

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 541

Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngößen

Juli 2022

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 541

Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngößen

Juli 2022

VORSCHAU

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Gesetzgebung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2022

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-96862-221-7 (Print)

978-3-96862-222-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeberin in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Bilder und Tabellen, die keine Quellenangaben aufweisen, sind im Rahmen der Merkblätterstellung als Gemeinschaftsergebnis des DWA-Fachgremiums zustande gekommen. Die Nutzungsrechte obliegen der DWA.

Vorwort

Für die Ermittlung von Niedrigwasserkenngößen und deren statistische Wahrscheinlichkeitsanalyse werden seit mehr als zwei bzw. drei Jahrzehnten die DVWK-Regeln zur Niedrigwasseranalyse 120 (Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasserabflusses, 1983) und 121 (Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits, 1992) herangezogen. Seit dieser Zeit hat sich der Wissensstand im Bereich der Niedrigwasserstatistik weiterentwickelt. Damit ist auch die Notwendigkeit eines breiter angelegten Ansatzes deutlich geworden, sodass nach Prüfung der oben genannten Regeln der Vorschlag zu ihrer Überarbeitung durch die DWA Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ aufgenommen wurde.

Die Überarbeitung der Regeln sollte entsprechend dem Stand der Technik praxisorientiert und anwenderbezogen erfolgen. Um eine praxisbezogene Einschätzung für die Notwendigkeit dieses Vorhabens zu erhalten und um fachliche Hinweise bei der Überarbeitung einfließen lassen zu können, wurde zu Beginn der Bearbeitung ein Fragebogen zu den drei Themenbereichen (1) Relevanz der Thematik Niedrigwasser, (2) Anwendung der Regeln bei praxisnahen Anfragen und (3) notwendige Erweiterungen konzipiert und an die wasserwirtschaftliche Praxis in Deutschland, Österreich und der Schweiz versandt. Die Auswertung der Fragebögen zeigte, dass die Mehrzahl der befragten Institutionen eine Überarbeitung und Vereinheitlichung der DVWK-Regeln 120 und 121 entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik als notwendig erachtet.

Änderungen

Gegenüber den DVWK-Regeln 120 (1983) und 121 (1992) wurden im vorliegenden Merkblatt DWA-M 541 folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verstärkte Auseinandersetzung mit der Aufbereitung, Prüfung und Plausibilisierung der Daten;
- b) Erweiterung um die Analyse von Dauerlinien und daraus abgeleiteten Quantilen;
- c) Erweiterung der Auswahl der für die Wahrscheinlichkeitsanalyse nutzbaren theoretischen Verteilungsfunktionen und Parameterschätzverfahren;
- d) Ablösung des indirekten Verfahrens zur statistischen Analyse von Niedrigwasserdauern und Abflussdefiziten durch ein direktes Verfahren;
- e) Aufnahme der instationären Wahrscheinlichkeitsanalyse;
- f) Kurzdarstellung unterschiedlicher Statistikprogramme für die wasserwirtschaftliche Praxis.

Im Ergebnis eines intensiven Arbeitsprozesses ist nun eine einheitliche Richtlinie für die Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen, -dauern und -defiziten entstanden, in der sowohl das Spektrum der bisher genutzten Kenngößen erweitert wurde (siehe Abschnitt 5) als auch neue Methoden der Wahrscheinlichkeitsanalyse (siehe Abschnitt 6 zu Niedrigwasserabflüssen, Abschnitt 7 zu Unterschreitungsdauern und Abflussdefiziten und Abschnitt 8 zu instationären Zeitreihen) eingeflossen sind.

