

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 552

Stochastische und deterministische Wege zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten

März 2024

Entwurf

Frist zur Stellungnahme: 31. Mai 2024

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Einsprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheberrechtlich verwertet werden.

Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

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 Regelsetzung, 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 2024

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-96862-648-2 (Print)

978-3-96862-649-9 (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.

1 Vorwort

2 Die extremen, oftmals durch Starkregen bedingten Hochwasser der letzten Jahre zeigten, wie proble-
3 matisch die Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten ist, wenn die Entstehung und der Verlauf
4 dieser Ereignisse nicht differenziert berücksichtigt wird. Insbesondere die zunehmende Zahl von Sturz-
5 fluten erfordert ein neues Verständnis der Hochwassergefährdung in Deutschland. Dabei ist zu beach-
6 ten, wie sich Sturzfluten von den herkömmlichen Flusshochwassern unterscheiden: extrem kurze An-
7 stiegszeiten, hohe Fließgeschwindigkeiten, schießende Abflüsse, starke hydraulische Belastung der
8 Gewässer und der Überflutungsflächen und oftmals extreme Schäden. Die Erfahrungen derartiger Ext-
9 remhochwasser bildeten den Ausgangspunkt für die Überarbeitung des im Jahr 2012 veröffentlichten
10 Merkblatts DWA-M 552 mit dem Ziel, die auf einer erweiterten Datenbasis beruhenden neuen hydrolo-
11 gischen Erkenntnisse in das Merkblatt einfließen zu lassen. Dazu hat die DWA im Frühjahr 2022 eine
12 Arbeitsgruppe (AG HW-4.11 „Hochwasserwahrscheinlichkeiten“) berufen. Schwerpunkt der Überarbei-
13 tung war dabei die kausale Informationserweiterung, für die nunmehr quantitative Ansätze vorgeschla-
14 gen werden. Durch die Integration von Informationen zur Entstehung und zu den meteorologischen Ur-
15 sachen von Hochwassern können nunmehr belastbare Aussagen zur Wahrscheinlichkeit extremer
16 Ereignisse und zum Verlauf des Extrapolationsbereichs der statistischen Verteilungsfunktionen ge-
17 macht werden. Hierzu wird die Erweiterung der Datenbasis durch partielle Serien empfohlen. Neu sind
18 ebenso Ausführungen zur multivariaten Statistik und zu Trend- und Bruchpunkttests. Wie bereits im
19 Merkblatt DWA-M 552 (08/2012) wird auch hier die parallele Anwendung mehrerer Verfahren empfohlen.
20 Ziel ist die Ermittlung einer Spannbreite für das gesuchte Hochwasserquantil, welche mittels objektiver
21 Kriterien aus den verschiedenen Verfahren bestimmt werden kann. Der zugehörige Erwartungswert
22 kann dann als Anhaltspunkt für die Schätzung verwendet werden.

23 Änderungen

24 Gegenüber dem Merkblatt DWA-M 552 (08/2012) wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- 25 a) Änderung des Merkblatttitels;
- 26 b) weitergehende Ausführungen zu kausaler Informationserweiterung;
- 27 c) Aktualisierung und Neufassung der Ausführungen zu zeitlicher Informationserweiterung;
- 28 d) neu aufgenommen: Hinweise zu multivariater und typbasierter Statistik;
- 29 e) neu aufgenommen: statistische Bruchpunkt- und Trendtests, Verfahren zur Wahl der Verteilungs-
30 funktion;
- 31 f) Neuformulierung von Gesichtspunkten zur Anwendung der N-A-Modellierung;
- 32 g) Präzisierungen, Klarstellungen und Verbesserungen der Verständlichkeit an folgenden Stellen:
33 Stichprobengewinnung, Wahrscheinlichkeitsanalyse, zeitliche, kausale und räumliche Informati-
34 onserweiterung, Verwendung der Verfahren;
- 35 h) Anpassung an die geltenden Gestaltungsregeln nach Arbeitsblatt DWA-A 400:2018.

36 Zusätzlich zum Merkblatt erscheint die begleitende Software HQ-Statistik-Expert der DWA. Diese
37 Software mit benutzerfreundlicher grafischer Oberfläche enthält alle wesentlichen statistischen
38 Funktionen, die in diesem Merkblatt vorgestellt werden. Es können sowohl eigene Datensätze als auch
39 der Datensatz aus dem begleitenden Themenband „Beispielrechnungen und Anwendungsbeispiele
40 zum Merkblatt DWA-M 552“¹⁾ im Detail statistisch mit den hier vorgeschlagenen Methoden ausgewer-
41 tet werden. Die Software soll den Anwender/ die Anwenderin bei der Umsetzung des Merkblatts un-
42 terstützen und die Anwendung komplexer statistischer Verfahren erleichtern. Sie ersetzt jedoch kei-
43 nesfalls das hydrologische Expertenwissen, welches bei der Auswertung und Einschätzung der
44 Ergebnisse benötigt wird.

