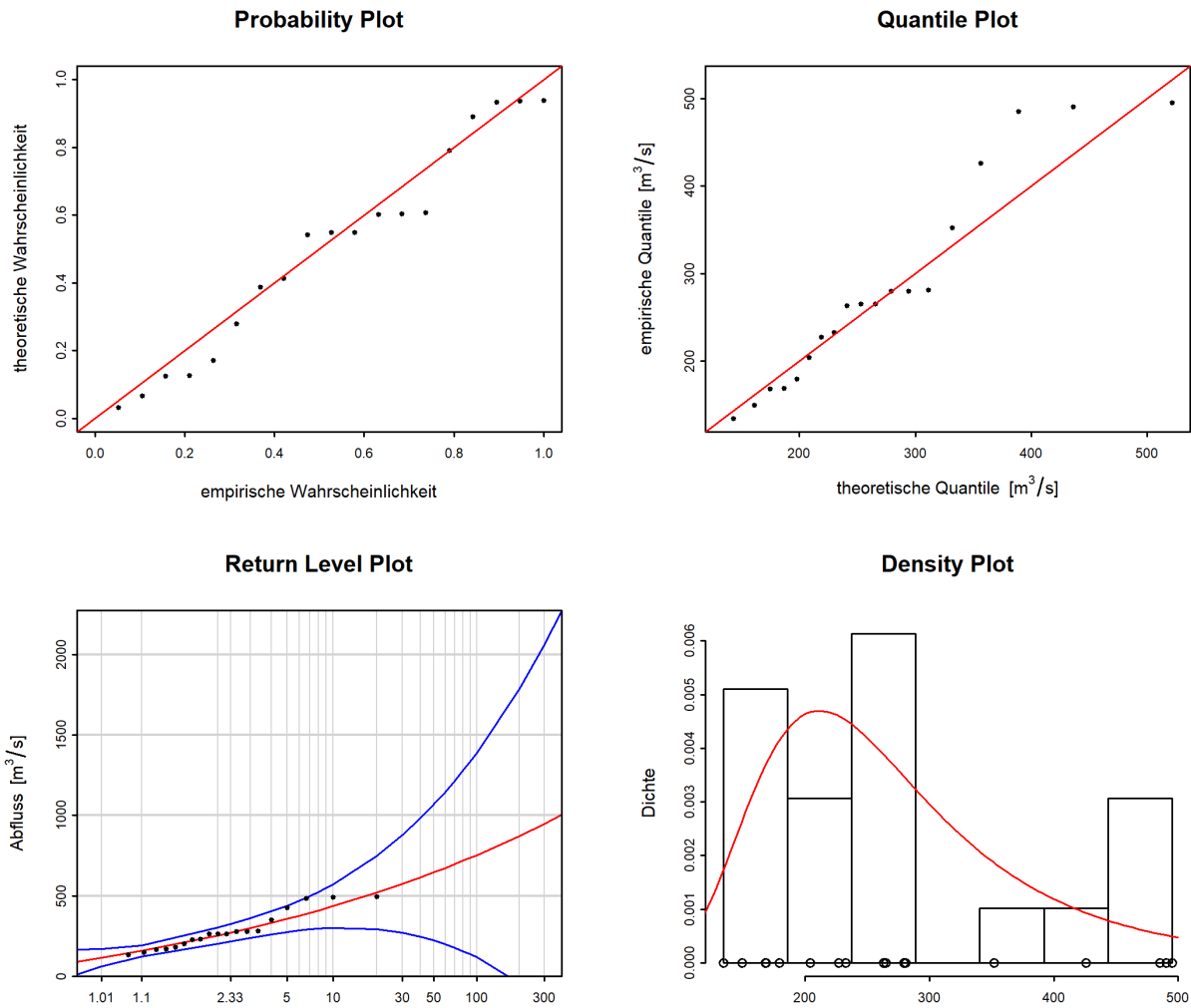


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1997-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

Kriterien	Bewertung ⁶	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	mittel-schlecht	kleinere Werte über-, grössere Werte unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	gut	gute Anpassung beim grössten Wert
Konfidenzintervall	gross	für grossen Wiederkehrperioden sehr gross

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Vergleichsperiode 1997-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	202	253	303
HQ ₁₀	301	436	571
HQ ₃₀	271	575	879
HQ ₁₀₀	118	754	1390
HQ ₃₀₀	-164.77	948	2060

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 1997 verwendet. Vor der Bearbeitung müssen diese von Clustern bereinigt werden. Für Emme - Emmenmatt wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 11 Tagen festgelegt.

