Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

NIEDRIGWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

# Emme - Wiler, Limpachmündung

weitere Erläuterungen: Leitfaden
Kontakt: hydrologie@bafu.admin.ch

# Inhaltsverzeichnis

**1 Datengrundlage** **2**

**2 Resultate der parametrischen Verfahren** **6**
2.1 Niedrigwasserabfluss . . . 7
2.1.1 Block Minimum Ansatz (BLOCK) . . . 7
2.1.2 Peaks Over Threshold Ansatz (POT) . . . 10
2.1.3 Vergleich der verschiedenen Resultate . . . 13
2.2 Niedrigwasserdauer . . . 14
2.3 Defizitvolumen . . . 17

**3 Literatur** **20**

**Anhang** **21**
A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten . . . 21
A.1 Niedrigwasserabfluss . . . 21
A.2 Niedrigwasserdauer . . . 22
A.3 Defizitvolumen . . . 22
B Glossar . . . 23

# 1 Datengrundlage

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

| Vorhandene Daten | seit | bis |
|---|---|---|
| Digitale Tagesmittel | 01.07.1921 | 31.12.2019 |

Ein Limnigraph wurde am 21. September 1921 in Betrieb genommen. Vom 01.07.1921 - 31.12.1970 stammen die Daten von der Totalstation 8099 Emme-Gerlafingen, welche sich aus der Hauptstation 7646 Emme-Gerlafingen und der Nebenstation 2156 Werkkanal-Gerlafingen, sowie der Nebenstation 2157 Strackbach-Gerlafingen zusammensetzt. Seit dem 01.01.1971 liegen die Daten von der Totalstation 0155 Emme-Wiler, Limpachmundung vor, die sich wiederum aus der neuen Hauptstation 2155 Emme-Wiler, Limpachmundung und den bisherigen Nebenstationen 2156 Werkkanal-Gerlafingen und 2157 Strackbach-Gerlafingen zusammensetzt. Die Messreihen der genannten Stationen wurden aneinandergehängt, um eine kontinuierliche Datenreihe zu erhalten, welche für den vorliegenden Stationsbericht verwendet wird.

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

| Abflussverlauf | Beschreibung |
|---|---|
| Abflussregimetyp | Pluvial inférieur: Höhchste Abflüsse im Frühling, tiefste im Winter. |
| Ausprägung der Saisonalität | In den Monatsminima der M7Q leicht zu erkennen (Abbildung 2). |
| Beeinflussung | Geringe Beeinflussung durch sechs Laufkraftwerke oberhalb der Station. Davon wurden vier bereits vor der Beobachtungsperiode in Betrieb genommen und jene welche in den Jahren 2016 und 1999 in Betrieb genommen wurden, liegen relativ weit oberhalb der Station, weshalb deren Auswirkungen nicht deutlich sichtbar sind in den Daten. |

Aufgrund des zeitlichen Auftretens der Niedrigwasserperioden (vgl. Abbildung 1) wird für die Station Emme - Wiler, Limpachmündung als Startmonat für das Niedrigwasserjahr der April gewählt. Entsprechend dauert ein Niedrigwasserjahr vom 01.04. bis zum 31.03. Zwei Niedrigwasserperioden befinden sich so in je zwei verschiedenen Niedrigwasserjahren, aber es ist der bestmögliche Zeitpunkt als Startmonat für diese Station.

Die niedrigsten Werte der monatlichen Minima der M7Q treten überwiegend in den Monaten August bis November auf (Abbildung 2). Die tieferen Werte der monatlichen Minima zeigen ein leicht inkonstantes Verhalten auf mit mehreren kurzen Phasen mit niedrigeren Werten (Abbildung 3). Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass die Niedrigwasserdauer zwischen 1921 und ca. 1940 sowie zwischen ca. 1970 und 2015 ein konstantes Verhalten aufweist. In den letzten Jahren der Zeitreihe gibt es zwei besonders hohe Werte und zwischen ca. 1940 und 1970 gibt es ebenfalls höhere Werte und weniger sehr niedrige Werte. Die Zeitreihe der Defizitvolumen (Abbildung 5) zeigt hingegen über den gesamten Zeitraum ein konstantes Verhalten, mit Ausnahme von zwei einzelnen Aussreissern.

Die NM7Q werden basierend auf den Abflusstagesmittelwerten der Niedrigwasserjahre bestimmt und bewegen sich in der Beobachtungsperiode zwischen 2.58 und 9.26 $m^3/s$ (Abbildung 6).

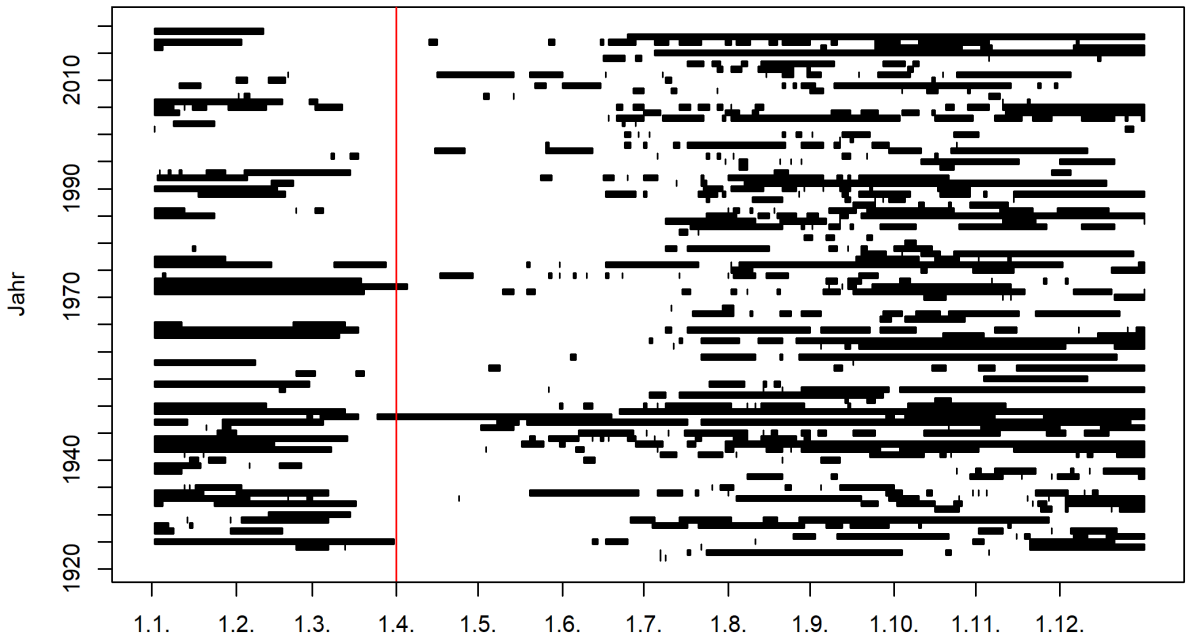


Abbildung 1: Zeitliches Auftreten der Niedrigwasserperioden im Jahresverlauf (01.04.1921 - 31.03.2019) und Startmonat des Niedrigwasserjahres (rote Linie)[1]

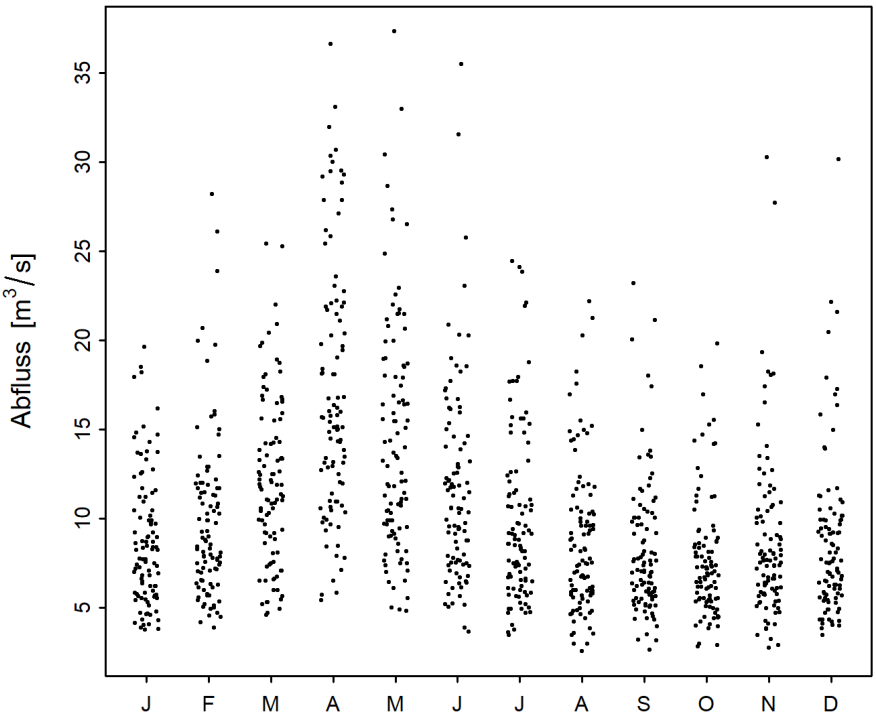


Abbildung 2: Saisonaler Verlauf der monatlichen Minima der M7Q [$m^3/s$] (01.04.1921 - 31.03.2019)

[1] Der Startmonat des Niedrigwassersjahres wird nur anhand der Werte der Auswertungsperiode bestimmt.