45 In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personen-
46 bezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die

1) Der Themenband wird zusammen mit dem Weißdruck des vorliegenden Merkblattentwurfs veröffentlicht.

1 weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich,
2 wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise
3 auf alle Geschlechter.

4 Die Autoren danken Dr. Simon Seibert vom LfU Bayern für die hilfreichen Kommentare zur N-A-Mo-
5 dellierung.

6 **Frühere Ausgaben**

7 Ersetzt mit Erscheinen des Weißdrucks Merkblatt DWA-M 522 (08/2012)

8 **DWA-Klimakennung**

9 Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung aus-
10 gezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach
11 erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Kli-
12 maschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

13 **KA2** = Das Merkblatt hat direkten Bezug zur Klimaanpassung

14 **KS0** = Das Merkblatt hat keinen Bezug zu Klimaschutzparametern

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

Frist zur Stellungnahme

Dieses Merkblatt wird bis zum

31. Mai 2024

zur Diskussion gestellt. Für den Zeitraum des öffentlichen Beteiligungsverfahrens
kann der Entwurf kostenfrei im DWA-Entwurfsportal (DWA-direkt):
www.dwa.de/entwurfsportal eingesehen werden.

Dort und unter www.dwa.de/Stellungnahmen-Entwurf
finden Sie eine digitale Vorlage für Ihre Stellungnahme.

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Ein-
sprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheber-
rechtlich verwertet werden. Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende
Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme
unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person
wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

Stellungnahmen sind zu richten – gerne auch per E-Mail – an:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
wielpuetz@dwa.de

1 Verfasserrinnen und Verfasser

2 Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe HW-4.11 „Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ im
3 Auftrag des DWA-Hauptausschusses „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“ (HA HW) im DWA-
4 Fachausschuss HW-4 „Hochwasserrisikomanagement“ erarbeitet.

5 Der DWA-Arbeitsgruppe HW-4.11 „Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ gehören folgende Mitglieder an:

FISCHER, Svenja	Dr. habil., Ruhr-Universität Bochum, Bochum (Sprecherin)
BÜTTNER, Uwe	Dipl.-Hydrologe, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden (stellv. Sprecher)
BENDER, Jens	Prof. Dr., Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mosbach
BUCHHOLZ, Oliver	Dr.-Ing., Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
DALLA VALLE, Nicolas	M. Sc., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
JOHANN, Georg	Dipl.-Hydrologe, EMSCHERGENOSSENSCHAFT, Essen
MERZ, Ralf	Prof. Dr., Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Halle (Saale)
ÖTTL, Marco Albert	M. Eng., Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mosbach
SCHUMANN, Andreas	Prof. Dr., Ruhr-Universität Bochum, Bochum
SCHWIERSCH, Niklas	Dr.-Ing., Fichtner Water & Transportation GmbH, Stuttgart

6 Dem DWA-Fachausschuss HW-4 „Hochwasserrisikomanagement“ gehören folgende Mitglieder an:

PIROTH, Klaus	Dr.-Ing., CDM Smith Consult GmbH, Bickenbach (Obmann)
JÜPNER, Robert	Prof. Dr., RPTU Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern (stellv. Obmann)
BRANDENBURG, Heinz	Dipl.-Ing., Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR, Köln
DISSE, Markus	Univ.-Prof. Dr.-Ing., Technische Universität München, München
FISCHER, Bernhard	Dr. rer. nat. Dipl.-Ing., Bonn
FISCHER, Svenja	Dr. habil., Ruhr-Universität Bochum, Bochum
GFRÖRER, Joachim	Dipl.-Ing., ARCADIS Germany GmbH, Karlsruhe
GRÜNEWALD, Uwe	Prof. Dr. rer. nat. habil., BTU Cottbus-Senftenberg, Cottbus
ILLING, Christian	Dr. rer. nat., Deutsches Rotes Kreuz Landesverband Nordrhein e. V., Bonn
KEYL, Marion	Dipl.-Ing., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
MEON, Günter	Prof. Dr.-Ing., Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Braunschweig
MUDERSBACH, Christoph	Prof. Dr.-Ing., Siegen
MÜLLER, Uwe	Dr.-Ing. habil., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
NACKEN, Heribert	Prof. Dr.-Ing., RWTH Aachen, Aachen
RÖTTCHER, Klaus	Prof. Dr.-Ing., Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Suderburg
SCHEIBEL, Marc	Dipl.-Ing., Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Wuppertal
SIEMON, Christian	Dipl.-Ing., HGN Beratungsgesellschaft mbH, Braunschweig

