



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

NIEDRIGWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Aare - Brienzwiler

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) | 9 |
| 2.1.3 | Vergleich der verschiedenen Resultate | 11 |
| 2.2 | Niedrigwasserdauer | 12 |
| 2.3 | Defizitvolumen | 15 |
| 3 | Literatur | 18 |
| Anhang | | 19 |
| A | Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten | 19 |
| A.1 | Niedrigwasserabfluss | 19 |
| A.2 | Niedrigwasserdauer | 20 |
| A.3 | Defizitvolumen | 20 |
| B | Glossar | 21 |

1 Datengrundlage

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

| Vorhandene Daten | seit | bis |
|----------------------|------------|------------|
| Digitale Tagesmittel | 01.01.1905 | 31.12.2020 |

Ein Limnigraph wurde am 13. März 1915 in Betrieb genommen.

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

| Abflussverlauf | Beschreibung |
|--|--|
| Abflussregimetyp | Nicht eindeutig bestimmbar: Erhöhter Abfluss im Frühling und Sommer, geringer Abfluss im Winter. |
| Ausprägung der Saisonalität Beeinflussung | In den Monatsminima der M7Q deutlich zu erkennen (Abbildung 2). Beeinflussung durch mehrere Kraftwerke und Stauseen: KW Grimsel 1 (1954 u. 1974), KW Handeck 1 - 3 (1932, 1950, 1976), KW Innertkirchen 1 u. 2 (1943 u. 1967), KW Fuhren (1961). Grimselsee 100 Mio. m ³ (1932), Oberaarsee 64 Mio. m ³ (1953), Räterichsbodensee 26 Mio. m ³ (1950). |

Aufgrund des zeitlichen Auftretens der Niedrigwasserperioden (vgl. Abbildung 1) wird der Juni als Startmonat für das Niedrigwasserjahr der Station Aare - Brienzerwiler gewählt. Entsprechend dauert ein Niedrigwasserjahr vom 01.06. bis zum 31.05. Es befinden sich keine Niedrigwasserperioden in zwei verschiedenen Niedrigwasserjahren.

Die kleinsten Werte der monatlichen Minima der M7Q treten mehrheitlich in den Monaten Oktober bis Februar auf (Abbildung 2). In der Zeitreihe der monatlichen Minima sieht man, dass die Werte ab den 1930er-Jahren erkennbar höher als davor werden (Abbildung 3). Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass Niedrigwasser von kurzer Dauer ab den 1930er-Jahren zunehmen, jene von längerer Dauer hingegen etwas seltener werden. Bei der Zeitreihe der Defizitvolumen (Abbildung 5) ist ebenfalls eine Zunahme der kleinen und eine Abnahme der grössten Ereignisse ab den 1930er-Jahren erkennbar.

Die NM7Q werden basierend auf den Abflusstagesmittelwerten der Niedrigwasserjahre bestimmt und bewegen sich in der Beobachtungsperiode zwischen 3.19 und 17.1 m³/s (Abbildung 6).

Die Bruchpunktanalyse der NM7Q ergibt drei signifikante Bruchpunkte 1932, 1950 und 1989. Aufgrund der Inbetriebnahme von Kraftwerken und Speicherseen wird das Jahr 1955 als Beginn der Analyseperiode gewählt. Dieses Jahr markiert den Zeitpunkt nach der Inbetriebnahme des Grimsel-KW sowie des Oberaarsees. Die Auswertungsperiode umfasst somit für alle Kenngrössen somit die Zeitspanne vom 01.06.1955 bis zum 31.05.2020. Dies entspricht den Niedrigwasserjahren 1955 bis 2019.

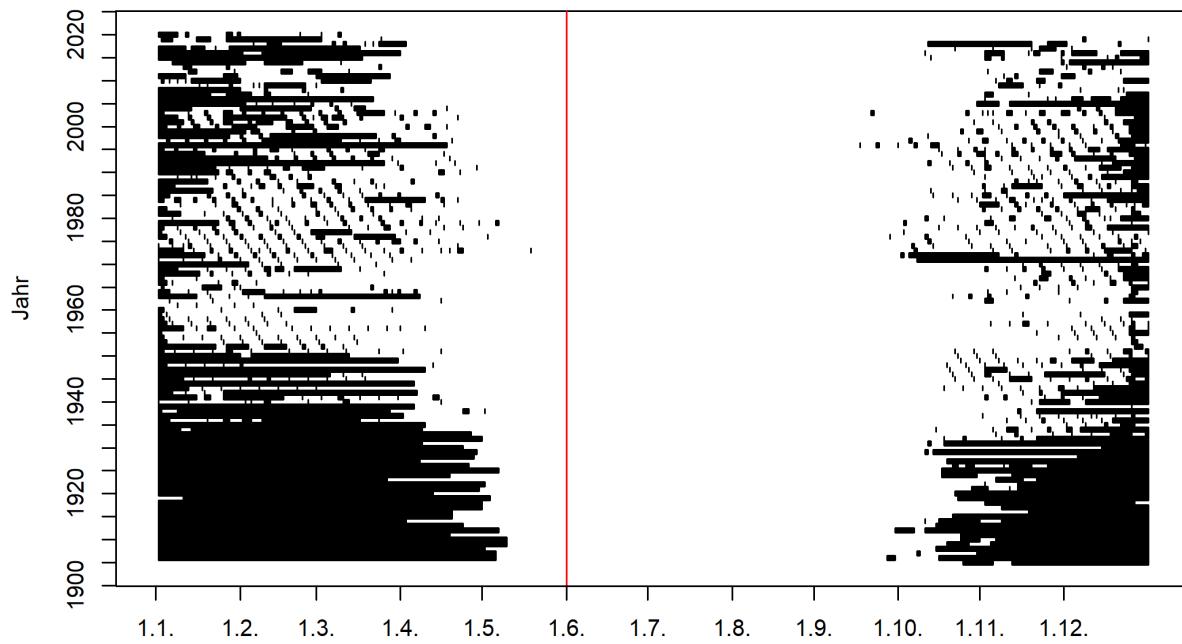


Abbildung 1: Zeitliches Auftreten der Niedrigwasserperioden im Jahresverlauf (01.06.1905 - 31.05.2020) und Startmonat des Niedrigwasserjahres (rote Linie)¹