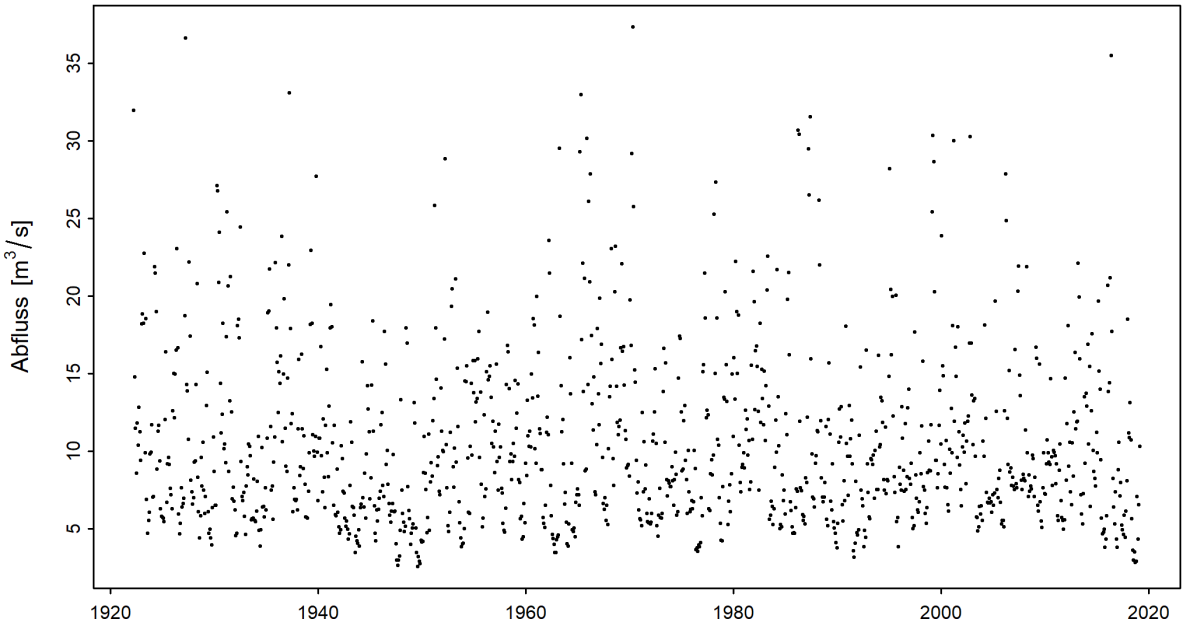


Abbildung 3: Zeitreihe der monatlichen Minima der M7Q [$m^3/s$] (01.04.1921 - 31.03.2019)

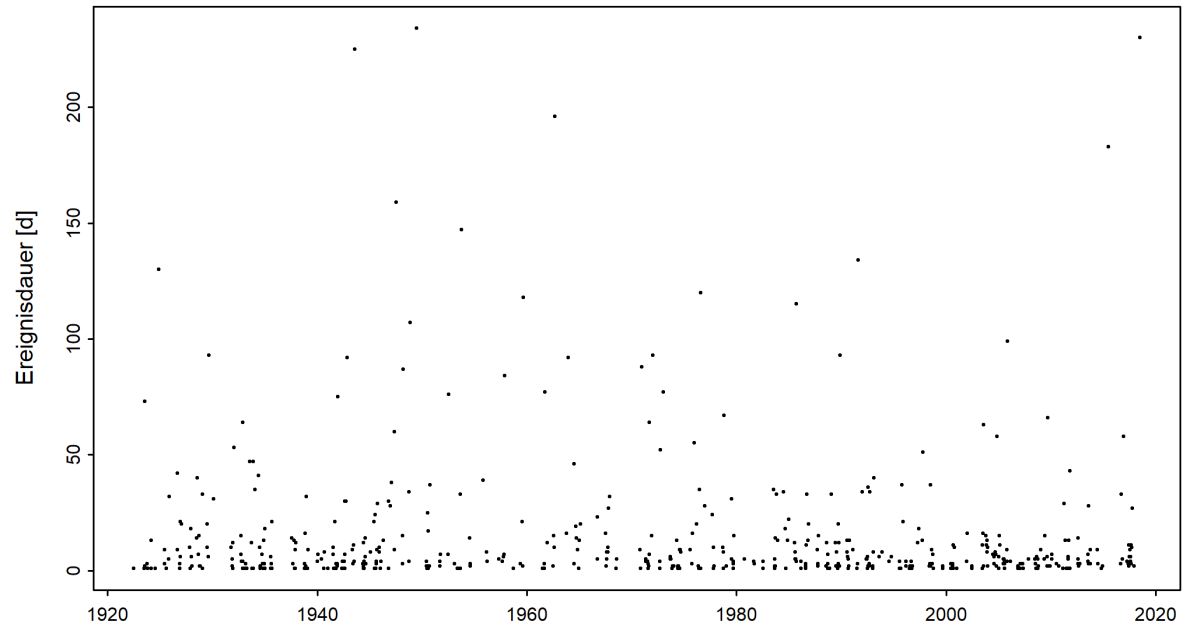


Abbildung 4: Zeitreihe der Niedrigwasserdauern [d] (01.04.1921 - 31.03.2019)

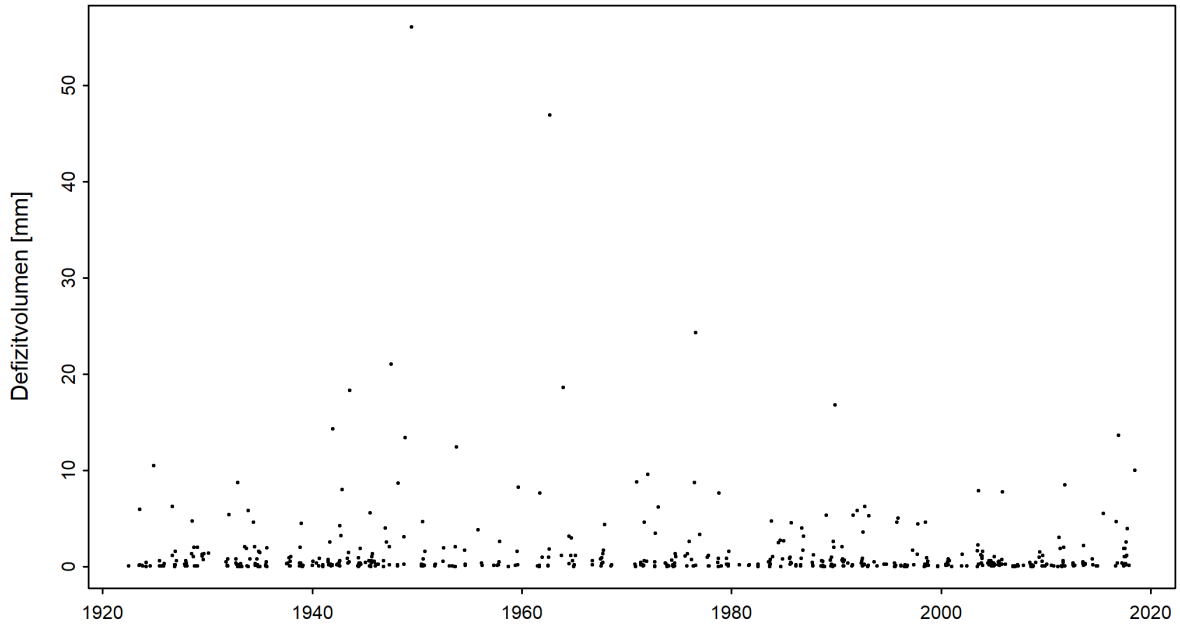


Abbildung 5: Zeitreihe der Defizitvolumen [mm] (01.04.1921 - 31.03.2019)

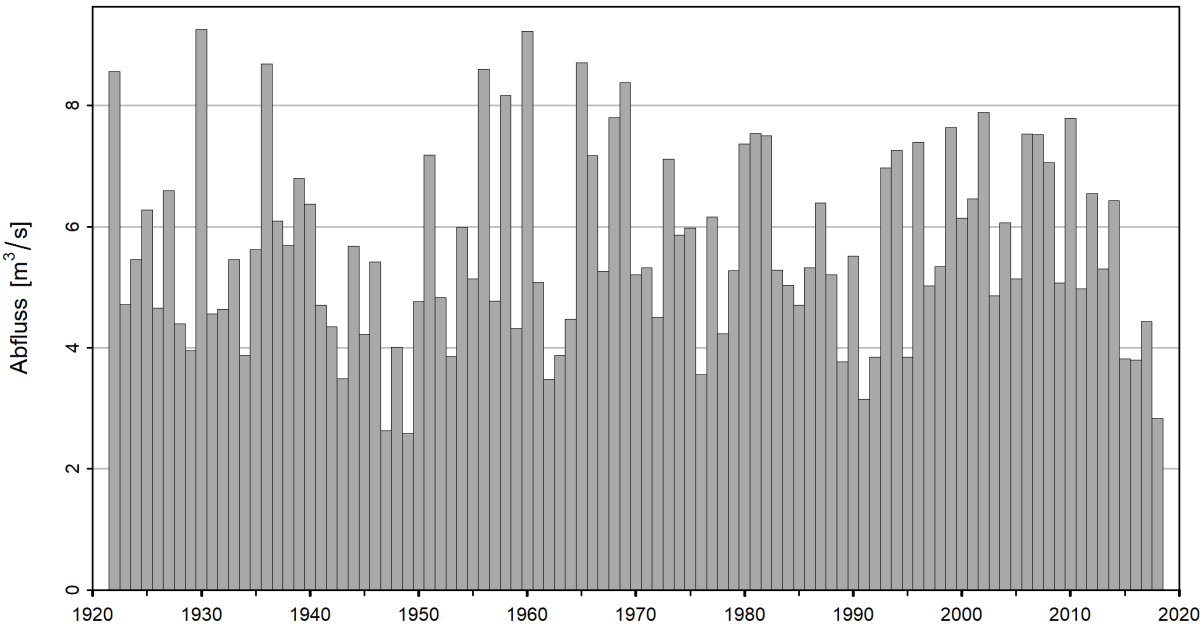


Abbildung 6: Zeitreihe der NM7Q [$m^3/s$] (01.04.1921 - 31.03.2019)