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

Auswertungsperiode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1997 - 2015	Auswertungsperiode POT	stat	Kapitel 2.2.1.a

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1997-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert u $142 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 9 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

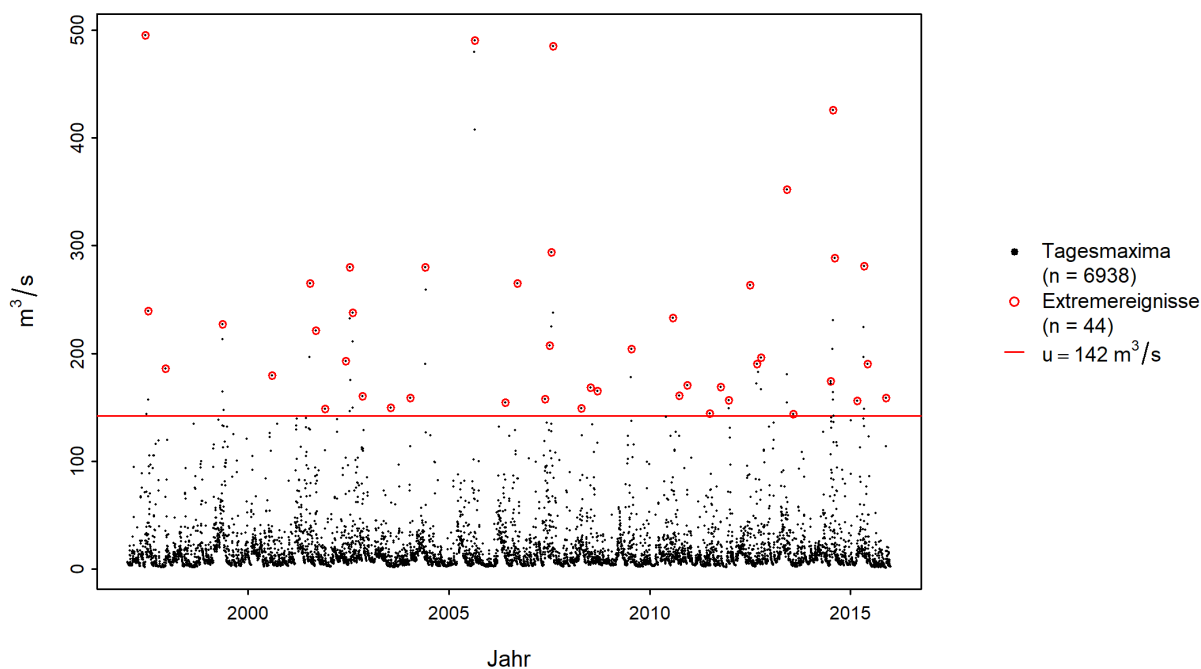


Abbildung 9: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

2.2.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
POT	stat	1997-2015	Tagesmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter	Formparameter
u	n	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$142 \text{ m}^3/\text{s}$	44	2.32	74.7	0.1305