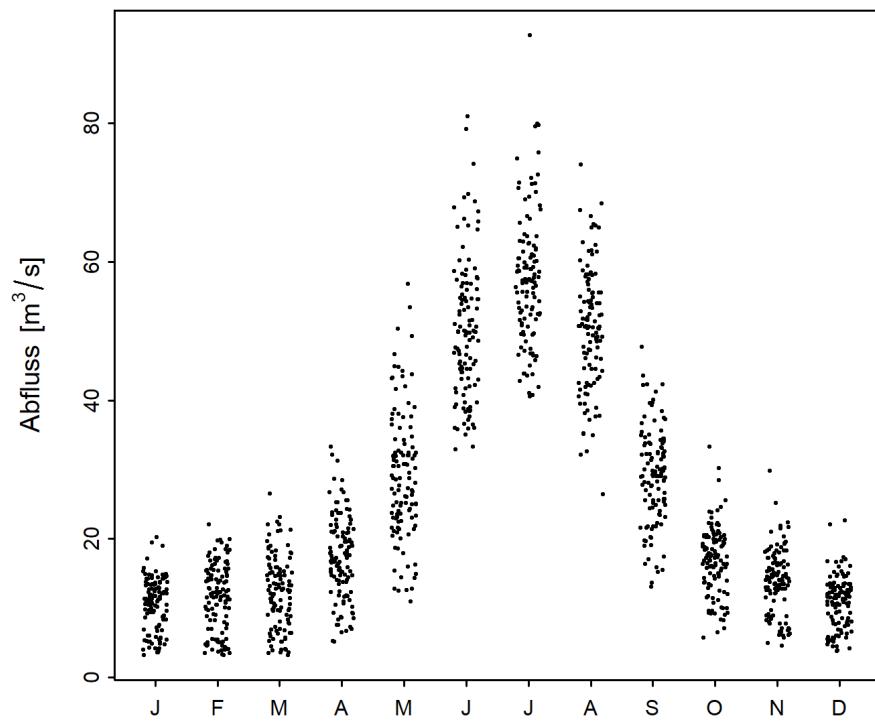


Abbildung 2: Saisonaler Verlauf der monatlichen Minima der M7Q [m³/s] (01.06.1905 - 31.05.2020)

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

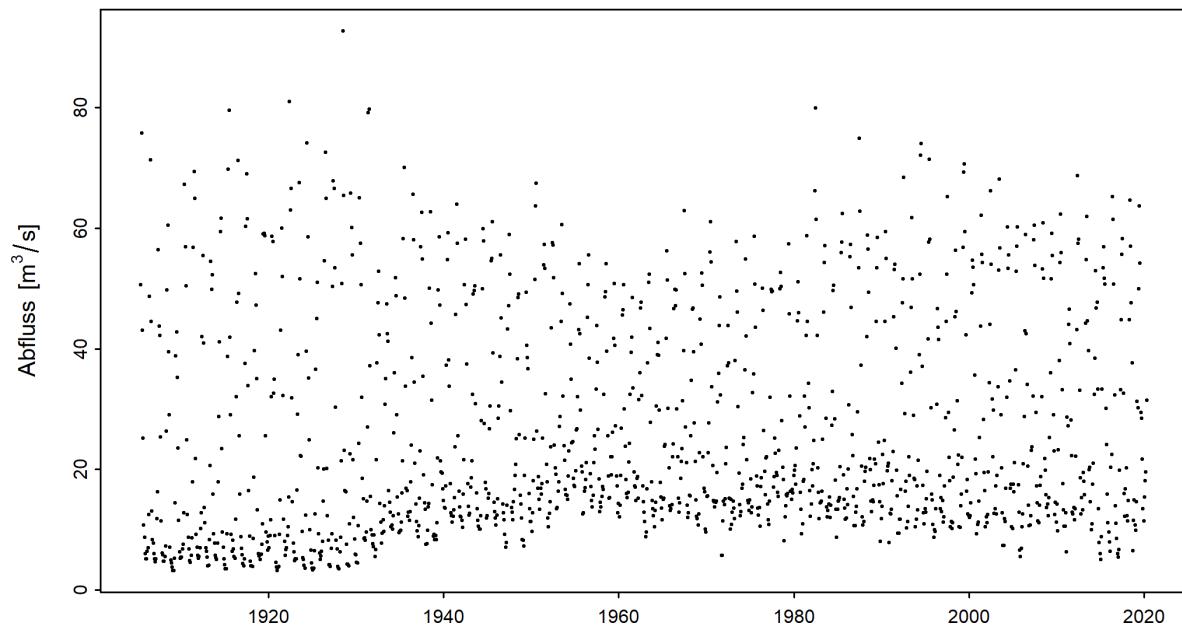


Abbildung 3: Zeitreihe der monatlichen Minima der M7Q [m^3/s] (01.06.1905 - 31.05.2020)

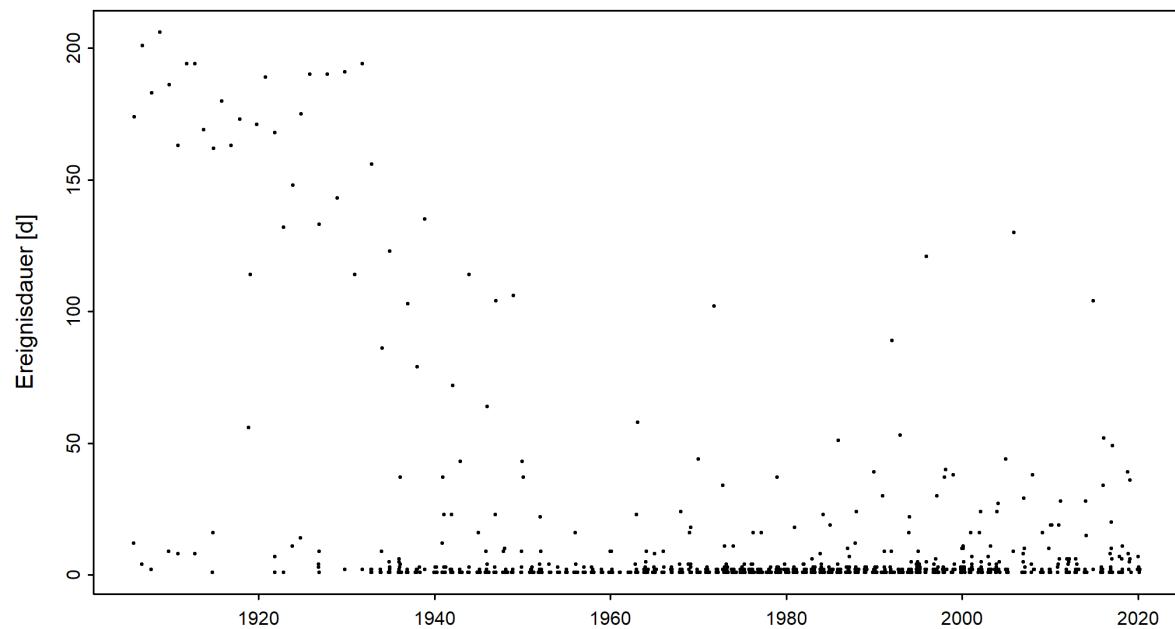


Abbildung 4: Zeitreihe der Niedrigwasserdauern [d] (01.06.1905 - 31.05.2020)