Die theoretischen Ausführungen zur Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserkenngößen wurden, um Anschaulichkeit und Nachvollziehbarkeit zu erhöhen, ausführlich mit nachfolgend genannten fünf Beispielen untersetzt, die im Anhang A aufgeführt werden:

A.1

Erkennen und Quantifizierung menschlicher und klimatischer Einflüsse auf das Niedrigwasser durch Mehrfachregression der Zeitreihen am Beispiel des Pegels Bienenbüttel/Ilmenau

A.2

Betrachtungen zu L-Momenten am Beispiel der *NM7Q*-Serie des Pegels Donauwörth/Donau

A.3

Ermittlung von Quantilen der Niedrigwasserkenngößen ΣD und ΣV für den Pegel Donauwörth/Donau von 1963 bis 2013

A.4

Ermittlung von Quantilen der Niedrigwasserkenngrößen $maxD$ und $maxV$ für den Pegel Donauwörth/Donau von 1963 bis 2013

A.5

Aspekte der Serienbildung für Untersuchungen zur Niedrigwasserdauer und zum Niedrigwasserdefizit am Beispiel des Pegels Borstendorf/Flöha

Das vorliegende Merkblatt soll eine Hilfestellung bei Fragen zur Ermittlung von Niedrigwasserkenngrößen und deren Wahrscheinlichkeitsanalyse sein und dazu führen, dass die hier vorgestellten Methoden zunehmend stärker zur Anwendung kommen.

In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Regel zur Wasserwirtschaft DVWK-Regel 120 (1983)

Regel zur Wasserwirtschaft DVWK-Regel 121 (1992)

Klimakennung

Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung ausgezeichnet. Über diese Klimakennung sollen Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Klimaschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

KA2 = Das Merkblatt hat direkten Bezug zur Klimaanpassung

KS1 = Das Merkblatt hat indirekten Bezug zu Klimaschutzparametern

Einzelheiten zur Ableitung der Bewertungskriterien sind im „Leitfaden zur Einführung der Klimakennung im DWA-Regelwerk“ erläutert, der online unter www.dwa.de/klimakennung verfügbar ist.

Verfasserinnen und Verfasser

Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ im Auftrag des DWA-Hauptausschusses „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“ (HA HW) im Fachausschuss HW-3 „Wasserbewirtschaftung“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ gehören folgende Mitglieder an:

EBNER VON ESCHENBACH, Anna-Dorothea	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (Sprecherin)
HELMS, Martin	Dr.-Ing., Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe; Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
KLEINHANS, Alexander	Dr. rer. nat., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof
LAAHA, Gregor	Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn., Universität für Bodenkultur, Wien
SCHÜMBERG, Sabine	Dipl.-Hydr., Brandenburgische Technische Universität Cott- bus-Senftenberg
WALTHER, Jörg	Dr. rer. nat., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirt- schaft und Geologie, Dresden (stellv. Sprecher)
WILLEMS, Winfried	Dr. rer. nat., Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirt- schaft und Geoinformatik, Ottobrunn

Wir danken Herrn Prof. Dr.-Ing. Hartmut Wittenberg (Leuphana Universität Lüneburg) für die Bearbeitung des Beispiels A.1 „Erkennen und Quantifizierung menschlicher und klimatischer Einflüsse auf das Niedrigwasser durch Mehrfachregression der Zeitreihen am Beispiel des Pegels Bienenbüttel/Ilmenau“.

Dem DWA-Fachausschuss HW-3 „Wasserbewirtschaftung“ gehören folgende Mitglieder an:

WERNECKE, Gabriele	Prof. Dr. rer. nat., Koblenz (Obfrau)
CREMER, Nils	Dr. rer. nat., Bergheim
EBNER VON ESCHENBACH, Anna-Dorothea	Dr.-Ing., Koblenz
HOMANN, Christof	Dr.-Ing., Düren
Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle	
BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden

Inhalt

Vorwort	3
Verfasserinnen und Verfasser	5
Bilderverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Hinweis für die Benutzung	11
1 Anwendungsbereich	11
2 Symbole und Abkürzungen	12
3 Grundlagen	15
3.1 Problemstellung	15
3.2 Einflussgrößen auf Niedrigwasser	16
3.2.1 Natürliche Einflussgrößen	16
3.2.2 Anthropogene Einflussgrößen	17
3.3 Niedrigwasser und wasserwirtschaftliche Nutzung	18
4 Verwendbarkeit der Abflussdaten für die Niedrigwasseranalyse	20
4.1 Grundlegendes	20
4.2 Umgang mit Fehlwerten	21
4.3 Konsistenz	22
4.4 Stationarität und Homogenität	23
5 Niedrigwasserkenngößen	25
5.1 Wahl des Zeitabschnitts	25
5.2 Niedrigwasserabfluss	25
5.3 Unterschreitungsdauer und Abflussdefizit	27
5.4 Dauerlinien und daraus abgeleitete Quantile	28
6 Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen	34
6.1 Verfahrensablauf	34
6.2 Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsanalyse	35
6.3 Bildung und Bewertung von Extremwertserien	37
6.3.1 Bildung von Extremwertserien	37
6.3.2 Bewertung von Extremwertserien im Hinblick auf die Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsanalyse	38
6.4 Verteilungsfunktionen	42
6.5 Schätzung der Parameter der Verteilungsfunktion	43
6.6 Ermittlung von Quantilen und Konfidenzgrenzen	46
6.6.1 Quantile	46
6.6.2 Konfidenzgrenzen	47
6.7 Sonderfälle der stationären Wahrscheinlichkeitsanalyse	50
6.7.1 Bedingter Wahrscheinlichkeitsansatz für Serien mit Nullwerten	50
6.7.2 Gemischte Wahrscheinlichkeitsverteilung	51

7	Wahrscheinlichkeitsanalyse von Unterschreitungsdauern und Abflussdefiziten	53
7.1	Verfahrensablauf	53
7.2	<i>Pooling</i>	56
7.2.1	Grundlegendes zum <i>Pooling</i>	56
7.2.2	<i>Pooling</i> durch gleitende Mittelwerte (MA)	57
7.2.3	<i>Pooling</i> mit dem imaginären Speicher-Ansatz (SPA)	58
7.3	Hinweise zur Bildung von Serien	59
7.4	Bewertung von Serien der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits im Hinblick auf die Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsanalyse	60
7.5	Anpassung von Verteilungsfunktionen, Ermittlung von Quantilen und Konfidenzgrenzen	60
8	Instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse	61
8.1	Einleitung	61
8.2	Trendtests bei extremwertverteilten Daten	61
8.3	Instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse	64
8.4	Segmentierte instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse	65
8.5	Zeitlich gleitende Extremwertanalyse	66
8.6	Anwendungsbeispiele	66
Anhang A	Beispiele	69
A.1	Erkennung und Quantifizierung menschlicher und klimatischer Einflüsse auf das Niedrigwasser durch Mehrfachregression der Zeitreihen	69
A.2	Betrachtungen zu L-Momenten am Beispiel der <i>NM7Q</i> -Serie des Pegels Donauwörth/Donau	72
A.3	Ermittlung von Quantilen der Niedrigwasserkenngößen $\sum D$ und $\sum V$ für den Pegel Donauwörth 1963-2013	74
A.4	Ermittlung von Quantilen der Niedrigwasserkenngößen <i>maxD</i> und <i>maxV</i> für den Pegel Donauwörth 1963-2013	76
A.5	Aspekte der Serienbildung für Untersuchungen zur Niedrigwasserdauer und zum Niedrigwasserdefizit	83
Anhang B	Statistische Kenngrößen und Verteilungsfunktionen	96
B.1	Stichprobenmomente	97
B.2	Statistische Kennwerte	98
B.3	Allgemeine Extremwertverteilung	99
B.4	Gumbel-Verteilung	100
B.5	Dreiparametrische Weibull-Verteilung	101
B.6	Verallgemeinerte Paretoverteilung	103
B.7	Exponentialverteilung	104
B.8	Dreiparametrische logarithmische Normalverteilung	105
B.9	Dreiparametrische Pearson-III-Verteilung	106
Anhang C	Software	107
	Quellen und Literaturhinweise	108