## 2 Resultate der parametrischen Verfahren

Mit Hilfe von zwei parametrischen Verfahren (BLOCK- und POT-Ansatz) werden die Niedrigwasserwahrscheinlichkeiten $NQ_T$ abgeschätzt. Die Niedrigwasserdauerwahrscheinlichkeiten $ND_T$ und die Defizitvolumenwahrscheinlichkeiten $DV_T$ werden anhand des POT-Ansatzes 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 Minimum (BLOCK) | $\mu$ | Lageparameter | NM7Q |
| | $\sigma$ | Skalenparameter | |
| | $\kappa$ | Formparameter | |
| Peaks Over Threshold (POT) | $\lambda$ | Ereignisrate | M7Q / Niedrigwasserdauern / |
| | $\sigma$ | Skalenparameter[2] | Defizitvolumen |
| | $\kappa$ | 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. $\mu$ Lageparameter (mu), $\sigma$ Skalenparameter (sigma), $\kappa$ Formparameter (kappa).

| **Modellvarianten BLOCK** | | | |
|---|---|---|---|
| **Name** | **Beschreibung** | **Parameter (t: Jahr)** | **Anzahl Parameter** |
| stat | Stationäre Variante | $\mu, \sigma, \kappa$ | 3 |
| mul | Linearer Trend von $\mu$ | $\mu = a_1 + a_2 * t$, $\sigma, \kappa$ | 4 |
| muq | Quadratischer Trend von $\mu$ | $\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2$, $\sigma, \kappa$ | 5 |
| sigl | Linearer Trend von $\sigma$ | $\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t$, $\kappa$ | 4 |
| musigl | Linearer Trend von $\mu$ und $\sigma$ | $\mu = a_1 + a_2 * t$, $\sigma = b_1 + b_2 * t$, $\kappa$ | 5 |
| mujump | Nicht-kontinuierliche Veränderung von $\mu$ 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. $\sigma$ Lageparameter (sigma), $\kappa$ Formparameter (kappa).

| **Modellvarianten POT** | | | |
|---|---|---|---|
| **Name** | **Beschreibung** | **Parameter (t: Jahr)** | **Anzahl Parameter** |
| stat | Stationäre Variante | $\sigma, \kappa$ | 2 |
| sigl | Linearer Trend von $\sigma$ | $\sigma = b_1 + b_2 * t$, $\kappa$ | 3 |
| sigjump | Nicht-kontinuierliche Veränderung von $\sigma$ 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 7 und Leitfaden Kapitel 4.3). Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonalen 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 8 im Leitfaden Kapitel 3.3). Im Folgenden sind jeweils die Verfahren mit den besten Resultaten aufgeführt.

[2] Der Skalenparameter $\sigma$ des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem $\sigma$ des BLOCK-Ansatzes.

## 2.1 Niedrigwasserabfluss

### 2.1.1 Block Minimum Ansatz (BLOCK)

Der Block Minimum Ansatz (BLOCK) definiert den tiefsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert.

Das kleinste NM7Q der Analyseperiode beträgt 2.58 $m^3/s$ (20.08.1949).

Für die Auswertungsperiode (1922-2018) zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht-stationären Modellvarianten, weshalb hier die Resultate des stationären Modells präsentiert werden.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| **Anzahl Werte n** | **Lageparameter $\hat{\mu}$** | **Skalenparameter $\hat{\sigma}$** | **Formparameter $\hat{\kappa}$** |
|---|---|---|---|
| 97 | 6.08 | 1.66 | -0.43 |

Die Güte des Modells wird grafisch anhand der in Abbildung 7 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

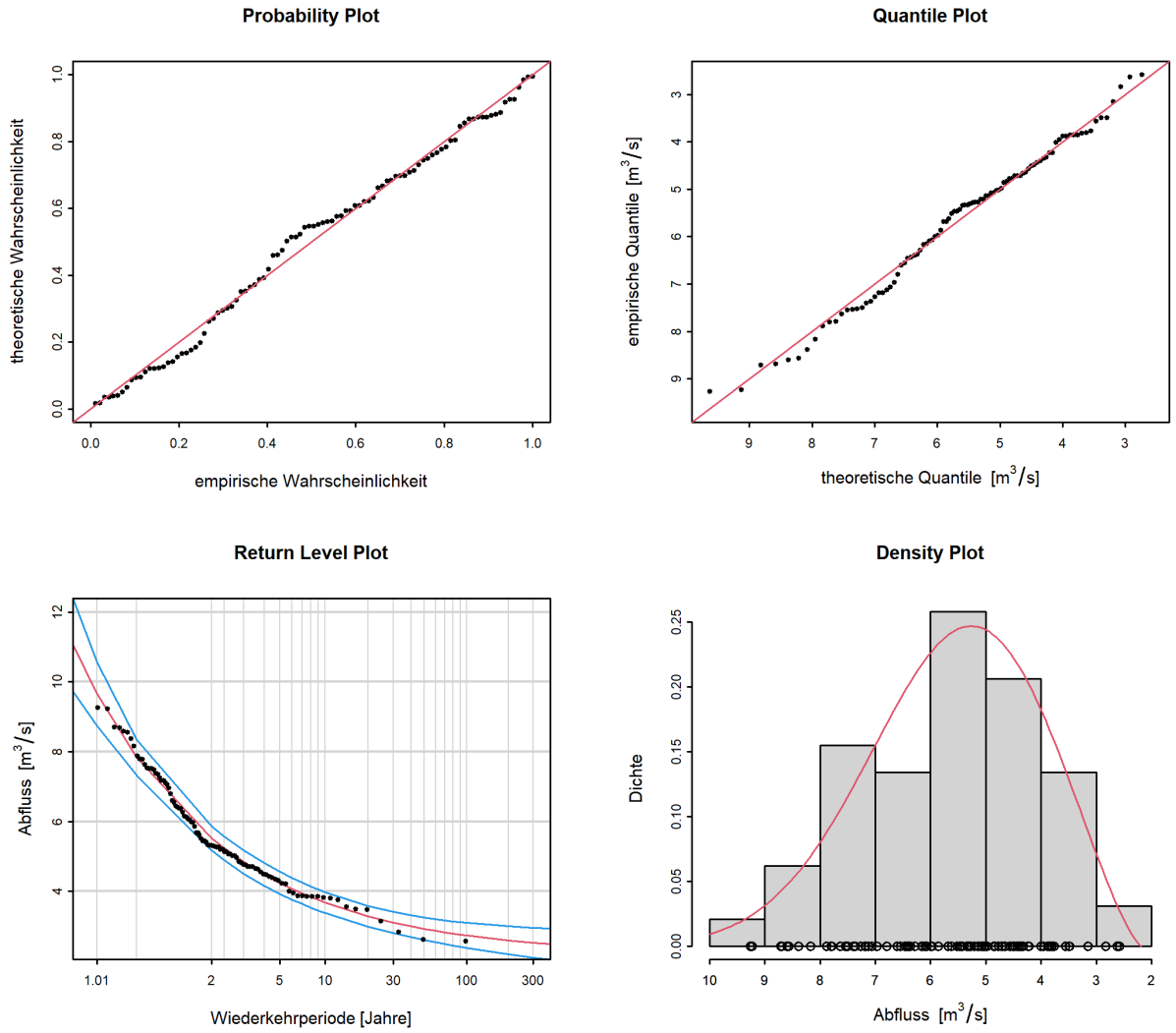


Abbildung 7: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des BLOCK-Ansatzes (01.04.1922 - 31.03.2019)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 7):

| **Kriterien** | **Bewertung**[3] | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| Anpassung linker Bereich | mittel-gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | mittel-gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | mittel-gut | Die kleinsten Werte werden überschätzt. |
| Konfidenzintervall | klein | - |

[3]Siehe Leitfaden Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.04.1922 - 31.03.2019 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| **$NQ_T$ (NM7Q)** | **untere Konfidenzgrenze [$m^3/s$]** | **Abfluss [$m^3/s$]** | **obere Konfidenzgrenze [$m^3/s$]** |
|---|---|---|---|
| $NQ_2$ | 5.12 | 5.52 | 5.92 |
| $NQ_{10}$ | 3.34 | 3.68 | 4.02 |
| $NQ_{30}$ | 2.76 | 3.11 | 3.45 |
| $NQ_{100}$ | 2.32 | 2.73 | 3.14 |
| $NQ_{300}$ | 2.04 | 2.53 | 3.01 |

### 2.1.2 Peaks Over Threshold Ansatz (POT)

Für den Peaks over Threshold Ansatz (POT) werden die M7Q ab dem 01.04.1922 analysiert. Als Schwellenwert $u_{80}$ zur Abgrenzung von Niedrigwasserereignissen wird das 80%-Quantil der Abflussdauerkurve ($Q_{80}$ bzw. $Q_{292}$) ausgewählt. An allen Tagen, an denen der Abfluss-Tagesmittelwert den Schwellenwert $u_{80}$ von 8.24 $m^3/s$ unterschreitet, liegt ein Niedrigwasser vor.