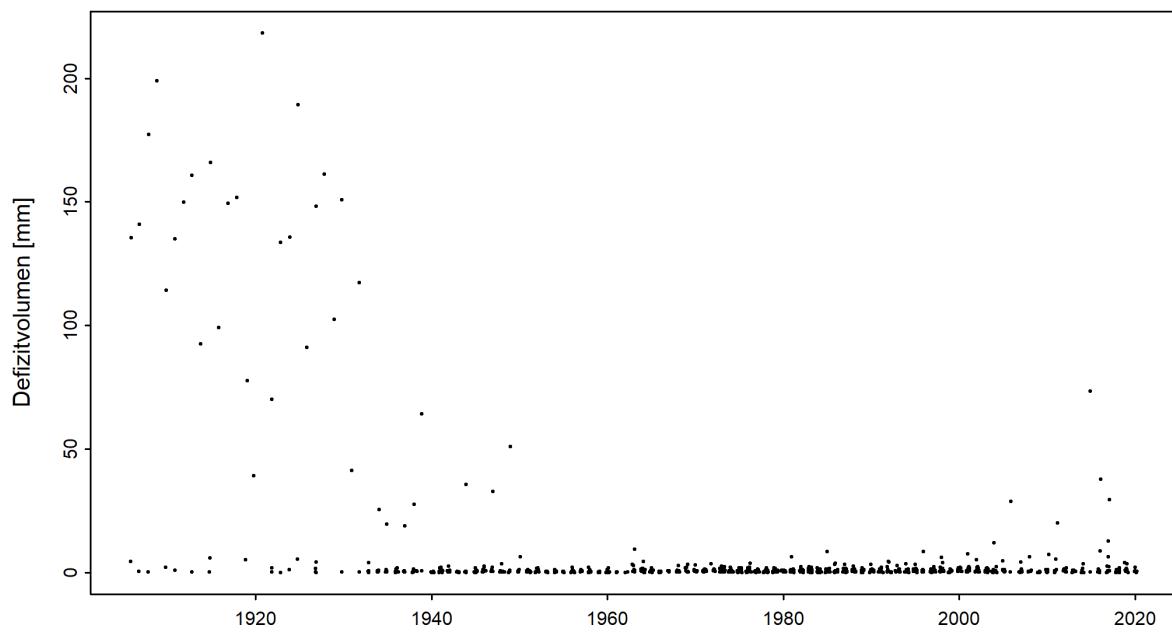


Abbildung 5: Zeitreihe der Defizitvolumen [mm] (01.06.1905 - 31.05.2020)

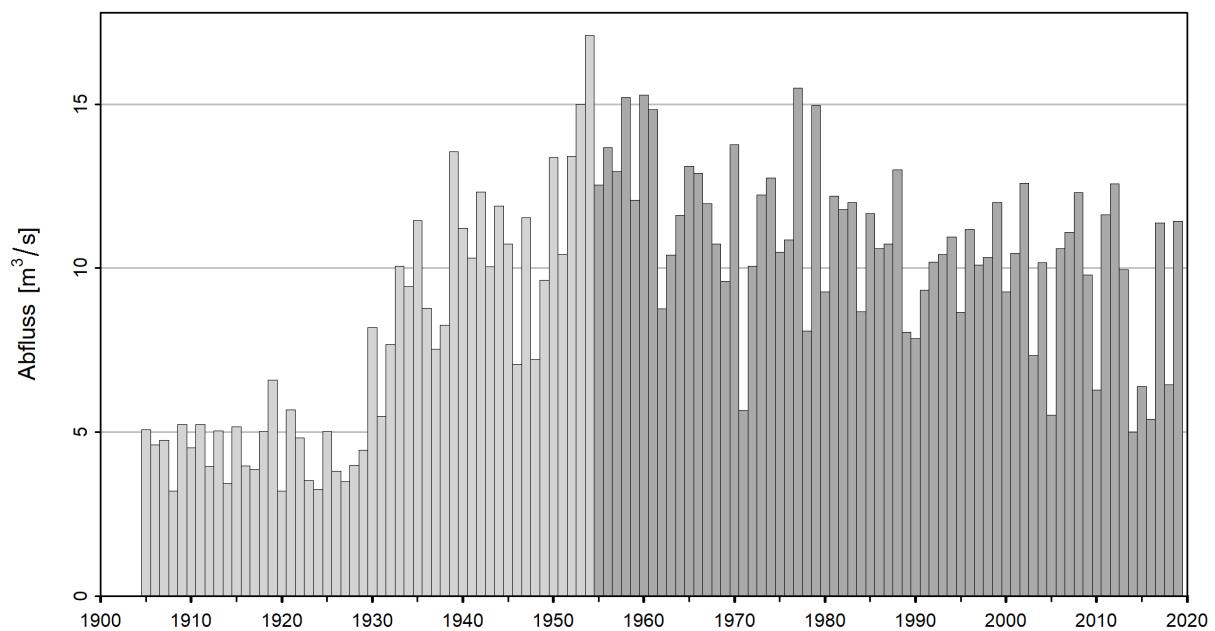


Abbildung 6: Zeitreihe der NM7Q [m^3/s] (01.06.1905 - 31.05.2020), hellgrau: nicht verwendete NM7Q, dunkelgrau: verwendete NM7Q

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) | μ Lageparameter | NM7Q |
| | σ Skalenparameter | |
| | κ Formparameter | |
| Peaks Over Threshold (POT) | λ Ereignisrate | M7Q / Niedrigwasserdauern / Defizitvolumen |
| | σ Skalenparameter ² | |
| | 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 | $\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa, i = 0 \text{ für } t < t_0, i = 1 \text{ für } t \geq t_0$ | 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 | $\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa, i = 0 \text{ für } t < t_0, i = 1 \text{ für } t \geq t_0$ | 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.

²Der Skalenparameter σ des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem σ 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 $5.01 \text{ m}^3/\text{s}$ (09.02.2015).

Die Regularitätsbedingungen werden aufgrund des besonders hohen NM7Q-Wert im Jahr XXXX verletzt. Die Berechnung der Maximum-Likelihood-Schätzer ist möglich, allerdings haben sie nicht die standard-asymptotischen Eigenschaften.

Für die Auswertungsperiode (1955-2019) zeigt sich eine signifikante Verbesserung des Modells bei der Verwendung der nicht-stationären Variante mul. Daher wird anstelle der stationären Modellvariante die nicht-stationäre Variante mul präsentiert.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Anzahl Werte n | Lageparameter $\hat{\mu}^3$ | | Skalenparameter $\hat{\sigma}$ | Formparameter $\hat{\kappa}$ |
|----------------|-----------------------------|-------|--------------------------------|------------------------------|
| | a_1 | a_2 | | |
| 65 | -13.57 | 0.06 | 1.97 | -0.1608 |

