



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

STATIONSBERICHT NIEDRIGWASSERSTATISTIK

Leitfaden

Kontakt: hydrologie@bafu.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	2
1	Definitionen und Grundlegendes	2
1.1	Definitionen	2
1.2	Verwendete Zeiträume	4
1.3	Identifikation unabhängiger Niedrigwasserereignisse (Pooling)	4
1.4	Jahreszuordnung der NM7Q (BLOCK-Verfahren)	5
2	Erläuterungen zu Kapitel 1 „Datengrundlage“	5
3	Erläuterung der verwendeten Verfahren	11
3.1	Block Minimum Ansatz (BLOCK)	11
3.2	Peaks over Threshold Ansatz (POT)	12
3.3	Verwendete Modellvarianten	12
4	Erläuterungen zum Inhalt der Resultate-Kapitel 2.1-2.3	16
4.1	Beschreibung des Modells und der Modelleingangsdaten	16
4.2	Tabelle mit geschätzten Modellparametern	18
4.3	Diagnostikplots mit Bewertung	19
4.4	Tabellen der Wiederkehrwerte NQ_T , ND_T oder DV_T	21
4.5	Vergleich der Resultate der verschiedenen Verfahren (nur NQ_T)	22
5	Literatur	24
A	Anhang	25
A.1	Beispiele für Diagnostikplots	25

0 Einleitung

Der vorliegende Leitfaden soll helfen, die Verständlichkeit und Lesbarkeit der Stationsberichte zur Niedrigwasserstatistik zu gewährleisten. Die Berichte dienen dazu, Nicht-Stationaritäten in den Daten zu erkennen und eine Übersicht über die mit einem bzw. zwei verschiedenen Ansätzen berechneten Niedrigwasserabflüsse (NQ_T), Niedrigwasserdauern (ND_T) und Defizitvolumen (DV_T) für vorgegebene Wiederkehrperioden zu gewinnen. Für die Beantwortung konkreter Fragestellungen bilden die Resultate dieser statistischen Auswertungen nur eine Grundlage. Daneben sind auch Kenntnisse über die hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet sowie Überlegungen zu Worst-Case-Szenarien für Niederschlag und Abfluss wichtig.

1 Definitionen und Grundlegendes

1.1 Definitionen

In diesem Abschnitt werden alle für die Niedrigwasserstatistik-Stationsberichte verwendeten Kenngrößen und wichtige Begriffe kurz erläutert. Abbildung 1 des Leitfadens illustriert die Kenngrößen und deren Zusammenspiel.

Niedrigwasserabfluss (NQ)

Für die Abschätzung von Niedrigwasserabflüssen verwendet die Abteilung Hydrologie des BAFU die Kenngrößen M7Q bzw. NM7Q.

Als *M7Q* wird das gleitende arithmetische Mittel von 7 aufeinanderfolgenden Tageswerten des Abflusses bezeichnet.

NM7Q ist der kleinste über 7 Tage gemittelte Abfluss (M7Q) innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (BAFU: ein Jahr).

Die Mittelung über sieben Tage dient dazu, den Einfluss kurzfristiger, teils periodischer Störungen wie Entnahmen, Schwallbetrieb von Kraftwerken oder Ausleitungen aus Kläranlagen zu minimieren (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2005)). Die über sieben Tage gemittelten Werte sind ausserdem robuster gegenüber Messfehlern (Maurer et al. (2011)).

Sowohl M7Q als auch NM7Q dienen als Grundlage für die Berechnung der Wiederkehrwerte der Niedrigwasserabflüsse: die M7Q als Eingangsdaten für das POT-Verfahren (vgl. Kapitel 3.2 im Leitfaden), die NM7Q als Eingangsdaten für das BLOCK-Verfahren (vgl. Kapitel 3.1 im Leitfaden).

Niedrigwasserdauer (ND)

Eine weitere wichtige Kenngrösse zur Charakterisierung eines Niedrigwasserereignisses ist die Niedrigwasserdauer.

Die *Niedrigwasserdauer* entspricht der Anzahl aufeinanderfolgender Tage, an denen der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet.

Basierend auf einer Literaturrecherche und eigenen Vorstudien verwendet die Abteilung Hydrologie des BAFU als Schwellenwert das 80 %-Perzentil des Abflusses (d.h. an 80 % der Tage wird dieser Abfluss erreicht oder überschritten).

Defizitvolumen (DV)

Die dritte im Rahmen der Stationsberichte untersuchte Kenngrösse für Niedrigwasserereignisse ist das Defizitvolumen.

Das *Defizitvolumen* entspricht dem über die Niedrigwasserdauer aufsummierten Abflussdefizit. Dieses ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Abfluss eines Niedrigwassertags und dem Schwellenwert.

Zur besseren Vergleichbarkeit der abgeschätzten Defizitvolumina der verschiedenen Stationen wird analog zum DWA(DVWK)-Verfahren 121 (1992) die Einheit Abflusshöhe $h_A[mm]$ gewählt. Diese ist wie folgt definiert:

$$h_A[mm] = \frac{V[m^3]}{A_E[km^2] * 1000} \quad (1)$$

wobei A_E der Einzugsgebietsfläche und V dem Defizitvolumen in m^3 entsprechen.

Das Defizitvolumen resultiert aus der Kombination der Niedrigwasserdauer und der Ausprägung des Niedrigwasserabflusses. Ein sehr niedriger Abfluss über kurze Dauer kann das gleiche Defizitvolumen zur Folge haben wie ein weniger stark ausgeprägter Niedrigwasserabfluss über eine lange Dauer.

Niedrigwasserjahr

Das *Niedrigwasserjahr* umfasst eine Zeitspanne von einem Jahr. Der Zeitpunkt des Jahresbeginns wird aber anhand der Saisonalität der Niedrigwasserereignisse festgelegt und weicht daher meist vom Kalenderjahr ab.

Ziel bei der Festlegung des Niedrigwasserjahres ist es, dass möglichst kein Niedrigwasserereignis über den Jahreswechsel hinaus andauert und damit für zwei aufeinanderfolgende Jahre dasselbe Ereignis zweimal in die Statistik eingehen könnte. Gelingt dies nicht, werden diese Ereignisse gemäss vorgegebenen Regeln dem einen oder anderen Jahr zugeordnet (vgl. Unterkapitel 1.4 im Leitfaden). Um die Vergleichbarkeit zwischen den Stationen zu fördern, wird versucht, den Startmonat wenn immer möglich gleich zu wählen. Für alpin geprägte Stationen dauert das Niedrigwasserjahr in der Regel vom 1. Juni - 31. Mai, für ausseralpine Stationen vom 1. April - 31. März.

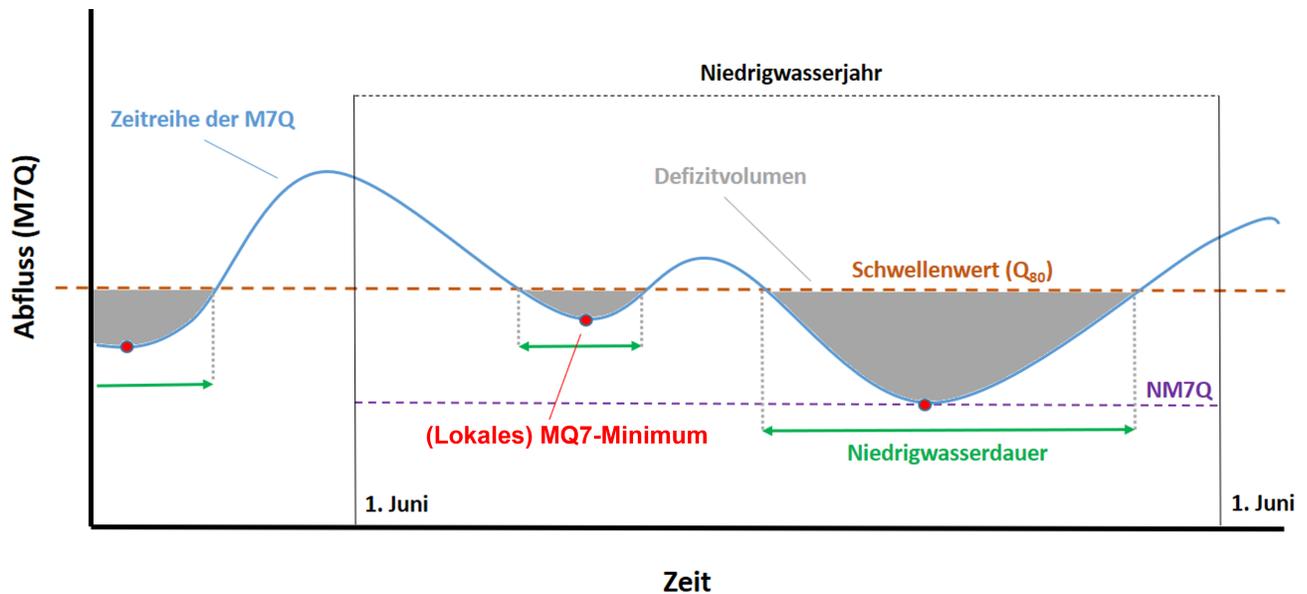


Abbildung 1: Illustration der verschiedenen Kenngrößen der Niedrigwasserstatistik und deren Zusammenspiel

1.2 Verwendete Zeiträume

Bei den betrachteten Zeiträumen wird unterschieden zwischen Beobachtungs- und Auswertungsperiode.

Die *Beobachtungsperiode* umfasst die Zeitspanne ab Verfügbarkeit digitaler Abflusstagessmittelwerte.

Die *Auswertungsperiode* bezeichnet die Zeitspanne der Daten, welche in den statistischen Verfahren ausgewertet werden. Diese kann, je nach Zeitpunkt der Installation eines Limnigraphen sowie den Ergebnissen aus einer Bruchpunktanalyse, von der Beobachtungsperiode abweichen (vgl. Kapitel 2 im Leitfaden).

1.3 Identifikation unabhängiger Niedrigwasserereignisse (Pooling)

Sowohl beim BLOCK- als auch beim POT-Verfahren (vgl. Kapitel 3 im Leitfaden) sollen nur unabhängige Niedrigwasserereignisse in die Analyse einbezogen werden. Zur Identifikation abhängiger Ereignisse verwendet die Abteilung Hydrologie des BAFU einen dynamischen Ansatz basierend auf Defizit- und Überschussvolumen. Dabei gelten zwei Niedrigwasserereignisse als abhängig, wenn das dazwischen aufsummierte Überschussvolumen das Defizitvolumen des ersten Ereignisses nicht kompensieren kann. Ist das Überschussvolumen dagegen grösser oder gleich dem vorausgehenden Defizitvolumen, gelten die beiden Niedrigwasserereignisse als unabhängig.

Im Falle von zwei abhängigen Niedrigwasserereignissen ergeben sich folgende Konsequenzen für die Berechnung/Korrektur der Defizitvolumen bzw. der Niedrigwasserdauern:

- Zur Berechnung des „Gesamt-Defizitvolumens“ werden die beiden Defizitvolumen addiert und das dazwischenliegende Überschussvolumen subtrahiert.

- Zur Berechnung der „Gesamt-Niedrigwasserdauer“ werden die Dauern der beiden Niedrigwasserperioden und der dazwischenliegenden Periode addiert.

Unabhängigkeit/Declustering der M7Q (POT-Verfahren)

Beim POT-Verfahren wird bei aufeinanderfolgenden (lokalen) M7Q-Minima überprüft, ob diese dem gleichen Niedrigwasserereignis entstammen. Ist dies der Fall (vgl. vorangehender Abschnitt), so wird nur der kleinere der beiden M7Q-Werte verwendet (Declustering).

1.4 Jahreszuordnung der NM7Q (BLOCK-Verfahren)

Im Falle eines jahresübergreifenden NM7Q-Ereignisses muss dieses beim BLOCK-Verfahren (vgl. Kapitel 3.1 im Leitfaden) einem Jahr zugeordnet werden. Dies erfolgt auf der Grundlage der unabhängigen Defizit- und Überschussvolumina (vgl. vorangehendes Unterkapitel). Dabei wird das NM7Q jenem Niedrigwasserjahr zugeordnet, in welchem der grössere Anteil des Defizitvolumens aufgetreten ist. Im anderen Niedrigwasserjahr wird nach der Umteilung der zweitkleinste M7Q-Wert als neues NM7Q verwendet.

2 Erläuterungen zu Kapitel 1 „Datengrundlage“

Kapitel 1 im Stationsbericht gibt Auskunft über die für die betrachtete Abflussmessstation zur Verfügung stehende Messreihe. Dabei werden der abgedeckte Zeitraum, allfällige Lücken, anthropogene Beeinflussungen des Gewässers und der Abflussregimetyp thematisiert.