Durch ein Declustering wird sichergestellt, dass zwei Niedrigwasserereignisse, bei denen das dazwischenliegende Überschussvolumen das vorangegangene Defizitvolumen egalisieren konnte, als unabhängig angesehen werden (s. Leitfaden Kapitel 1.3).

Jene Werte, die einen tieferen Schwellenwert u unterschreiten, gelten bei der Analyse der M7Q mit dem POT-Ansatz als Extremereignisse. Der Schwellenwert u wird in einem iterativen Vorgehen anhand verschiedener Kriterien bestimmt (s. Anhang A.1 und Leitfaden Kapitel 4.1). Abbildung 8 zeigt die M7Q, die festgelegten Schwellenwerte $u_{80}$ und u sowie die aufgrund des Schwellenwerts u definierten Extremereignisse (rote Kreise).

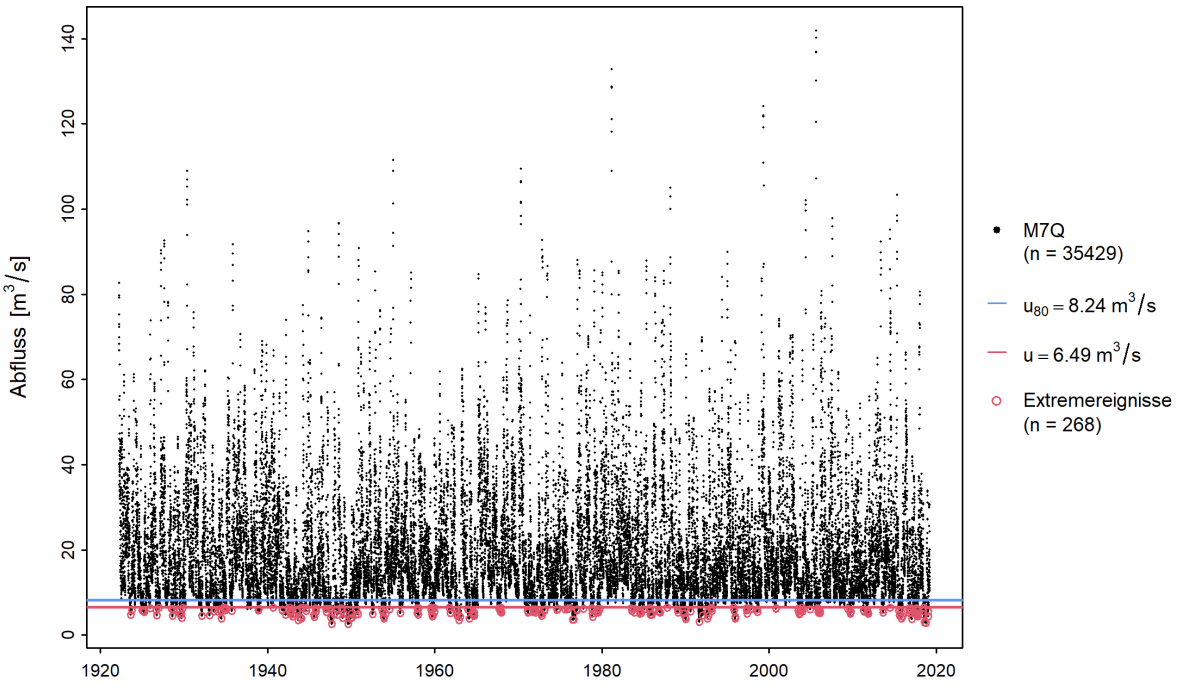


Abbildung 8: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1922-2018) zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht-stationären Modellvarianten, weshalb hier die Resultate des stationären Modells präsentiert werden.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| **Schwellenwert** **u** | **Anzahl Werte** **n** | **Ereignisrate** $\hat{\lambda}$ | **Skalenparameter** $\hat{\sigma}$ | **Formparameter** $\hat{\kappa}$ |
|---|---|---|---|---|
| 6.488 $m^3/s$ | 268 | 2.76 | 1.43 | -0.31 |

Die Güte des Modells wird grafisch anhand der in Abbildung 9 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

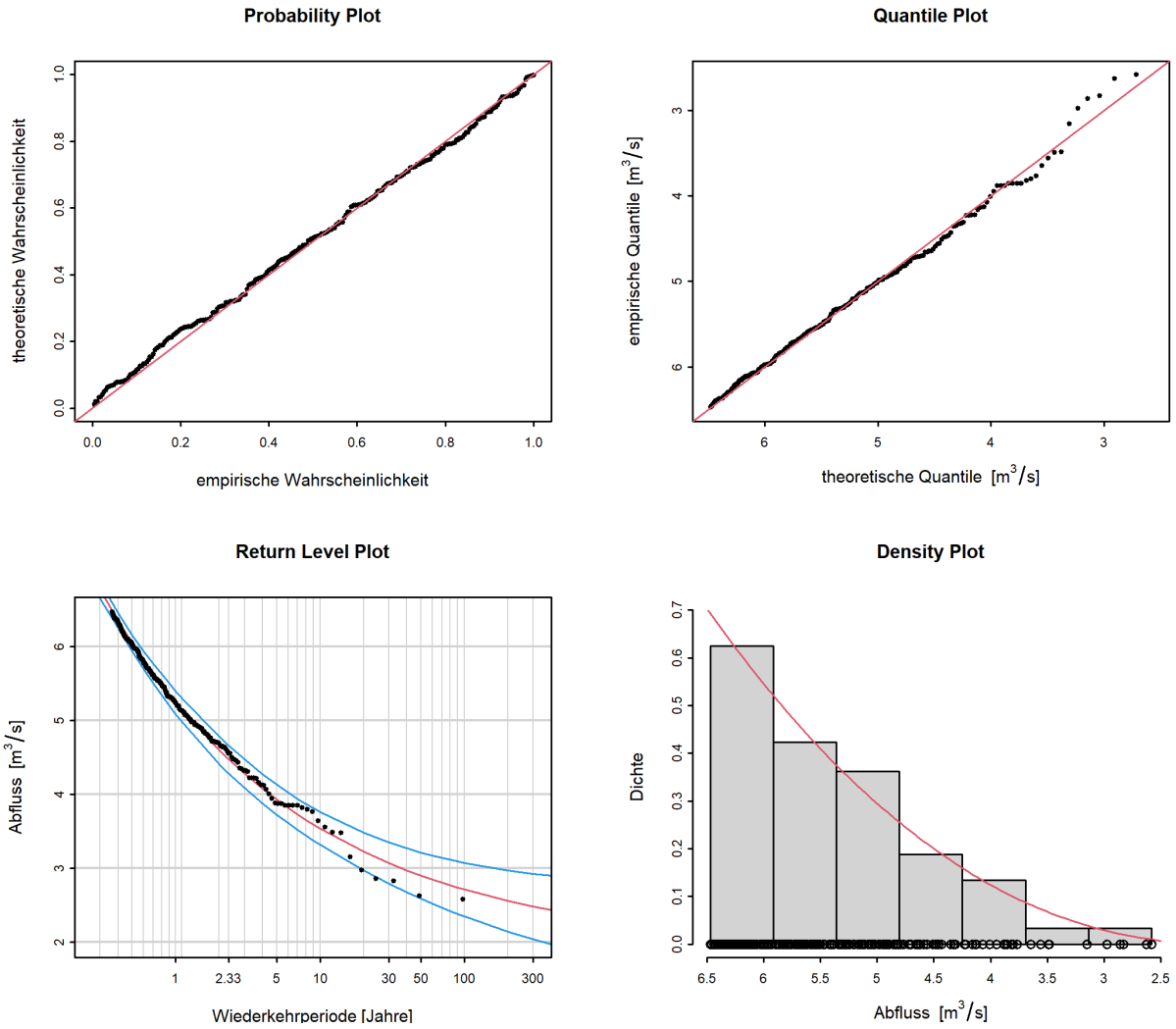


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des POT-Ansatzes (01.04.1922 - 31.03.2019)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):

| **Kriterien** | **Bewertung**[4] | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| Anpassung linker Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | mittel-gut | Die kleinsten Werte werden leicht überschätzt und liegen nahe oder knapp ausserhalb des kleinen Konfidenzintervalls. |
| Konfidenzintervall | klein | Wird für längere Wiederkehrperioden etwas grösser. |

[4]Siehe Leitfaden Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.04.1922 - 31.03.2019 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| **$NQ_T$ (M7Q)** | **untere Konfidenzgrenze [$m^3/s$]** | **Abfluss [$m^3/s$]** | **obere Konfidenzgrenze [$m^3/s$]** |
|---|---|---|---|
| $NQ_2$ | 4.38 | 4.59 | 4.81 |
| $NQ_{10}$ | 3.28 | 3.54 | 3.79 |
| $NQ_{30}$ | 2.75 | 3.07 | 3.39 |
| $NQ_{100}$ | 2.29 | 2.71 | 3.12 |
| $NQ_{300}$ | 1.97 | 2.48 | 2.99 |

### 2.1.3 Vergleich der verschiedenen Resultate

In Abbildung 10 und der zugehörigen Tabelle sind die Resultate des BLOCK- und des POT-Ansatzes zusammengefasst. Es werden die Modellvarianten gezeigt, die jeweils am besten an die Daten angepasst sind. Der Vergleich der verschiedenen Modellansätze zeigt folgende Sachverhalte auf:

**Differenzen der Resultate der berechneten $NQ_T$ der beiden parametrischen Ansätze:**
Für $NQ_2$ zeigt der BLOCK-Ansatz einen deutlich grösseren Abfluss auf als der POT-Ansatz. Bei $NQ_{10}$ ist dieser Unterschied bereits nur noch gering und ab $NQ_{30}$ kommen beide Ansätze zu einem sehr ähnlichen Ergebnis.