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

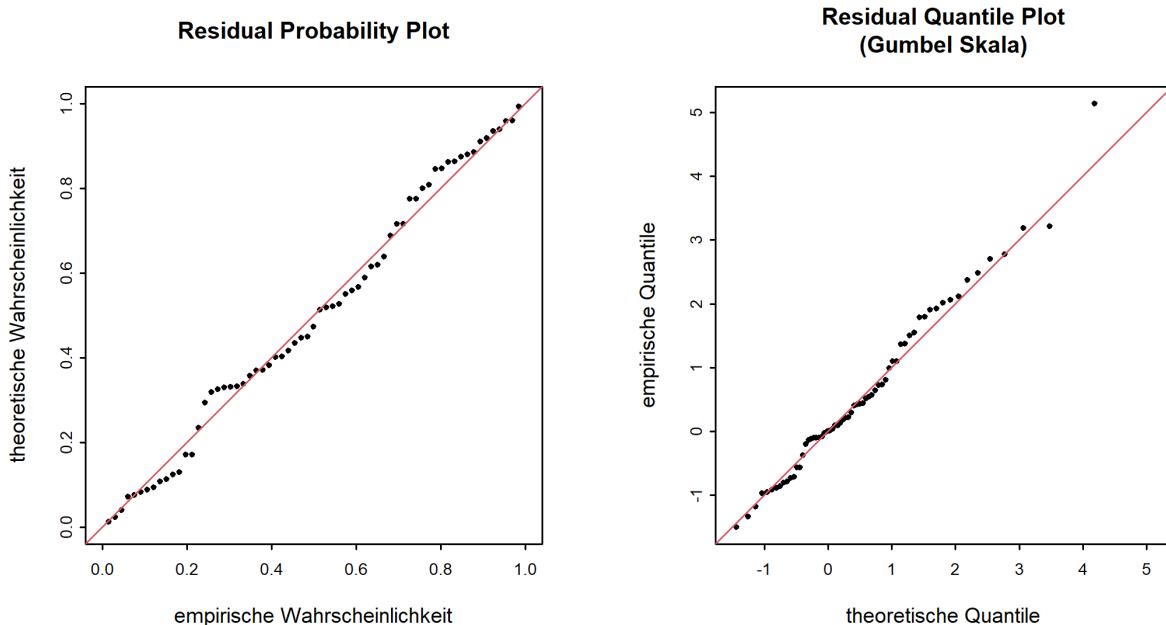


Abbildung 7: Diagnostikplots der Modellvariante "mul" des BLOCK-Ansatzes
(01.06.1955 - 31.05.2020)

³ $\hat{\mu} = a_1 + a_2 * t$ (s. Tabelle 1)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 7):

| Kriterien | Bewertung ⁴ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Anpassung linker Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | mittel | Mittlere Streuung Werte |

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2019) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem nicht-stationären Modell mul des BLOCK-Ansatzes über die Auswertungsperiode 01.06.1955 - 31.05.2020 (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 | 7.88 | 8.91 | 9.94 |
| NQ ₁₀ | 4.73 | 5.89 | 7.05 |
| NQ ₃₀ | 3.02 | 4.47 | 5.92 |
| NQ ₁₀₀ | 1.19 | 3.21 | 5.22 |
| NQ ₃₀₀ | <0 | 2.26 | 4.94 |

⁴Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 4.3

2.1.2 Peaks Over Threshold Ansatz (POT)

Für den Peaks over Threshold Ansatz (POT) werden die M7Q ab dem 01.06.1955 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 $17.11 \text{ m}^3/\text{s}$ unterschreitet, liegt ein Niedrigwasser vor.

Durch ein Declustering wird sichergestellt, dass zwei Niedrigwasserereignisse, bei denen das dazwischenliegende Überschussvolumen das vorangegangene Defizitvolumen egalisierten 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).

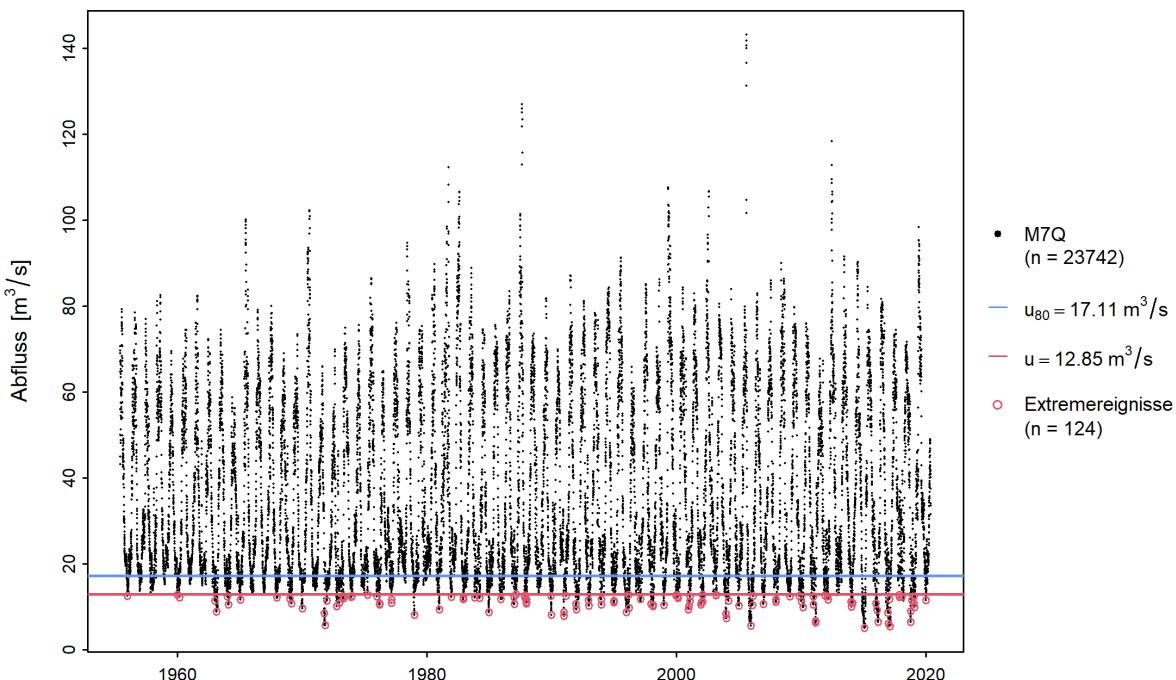


Abbildung 8: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1955-2019) zeigt sich eine signifikante Verbesserung des Modells bei Verwendung der nicht-stationären Variante sigl. Daher wird anstelle der stationären Modellvariante die nicht-stationäre Variante sigl präsentiert.

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

| Schwellenwert | Anzahl Werte | Skalenparameter $\hat{\sigma}^5$ | Formparameter | |
|------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------|----------------|
| u | n | b_1 | b_2 | $\hat{\kappa}$ |
| $12.85 \text{ m}^3/\text{s}$ | 124 | 1.75 | 0.02 | -0.2212 |

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

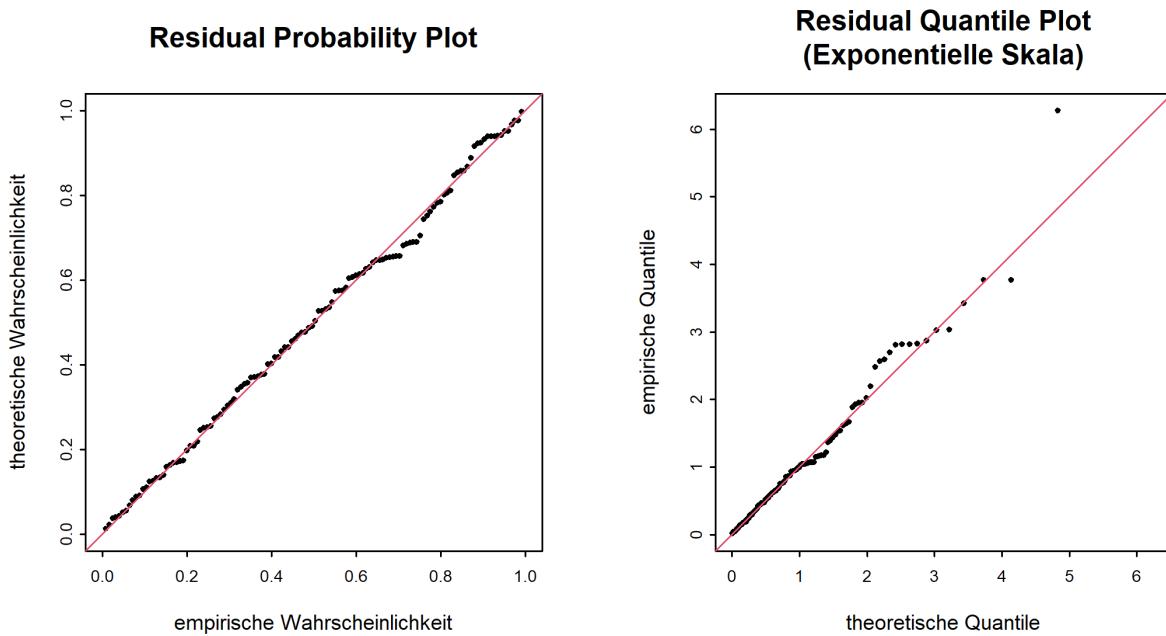


Abbildung 9: Diagnostikplots der Modellvariante “sigl” des POT-Ansatzes
(01.06.1955 - 31.05.2020)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 9):