Als Eingangsdaten für die verschiedenen Auswertungen dienen die digital verfügbaren Abflusstagesmittelwerte. Für die Abbildungen 1 - 6 im Stationsbericht wird die gesamte Beobachtungsperiode verwendet. Diese Abbildungen dienen dazu, einen ersten Eindruck über die verwendeten Datengrundlagen zu gewinnen. Sie können visuelle Hinweise bezüglich Stationarität und Beeinflussung der Daten geben und werden zur Festlegung des Niedrigwasserjahres und der Beurteilung der Plausibilität der anschliessend durchgeführten Bruchpunktanalyse verwendet.

Abbildung 1 im Stationsbericht (Abbildung 2 im Leitfaden) zeigt das zeitliche Auftreten der Niedrigwasserperioden im Jahresverlauf. Schwarze Striche kennzeichnen Tage mit Niedrigwasserabfluss. Folgen mehrere Tage mit Niedrigwasserabfluss aufeinander, resultiert in der Abbildung ein schwarzer Balken. Je länger dieser ist, umso länger dauert eine Niedrigwasserperiode. Diese Abbildung dient zur Wahl des Niedrigwasserjahres (vgl. Kapitel 1.1 im Leitfaden).¹ Abbildung 2 im Leitfaden zeigt das Beispiel der Station Vispa-Visp. Die Niedrigwasserereignisse treten hier im Winter auf, während zwischen dem 1. Juni und dem 1. Oktober keine Niedrigwasserabflüsse beobachtet werden. Für diese Station wurde der Monat Juni als Startmonat gewählt. Ein Niedrigwasserjahr umfasst somit die Periode vom 1. Juni des laufenden Jahres bis zum 31. Mai des nächsten Jahres.

¹Dargestellt ist die gesamte Beobachtungsperiode. Für die Festlegung des Niedrigwasserjahres wird jedoch nur der Zeitraum der Auswertungsperiode berücksichtigt.

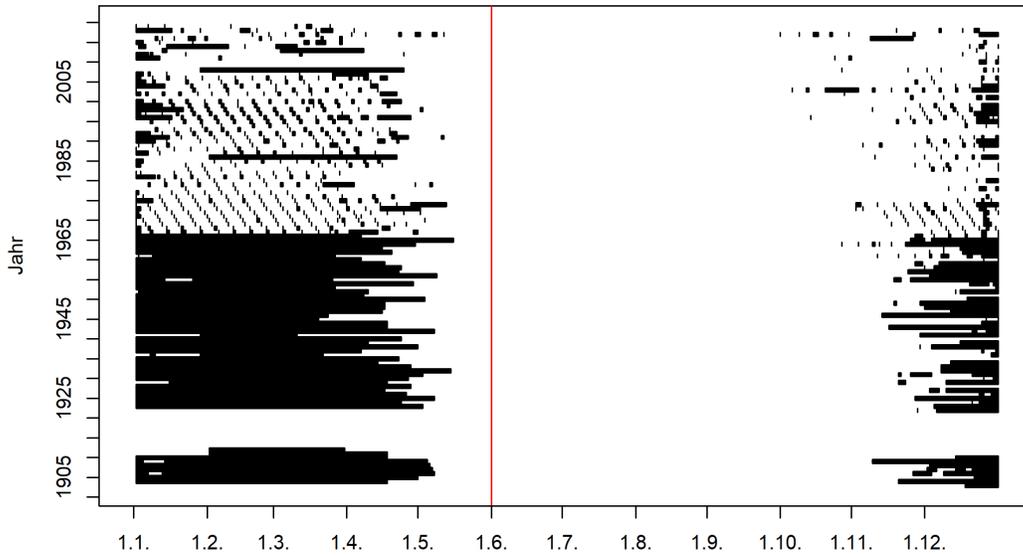


Abbildung 2: Zeitliches Auftreten der Niedrigwasserperioden im Jahresverlauf und Startmonat des Niedrigwasserjahres (rote Linie) am Beispiel der Station Vispa-Visp

Abbildung 2 im Stationsbericht (Abbildung 3 im Leitfaden) zeigt die monatlichen Minima der verwendeten M7Q, aufgeschlüsselt nach Monat. Dabei werden die Datenpunkte innerhalb eines Monats zur Verbesserung der Lesbarkeit leicht versetzt abgebildet („jitter“, d.h. zufällige Versetzung ohne Bezug zum genauen Auftretensdatum). Die Darstellung gibt einen Eindruck der Streuung und kann eine allfällig vorhandene Saisonalität aufzeigen. So weist die Vispa (Abbildung 3 im Leitfaden, links) eine recht ausgeprägte Saisonalität auf, die kleinsten monatlichen M7Q werden im Allgemeinen in den Wintermonaten beobachtet. Bei der Tresa (Abbildung 3 im Leitfaden, rechts) ist die Saisonalität weit weniger ausgeprägt.

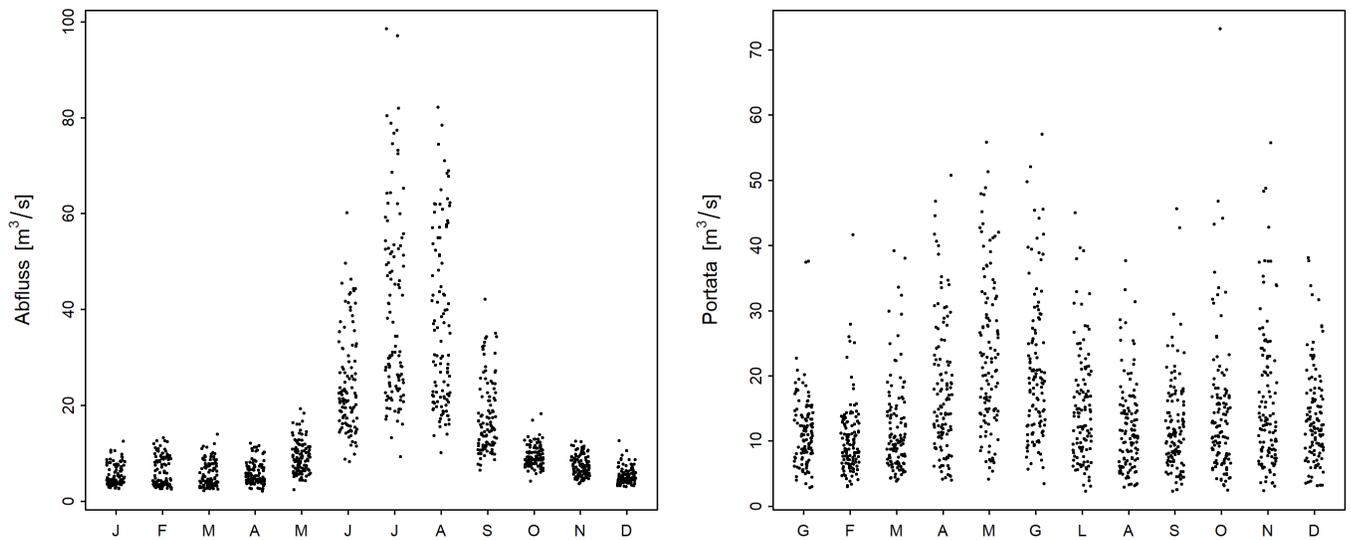


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsminima der M7Q der Station Vispa-Visp (links) und der Tresa-Ponte Tresa (rechts) [m^3/s]

Die Abbildungen 3-5 im Stationsbericht (Abbildungen 4-6 im Leitfaden) zeigen die Zeitreihen der monatlichen M7Q-Minima, der Niedrigwasserdauern sowie der Defizitvolumen für die gesamte Beobachtungsperiode. Diese Darstellungen eignen sich gut, um Instationaritäten zu erkennen. So lassen sich, z.B. aufgrund eines Kraftwerkbaus, oft auffällige Muster feststellen. In der Zeitreihe der M7Q-Monatsminima der Abflussmessstation Vispa-Visp (Abbildung 4 im Leitfaden, oben) sieht man etwa, dass die grössten Werte ab 1967 deutlich zurückgehen und nicht mehr viel grösser sind als die tieferen Werte. Ein solches Muster lässt sich hingegen bei der Station Tresa-Ponte Tresa nicht erkennen (Abbildung 4 im Leitfaden, unten).

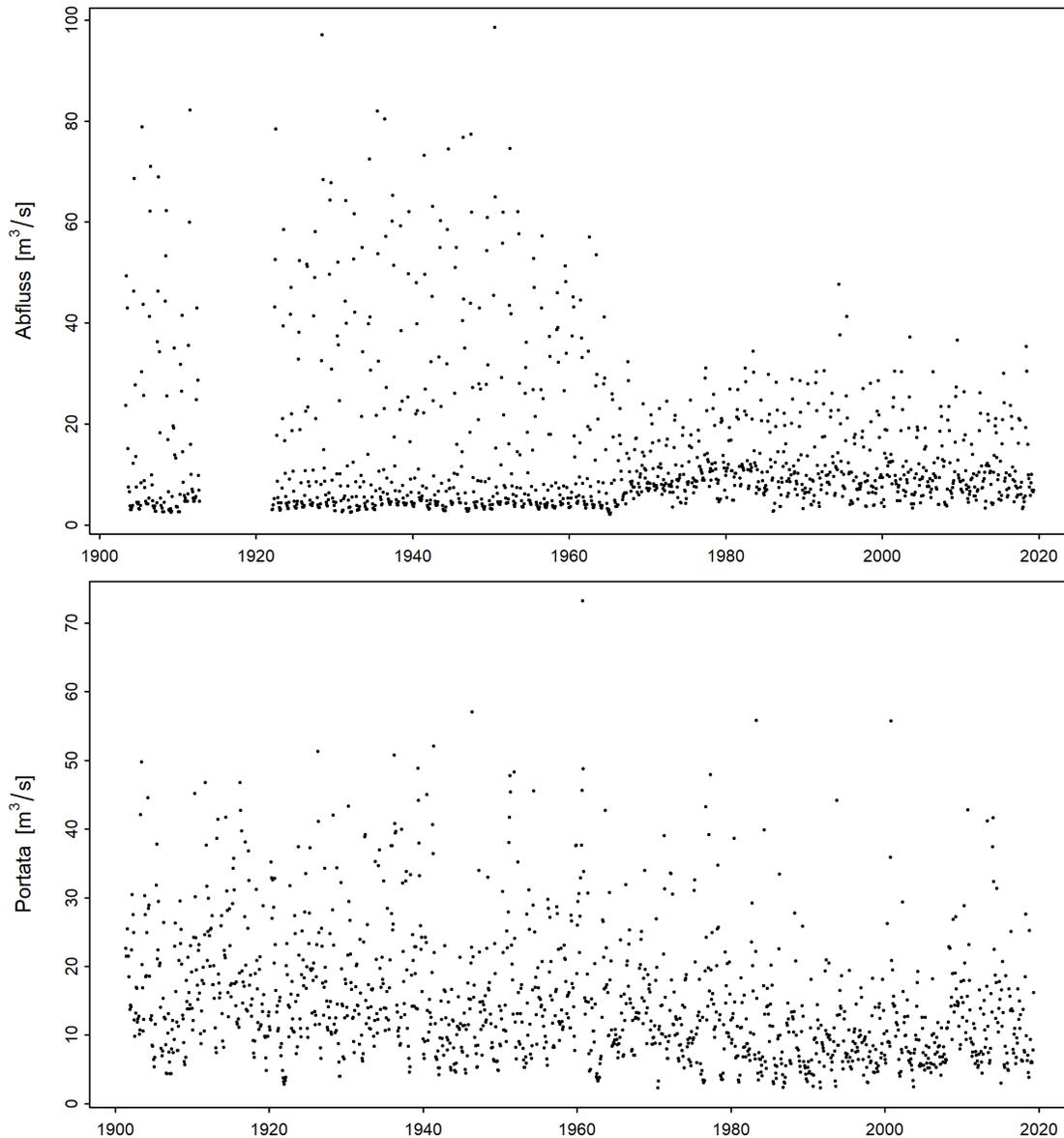


Abbildung 4: Zeitreihe der Monatsminima der M7Q [m³/s] (oben: Vispa-Visp, unten: Tresa-Ponte Tresa)

In der Zeitreihe der Niedrigwasserdauern ist im Fall der Vispa ebenfalls ein deutlicher Rückgang ab 1967 zu sehen (Abbildung 5 im Leitfaden, oben). Die Dauer der Ereignisse konzentriert sich

seither bei Werten von wenigen Tagen. Eine solche Veränderung ist bei der Tresa wiederum nicht erkennbar (Abbildung 5 im Leitfaden, unten).