**Differenzen der Resultate der berechneten Konfidenzintervalle der beiden parametrischen Ansätze:**
Das Konfidenzintervall der Ergebnisse des BLOCK-Ansatzes ist für $NQ_2$ und $NQ_{10}$ grösser als jenes des POT-Ansatzes. Ab $NQ_{30}$ bis $NQ_{300}$ sind die Ansätze ähnlich gross und die Grösse der Intervalle nimmt bei beiden Ansätzen leicht zu. Für beide Ansätze ist das Konfidenzintervall klein.

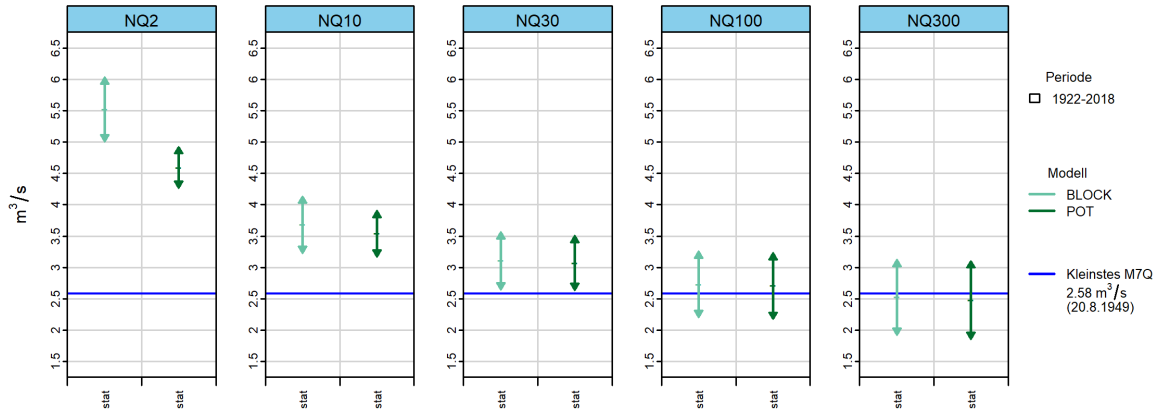


Abbildung 10: $NQ_T$ [$m^3/s$] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes

Folgende Tabelle enthält die Beurteilung der Modellgüte für die Auswertungsperiode 1922-2018:

| **Verfahren** | **Modellgüte Diagnostikplots** | | | **Bemerkung** |
|---|---|---|---|---|
| | **Links** | **Mitte** | **Rechts** | |
| BLOCK stat | mittel-gut | mittel-gut | mittel-gut | Die kleinsten Werte werden überschätzt. |
| POT stat | gut | gut | mittel-gut | Die kleinsten Werte werden leicht überschätzt und liegen nahe oder knapp ausserhalb des kleinen Konfidenzintervalls. |

## 2.2 Niedrigwasserdauer

An allen Tagen, an denen der Abfluss-Tagesmittelwert den Schwellenwert $u_{80}$ (80%-Quantil der Abflussdauerkurve) von 8.24 $m^3/s$ unterschreitet, liegt ein Niedrigwasserereignis vor. Nach einem Declustering (s. Kapitel 2.1.2 und Leitfaden Kapitel 1.3) wird die Dauer der einzelnen Niedrigwasserereignisse bestimmt.

Jene Niedrigwasserdauern, welche den Schwellenwert u überschreiten, gelten bei dieser Analyse als Extremereignisse. Der Schwellenwert u wird in einem iterativen Vorgehen anhand verschiedener Kriterien bestimmt (s. Anhang A und Leitfaden Kapitel 4.1). Abbildung 11 zeigt die Niedrigwasserdauern und den festgelegten Schwellenwert u sowie die aufgrund des Schwellenwerts u ausgewählten Extremereignisse (rote Kreise).

Das längste Niedrigwasserereignis der Analyseperiode dauerte 234 Tage (21.06.1949 - 09.02.1950).

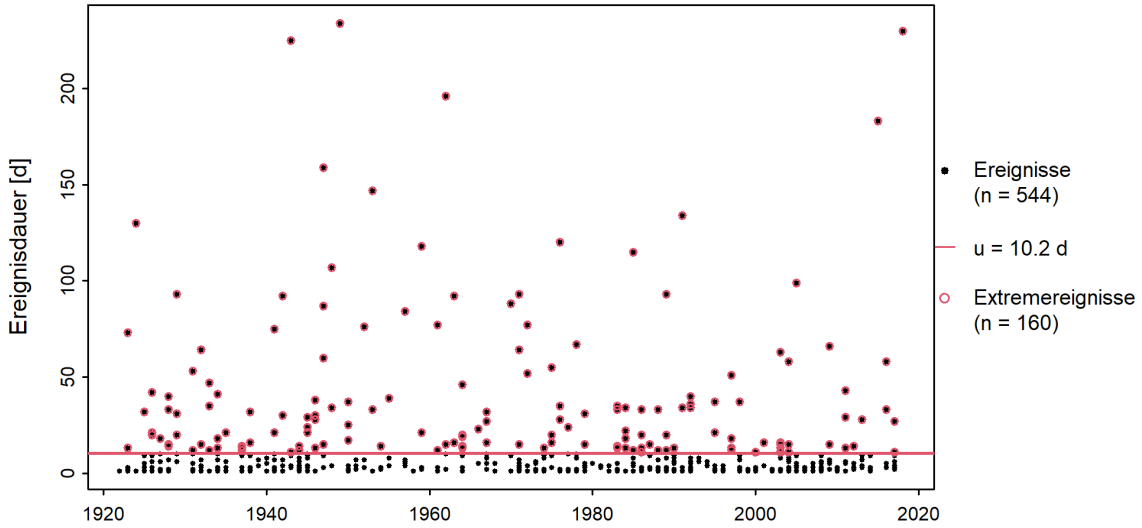


Abbildung 11: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Niedrigwasserdauer-Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1922-2018) zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht-stationären Modellvarianten, weshalb hier die Resultate des stationären Modells präsentiert werden.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| **Schwellenwert** **u** | **Anzahl Werte** **n** | **Ereignisrate** $\hat{\lambda}$ | **Skalenparameter** $\hat{\sigma}$ | **Formparameter** $\hat{\kappa}$ |
|---|---|---|---|---|
| 10.2 Tage | 160 | 1.65 | 17.95 | 0.49 |

Die Güte des Modells wird grafisch anhand der in Abbildung 12 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