| Kriterien | Bewertung ⁶ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Anpassung linker Bereich | gut | - |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | gut-mittel | Leichte Streuung Werte |

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2019) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem nicht-stationären Modell sigl des POT-Ansatzes über die Auswertungsperiode 01.06.1955 - 31.05.2020 (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 | 8.32 | 9.17 | 10.0 |
| NQ ₁₀ | 4.4 | 5.97 | 7.53 |
| NQ ₃₀ | 2.18 | 4.35 | 6.52 |
| NQ ₁₀₀ | 0.07 | 2.98 | 5.89 |
| NQ ₃₀₀ | <0 | 2.01 | 5.61 |

⁵ $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 * t$ (s. Tabelle 1)

⁶Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 4.3

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 weist der POT-Ansatz einen etwas grösseren Abfluss als der BLOCK-Ansatz auf. Bei NQ_{10} und NQ_{30} kommen beide Ansätze zu einem sehr ähnlichen Ergebnis. Bei NQ_{100} und NQ_{300} weist der BLOCK-Ansatz einen marginal höheren Abfluss auf. Die Konfidenzintervalle der beiden Ansätze überschneiden sich zu grossen Teilen.

Differenzen der Resultate der berechneten Konfidenzintervalle der beiden parametrischen Ansätze:

Die Konfidenzintervalle der Ergebnisse des BLOCK-Ansatzes werden mit steigenden Wiederkehrperioden konstant grösser. Das Gleiche gilt für die POT-Konfidenzintervalle, die auch mit steigenden Wiederkehrperioden zunehmen. Für alle Wiederkehrperioden, abgesehen vom NQ_2 , sind die POT-Konfidenzintervalle grösser als die des BLOCK-Ansatzes. Es soll beachtet werden, dass wenn das untere Limit des Konfidenzintervalls kleiner als 0 geschätzt wird, der Wert in der Grafik auf 0 gesetzt wird. Dies ist hier der Fall beim NQ_{100} und dem NQ_{300} .

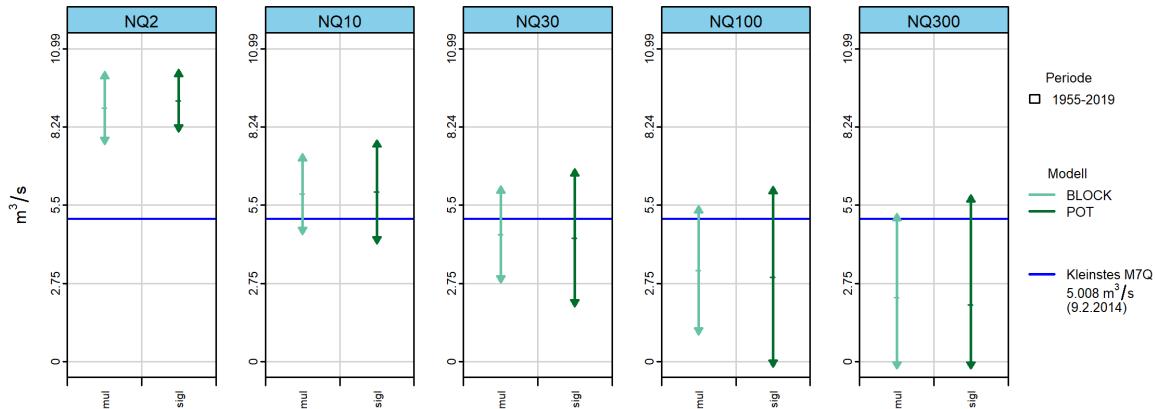


Abbildung 10: NQ_T [m^3/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes

Folgende Tabelle enthält die Beurteilung der Modellgüte für die Auswertungsperiode 1955-2019:

| Verfahren | Modellgüte Diagnostikplots | | | Bemerkung |
|-----------|----------------------------|-------|------------|-------------------------|
| | Links | Mitte | Rechts | |
| BLOCK mul | gut | gut | mittel | Mittlere Streuung Werte |
| POT sigl | gut | gut | gut-mittel | Leichte Streuung Werte |

2.2 Niedrigwasserdauer

An allen Tagen, an denen der Abfluss-Tagesmittelwert den Schwellenwert u_{80} (80%-Quantil der Abflussdauerkurve) von $17.11 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 207 Tage (07.10.1971 - 30.04.1972).

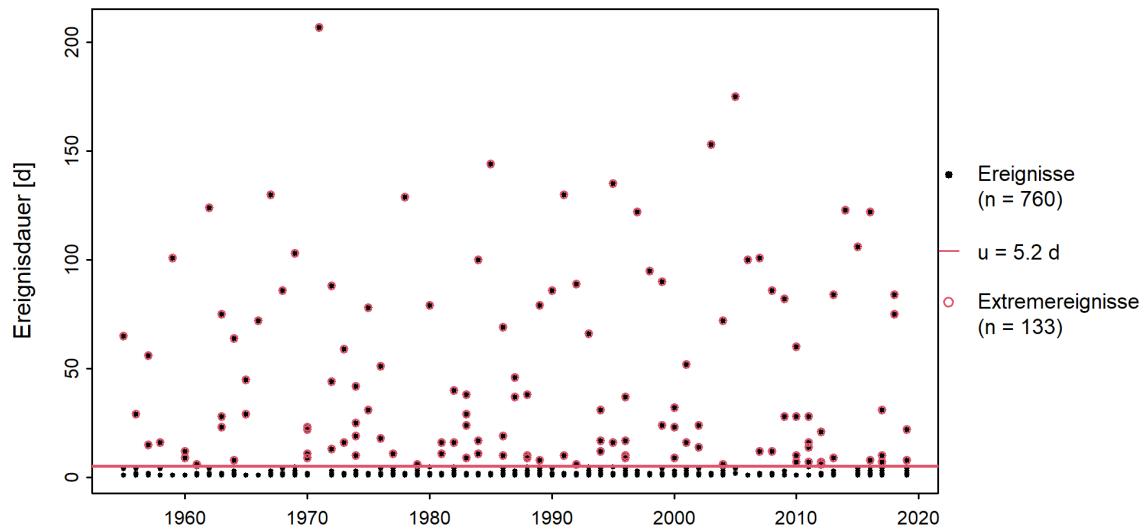


Abbildung 11: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Niedrigwasserdauer-Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1955-2019) 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 $\hat{\kappa}$ |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 15 Tage | 133 | 2.05 | 29.17 | 0.27 |