Den gleichen Eindruck vermittelt die Abbildung 6 im Leitfaden, welche die Zeitreihe der Defizitvolumen darstellt. Die Defizitvolumen bei der Vispa (oben) reduzieren sich ab 1967 stark und liegen nur knapp oberhalb des Wertes 0. Bei der Tresa (unten) ist keine deutliche Veränderung ersichtlich.

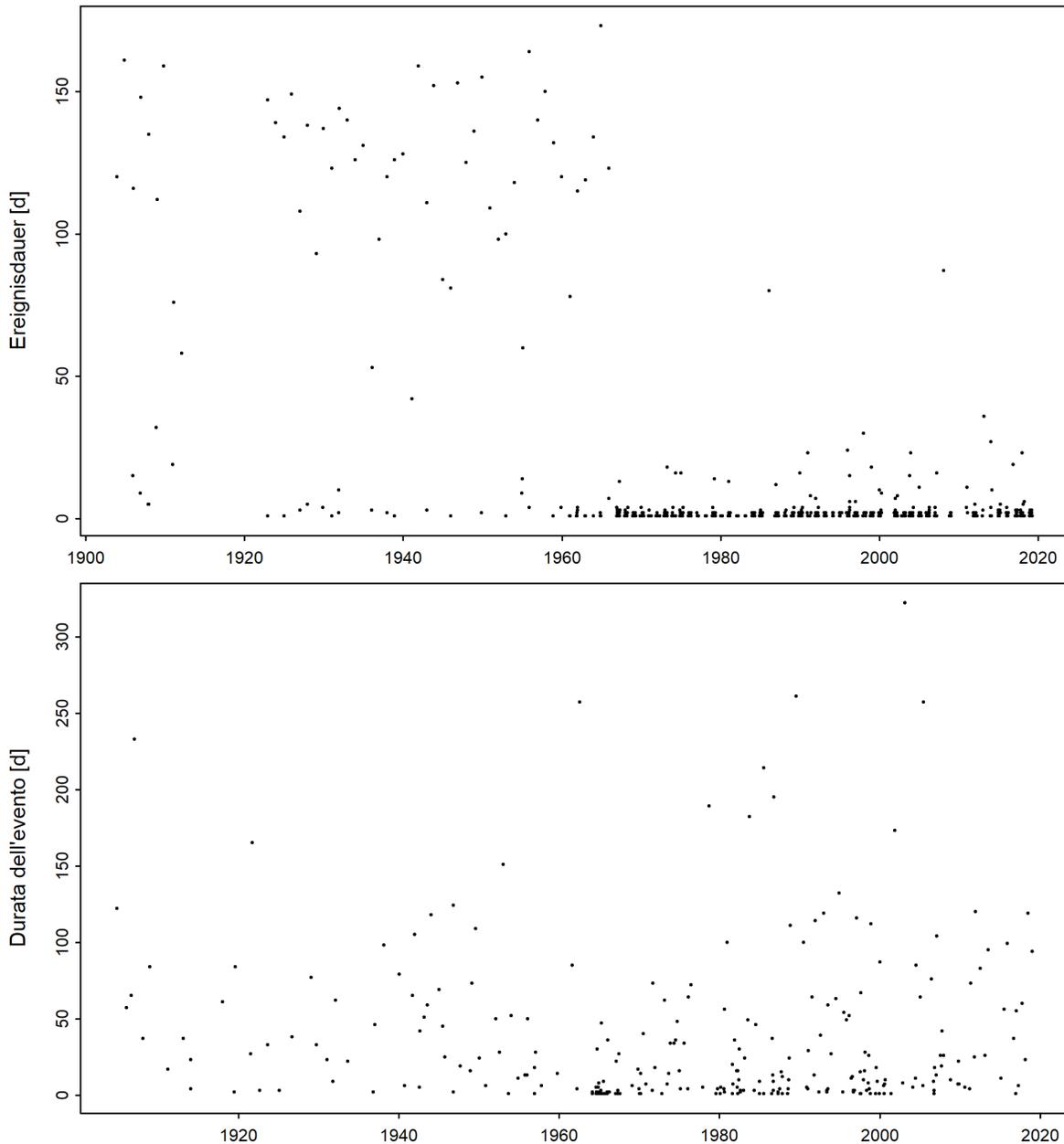


Abbildung 5: Zeitreihe der beobachteten Niedrigwasserdauern [d=Tage] (oben: Vispa-Visp, unten: Tresa-Ponte Tresa)

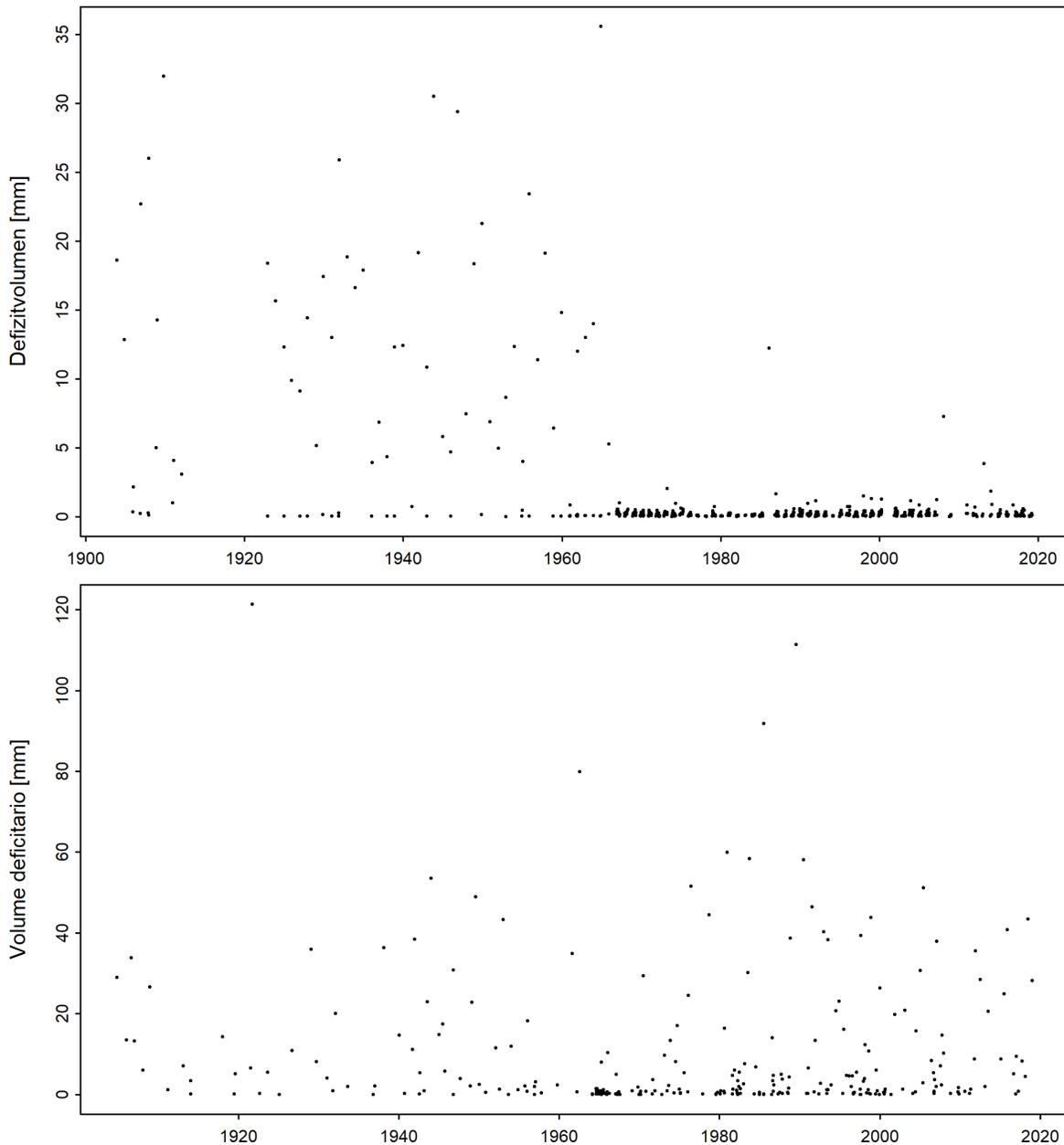


Abbildung 6: Zeitreihe der beobachteten Defizitvolumen [mm] (oben: Vispa-Visp, unten: Tresa-Ponte Tresa)

Für die anschließenden Auswertungen werden nur die Daten ab Installation eines Limnigraphen berücksichtigt. Eine zusätzliche Einschränkung der Auswertungsperiode kann aufgrund von Bruchpunkten in der Datenreihe erfolgen. Dieses Vorgehen dient dazu, möglichst homogene Zeitreihen auszuwerten.

Zur Identifikation möglicher Sprünge innerhalb der Reihen der M7Q, der Niedrigwasserdauern und Defizitvolumen werden Bruchpunktanalysen nach Bai & Perron durchgeführt (Bai & Perron 1998 zitiert in KHR 2007). Signifikante Bruchpunkte werden anhand der Geschichte der Station sowie der bekannten, potenziell relevanten anthropogenen Beeinflussungen im Einzugsgebiet ana-

lysiert. Wo sie unter Berücksichtigung des Konfidenzintervalls des Auftretenszeitpunkts erklärbar sind, wird die Datenreihe entsprechend unterteilt und nur der aktuellste Zeitraum als Auswertungsperiode verwendet. Erfahrungsgemäss unterscheiden sich die Bruchpunkte der Kenngrössen Niedrigwasserabfluss, -dauer und Defizitvolumen höchstens minim und können auf denselben Eingriff im Einzugsgebiet zurückgeführt werden. Pro Station wird daher für alle Kenngrössen jeweils die gleiche Auswertungsperiode definiert.

Abbildung 6 im Stationsbericht (Abbildung 7 im Leitfaden) zeigt die Zeitreihe der NM7Q am Beispiel der Station Vispa-Visp. In der Zeitreihe der NM7Q ab Installation des Limnigraphen im März 1922 wird mit der Bruchpunktanalyse ein signifikanter Bruchpunkt um das Jahr 1967 gefunden (Konfidenzintervall 1963-1968). Aus den Unterlagen zur Station und dem Einzugsgebiet geht hervor, dass die Inbetriebnahme des Mattmark-Stausees im Jahr 1967 stattgefunden hat. Der Bruchpunkt wird als plausibel bewertet und die Zeitreihe wird für alle Kenngrössen auf den Zeitraum 1967-2018 verkürzt (Auswertungsperiode). In Abbildung 7 im Leitfaden sind daher die Werte 1903-1966 hellgrau dargestellt.

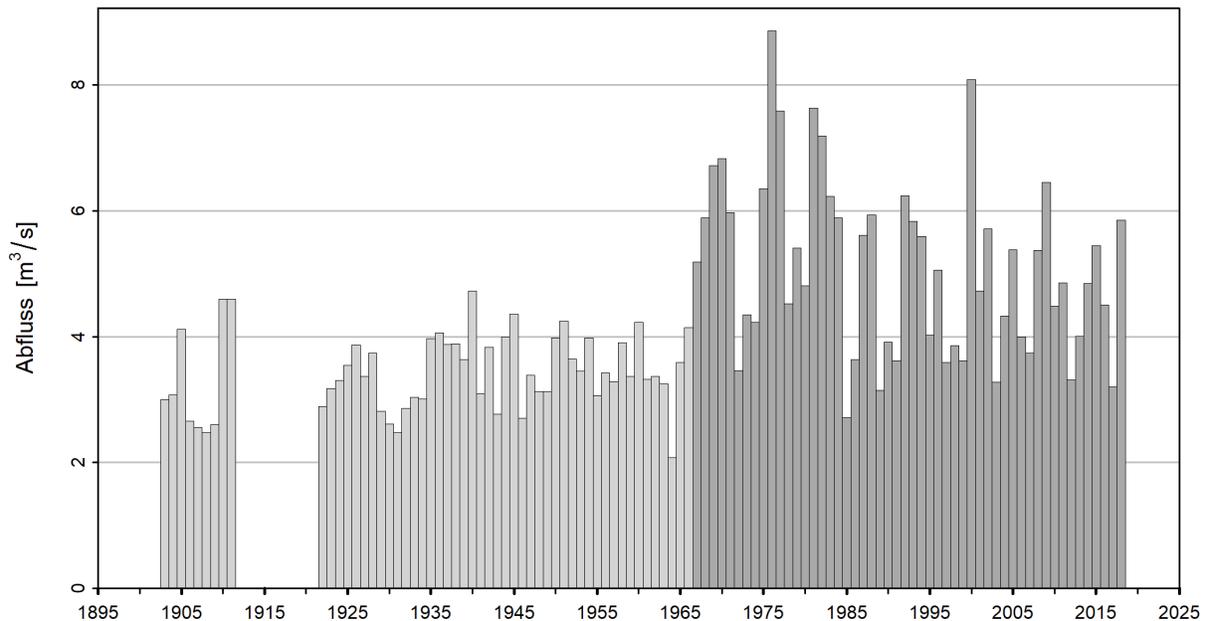


Abbildung 7: Zeitreihe der NM7Q (Vispa-Visp [m^3/s] (1903 - 2018), hellgrau: nicht für die Statistik verwendete NM7Q, dunkelgrau: verwendete NM7Q)