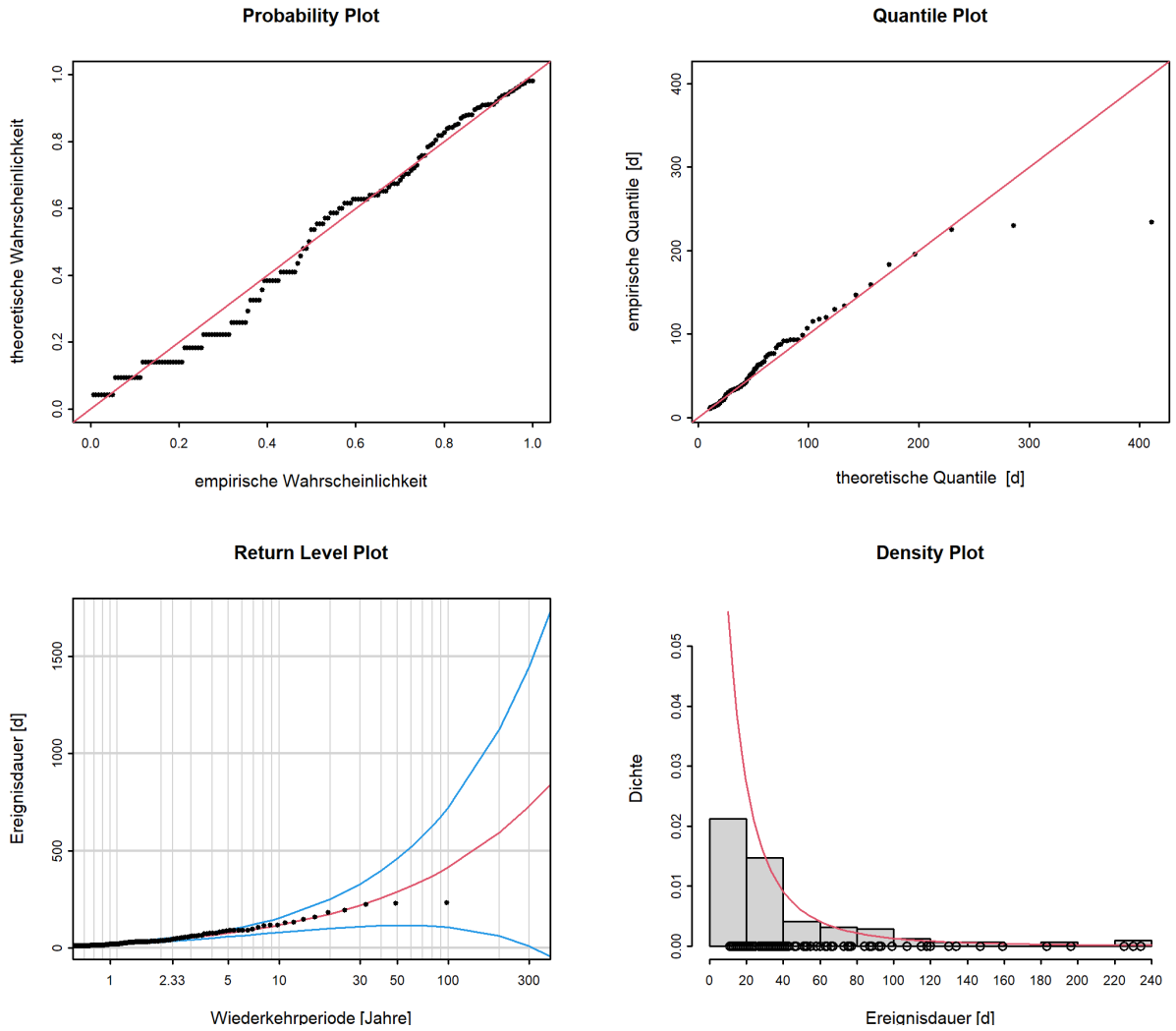


Abbildung 12: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des POT-Ansatzes (01.04.1922 - 31.03.2019)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 12):

| **Kriterien** | **Bewertung**[5] | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| Anpassung linker Bereich | mittel | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | mittel-gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | schlecht-mittel | Die zwei grössten Werte werden stark überschätzt. |
| Konfidenzintervall | gross | Im rechten Bereich deutlich grösser. |

[5]Siehe Leitfaden Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Niedrigwasserdauern für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.04.1922 - 31.03.2019 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| $\mathbf{ND_T}$ | **untere Konfidenzgrenze [d]** | **Dauer [d]** | **obere Konfidenzgrenze [d]** |
|---|---|---|---|
| $ND_2$ | 30 | 39 | 48 |
| $ND_{10}$ | 75 | 118 | 160 |
| $ND_{30}$ | 95 | 220 | 345 |
| $ND_{100}$ | 63 | 416 | 768 |
| $ND_{300}$ | $<0$ | 729 | 1550 |

## 2.3 Defizitvolumen

An allen Tagen, an denen der Abfluss-Tagesmittelwert den Schwellenwert $u_{80}$ (80%-Quantil der Abflussdauerkurve) von 8.24 $m^3/s$ unterschreitet, liegt ein Niedrigwasserereignis vor. Nach einem Declustering (s. Kapitel 2.1.2 und Leitfaden Kapitel 1.3) wird das Defizitvolumen der einzelnen Niedrigwasserereignisse bestimmt.

Jene Defizitvolumen, welche den Schwellenwert u überschreiten, gelten bei dieser Analyse als Extremereignisse. Der Schwellenwert u wird in einem iterativen Vorgehen anhand verschiedener Kriterien bestimmt (s. Anhang A und Leitfaden Kapitel 4.1). Abbildung 13 zeigt die Defizitvolumen und den festgelegten Schwellenwert u sowie die aufgrund des Schwellenwerts u ausgewählten Extremereignisse (rote Kreise).

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

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

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

Die Einzugsgebietfläche dieser Station beträgt 937 $km^2$.

Das grösste Defizitvolumen der Analyseperiode beträgt 56.03 mm (21.06.1949 - 09.02.1950).

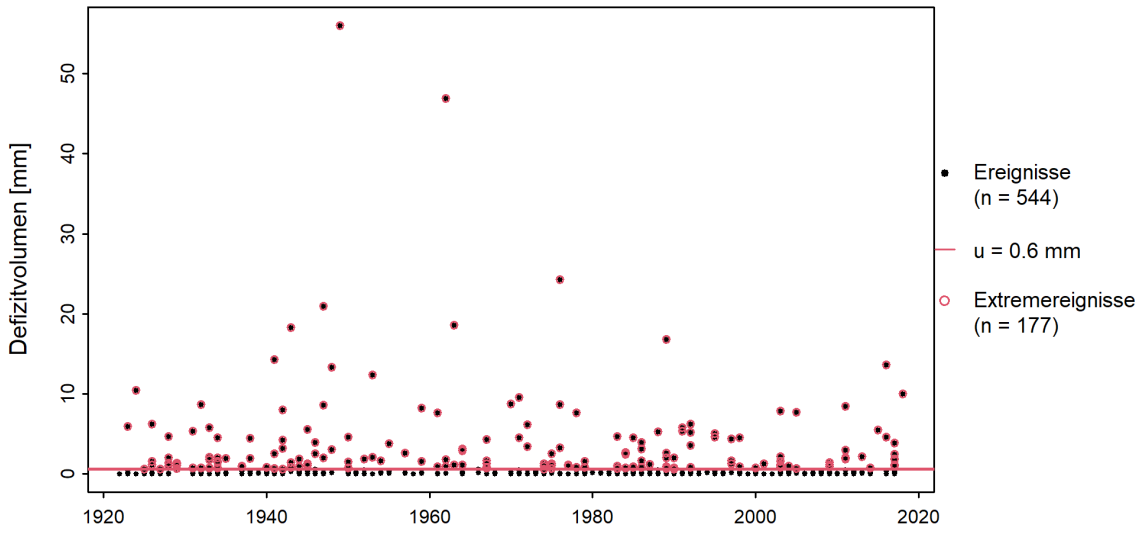


Abbildung 13: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Defizitvolumen-Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1922-2018) zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht-stationären Modellvarianten, weshalb hier die Resultate des stationären Modells präsentiert werden.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| **Schwellenwert** **u** | **Anzahl Werte** **n** | **Ereignisrate** $\hat{\lambda}$ | **Skalenparameter** $\hat{\sigma}$ | **Formparameter** $\hat{\kappa}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0.6 mm | 177 | 1.82 | 1.5 | 0.63 |

Die Güte des Modells wird grafisch anhand der in Abbildung 14 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