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

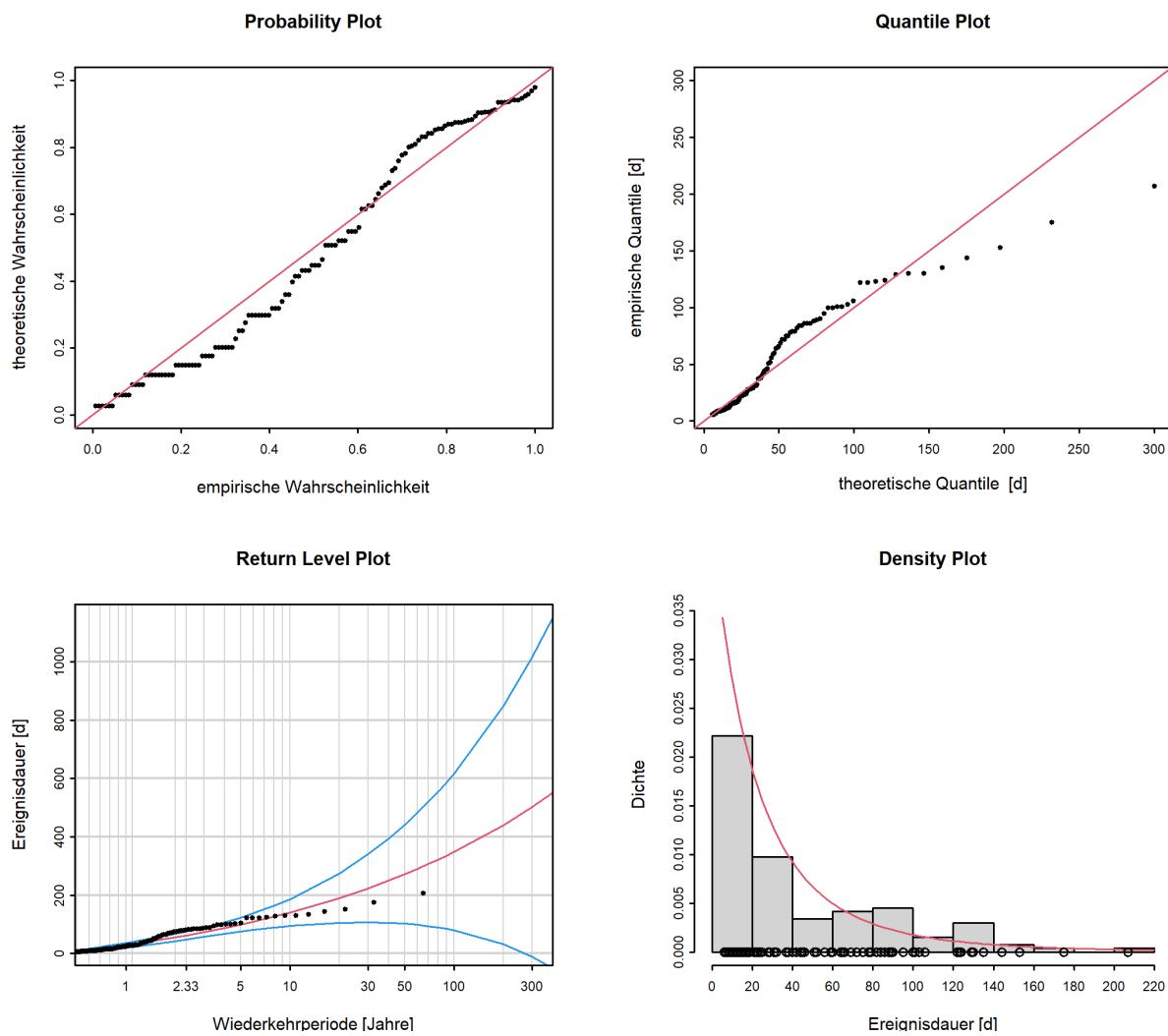


Abbildung 12: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des POT-Ansatzes (01.06.1955 - 31.05.2020)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 12):

| Kriterien | Bewertung ⁷ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Anpassung linker Bereich | gut-mittel | Leichte Streuung Werte |
| Anpassung mittlerer Bereich | mittel-schlecht | Werte weichen systematisch ab |
| Anpassung rechter Bereich | mittel-schlecht | Werte weichen systematisch ab |
| Konfidenzintervall | mittel | - |

⁷ Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Niedrigwasserdauern für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.06.1955 - 31.05.2020 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| ND_T | untere Konfidenzgrenze [d] | Dauer [d] | obere Konfidenzgrenze [d] |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| ND ₂ | 41 | 55 | 70 |
| ND ₁₀ | 88 | 141 | 193 |
| ND ₃₀ | 91 | 224 | 357 |
| ND ₁₀₀ | 41 | 348 | 655 |
| ND ₃₀₀ | <0 | 502 | 1090 |

2.3 Defizitvolumen

An allen Tagen, an denen der Abfluss-Tagesmittelwert den Schwellenwert u_{80} (80%-Quantil der Abflussdauerkurve) von $17.11 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $h_A[\text{mm}]$ gewählt. Diese ist wie folgt definiert:

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

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

Die Einzugsgebietsfläche dieser Station beträgt 555 km^2 .

Das grösste Defizitvolumen der Analyseperiode beträgt 93.03 mm (27.11.2014 - 29.03.2015).

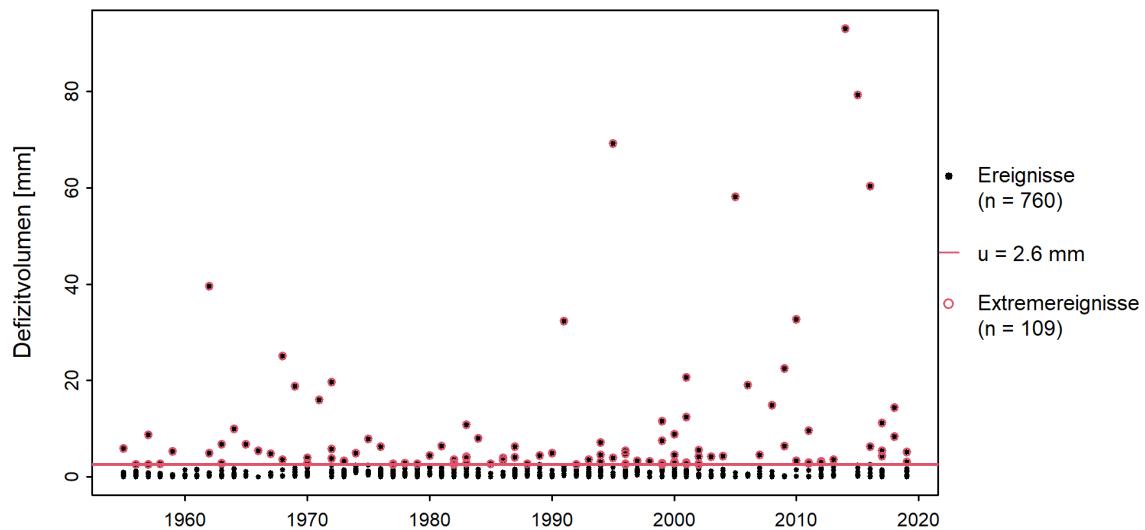


Abbildung 13: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Defizitvolumen-Extremereignisse