3 Erläuterung der verwendeten Verfahren

Für die Berechnung der Niedrigwasserabfluss-Wiederkehrwerte NQ_T setzt das BAFU zwei parametrische Verfahren ein: den BLOCK Minimum Ansatz (BLOCK) und den Peaks Over Threshold Ansatz (POT). Für die Berechnung der Wiederkehrwerte der Niedrigwasserdauer ND_T und Defizitvolumen DV_T wird nur der POT-Ansatz verwendet. Die beiden Ansätze unterscheiden sich in der Methode, wie Extremwerte identifiziert werden. Sie basieren auf folgenden Modelleingangsdaten und Parametern:

Parametrisches Verfahren	Parameter	Modelleingangsdaten
Block Minimum (BLOCK)	μ Lageparameter	NM7Q
	σ Skalenparameter	
	κ Formparameter	
Peaks Over Threshold (POT)	λ Ereignisrate	M7Q / Niedrigwasserdauern / Defizitvolumina
	σ Skalenparameter ²	
	κ Formparameter	

Die Verfahren dürfen nur unter der Annahme verwendet werden, dass die in die Statistik eingehenden Werte der Niedrigwasserabflüsse, Niedrigwasserdauern bzw. Defizitvolumen unabhängig voneinander sind. Die Daten werden daher vorgängig auf Unabhängigkeit geprüft und wenn nötig bereinigt (vgl. Unterkapitel 1.3 im Leitfaden).

3.1 Block Minimum Ansatz (BLOCK)

Der Block Minimum Ansatz definiert den niedrigsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (=Block) als Extremwert. Das BAFU wählt mit dem Niedrigwasserjahr eine Blockgrösse von einem Jahr. Im Falle des Niedrigwasserabflusses werden als Eingangsdaten die Jahresminima der M7Q (d.h. die NM7Q, vgl. Kapitel 1.1 im Leitfaden) verwendet. Die Extremwerttheorie zeigt, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Jahresmaxima der Allgemeinen Extremwertverteilung (Generalized Extreme Value Distribution, GEV) folgt. Die GEV wird durch den Lageparameter μ , den Skalenparameter σ und den Formparameter κ beschrieben. Durch Maximierung der log-Likelihood-Funktion, welche aus dem GEV-Modell folgt, können die drei Parameter geschätzt werden (Formel 2). Um das Verfahren analog für die Jahresminima anwenden zu können, werden die Eingangsdaten negiert. Vor der Bestimmung der Wiederkehrwerte muss der Schätzer für μ anschliessend wieder in einen positiven Wert zurückverwandelt werden.

$$l(\mu, \sigma, \kappa) = -n \log \sigma - \left(1 + \frac{1}{\kappa}\right) \sum_{i=1}^n \log \left(1 + \kappa \frac{y_i - \hat{\mu}}{\sigma}\right) - \sum_{i=1}^n \left(1 + \kappa \frac{y_i - \hat{\mu}}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\kappa}} \quad (2)$$

Im Fall des Niedrigwasserabflusses entspricht y_i dem negierten Minimum des Jahres i und $\hat{\mu} = -\mu$ (vgl. Coles, 2001). Anhand der Schätzer für μ , σ und κ wird schliesslich mit Formel 3 der T -jährliche Erwartungswert des Abflusses NQ_T ($p = \frac{1}{T}$) bestimmt.

²Der Skalenparameter σ des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem σ des BLOCK-Ansatzes.

$$NQ_T = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\kappa} \{1 - [-\log(1-p)]^{-\kappa}\} & \text{für } \kappa \neq 0 \\ \mu - \sigma \log[-\log(1-p)] & \text{für } \kappa = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Für die Berechnung der Wiederkehrwerte der Niedrigwasserdauern und Defizitvolumen wird der BLOCK-Ansatz vom BAFU nicht verwendet. Der Grund dafür liegt in der Erfahrung, dass die kleinste Niedrigwasserdauer bzw. das kleinste Defizitvolumen eines Jahres häufig Null ist, was bei der Berechnung zu numerischen Problemen führt. Grundsätzlich können auch in den NM7Q Nullwerte vorkommen, bei BAFU-Messstationen ist dies jedoch äusserst selten. Tritt der Fall auf, wird ein bedingter Wahrscheinlichkeitsansatz verwendet (vgl. DWA 2022).

3.2 Peaks over Threshold Ansatz (POT)

Beim POT-Ansatz gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen hohen Schwellenwert u überschreiten. Die Anzahl Schwellenwertüberschreitungen ist gemäss der Extremwerttheorie bei einem hohen u poissonverteilt mit der Ereignisrate λ . Die Beträge der Schwellenwertüberschreitungen folgen der Allgemeinen Paretoverteilung (Generalized Pareto Distribution, GPD). Im Fall des Niedrigwasserabflusses gelten analog jene Werte als Extremereignisse, welche einen tiefen Schwellenwert unterschreiten. In einem ersten Schritt werden bei der Aufbereitung der Eingangsdaten M7Q nur Werte unterhalb des Q_{80} -Quantils als Niedrigwasser betrachtet (vgl. auch Kapitel 1 im Leitfaden). In den Stationsberichten wird dieser Schwellenwert als u_{80} bezeichnet.

Der Schwellenwert u wird anhand der grafischen Methoden „mean residual life plot“ und „fitrange plot“ (vgl. Coles 2001) festgelegt. Danach werden die Schwellenwertüber- bzw. -unterschreitungen bestimmt und die Parameter durch Maximierung der log-Likelihood-Funktion, abgeleitet aus der Poisson- und GPD-Verteilung, geschätzt (Formel 4). Im Fall des Niedrigwasserabflusses werden die Werte dazu, wie beim BLOCK Minimum Ansatz, vor der Modellanpassung negiert.

$$l(\lambda, \sigma, \kappa) = n \log \lambda - \lambda t - n \log \sigma - \left(1 + \frac{1}{\kappa}\right) \sum_{i=1}^n \log \left(1 + \frac{\kappa w_i}{\sigma}\right) \quad (4)$$

w_i ist ein Element der Serie der n beobachteten Schwellenwertüber-/unterschreitungen. Parameter λ entspricht der Ereignisrate, das heisst der mittleren Anzahl Schwellenwertüber- bzw. -unterschreitungen während des Zeitintervalls von einem Jahr. Parameter σ entspricht auch beim POT-Ansatz dem Skalenparameter, ist aber numerisch nicht identisch mit dem σ des BLOCK-Ansatzes. Die Wiederkehrwerte (NQ_T , ND_T , DV_T) lassen sich durch Einsetzen der Parameterschätzer in Formel 5 berechnen.

$$NQ_T/ND_T/DV_T = u + \frac{\sigma}{\kappa} \left[\left(\frac{\lambda}{1-p} \right)^\kappa - 1 \right], T = \frac{1}{p} \quad (5)$$

3.3 Verwendete Modellvarianten

Neben dem stationären Modell werden bei beiden zuvor vorgestellten Ansätzen auch nicht stationäre Varianten geprüft. Im stationären Fall wird angenommen, dass alle Parameter der Verteilungsfunktion über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind, im nicht stationären

Fall werden die Parameter zeitlich abhängig modelliert. Die Verwendung von nicht stationären Parametern führt dazu, dass sich auch die so berechneten NQ_T , ND_T und DV_T über die Zeit verändern. Innerhalb des vom BAFU angewendeten Methodensets wird die Nicht-Stationarität des Lageparameters μ und des Skalenparameters σ getestet. In Tabelle 1 im Leitfaden sind alle Modellvarianten aufgelistet, welche vom BAFU beim BLOCK-Ansatz untersucht werden. Tabelle 2 im Leitfaden zeigt die Modellvarianten des POT-Ansatzes.

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 Skalenparameter (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 Modellvarianten „mujump“ bzw. „sigjump“ berücksichtigen eine nicht-kontinuierliche Veränderung von μ bzw. σ zum Zeitpunkt t_0 und versuchen damit abrupte, strukturelle Veränderungen im Einzugsgebiet, wie den Bau einer Talsperre oder eine Beeinflussung durch die Inbetriebnahme eines Wasserkraftwerks/einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) abzubilden. Als Hilfsmittel für die Wahl von t_0 dient ein Bruchpunktttest nach Bai & Perron (Bai & Perron 1998 zitiert in KHR, 2007). Signifikante Bruchpunkte, die mit solchen Veränderungen erklärbar sind, führen zu einer Einschränkung der Auswertungsperiode (vgl. letzte Abschnitte in Kapitel 2 im Leitfaden). Auf diese Weise nicht nachvollziehbare oder nicht signifikante Bruchpunkte dienen dagegen als Zeitpunkt t_0 der Modellvarianten „mujump“ bzw. „sigjump“.

Anhand eines Ablaufschemas (Abbildung 8 im Leitfaden) wird versucht, aus den verschiedenen Modellvarianten die geeignetste auszuwählen. Mit der Devianzstatistik kann die Anpassungsgüte eines Modells für einen gegebenen Datensatz untersucht werden. Damit kann überprüft werden, ob sich die Modellvarianten signifikant unterscheiden (vgl. Coles 2001). Ist dies nicht der Fall, wird das einfachere Modell gewählt. Beim Vergleich von Modellvarianten, die nicht verschachtelt sind, kann die Devianzstatistik nicht verwendet werden. Weisen die Modelle dieselbe Anzahl Parameter auf (z.B. „mul“ und „mujump“), wird die Log-Likelihood verglichen. Wo auch das nicht möglich ist

(z.B. „muq“ und „mujump“), erfolgt die Wahl der Modellvariante aufgrund hydrologischer Überlegungen (wird z.B. ab einem bestimmten Zeitpunkt aus dem Einzugsgebiet Wasser abgeleitet, so ist die Modellvariante „mujump“ vermutlich plausibler als „muq“). Trifft die Wahl auf ein nicht stationäres Modell, wird in jedem Fall untersucht, ob es aus hydrologischer Sicht plausibel ist und wie die Modellgüte zu beurteilen ist. Diese Kriterien sind stark subjektiv gefärbt. Die Modellwahl wird in den Berichten kurz erläutert.