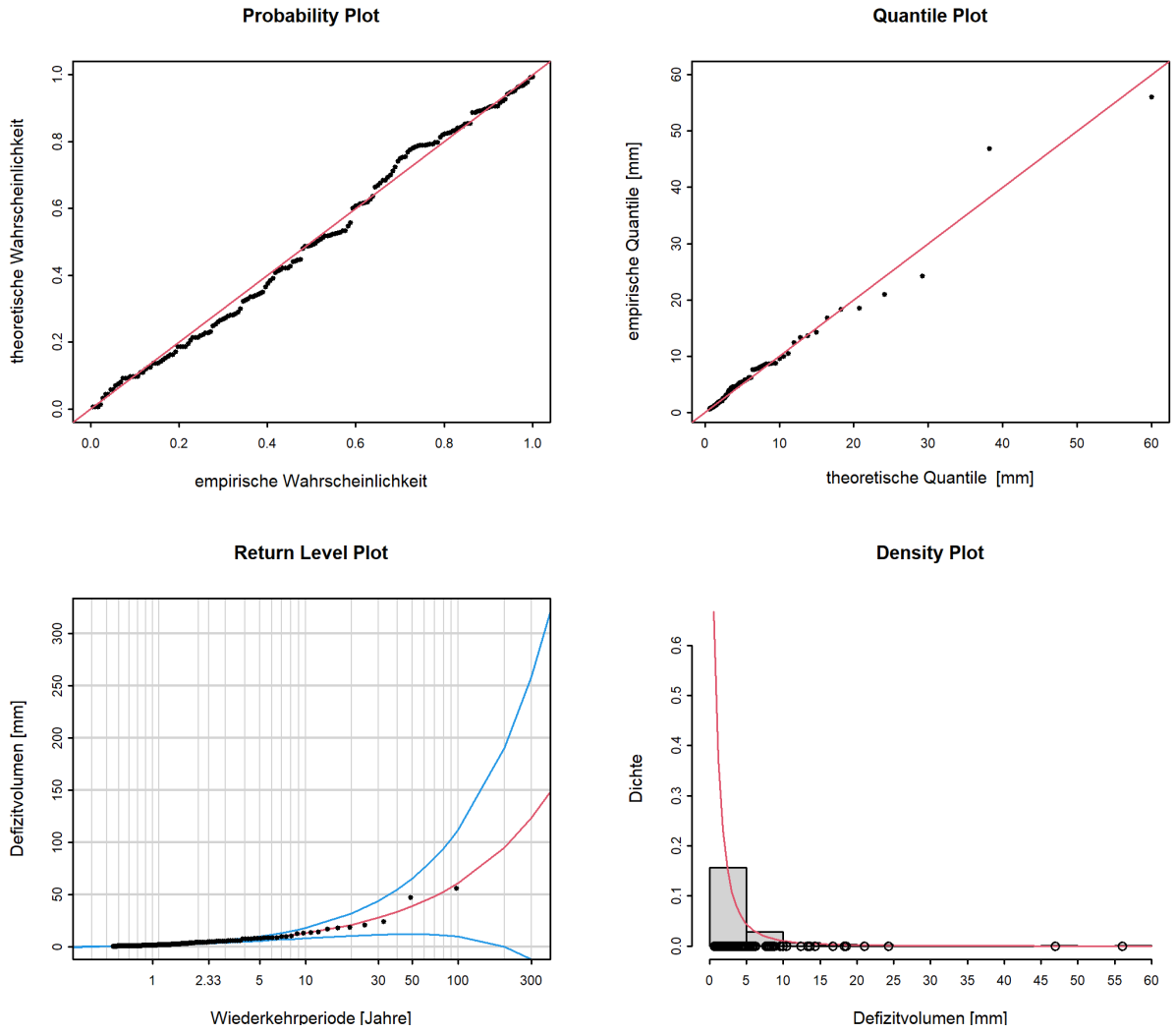


Abbildung 14: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des POT-Ansatzes (01.04.1922 - 31.03.2019)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 14):

| **Kriterien** | **Bewertung**[6] | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| Anpassung linker Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | mittel | - |
| Anpassung rechter Bereich | mittel-gut | - |
| Konfidenzintervall | gross | Im rechten Bereich zunehmend grösser. |

[6]Siehe Leitfaden Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Defizitvolumen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.04.1922 - 31.03.2019 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| $\mathbf{DV_T}$ | **untere Konfidenzgrenze [mm]** | **Defizitvolumen [mm]** | **obere Konfidenzgrenze [mm]** |
|---|---|---|---|
| $DV_2$ | 3 | 4 | 4 |
| $DV_{10}$ | 7 | 13 | 19 |
| $DV_{30}$ | 9 | 28 | 46 |
| $DV_{100}$ | 2 | 61 | 120 |
| $DV_{300}$ | $<0$ | 123 | 278 |

# 3 Literatur

*BAFU* (2023). Leitfaden zu den Stationsberichten der Niedrigwasserstatistik. 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.

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

*DWA* (2022). DVWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 541. Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngrössen.

*DWA/DVWK (Hrsg.)* (1983). DVWK-R 120 - Niedrigwasseranalyse. Teil 1. Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*DWA/DVWK (Hrsg.)* (1992). DVWK-R 121 - Niedrigwasseranalyse. Teil 2. Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E., Gustard, A.* (2004). Hydrological Drought Characteristics. Developments in Water Science 49, S. 139-198.

# Anhang

## A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten

Zur Festlegung des Schwellenwerts u, welcher der Abgrenzung der Extremwerte des POT-Ansatzes dient, wird iterativ vorgegangen. Es werden der "mean residual life plot", der "fitrange plot" sowie die Anzahl Extremereignisse, die sich aus der Wahl eines Schwellenwertes ergeben, berücksichtigt.

### A.1 Niedrigwasserabfluss

Der Schwellenwert u wurde auf 6.49 $m^3/s$ festgelegt. Das wurde anhand des mean residual life plots (s. Abbildung 15) und unter Berücksichtigung des fitrange plots und der Samplegrösse entschieden. So wird eine Samplegrösse von 268 Elementen erreicht.

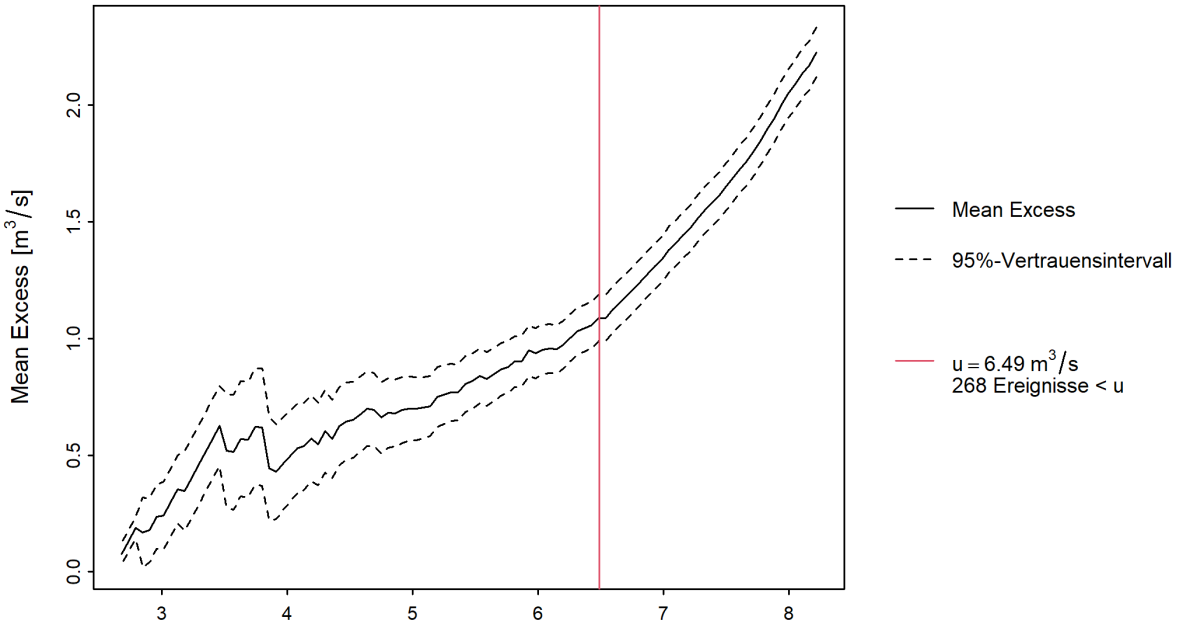


Abbildung 15: "mean residual life plot" für Niedrigwasserabfluss

### A.2 Niedrigwasserdauer

Der Schwellenwert u wurde auf 10.2 Tage festgelegt. Anhand des mean residual life plots (s. Abbildung 16) wurde u zunächst höher gewählt, aber unter Berücksichtigung des fitrange plots angepasst. So wird eine Samplegrösse von 160 Elementen erreicht.

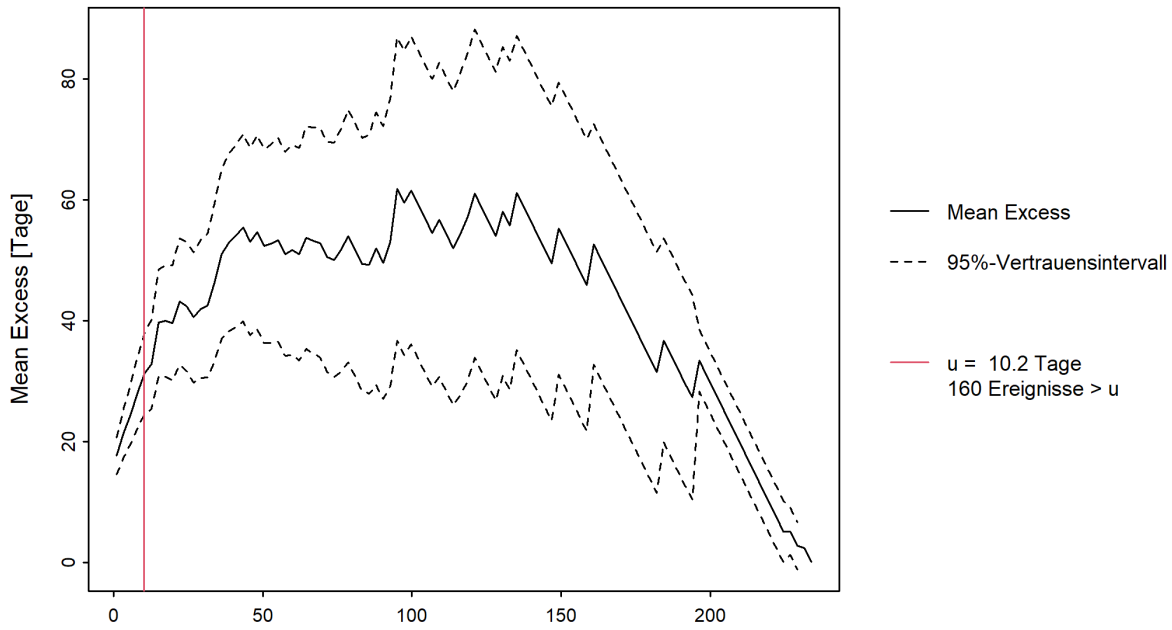


Abbildung 16: "mean residual life plot" für Niedrigwasserdauer

### A.3 Defizitvolumen

Der Schwellenwert u wurde auf 0.6 mm festgelegt. Anhand des mean residual life plots (s. Abbildung 17) wurde u zunächst höher gewählt, aber unter Berücksichtigung des fitrange plots angepasst. So wird eine Samplegrösse von 177 Elementen erreicht.