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Ermittlung von Niedrigwasserkenngößen aus der Abflussganglinie an einem Beispielpegel	19
Bild 2:	Ermittlung der Niedrigwasserkenngöße $NMxQ$ aus der Abflussganglinie	26
Bild 3:	Ermittlung der Niedrigwasserkenngößen Unterschreitungsdauer und Abflussdefizit aus der Abflussganglinie	28
Bild 4:	Dauerlinien der täglichen Abflüsse für den Pegel Leipzig-Thekla/Parthe	31
Bild 5:	Mittlere Dauerlinien der Unter- und Überschreitung für den Pegel Leipzig-Thekla/Parthe	32
Bild 6:	Verfahrensablauf für die Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen	34
Bild 7:	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(x)$ und die dem Quantil x zugeordnete Unterschreitungswahrscheinlichkeit $F(x)$	35
Bild 8:	Wahrscheinlichkeitsdiagramm der jährlichen $NM7Q$ Werte für den Pegel Donauwörth	36
Bild 9:	Serie des $NM7Q$ am Pegel Borstendorf (Flöha) für unterschiedliche Bezugszeiträume BZ	37
Bild 10:	Serie der jährlichen $NM7Q$ Werte für den Pegel Donauwörth (Donau)	39
Bild 11:	Serie der jährlichen $NM7Q$ Werte für den Pegel Hof (Sächsische Saale) Trend oder Sprung in den $NM7Q$ Werten ersichtlich	39
Bild 12:	Originale und homogenisierte Serie der jährlichen $NM7Q$ Werte für den Pegel Hof ...	41
Bild 13:	Einfluss der Parameterschätzverfahren auf das Verteilungsmodell der AEV für $NM7Q$ Werte des Pegels Donauwörth (Donau), berechnet mit negativ gesetzten Stichprobenelementen	46
Bild 14:	Pegel Andernach / Rhein: $NM7Q$ -Serie und Quantilschätzung mittels der Allgemeinen Extremwertverteilung angewendet auf negativ gesetzte Werte sowie Bootstrap-basierte Konfidenzgrenzenberechnung	49
Bild 15:	Verteilungsfunktion $F(x)$ eines bedingten Wahrscheinlichkeitsmodells	51
Bild 16:	Kombination der Verteilungsfunktionen für Winter- und Sommerniedrigwasser $NM7Q$ am Pegel Zwirckenberg (Obere Argen) zu einer Mischverteilung im Vergleich zu einer für Jahreswerte pauschal angepassten Verteilungsfunktion	52
Bild 17:	Verfahrensablauf bei der Wahrscheinlichkeitsanalyse von Unterschreitungsdauern und Abflussdefiziten.	54
Bild 18:	Teilung des Niedrigwasserereignisses I durch den Schwellenwert Q_s in mehrere Unterschreitungsdauern D_i und Abflussdefizite V_i sowie Zwischenereignisse mit der Dauer t_i und dem Volumen Z_i	56
Bild 19:	<i>Pooling</i> mit einem 7-tägigen gleitenden Mittel	57
Bild 20:	Beispiel für eine grafische Darstellung des Formparameters a der GPA für verschiedene Grenzwerte des Abflussdefizits in Mio. m ³ – der stabile Bereich des Formparameters liegt innerhalb der eingezeichneten Box	59
Bild 21:	$NM7Qg$ am Pegel Neu-Ulm Bad Held/Donau, Ergebnisse von ZGEA und SIWA	67
Bild 22:	$NM7Qg$ am Pegel Lenggries/Isar, Ergebnisse von ZGEA und SIWA	67
Bild 23:	$NM7Qg$ am Pegel Oberaudorf/Inn, Ergebnisse von ZGEA und SIWA	68
Bild A.1:	Entwicklung des Niedrigwasserabflusses $NM20Q$ am Pegel Bienenbüttel/Ilmenau, des Gebietsniederschlags N , der mittleren Sommertemperatur TS in Lüneburg und der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung QE	69
Bild A.2:	Grundwasserentnahmen QE gemessen und gerechnet als Funktion von Sommerniederschlag und Sommertemperatur nach Gleichung (A.2)	71