Ablaufschema: Auswahl der geeignetsten stationären oder nicht-stationären Modellvariante

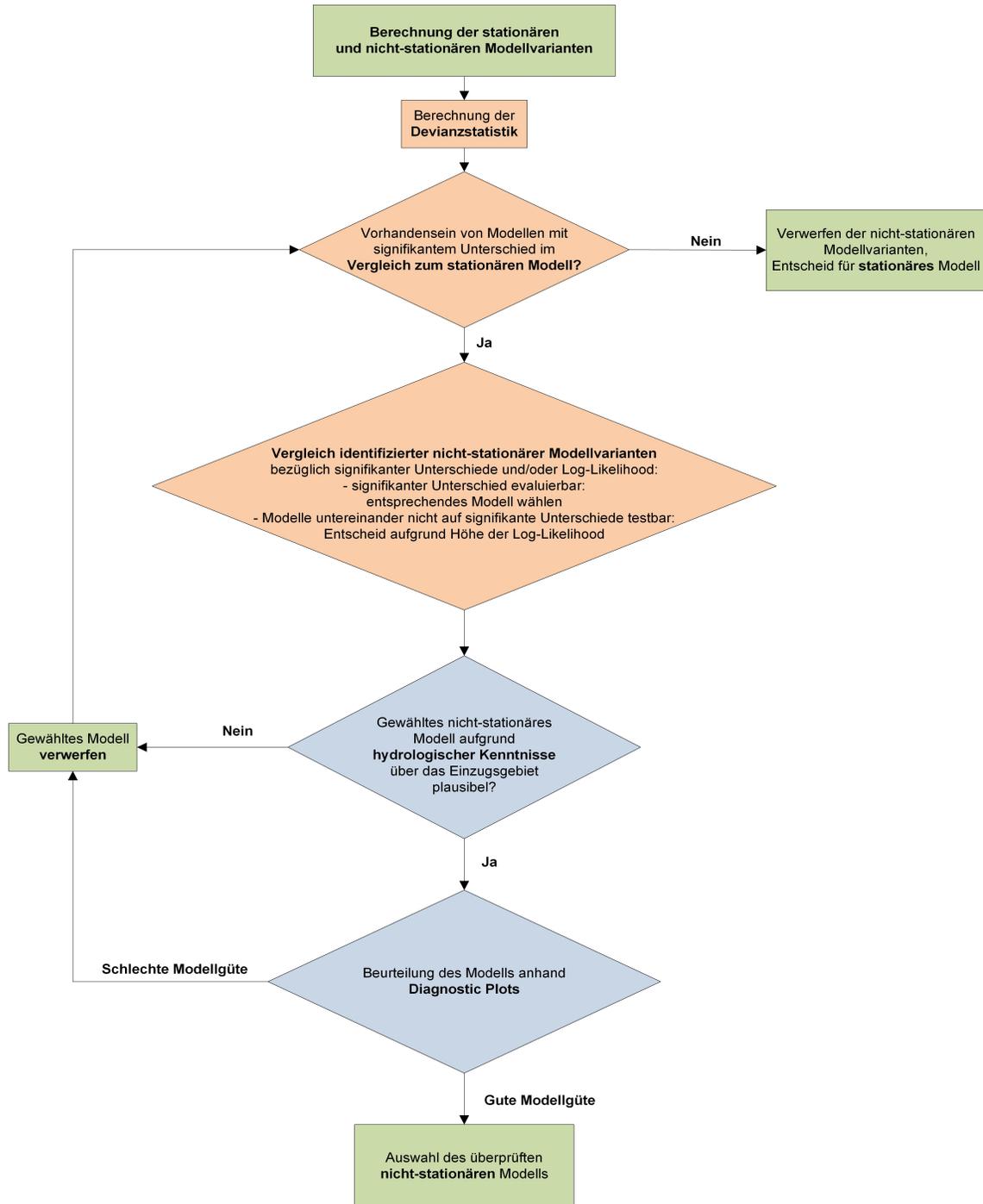


Abbildung 8: Ablaufschema zur Auswahl der geeignetsten stationären oder nicht stationären Modellvariante

4 Erläuterungen zum Inhalt der Resultate-Kapitel 2.1-2.3

In den Kapiteln 2.1 bis 2.3 im Stationsbericht werden die Resultate der parametrischen Verfahren für die jeweiligen Kenngrößen präsentiert. Im Fall des Niedrigwasserabflusses werden sowohl der BLOCK- wie auch der POT-Ansatz angewendet, weshalb das Kapitel 2.1 im Stationsbericht in zwei entsprechende Unterkapitel unterteilt ist und in einem weiteren Unterkapitel ein Vergleich der Resultate der beiden Ansätze erfolgt. Die Resultate-Kapitel gliedern sich jeweils nach den folgenden Inhalten:

- Beschreibung des Modells und der Modelleingangsdaten
- Tabelle mit geschätzten Modellparametern
- Diagnostikplots mit Bewertung
- Tabellen der Wiederkehrwerte NQ_T , ND_T oder DV_T

In den Resultate-Kapiteln wird jeweils nur das bestangepasste Modell präsentiert.

4.1 Beschreibung des Modells und der Modelleingangsdaten

Die zur Verfügung stehenden Modelleingangsdaten und die Festlegung der Auswertungsperiode werden jeweils im Kapitel 1 „Datengrundlage“ im Stationsbericht erläutert (vgl. Kapitel 2 im Leitfaden). Im Kapitel 2 im Stationsbericht sind einige zusätzliche, verfahrensspezifische Darstellungen der Datengrundlagen enthalten. Zudem wird der Entscheid für die bestangepasste Modellvariante jeweils kurz begründet.

Zur Berechnung des POT-Ansatzes muss der Schwellenwert u festgelegt werden (vgl. Kapitel 3.2 im Leitfaden). Dies geschieht anhand der grafischen Evaluation des „mean residual life plots“ (mrl-Plot). Für den theoretischen Hintergrund wird auf Coles (2001) verwiesen. Die mrl-Plots sind im Anhang A im Stationsbericht abgebildet. Die Interpretation eines „mean residual life plots“ ist in der Praxis nicht immer einfach. Im Fall von Maxima (Niedrigwasserdauer und Defizitvolumen) ist das Ziel, den tiefsten Schwellenwert u zu finden, oberhalb dessen der Plot näherungsweise linear wird, wobei auch das 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien) mitberücksichtigt werden sollte. Im Fall von Minima (Niedrigwasserabfluss) wird entsprechend der höchste Schwellenwert gesucht.

Die Wahl von u kann mit weiteren Methoden überprüft werden (z.B. dem „fitrange plot“), diese sind aber im Stationsbericht nicht enthalten. Im Fall der Vispa wird der Schwellenwert u auf $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$ gesetzt (vgl. Abbildung 9 im Leitfaden).

Um einen Eindruck bezüglich der schliesslich im POT-Ansatz verwendeten Schwellenwertüber- bzw. Unterschreitungen zu vermitteln, werden diese in den ersten Abbildungen in den Kapiteln 2.1.2, 2.2 und 2.3 im Stationsbericht den Grundlagendaten gegenübergestellt. In der Abbildungslegende ist die Anzahl Extremereignisse angegeben. Dabei gilt es zu beachten, dass es sich um von Clustern bereinigte Werte handelt, d.h. nur um unabhängige Ereignisse (vgl. Kapitel 1.3 im Leitfaden). Im Beispiel der Vispa gehen 50 Ereignisse in die Auswertung ein (vgl. Abbildung 10 im

Leitfaden), das sind in etwa gleich viele Werte, wie beim BLOCK-Ansatz für die Auswertungsperiode 1967-2018 verwendet werden. In der hydrologischen Literatur wird (für die Hochwasserstatistik) davon ausgegangen, dass ab etwa einer Verdopplung der Eingangsdaten eine Verbesserung gegenüber dem BLOCK-Ansatz für die gleiche Zeitreihe resultiert (vgl. Meylan 2008). Die Erfahrung zeigt, dass dies für Niedrigwasserereignisse oft nicht möglich ist. Ein spezielles Problem für die Modellanpassung bei Niedrigwasserereignissen stellt dabei das Vorhandensein einiger weniger grosser/sehr extremer Ereignisse und vieler Ereignisse mit geringerer/kleinerer Ausprägung dar (Engeland et al. 2004). Bei der Festlegung des Schwellenwerts u für den Niedrigwasserabfluss wird deshalb angestrebt, mindestens gleich viele Werte wie die Anzahl der Beobachtungsjahre zu berücksichtigen (mindestens gleich viele Werte wie beim BLOCK-Ansatz), sofern dies durch den mrl- und fitrange plot zu rechtfertigen ist. Bei der Niedrigwasserdauer und dem Defizitvolumen wird diese Anzahl häufig nicht erreicht.

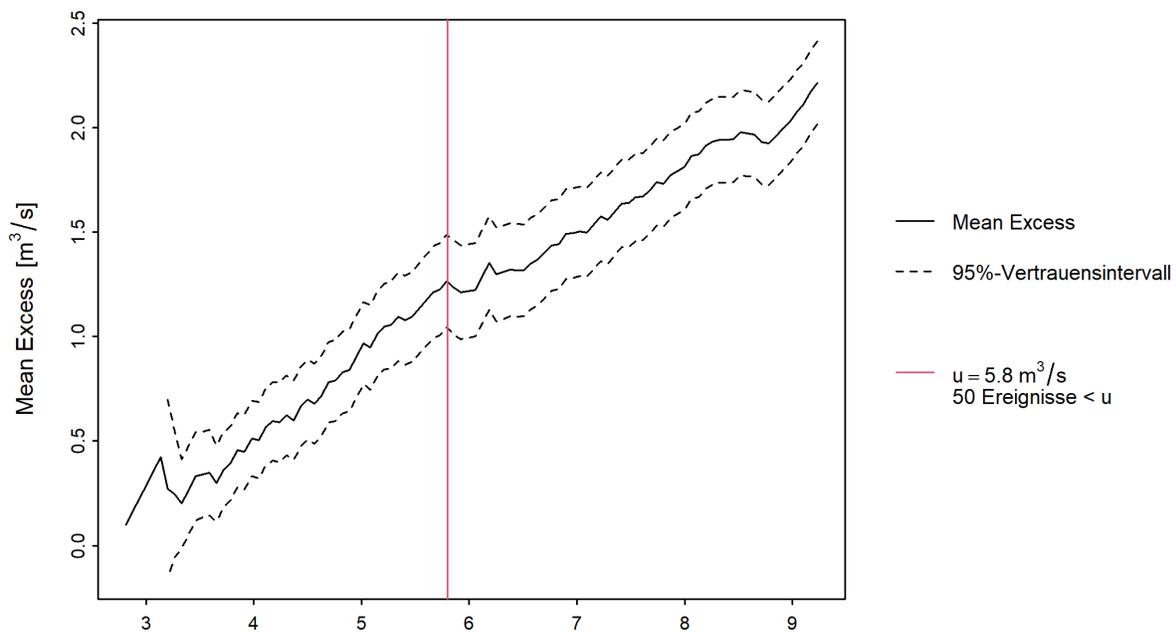


Abbildung 9: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie), mean Excess (schwarze Linie), 95 %-Konfidenzintervall (schwarz gestrichelte Linien) (Vispa-Visp)

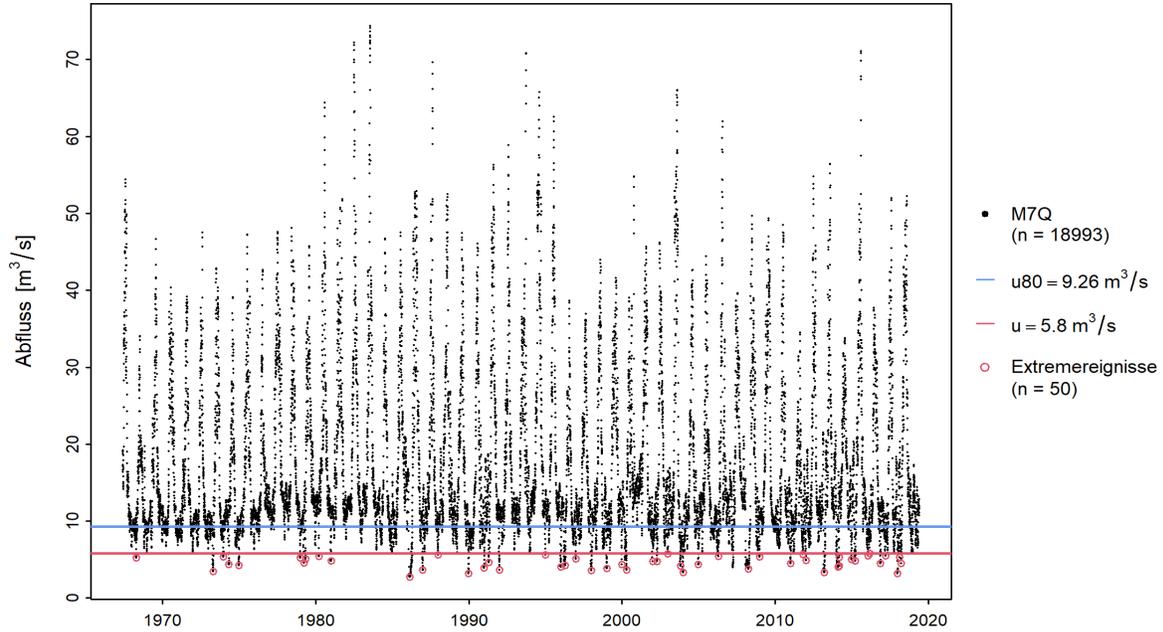


Abbildung 10: Gegenüberstellung der M7Q (schwarz) und der effektiv für den POT-Ansatz verwendeten Extremwerte (rot) (Vispa-Visp)

4.2 Tabelle mit geschätzten Modellparametern

Für die verwendete Modellvariante zeigt eine Tabelle die geschätzten Verteilungsparameter sowie die Anzahl Werte, welche zu deren Berechnung verwendet wurden. Beim POT-Ansatz enthält die Tabelle zusätzlich den verwendeten Schwellenwert u (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 4 im Leitfaden).

Tabelle 3: Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter bei der nicht stationären Modellvariante „mujump“ des BLOCK-Ansatzes am Beispiel der Station Vispa-Visp.