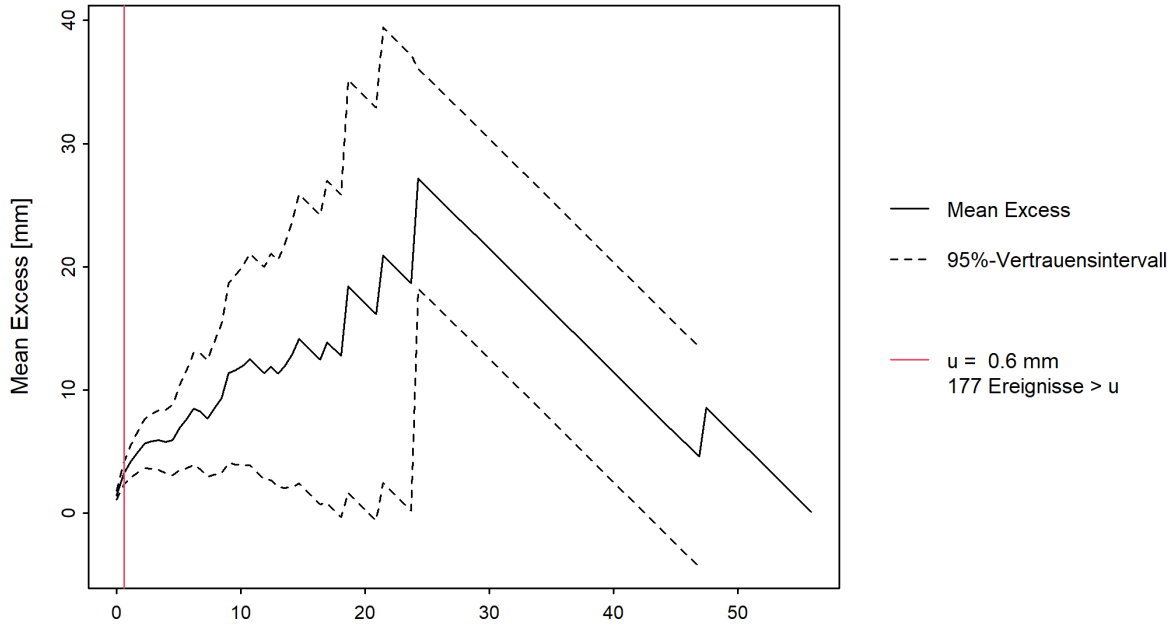


Abbildung 17: "mean residual life plot" für Defizitvolumen

## B Glossar

| | |
|---|---|
| Auswertungsperiode | Zeitlich begrenzter Zeitraum, aus welchem eine Stichprobe der Niedrigwasserabflüsse stammt, die als repräsentativ für die Grundgesamtheit angenommen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der Grundgesamtheit mit dieser Stichprobe annähernd abgebildet 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 $NQ_T$ (bzw. $ND_T$ / $DV_T$) und einer asymptotischen Normalverteilung. (Für technische Details siehe Coles 2001, S. 33.) |
| Devianzstatistik | Mit der Devianzstatistik kann die Anpassungsgüte eines Modells für einen gegebenen Datensatz untersucht werden. |
| DV (Defizitvolumen) | Die Differenz zwischen dem Abfluss eines Niedrigwassertags und dem Schwellenwert $u_{80}$ wird als Abflussdefizit bezeichnet. Die Summe aller Abflussdefizite innerhalb einer Niedrigwasserdauer bildet das Defizitvolumen. Zur besseren Vergleichbarkeit der abgeschätzten Defizitvolumen der verschiedenen Stationen wird das Defizitvolumen in die Einheit Abflusshöhe $h_A[mm]$ umgerechnet. |
| $DV_T$ | Das mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit T bestimmte Defizitvolumen $DV_T$ ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert des Defizitvolumens mit statistisch gesehen T-jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten $DV_T$ gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall). |
| Güte, auch Anpassungs güte oder Anpassung | Mass für die Abweichung eines statistischen Modells (theoretische Werte) und einer Menge von Beobachtungen bzw. Messungen (empirische Daten). |
| 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). |
| M7Q | über sieben Tage gemittelte Abflusswerte. |
| 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. |
| ND (Niedrigwasserdauer) | Die Niedrigwasserdauer wird auf Basis der Niedrigwasserperioden wie folgt bestimmt: Mit dem „pooling together“-Verfahren werden abhängige Niedrigwasserperioden identifiziert und zusammengefügt. Dazu werden Defizit- und Überschussvolumen betrachtet. Kann das Überschussvolumen zwischen zwei Niedrigwasserperioden die Defizitvolumen dieser Niedrigwasserperioden nicht kompensieren, so werden die beiden Niedrigwasserperioden als abhängige Ereignisse identifiziert und zu einer Niedrigwasserdauer zusammengefügt (für Details zum „pooling together“-Verfahren siehe Leitfaden Kapitel 1.3). |
| $ND_T$ | Die mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit T bestimmte Niedrigwasserdauer $ND_T$ ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert der Niedrigwasserdauer mit statistisch gesehen T-jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten $ND_T$ gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall). |

| | |
|---|---|
| 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 $NQ_T$ (bzw. $ND_T$ / $DV_T$) über die Zeit verändern. |
| Niedrigwasserperiode | Die Niedrigwasserperiode ist der Zeitraum, welcher am Tag, an dem der Abfluss den Schwellenwert $u_{80}$ unterschreitet, beginnt und bis zum Tag, bevor der Schwellenwert $u_{80}$ wieder überschritten wird, andauert. |
| Niedrigwassertag | Ein Tag, an welchem der Abfluss den Schwellenwert $u_{80}$ unterschreitet, ist ein Niedrigwassertag. |
| NM7Q | Die Niedrigwasserkenngrösse NM7Q gibt den kleinsten, über 7 aufeinanderfolgende Tage gemittelten Abfluss innerhalb eines Niedrigwasserjahres an, wobei als Datum jeweils der vierte Tag der betrachteten Tage angegeben wird (Bsp: NM7Q vom 1. Mai = Mittelwert vom 28. April - 4. Mai). |
| $NQ_T$ | Der mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit T bestimmte Niedrigwasserabfluss $NQ_T$ ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert der Niedrigwasserabflüsse mit statistisch gesehen T-jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten $NQ_T$ gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall). |
| 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.<br>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 (Blockminima, bzw. Daten ab einem gewissen Schwellwert) am besten reflektieren (siehe Coles 2001). |
| Block-Minimum-Ansatz (BLOCK) | Der Block Minimum Ansatz (BLOCK) definiert den tiefsten Abflusswert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert (siehe Leitfaden Kapitel 3.1 oder Coles 2001, Kapitel 3.1). |
| Peaks-Over-Threshold Ansatz (POT) | Beim Peaks-Over-Threshold-Ansatz (POT) gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen gewissen Schwellenwert $u_{80}$ überschreiten (bei M7Q wenn sie einen Schwellenwert $u_{80}$ unterschreiten). Die verwendeten Daten werden vorgängig von Clustern befreit (siehe Leitfaden Kapitel 3.2, oder Coles 2001, Kapitel 4.2). |
| Probability Plot (P-P-Plot) | Exploratives, grafisches Werkzeug, in dem die Verteilungsfunktionen zweier statistischer Variablen gegeneinander abgetragen werden, um ihre Verteilungen zu vergleichen. Hier: aufsummierte empirische Häufigkeiten vs. die theoretische, kumulierte Verteilungsfunktion. Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonale liegen, desto eher 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 abgetragen werden, um ihre Verteilung zu vergleichen. Hier: beobachtete Abflusswerte (bzw. Niedrigwasserdauern / Defizitvolumen) 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. |
| Verteilungsfunktion | Beschreibt die Grundgesamtheit der Niedrigwasserabflüsse (bzw. Niedrigwasserdauern / Defizitvolumen) eines Einzugsgebiets. Die Verteilungsfunktion gibt die Wahrscheinlichkeiten an, dass ein Niedrigwasserabfluss NQ (bzw. eine Niedrigwasserdauer ND / ein Defizitvolumen DV) in einem Jahr erreicht oder überschritten 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 Niedrigwasserstatistik erfüllen, aber keine, die für alle Stichproben die besten Resultate gewährleistet. |
| Verteilungsparameter | |
| $\lambda$ Ereignisrate (lambda) | Beim POT-Ansatz entspricht die Ereignisrate $\lambda$ der mittleren Anzahl der Unterschreitungen des Schwellenwerts u (bzw. Überschreitungen bei den M7Q) während des Zeitintervalls von einem Jahr. |
| $\kappa$ Formparameter (kappa) | Der Formparameter $\kappa$ steht in direktem Zusammenhang mit der sogenannten „Heaviness of Tail“ der Verteilung. Als Tail wird der Bereich mit den Ausreissern nach oben (bzw. bei den M7Q der Bereich mit den Ausreissern nach unten) bezeichnet. Ist $\kappa$ gross, so werden viele solche Ausreisser angenommen. Bei negativen Werten für $\kappa$ hingegen wird angenommen, dass für die Extremwerte eine obere (bzw. bei M7Q untere) Schranke existiert. |
| $\mu$ Lageparameter (mu) | Beschreibt beim BLOCK-Ansatz die mittlere Lage der Stichprobenelemente (hier: NM7Q) in Bezug auf die Messskala (hier: $m^3/s$ bzw. l/s). |
| $\sigma$ Skalenparameter (sigma) | Mass für die Varianz einer Verteilungsfunktion. |