Für die Auswertungsperiode (1955-2019) 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 $\hat{\kappa}$ |
|----------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 2.6 mm | 109 | 1.68 | 1.59 | 1.07 |

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

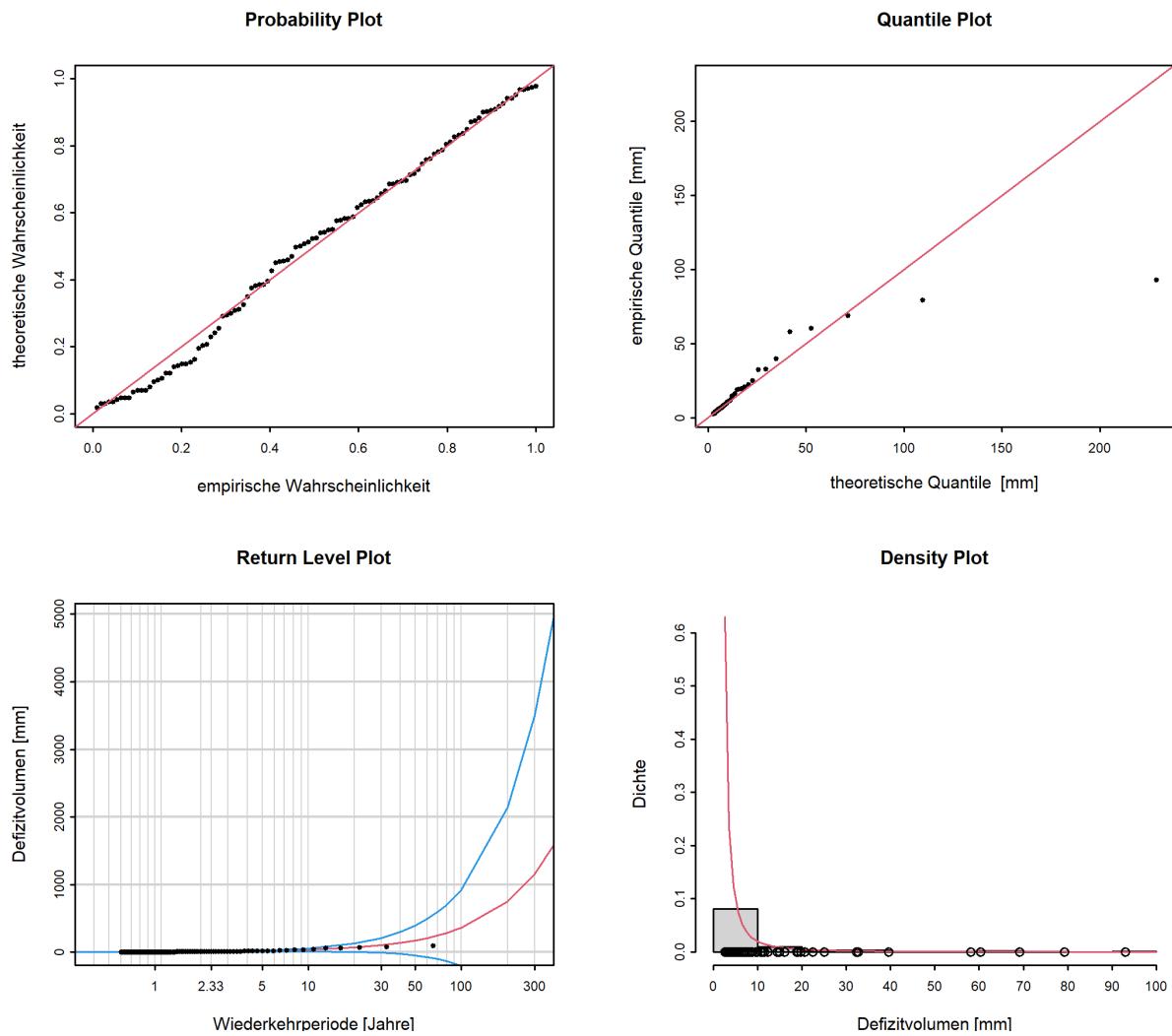


Abbildung 14: Diagnostikplots der Modellvariante "stat" des POT-Ansatzes (01.06.1955 - 31.05.2020)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 14):

| Kriterien | Bewertung ⁸ | Bemerkungen |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Anpassung linker Bereich | gut-mittel | Leichte Streuung Werte |
| Anpassung mittlerer Bereich | gut | - |
| Anpassung rechter Bereich | mittel | Grösste Werte weichen ab |
| Konfidenzintervall | mittel | - |

⁸Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 4.3

Folgende Tabelle enthält die Defizitvolumen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode 01.06.1955 - 31.05.2020 (inkl. Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

| DV_T | untere Konfidenzgrenze [mm] | Defizitvolumen [mm] | obere Konfidenzgrenze [mm] |
|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| DV ₂ | 5 | 7 | 8 |
| DV ₁₀ | 7 | 31 | 56 |
| DV ₃₀ | <0 | 100 | 223 |
| DV ₁₀₀ | <0 | 359 | 1003 |
| DV ₃₀₀ | <0 | 1161 | 3845 |

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 $12.85 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt. Anhand des mean residual life plots (s. Abbildung 15) wurde u zunächst tiefer gewählt, aber unter Berücksichtigung des fitrange plots und der Samplegrösse angepasst. So wird eine Samplegrösse von 124 Elementen erreicht.