Anzahl Werte n	Zeitpunkt t_0	Lageparameter $\hat{\mu}$		Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
		a_1	a_2		
52	1985	-6.04	0.95	1.34	-0.4794

Tabelle 4: Verwendeter Schwellenwert, Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter beim stationären POT-Ansatz am Beispiel der Station Ticino-Bellinzona.

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter	Formparameter
u	n	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
23.14 m³/s	110	1.09	5.03	-0.44

Die bei den nicht stationären Modellvarianten aufgeführten a_1 und a_2 (Lageparameter) und/oder b_1 und b_2 (Skalenparameter) beziehen sich auf die in Tabelle 1 (BLOCK) bzw. Tabelle 2 (POT) im Leitfaden angegebenen Formeln für die Nicht-Stationarität. So gilt im obigen Beispiel (Tabelle 3 im Leitfaden) für den Lageparameter: $\hat{\mu} = a_1$ für den Zeitraum vor dem Bruchpunkt ($t < t_0$) und $\hat{\mu} = a_1 + a_2$ für den Zeitraum nach dem Bruchpunkt ($t \geq t_0$; vgl. Tabelle 1 im Leitfaden).

4.3 Diagnostikplots mit Bewertung

Zur Überprüfung der Modellgüte der parametrischen Verfahren BLOCK und POT sind sogenannte Diagnostikplots abgebildet, die sich im Fall der stationären Modellvarianten aus vier Teilplots zusammensetzen:

- Der *Probability Plot* und der *Quantile Plot* zeigen, wie gut sich das Modell (*theoretische Wahrscheinlichkeit* bzw. *theoretische Quantile*) an die beobachteten Werte (*empirische Wahrscheinlichkeit* bzw. *empirische Quantile*) anpasst. Je genauer die Daten auf der rot eingefärbten Einheitsdiagonale ($Y = X$) liegen, desto höher die Modellgüte (vgl. Abbildung 11 im Leitfaden, oben). Im Probability Plot wird die aufsummierte theoretische Häufigkeit gegen die theoretische, kumulierte Verteilungsfunktion abgetragen. Im Quantile-Plot werden Quantile der beobachteten Abflusswerte gegen die mit Hilfe des Modells berechneten Quantile abgetragen. Da sich die theoretischen Quantile aus der Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion berechnen, werden für den direkten, optischen Vergleich mit dem entsprechenden Probability Plot die Achsen des Quantile Plots vertauscht. Die Aussage beider Plots ist dieselbe, jedoch werden sie auf unterschiedlichen Skalen dargestellt. Dies ermöglicht eine bessere Einschätzung der Modellgüte, so wird etwa die Schwäche des Probability Plots im Bereich der extremsten Werte vom Quantile Plot aufgefangen (vgl. Coles 2001: p. 58-59).
- Der *Return Level Plot* stellt die Abflüsse bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden dar (vgl. Abbildung 11 im Leitfaden, unten links). Die rote Kurve entspricht der besten Schätzung, die blauen Kurven zeigen das 95 %-Vertrauensintervall. Die Punkte sind die Beobachtungen, denen empirische Wiederkehrperioden zugeordnet werden. Der Vergleich erlaubt weitere Aussagen über die Modellgüte.
- Der *Density Plot* zeigt ein Histogramm der Extremwerte (Säulen: Klassen, Punkte: Einzelwerte) sowie die an die empirischen Daten angepasste Verteilungsfunktion (rote Kurve) (vgl. Abbildung 11 im Leitfaden, unten rechts). Der Säulenverlauf sollte dabei von der Kurve möglichst gut nachgebildet werden. Die Wahl der Klassengröße der einzelnen Säulen hat jedoch massgeblichen Einfluss auf den Eindruck, den die angepasste Kurve bezüglich Modellgüte vermittelt.

Abbildung 11 im Leitfaden zeigt die Diagnostikplots für die stationäre Modellvariante des BLOCK-Ansatzes für die NM7Q der Messstation Vispa-Visp. Der Probability Plot deutet auf eine insgesamt mittlere bis gute Anpassung des Modells an die Beobachtungen hin. Insbesondere im mittleren Bereich weichen die Werte leicht von der Diagonalen ab. Auch der Quantile Plot zeigt eine mittlere bis gute Anpassung. In diesem Fall sind es die weniger extremen Niedrigwasserabflüsse (unten links), die leicht von der Diagonale abweichen. Im Return Level Plot sieht man, dass die Beobachtungen nur sehr leicht von der roten Kurve abweichen und immer innerhalb des Konfidenzintervalls liegen. Insgesamt kann in diesem Beispiel von einer guten Anpassung gesprochen werden.

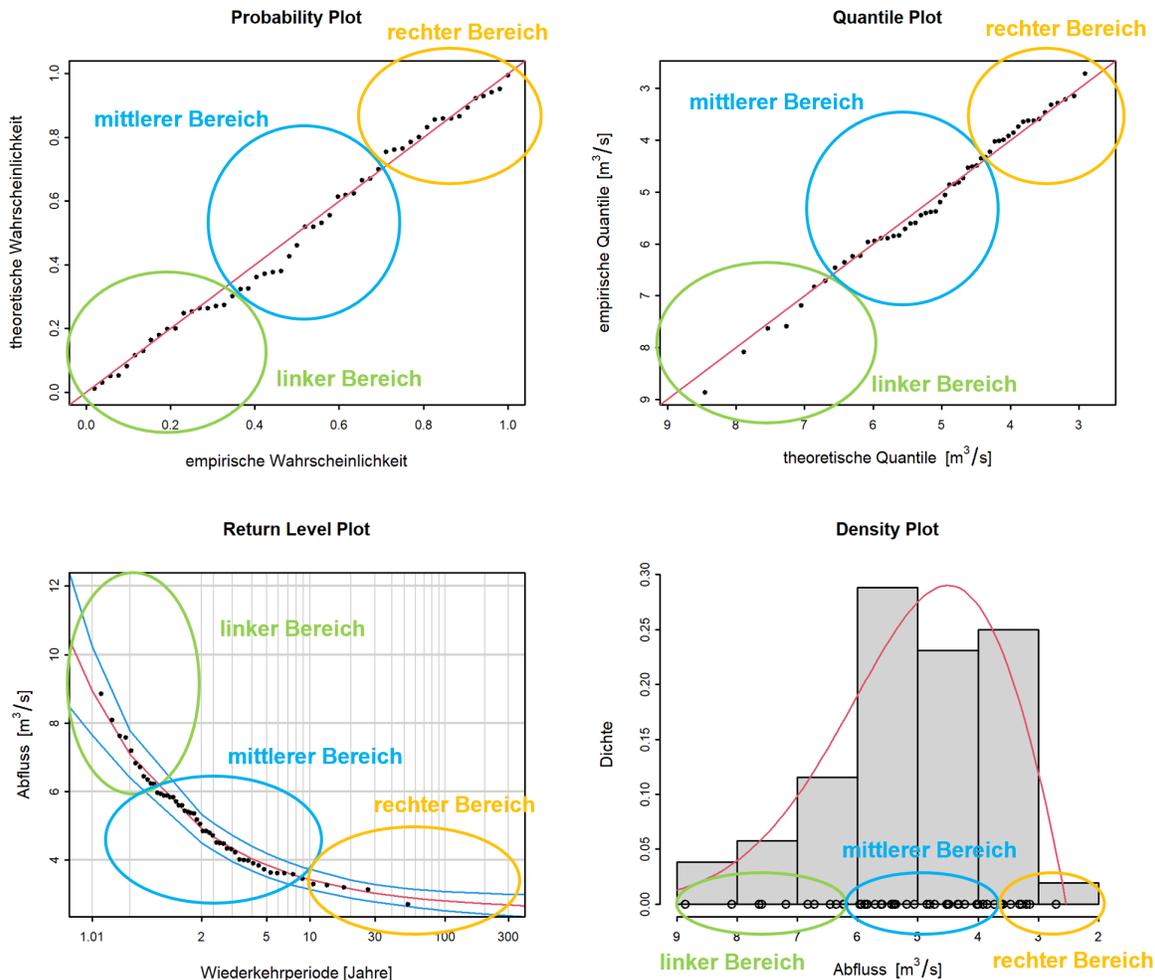


Abbildung 11: Beispiel für Diagnostikplots einer stationären Modellvariante (Vispa-Visp)

Als Interpretationshilfe wird in den Stationsberichten versucht, eine Beurteilung der Diagnostikplots aufgrund verschiedener Kriterien vorzunehmen. Dabei wird u.a. die Anpassung im „linken“, „mittleren“ und „rechten“ Bereich bewertet. Die genaue Abgrenzung dieser Bereiche ist subjektiv und kann von Messstation zu Messstation auch leicht variieren. Grundsätzlich werden darunter aber in etwa die in Abbildung 11 im Leitfaden gekennzeichneten Bereiche verstanden. Die Beurteilung der Anpassung wird in einer Tabelle zusammengefasst (vgl. Tabelle 5 im Leitfaden). Zusätzlich wird die Breite des Konfidenzintervalls bewertet.

Tabelle 5: Beispiel Interpretation Diagnostikplots (Abbildung 11 im Leitfaden).

Kriterien	Bewertung	Bemerkungen
Anpassung linker Bereich	mittel-gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung rechter Bereich	gut	-
Konfidenzintervall	klein	-

Bei den nicht stationären Modellvarianten können nur die Quantile und Probability Plots dargestellt werden, wobei eine Standardisierung der Werte stattfinden muss. Diese erfolgt beim BLOCK-Ansatz über die Gumbelverteilung, beim POT-Ansatz über die Exponentialverteilung. Der Quantile Plot ist abhängig von der Wahl dieser Referenzverteilung. Bei der Interpretation gilt es dennoch analog zu den Diagnostikplots der stationären Modelle darauf zu achten, wie die Datenpunkte in Bezug auf die Einheitsdiagonale liegen. Abbildung 12 im Leitfaden zeigt die Diagnostikplots der Modellvariante „mujump“ des BLOCK-Ansatzes für die Messstation Vispa-Visp. Im Residual Probability Plot ist keine deutlich bessere Anpassung in den drei Bereichen zu erkennen (vgl. mit Abbildung 11 im Leitfaden). Im Residual Quantile Plot sind die Werte im linken Bereich leicht besser angepasst. Im rechten Bereich sind die Werte hingegen schlechter angepasst. Im Fall der NM7Q bedeutet dies, dass die kleinen Werte überschätzt werden (gegenüber der stationären Modellvariante geänderte Achseneinteilung).

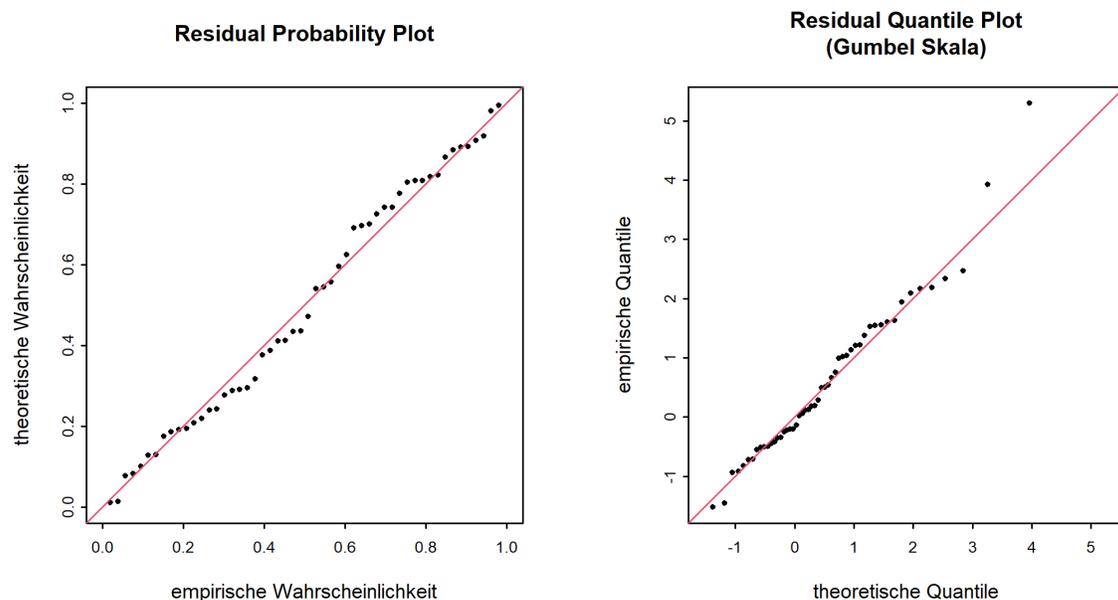


Abbildung 12: Beispiel für Diagnostikplots einer nicht stationären Modellvariante (Vispa-Visp)

Weitere Beispiele von Diagnostikplots sowohl von nicht stationären wie auch von stationären Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes sind im Anhang beschrieben.