Bild A.3:	Niedrigwasserabflüsse $NM20Q$ gemessen und gerechnet, unbeeinflusst, Grundwasserentnahmen QE	72
Bild A.4:	Anpassung der AEV an negativ gesetzte $NM7Q$ -Werte des Pegels Donauwörth unter Verwendung von L-Momenten der Ordnungen $\eta = 0$ und $\eta = 1$	74
Bild A.5:	Tägliche Abflussganglinie der Wasserhaushaltsjahre 1970-1973 am Pegel Donauwörth, sowie Abflussschwellenwerte Q_{70} und Q_{90} zur Ermittlung von Abflussdefizit V und Unterschreitungsdauern nach verschiedenen Ansätzen des <i>Poolings</i>	77
Bild A.6:	Jährliche Serien 1963-2013 der maximalen Unterschreitungsdauern $maxD$ und aximalen Abflussdefizite $maxV$ am Pegel Donauwörth, jeweils in Bezug auf die Schwellenwerte Q_{70} und Q_{90}	78
Bild A.7:	Wahrscheinlichkeitsdiagramme jährlicher Serien der maximalen Unterschreitungsdauer der Abflussschwellenwerte Q_{70} und Q_{90} am Pegel Donauwörth mit <i>plotting positions</i> und angepassten Verteilungsfunktionen	80
Bild A.8:	Wahrscheinlichkeitsdiagramme jährlicher Serien des maximalen Abflussdefizits der Abflussschwellenwerte Q_{70} und Q_{90} am Pegel Donauwörth mit <i>plotting positions</i> und angepassten Verteilungsfunktionen	81
Bild A.9:	Anwendung der Pooling-Verfahren im Wasserhaushaltsjahr 2003	86
Bild A.10:	Beziehung zwischen der Ereignisdauer $maxD$ und dem zeitlichen Abstand zum Ereignis davor bzw. danach am Beispiel der Stichprobe, die nach Anwendung des Pooling-Verfahrens MA 7d erhalten wurde	87
Bild A.11:	Nach der Größe geordnete Darstellung des zeitlichen Abstands zwischen den Ereignissen am Beispiel der Stichprobe, die nach Anwendung des Pooling-Verfahrens MA 7d erhalten wurde	87
Bild A.12:	Anpassung der Allgemeinen Extremwertverteilung, der logarithmischen Normalverteilung und der Weibull-Verteilung an die gestutzten Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem Ansatz gleitender Mittelwerte.....	90
Bild A.13:	Anpassung der Allgemeinen Extremwertverteilung, der logarithmischen Normalverteilung und der Weibull-Verteilung an die jährlichen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem Ansatz gleitender Mittelwerte.....	90
Bild A.14:	Auf Basis von jährlichen Serien berechnete Quantile für $maxD$ – links: mit unterschiedlichen Verteilungsfunktionen auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem Ansatz gleitender Mittelwerte – rechts: mit der Allgemeinen Extremwertverteilung (AEV) auf Grundlage verschiedener Pooling-Verfahren	91
Bild A.15:	Anpassung der Allgemeinen Extremwertverteilung und der Generalisierten Pareto-Verteilung an partiellen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem Ansatz gleitender Mittelwerte.....	92
Bild A.16:	Auf Basis von partiellen Serien berechnete Quantile für $maxD$ – links: mit unterschiedlichen Verteilungsfunktionen auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem Ansatz gleitender Mittelwerte – rechts: mit der Generalisierten Pareto-Verteilung auf Grundlage verschiedener Pooling-Verfahren.....	93
Bild A.17:	Anpassung der AEV an die jährlichen und partiellen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem MA-Ansatz.....	93
Bild A.18:	Anpassung der AEV an die jährlichen und partiellen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem MA-Ansatz	94
Bild A.19:	Anpassung der AEV an die jährlichen und partiellen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem SPA-Ansatz.....	94
Bild A.20:	Anpassung der AEV an die jährlichen und partiellen Serien auf Grundlage eines <i>Poolings</i> mit dem MA-Ansatz, wobei die gebildete partielle Serie keine <i>minor droughts</i> < 6 d enthält, aber voneinander abhängige Stichprobenelemente	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beispiel für eine Dauertabelle aus dem DGJ für das Jahr 2005 – Pegel Leipzig-Thekla/ Parthe	29
Tabelle 2:	Ausgewählte Niedrigwasserkenngößen	32
Tabelle 3:	Ergebnisse der Parameterschätzung für die AEV mit negativ gesetzten $NM7Q$ des Pegels Donauwörth	45
Tabelle 4:	Niedrigwasserquantile $NM7Q_T$ für den Pegel Donauwörth für unterschiedliche Jährlichkeiten T	47
Tabelle 5:	$NM7Q$ -Quantile in (m^3/s) für verschiedene Jährlichkeiten T (a), Konfidenzgrenzen für Intervallbreite = 0,95, ermittelt anhand von 999 Bootstrap-Stichproben.....	50
Tabelle 6:	Übersicht über Verfahren zur Detektion von Trends in Extremwerte-Serien	62
Tabelle A.1:	Korrelationskoeffizienten der Variablen untereinander und mit der Zielgröße	70
Tabelle A.2:	Mittelwerte der Parameter, Koeffizienten und Abflussanteile nach Gleichung (A.1) und (A.3)	71
Tabelle A.3:	Ermittlung wahrscheinlichkeitsgewichteter Momente für originäre und negativ gesetzte $NM7Q$ -Werte des Pegels Donauwörth, Zeitraum 1960 bis 1967 ...	73
Tabelle A.4:	$\sum D$ und $\sum V$ für den Pegel Donauwörth Wasserhaushaltsjahr 1963-2013, Schwellenwert $Q_s = Q_{70} = 132 m^3/s$	74
Tabelle A.5:	$\sum D$ -Quantile (Tage) Pegel Donauwörth/Donau ermittelt aus der Zeitreihe der Wasserhaushaltsjahre 1963-2013 für verschiedene Jährlichkeiten T sowie Konfidenzgrenzen zur Intervallbreite = 0,95	75
Tabelle A.6:	$\sum V$ -Quantile (Mio. m^3) Pegel Donauwörth/Donau ermittelt aus der Zeitreihe der Wasserhaushaltsjahre 1963-2013 für verschiedene Jährlichkeiten T sowie Konfidenzgrenzen zur Intervallbreite = 0,95	76
Tabelle A.7:	Zusammenstellung der aus der Wahrscheinlichkeitsanalyse ermittelten Quantile ausgewählter jährlicher Unterschreitungswahrscheinlichkeiten des Pegels Donauwörth für die angegebenen Niedrigwasserkenngößen	82
Tabelle A.8:	Jährliche Serien der Niedrigwasserkenngöße $maxD$ in d.....	83
Tabelle A.9:	Anhand der jährlichen Serien der Niedrigwasserkenngöße $maxD$ abgeleitete Kennwerte	85
Tabelle A.10:	Partielle Serien der Niedrigwasserkenngöße $maxD$ in d.....	88
Tabelle A.11:	Anhand der partiellen Serien der Niedrigwasserkenngöße $maxD$ abgeleitete Kennwerte	89
Tabelle A.12:	Auf Basis von jährlichen Serien berechnete Quantile für $maxD$	91
Tabelle A.13:	Auf Basis von partiellen Serien berechnete Quantile für $maxD$	92
Tabelle A.14:	Mit der Allgemeinen Extremwertverteilung berechnete Quantile für $maxD$	94