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbil-

dung 10 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

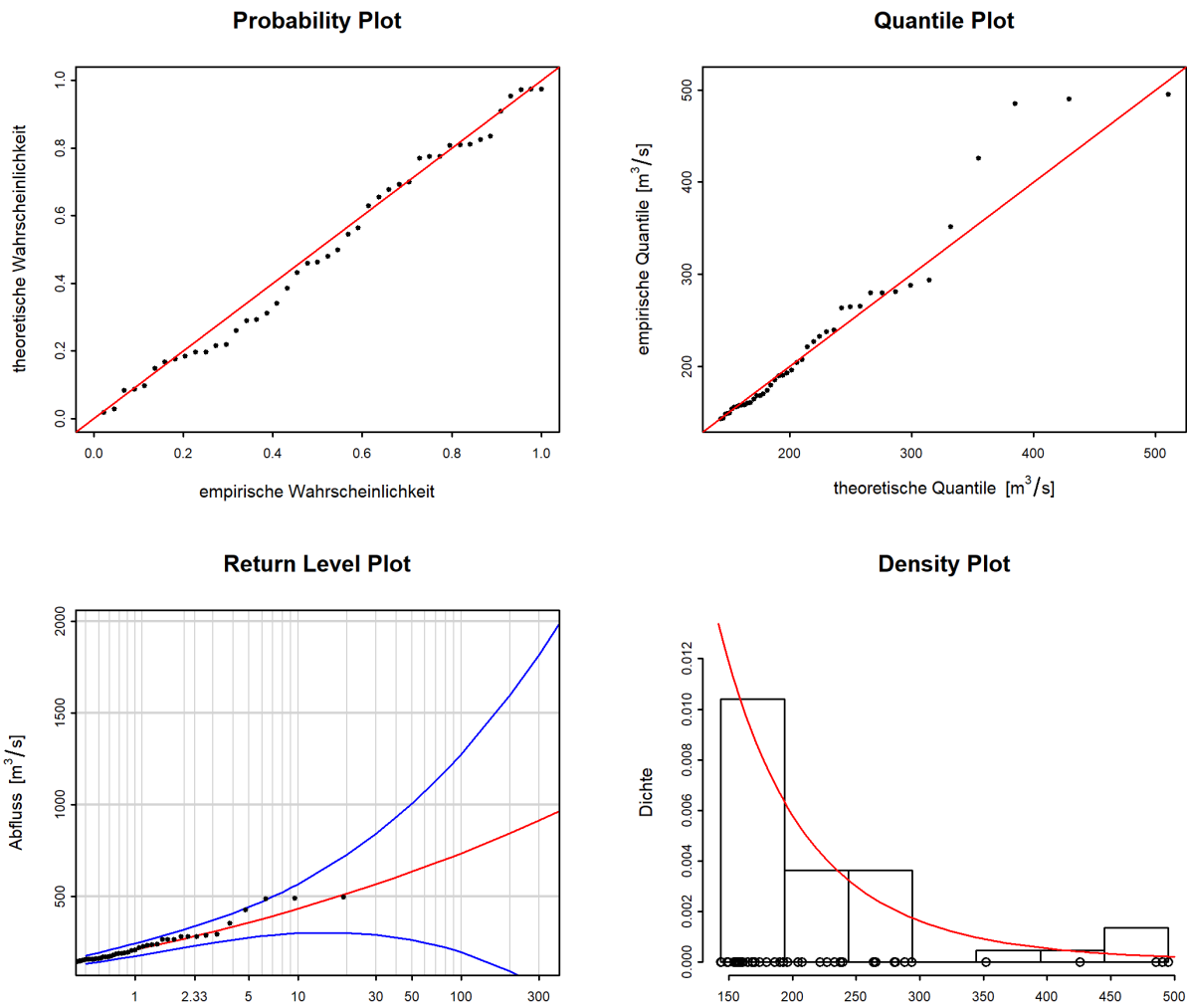


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1997-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

Kriterien	Bewertung ⁷	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	mittel-schlecht	Werte teilweise stark unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	gut	gute Anpassung beim grössten Wert
Konfidenzintervall	gross	für grosse 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 1997-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ_T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	219	269	318
HQ ₁₀	298	432	566
HQ ₃₀	289	565	842
HQ ₁₀₀	195	735	1274
HQ ₃₀₀	11.4	914	1817

3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 11 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 1919 - 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 höhere Werte	deutlich grösser

Innerhalb der Vergleichsperiode sind die meisten grossen Jahresmaxima aufgetreten, weshalb die berechneten HQ_T der Vergleichsperiode für grosse Wiederkehrperioden höher sind. Aufgrund der geringeren Datenmenge ist das Konfidenzintervall bei der Vergleichsperiode viel grösser als in der gesamten Auswertungsperiode.

3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 11 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 POT-Ansatzes liegen bis auf HQ_2 immer etwas niedriger als diejenigen des BLOCK-Ansatzes der Vergleichsperiode. Bei einem Vergleich des POT-Ansatzes mit dem BLOCK-Ansatz der gesamten Auswertungsperiode fällt auf, dass alle HQ_T des BLOCK-Ansatzes etwas niedriger sind, wobei der Unterschied bei den kleineren Wiederkehrperioden grösser wird. Insgesamt sind die Differenzen zwischen den beiden Modellvarianten „stat1997“ des BLOCK-Ansatzes und der des POT-Ansatzes sehr gering.

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 sind je nach Zeitintervall unterschiedlich gross, wobei sie insbesondere bei den grossen Wiederkehrperioden sehr gross ausfallen.

Vergleich von stationären und nicht stationären Varianten:

Beim BLOCK-Ansatz kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte in einem geringen Ausmass verbessert werden, da die Zunahme grosser Hochwasser in den letzten Jahren in das Modell einbezogen wird. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 der nicht stationären Modellvariante sind in der Folge etwas höher als mit der stationären Modellvariante für die gesamte Auswertungsperiode. 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.