4.4 Tabellen der Wiederkehrwerte NQ_T , ND_T oder DV_T

Nach den Diagnostikplots folgt eine Tabelle, welche für vorgegebene Wiederkehrperioden T die vom verwendeten Modell ermittelten Abflussmengen (NQ_T), Niedrigwasserdauern (ND_T) bzw. Defizitvolumen (DV_T) auflistet. Tabelle 6 im Leitfaden zeigt das Beispiel für das stationäre POT-Modell der Station Ticino-Bellinzona für den Niedrigwasserabfluss (NQ_T). Im stationären Fall gelten die aufgeführten NQ_T jeweils für die gesamte betrachtete Auswertungsperiode. Bei nicht stationären Modellvarianten verändern sich die berechneten NQ_T über die Zeit. In der Tabelle sind jeweils die Werte für das aktuellste Jahr aufgeführt. Dieses Jahr ist in einem solchen Fall in der Tabellenbeschriftung angegeben.

Tabelle 6: Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden (inkl. 95 %-Konfidenzintervall, Deltamethode) für die Station Ticino-Bellinzona, berechnet für das aktuellste Jahr (2018).

NQ_T	untere Konfidenzgrenze [m^3/s]	Abfluss [m^3/s]	obere Konfidenzgrenze [m^3/s]
NQ_2	19.0	19.8	20.7
NQ_{10}	14.8	15.7	16.7
NQ_{30}	13.3	14.2	15.1
NQ_{100}	12.3	13.2	14.2
NQ_{300}	11.6	12.7	13.7

Das angegebene Konfidenzintervall erlaubt eine Aussage über die Unsicherheit der berechneten Wiederkehrwerte, die sich aufgrund der zufälligen Schwankungen in der Stichprobe (d.h. der Messreihe) ergibt. Weitere Unsicherheiten, insbesondere bezüglich Korrektheit des verwendeten Modells, werden durch Konfidenzintervalle nicht berücksichtigt.

Die Abteilung Hydrologie des BAFU berechnet die Konfidenzintervalle anhand der Deltamethode. Die Methode basiert auf einer Taylor-Entwicklung der Funktion zur Berechnung der NQ_T , ND_T bzw. DV_T und einer asymptotischen Normalverteilung. Die Güte der so berechneten Intervalle ist schwierig einzuschätzen und von Fall zu Fall unterschiedlich. Die Deltamethode ist aber für alle, auch nicht stationären Modellvarianten einfach verwendbar. Für technische Details wird auf Coles verwiesen (2001: p. 56/57 & 82).

4.5 Vergleich der Resultate der verschiedenen Verfahren (nur NQ_T)

Im Unterkapitel 2.1.3 im Stationsbericht werden beim Niedrigwasserabfluss die jeweils als bestangepasst beurteilten Modellvarianten des BLOCK- und des POT-Verfahrens miteinander verglichen. Der Vergleich erfolgt dabei in grafischer Form (vgl. Abbildung 13 im Leitfaden bzw. Abbildung 10 im Stationsbericht). Dargestellt ist neben dem geschätzten NQ_T (Querstrich) jeweils auch das Konfidenzintervall (Linie begrenzt durch zwei Dreiecke, welche die obere und untere Grenze des Intervalls markieren). Die berechneten NQ_T gelten bei allen nicht stationären Modellvarianten jeweils nur für einen bestimmten Zeitpunkt. Wie in den beiden vorangehenden Unterkapiteln 2.1.1 und 2.1.2 werden hier die Werte für das aktuellste Jahr verwendet, wobei das Jahr in der Abbildungsbeschriftung aufgeführt wird. Zu beachten ist, dass sich die Skalen der y-Achse (Abflüsse in m^3/s oder l/s) je nach Wiederkehrperiode unterscheiden können. Verglichen werden die Resultate jeweils mit dem niedrigsten, an der jeweiligen Station gemessenen M7Q (blaue Linie). Die Darstellung erlaubt den direkten Vergleich der in den beiden vorangehenden Unterkapiteln einzeln tabellierten Resultate.

Das Beispiel für die Vispa in Visp (Abbildung 13 im Leitfaden) zeigt, dass der berechnete Abfluss mit dem POT-Ansatz für fast alle Wiederkehrperioden leicht höher ist, als der Abfluss der Variante mujump aus dem BLOCK-Ansatz, und dieser Unterschied wird leicht grösser für längere Wiederkehrperioden. Das Konfidenzintervall ist bei der Variante mujump des BLOCK-Ansatzes für NQ_2 klein, wird aber grösser für längere Wiederkehrperioden. Im Fall des POT-Ansatzes nimmt das Konfidenzintervall hingegen für längere Wiederkehrperioden ab und ist sehr klein für NQ_{300} .

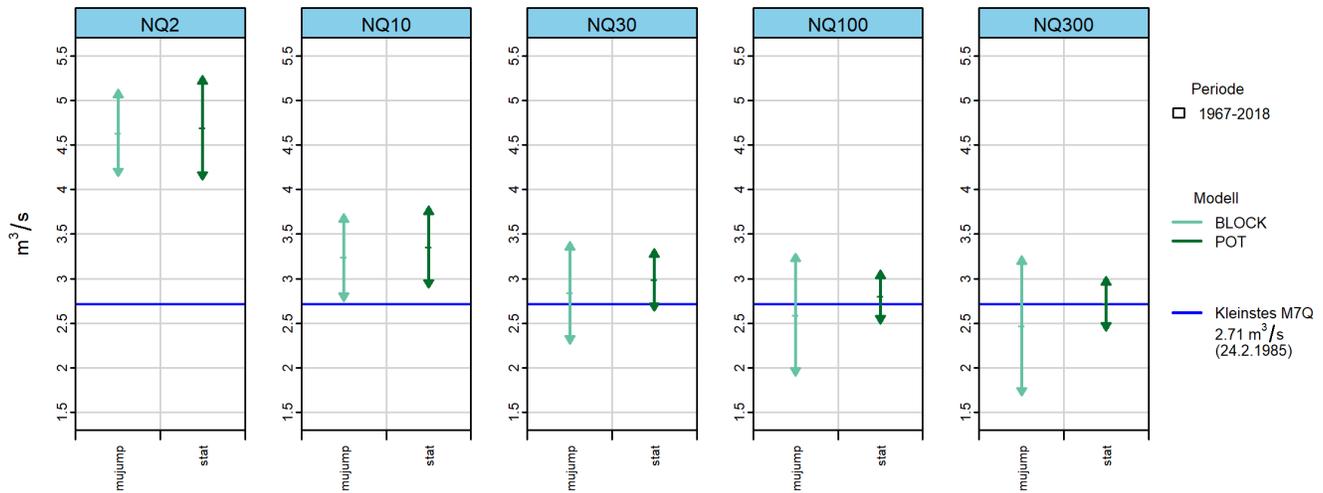


Abbildung 13: NQ_T [m³/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären BLOCK- und POT-Modellen (Vispa-Visp)

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass alle Modellansätze Vor- und Nachteile haben, was eine generelle Modellwahl ausschliesst. Auch bei einer einzelnen Auswertung bleibt unbekannt, welcher Ansatz die Realität am besten widerspiegelt. Der grundlegende Unterschied zwischen den beiden verwendeten parametrischen Verfahren liegt bei der Extremwertidentifikation. Beim POT-Ansatz wird im Gegensatz zum BLOCK-Ansatz die Bildung von Datenblöcken umgangen, was verhindert, dass Extremwerte weggelassen werden, nur weil im selben Block ein noch niedrigerer Wert vorkommt. Ausserdem kann beim POT-Ansatz das Risiko, Abflussdaten auszuwerten, die nicht extrem sind, mit einer guten Wahl des Schwellenwerts u minimiert werden.

5 Literatur

Bai, J., Perron, P. (1998). Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes. *Econometrica*, 66(1), 47–78.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2005). Wasserwirtschaftlicher Bericht - Niedrigwasserperiode 2003. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 162p. ISBN 3-937911-03-0.

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. London.

DWA/DVWK (Hrsg.) (1992). DVWK-R 121 - Niedrigwasseranalyse. Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits.

Engeland, K., Hisdal, H., Frigessi, A. (2004). A Practical Extreme Value Modelling of Hydrological Floods and Droughts: A Case Study. *Extremes* 7, 5-30 (2004).

KHR (Hrsg.) (2007). Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. Analyse, Veränderungen, Trends. Bericht Nr. I-22 der KHR, Lelystad.

Maurer, T., Nilson, E., Krahe, P. (2011). Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland. acatech MATERIALIEN, Nr. 11. Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe „Georessource Wasser - Herausforderung Globaler Wandel“.

Meylan, P., Favre, A.-C., Musy, A. (2008). Hydrologie fréquentielle. Une science prédictive. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.

A Anhang

A.1 Beispiele für Diagnostikplots

Stationäre Modellvariante

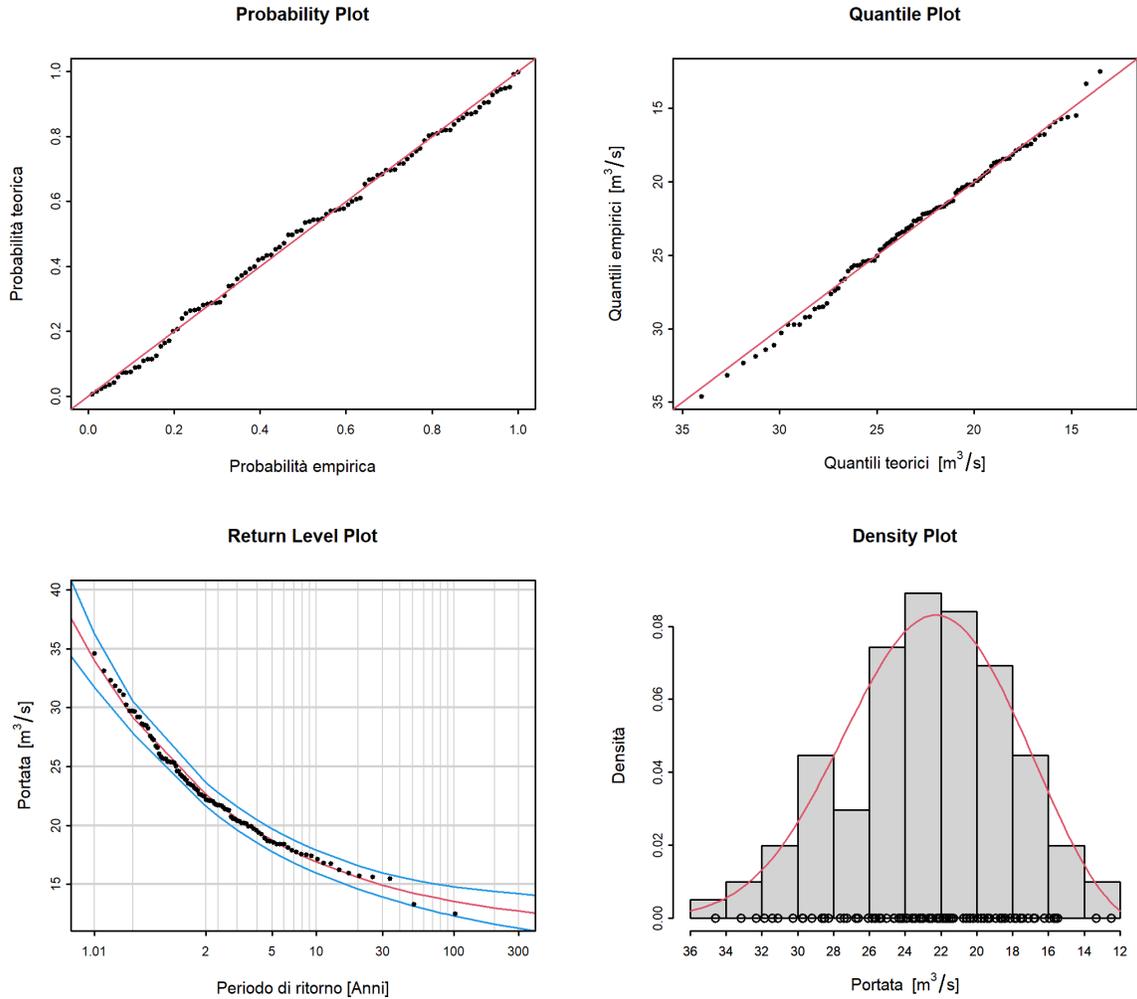


Abbildung 14: Beispiel für Diagnostikplots einer stationären Modellvariante mit guter Anpassung in allen Bereichen (BLOCK-Ansatz, Ticino-Bellinzona)

Tabelle 7: Interpretation Diagnostikplots (Abbildung 14 im Leitfaden).