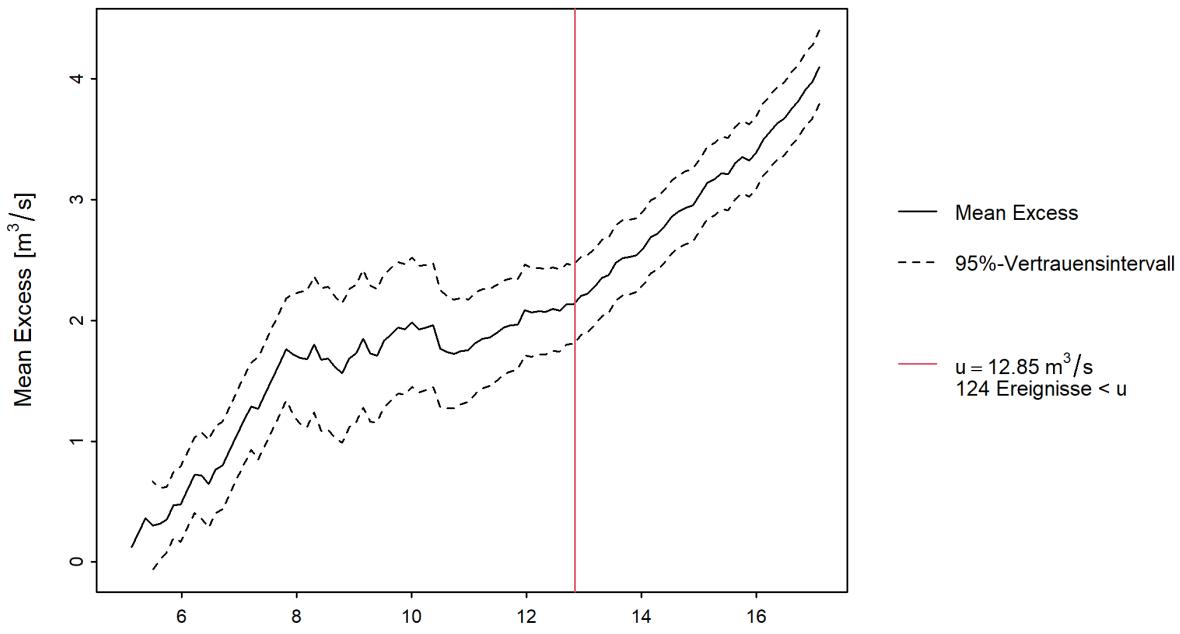


Abbildung 15: “mean residual life plot” für Niedrigwasserabfluss

A.2 Niedrigwasserdauer

Der Schwellenwert u wurde auf 5.2 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 133 Elementen erreicht.

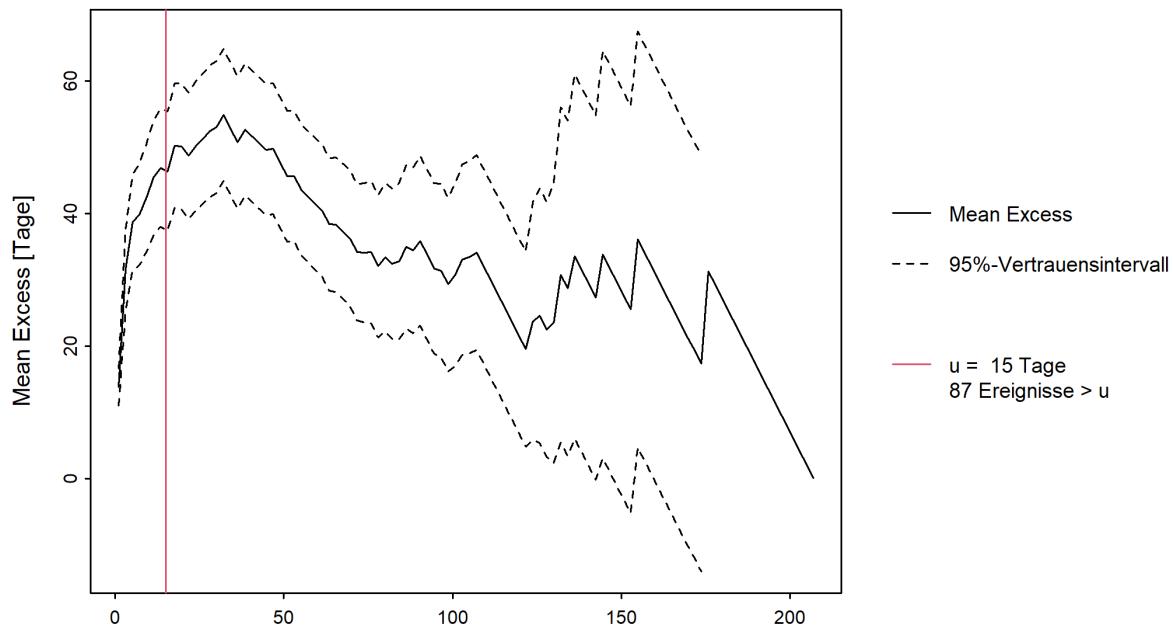


Abbildung 16: "mean residual life plot" für Niedrigwasserdauer

A.3 Defizitvolumen

Der Schwellenwert u wurde auf 2.6 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 109 Elementen erreicht.

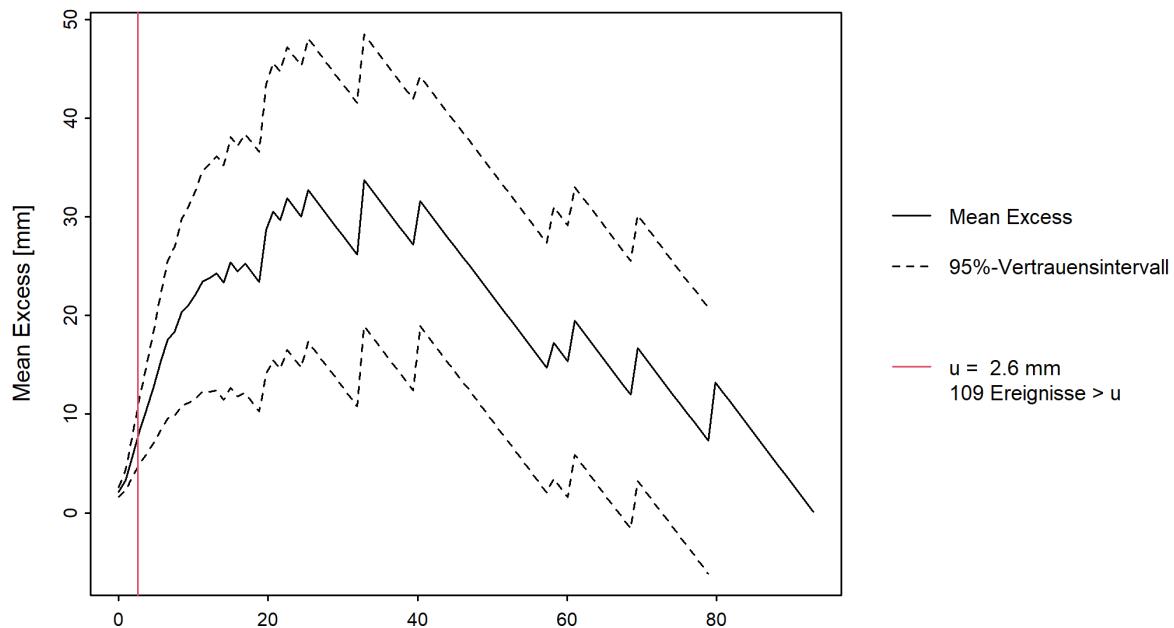


Abbildung 17: "mean residual life plot" für Defizitvolumen

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 NQT (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 Anpassungsgüte 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 | <p>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.</p> <p>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).</p> |
| 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 | |
| λ Ereignisrate (lambda) | Beim POT-Ansatz entspricht die Ereignisrate λ der mittleren Anzahl der Unterschreitungen des Schwellenwerts u (bzw. Überschreitungen bei den M7Q) während des Zeitintervalls von einem Jahr. |
| 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 Ausreisern nach oben (bzw. bei den M7Q der Bereich mit den Ausreisern nach unten) bezeichnet. Ist κ gross, so werden viele solche Ausreisser angenommen. Bei negativen Werten für κ hingegen wird angenommen, dass für die Extremwerte eine obere (bzw. bei M7Q untere) Schranke existiert. |
| μ Lageparameter (mu) | Beschreibt beim BLOCK-Ansatz die mittlere Lage der Stichprobenelemente (hier: NM7Q) in Bezug auf die Messskala (hier: m^3/s bzw. $1/\text{s}$). |
| σ Skalenparameter (sigma) | Mass für die Varianz einer Verteilungsfunktion. |