Hinweis für die Benutzung

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person steht die Anwendung des Merkblatts frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

1 Anwendungsbereich

Niedrigwasser ist ein integraler Bestandteil des Abflussregimes, der einen zeitlich und regional begrenzten Zustand in einem oberirdischen Gewässer beschreibt, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert erreicht oder unterschreitet. Die Kenntnis der Niedrigwasserverhältnisse in einem Gewässer hat damit große Bedeutung für seine zielgerichtete wasserwirtschaftliche Nutzung und ökologische Bewertung.

Niedrigwasser ist in erster Linie bedingt durch Niederschlagsmangel, kann sich jedoch auch durch den Rückhalt des Niederschlags in der Schneedecke, in Gletschern oder im gefrorenen Untergrund ergeben. Zudem kann es anthropogen durch diverse Bewirtschaftungsmaßnahmen im Gewässer oder dessen Einzugsgebiet verstärkt oder abgeschwächt werden.

Die wichtigsten Kenngrößen, mit denen Niedrigwasser beschrieben werden können und deren Analyse im Mittelpunkt dieses Merkblatts steht, sind: Niedrigwasserabfluss bzw. -wasserstand, Unterschreitungsdauer, Abflussdefizit sowie aus der Dauerlinie abgeleitete Quantile. Schwellenwerte sind für die Ermittlung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits erforderlich und sollten in Abhängigkeit von der Zielstellung der Untersuchung festgelegt werden.