Kriterien	Bewertung	Bemerkungen
Anpassung linker Bereich	gut	-
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung rechter Bereich	mittel-gut	-
Konfidenzintervall	klein	-

Der Probability Plot sowie der Quantile Plot in Abbildung 14 im Leitfaden deuten auf eine insgesamt gute Anpassung des Modells an die Beobachtungen hin. Sehr leichte Abweichungen sind im rechten Bereich zu beobachten. Sämtliche Beobachtungen liegen zudem innerhalb des allgemein engen Konfidenzintervalls. Insgesamt kann in diesem Beispiel von einer guten Anpassung gesprochen werden.

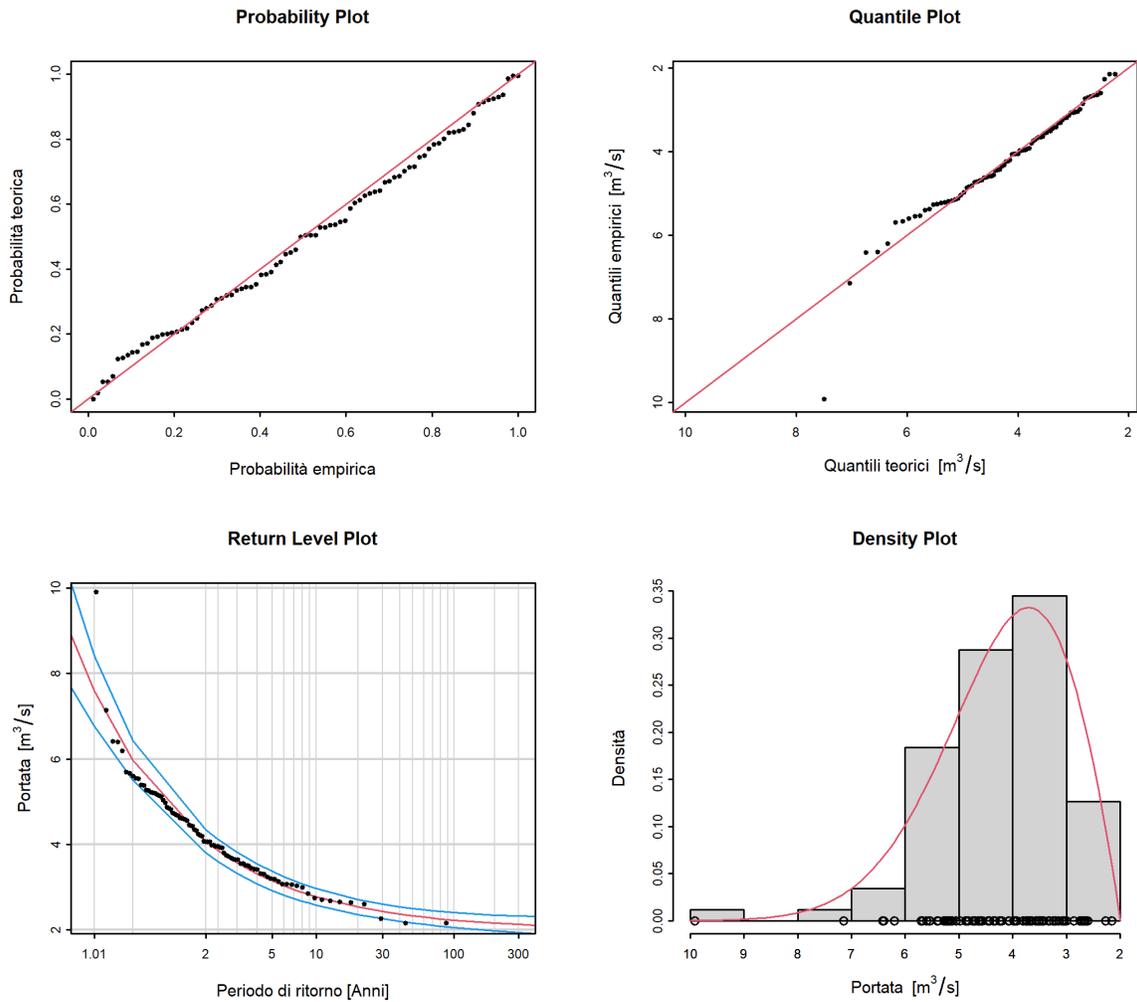


Abbildung 15: Beispiel für Diagnostikplots einer stationären Modellvariante mit schlechter Anpassung im linken Bereich (BLOCK-Ansatz, Moesa-Lumino, Sassello)

Tabelle 8: Interpretation Diagnostikplots (Abbildung 15 im Leitfaden).

Kriterien	Bewertung	Bemerkungen
Anpassung linker Bereich	mittel	Ein Wert ist stark unterschätzt, ansonsten gut.
Anpassung mittlerer Bereich	mittel-gut	-
Anpassung rechter Bereich	gut	-
Konfidenzintervall	klein	Ein Wert liegt nicht innerhalb des Konfidenzintervalls.

In Abbildung 15 im Leitfaden deutet der Probability Plot auf eine insgesamt eher mittlere bis gute Anpassung des Modells an die Beobachtungen hin. Der Quantile Plot zeigt im rechten Bereich eine gute Anpassung. Allerdings zeigt der Plot auch, dass das grösste aufgetretene NM7Q vom Modell relativ schlecht abgebildet werden kann (linker Bereich). Dies wird auch im Return Level Plot sichtbar, wo die grösste Beobachtung ausserhalb des Konfidenzintervalls liegt. Der Density Plot ist dagegen wieder als mittel bis gut zu beurteilen. Insgesamt kann in diesem Beispiel von einer mittleren Anpassung gesprochen werden.

Nicht stationäre Modellvariante

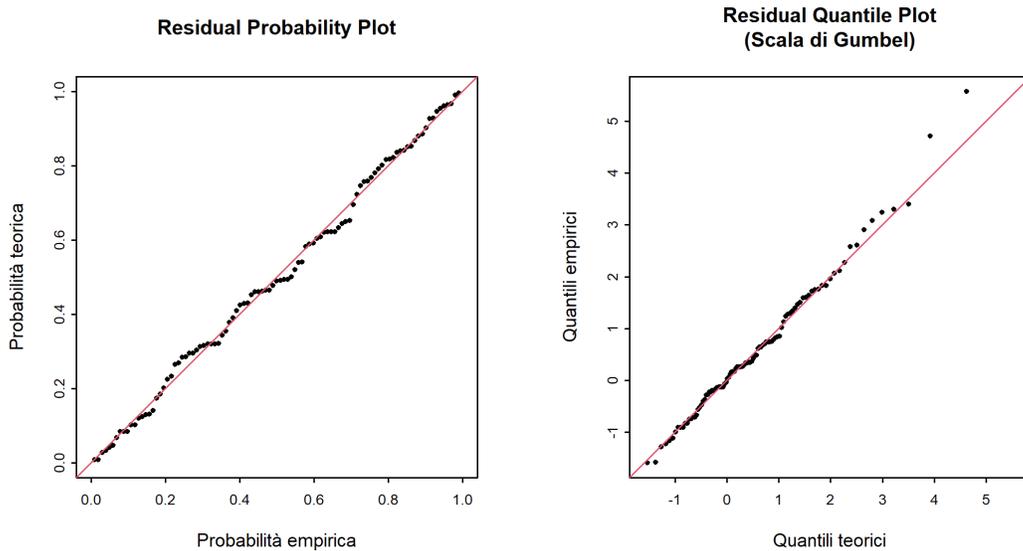


Abbildung 16: Beispiel für Diagnostikplots einer nicht stationären Modellvariante (BLOCK-Ansatz, „mujump 1950“, Ticino-Bellinzona)

Abbildung 16 im Leitfaden zeigt die Diagnostikplots der Modellvariante „mujump“ des BLOCK-Ansatzes für die Messstation Ticino-Bellinzona. Die Anpassung ist bei beiden Plots ähnlich wie mit der stationären Variante (vgl. Abbildung 14 im Leitfaden). Es ist kaum eine Veränderung sichtbar.

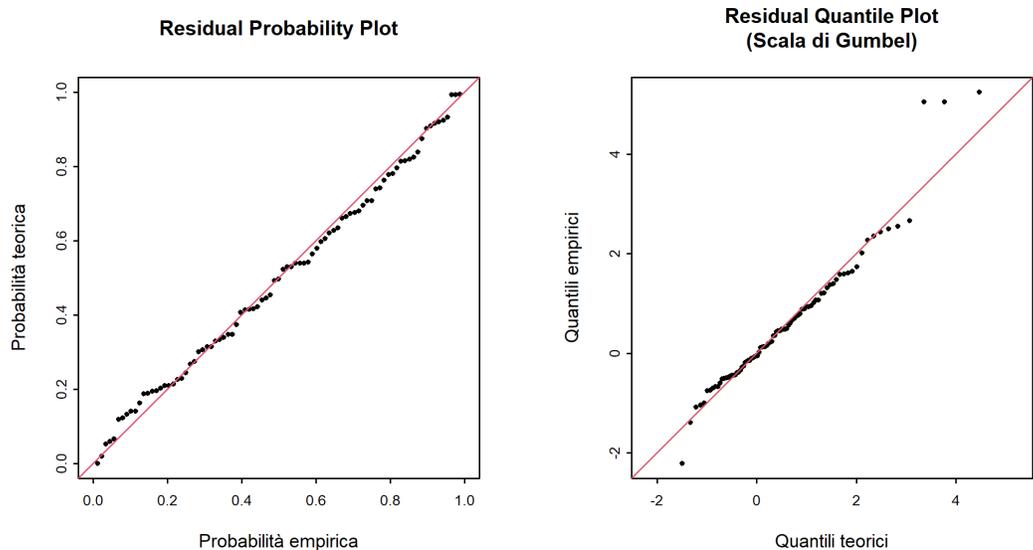


Abbildung 17: Beispiel für Diagnostikplots einer nicht stationären Modellvariante (BLOCK-Ansatz, „mujump 1936“, Moesa-Lumino, Sassello)

Abbildung 17 im Leitfaden zeigt die Diagnostikplots der Modellvariante „mujump“ des BLOCK-Ansatzes für die Messstation Moesa-Lumino, Sassello. Beim Residual Probability Plot ist die Anpassung sehr ähnlich wie bei der stationären Variante (vgl. Abbildung 15 im Leitfaden). Beim Residual Quantile Plot ist die Anpassung vor allem im rechten Bereich schlechter und im linken Bereich leicht besser als bei der stationären Variante.

Index

A

Ablaufschema Modellwahl 15
Auswertungsperiode 4, 9, 10

B

Beobachtungsperiode 4, 5
Bruchpunktanalyse 9, 10, 13

D

Datengrundlage 5
Declustering 5
Defizitvolumen (DV) 3, 4, 8, 9, 21
Deltamethode 22
Diagnostikplot (nicht stationär) 21
 Residual Probability Plot 21
 Residual Quantile Plot 21
Diagnostikplot (stationär) 19, 20
 Density Plot 19, 20
 Probability Plot (P-P-Plot) 19, 20
 Quantile Plot (Q-Q-Plot) 19, 20
 Return Level Plot 19, 20

G

Generalized Extreme Value Distribution 11
Generalized Pareto Distribution 12

J

Jahreszuordnung der NM7Q 5

K

Konfidenzintervall 22

M

M7Q 2, 5–7, 11, 18
Mean residual life plot 12, 16, 17

N

Nicht stationäre Modellvarianten 13, 18, 21
Niedrigwasserabfluss (NQ) 2, 11, 12, 21
Niedrigwasserdauer (ND) 2, 5, 7, 8, 21
Niedrigwasserjahr 3, 5, 6
NM7Q 2, 5, 10, 11

P

Parametrische Verfahren 11, 22, 23

Block Minimum (BLOCK) 11, 22
Peaks Over Threshold (POT) ... 11, 12, 22

S

Saisonalität 6
Schwellenwert 2, 12, 16–18, 23
Stationäre Modellvariante 13, 18, 20

U

Unabhängigkeit von Ereignissen (POT) .. 5, 11

V

Verteilungsparameter 11, 18
 Ereignisrate λ 11, 12
 Formparameter κ 11, 12
 Lageparameter μ 11, 13
 Skalenparameter σ 11–13

W

Wiederkehrperioden 19, 21, 22
Wiederkehrwerte 11, 12
 DV_T 12, 21
 ND_T 12, 21
 NQ_T 12, 21

Z

Zusammenspiel Niedrigwasser-Kenngrößen .. 3