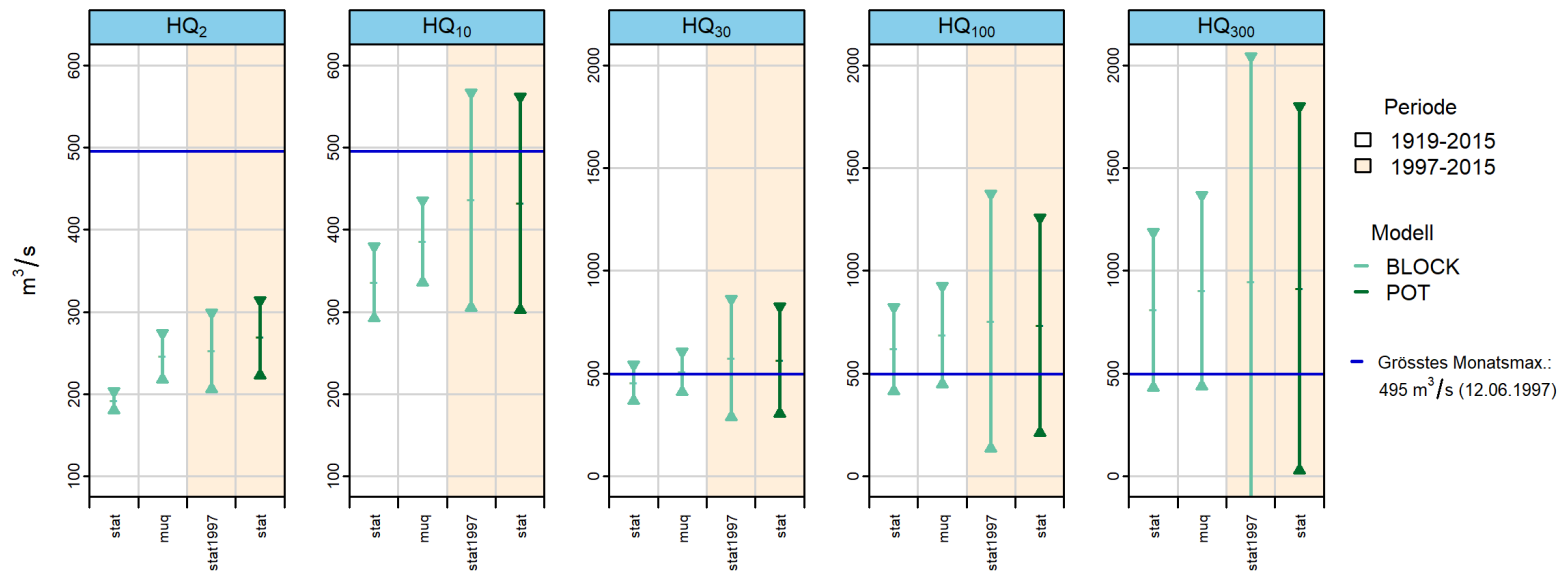


Abbildung 11: HQ_T [m^3/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

Auswertungsperiode	Verfahren	Anpassung			Bemerkung
1919 - 2015	BLOCK stat	gut	gut	mittel	meisten Werte leicht unterschätzt, grösster Wert überschätzt
	BLOCK muq	gut	gut	gut-mittel	meisten Werte im oberen Bereich etwas unterschätzt deutliche Verbesserung im oberen Bereich
1997 - 2015	BLOCK stat	gut	mittel-schlecht	gut	gute Anpassung beim grössten Wert
1997 - 2015	POT stat	gut	mittel-schlecht	gut	gute Anpassung beim grössten Wert

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. Hef. Hennef.

Anhang

A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten

Der Schwellenwert u zur Abgrenzung der Extremwerte des POT-Ansatzes für die Auswertungsperiode 1997 - 2015 (siehe Kapitel 2.2.1) wird anhand des „mean residual life plots“ auf $142 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 12).

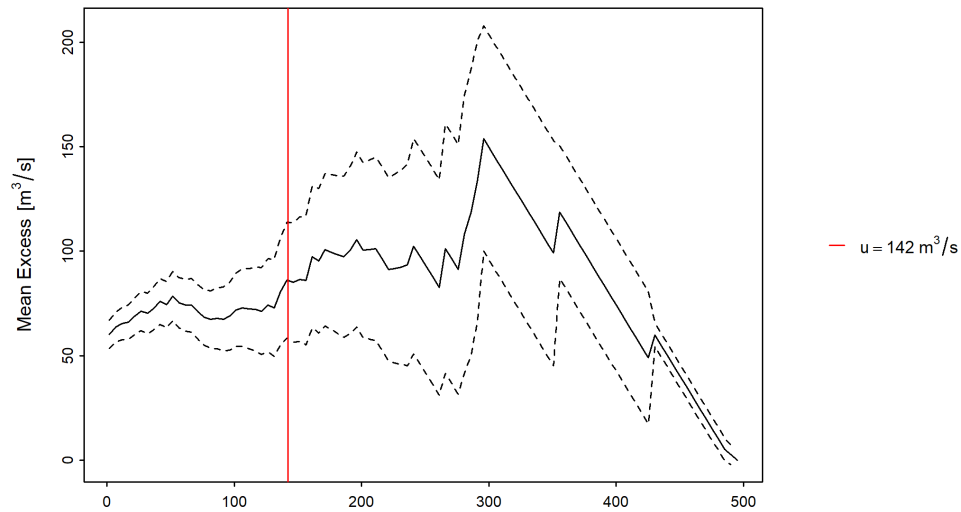


Abbildung 12: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

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 Anpassungs-güte 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).