Im vorliegenden Merkblatt werden sowohl die natürlichen und anthropogenen Einflussgrößen auf das Niedrigwasser diskutiert, als auch die genannten Kenngrößen und deren Ableitung aus der Ganglinie vorgestellt. Darauf aufbauend entwickeln sich inhaltlich die Kernthemen des Merkblatts: (1) Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen und (2) Wahrscheinlichkeitsanalyse von Unterschreitungsdauern und Abflussdefiziten. Mit Hilfe eines Verfahrensablaufs und anhand von Beispielen wird dem Leser schrittweise das jeweils methodische Vorgehen vermittelt – von der Festlegung der Kenngröße bis hin zur Ermittlung der Quantile / Konfidenzgrenzen. Beide Verfahren setzen Stationarität der zugrundeliegenden Serien voraus, sodass im dritten Kernthema des Merkblatts (instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse) diskutiert wird, welche Möglichkeiten bestehen, um mit signifikanten Instationaritäten im Rahmen der Wahrscheinlichkeitsanalyse umzugehen. Auch die dazu präsentierten Methoden sind mit Beispielen für ein besseres Leseverständnis unteretzt.

Das Merkblatt wendet sich an Wasser- und Umweltbehörden, Fachplaner und Studierende und bietet eine Hilfestellung für die Ableitung von Niedrigwasserkenngrößen.

VORSCHAU

Niedrigwasser ist ein integraler Bestandteil des Abflussregimes, der einen zeitlich und regional begrenzten Zustand in einem oberirdischen Gewässer beschreibt, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert erreicht oder unterschreitet. Die Kenntnis der Niedrigwasserverhältnisse in einem Gewässer hat damit große Bedeutung für seine zielgerichtete wasserwirtschaftliche Nutzung und ökologische Bewertung.

Niedrigwasser ist in erster Linie bedingt durch Niederschlagsmangel, kann sich jedoch auch durch den Rückhalt des Niederschlags in der Schneedecke, in Gletschern oder im gefrorenen Untergrund ergeben. Zudem kann es anthropogen durch diverse Bewirtschaftungsmaßnahmen im Gewässer oder dessen Einzugsgebiet verstärkt oder abgeschwächt werden.

In diesem Merkblatt werden zunächst die wichtigsten Kenngrößen für das Niedrigwasser definiert: Niedrigwasserabfluss bzw. -wasserstand, Unterschreitungsdauer, Abflussdefizit sowie aus der Dauerlinie abgeleitete Quantile. Für die Ermittlung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits sind Schwellenwerte erforderlich. Sie sollten in Abhängigkeit von der Zielstellung der Untersuchung festgelegt werden.

Es werden sowohl die natürlichen und anthropogenen Einflussgrößen auf das Niedrigwasser diskutiert, als auch die genannten Kenngrößen und deren Ableitung aus der Ganglinie vorgestellt. Darauf aufbauend entwickeln sich inhaltlich die Kernthemen des Merkblatts: (1) Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen und (2) Wahrscheinlichkeitsanalyse von Unterschreitungsdauern und Abflussdefiziten. Mit Hilfe eines Verfahrensablaufs und anhand von Beispielen wird dem Leser schrittweise das methodische Vorgehen vermittelt – von der Festlegung der Kenngröße bis hin zur Ermittlung ihrer Quantile und deren Konfidenzgrenzen. Beide Verfahren setzen Stationarität der zugrunde liegenden Serien voraus, sodass im dritten Kernthema des Merkblatts (instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse) diskutiert wird, welche Möglichkeiten bestehen, um mit signifikanten Instationaritäten im Rahmen der Wahrscheinlichkeitsanalyse umzugehen.

Das Merkblatt wendet sich an Wasser- und Umweltbehörden, Fachplaner und Studierende und bietet eine Hilfestellung für die Ableitung von Niedrigwasserkenngrößen.

ISBN: 978-3-96862-221-7 (Print)
978-3-96862-222-4 (E-Book)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
info@dwa.de · www.dwa.de