7 Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------	--

1	Inhalt	
2	Vorwort	3
3	Verfasserinnen und Verfasser	5
4	Bilderverzeichnis	8
5	Tabellenverzeichnis	10
6	Hinweis für die Benutzung	11
7	Einleitung	11
8	1 Anwendungsbereich	18
9	2 Begriffe	18
10	2.1 Abkürzungen	18
11	2.2 Formelzeichen	19
12	3 Hochwasserdaten	22
13	3.1 Allgemeines	22
14	3.2 Konsistenzprüfung der Daten	23
15	3.3 Stichprobengewinnung	24
16	3.3.1 Vorbemerkungen	24
17	3.3.2 Hochwasserscheitelstatistik	25
18	3.3.3 Ereignisstatistik	28
19	3.3.4 Hochwassertypisierung	28
20	3.4 Inhomogenität und Instationarität von Hochwasserbeobachtungsreihen	29
21	4 Wahrscheinlichkeitsanalyse	35
22	4.1 Vorbemerkungen	35
23	4.2 Empirische Wahrscheinlichkeiten (<i>Plotting Positions</i>)	35
24	4.3 Verteilungsfunktionen	37
25	4.3.1 Funktionen zur Beschreibung von Jahresmaxima	37
26	4.3.2 Funktionen zur Beschreibung der partiellen Serie	37
27	4.3.3 Unterschiede zwischen den Verteilungsfunktionen	39
28	4.4 Parameterschätzung	39
29	4.4.1 Vorbemerkungen	39
30	4.4.2 Momentenmethode (Produktmomente)	39
31	4.4.3 Linear-Momente (L-Momente)	40
32	4.4.4 Maximum-Likelihood-Methode	40
33	4.4.5 Bewertung der Schätzverfahren	41
34	4.5 Konfidenzintervalle (Vertrauensbereich)	42
35	4.6 Wahl der Verteilungsfunktion	44
36	4.6.1 Vorbemerkungen	44
37	4.6.2 Grafischer Vergleich zwischen den empirischen Wahrscheinlichkeiten und der angepassten Verteilung	44
38		
39	4.6.3 Anpassungstests	45
40	4.6.4 Informationskriterien	45

1	4.6.5	Große Hochwasser, die von der Verteilungsfunktion deutlich abweichen.....	46
2	4.7	Multivariate Statistik.....	48
3	5	Zeitliche Informationserweiterung	52
4	5.1	Vorbemerkungen	52
5	5.2	Historische Hochwasser.....	52
6	5.3	Einordnung des Zeitraums der Beobachtungsreihe	56
7	6	Kausale Informationserweiterung	58
8	6.1	Vorbemerkungen	58
9	6.2	Hochwasserstatistik unter Berücksichtigung der Hochwassergenese.....	58
10	6.2.1	Allgemeines	58
11	6.2.2	Saisonale Hochwasserstatistik	58
12	6.2.3	Typbasierte Hochwasserstatistik	60
13	6.3	Ereignisbasierte und kontinuierliche Niederschlag-Abfluss-Simulation mit deterministischen Modellen.....	64
14			
15	6.3.1	Allgemeines	64
16	6.3.2	Hinweise zur Modellkalibrierung	65
17	6.3.3	Definition der Jährlichkeit der berechneten Hochwasserscheitel bei der Einzelereignissimulation.....	65
18			
19	6.3.4	Kontinuierliche Niederschlag-Abfluss-Simulation.....	66
20	6.3.5	Verwendung der Ergebnisse der Niederschlag-Abfluss-Modellierung	66
21	7	Räumliche Informationserweiterung	68
22	7.1	Vorbemerkungen	68
23	7.2	Abflussdiagramme und hydrologische Längsschnitte.....	68
24	7.3	Statistische Regionalisierungsverfahren	71
25	7.3.1	Vorbemerkungen	71
26	7.3.2	Definition hydrologisch ähnlicher Einzugsgebiete.....	72
27	7.3.3	Übertragung der Information von beobachteten auf unbeobachtete Gebiete.....	72
28	8	Zusammenführung und Bewertung des Ergebnisspektrums	74
29	8.1	Vorgehensweise.....	74
30	8.2	Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten mittels verschiedener Methoden beispielhaft für den Pegel Marienthal/Regen.....	79
31			
32	Anhang A	Statistische Instationaritätstests.....	82
33	A.1	Vorbemerkungen	82
34	A.2	Bruchpunkttests	82
35	A.3	Trendtests.....	83
36	Anhang B	Statistische Kenngrößen und Parameterschätzer	84
37	Anhang C	Relevante Verteilungsfunktionen	85
38	Anhang D	Statistische Methoden zur Wahl der Verteilungsfunktion.....	93
39	D.1	Vorbemerkungen	93
40	D.2	Verteilungstests.....	93
41	D.3	Informationskriterien	94
42	Anhang E	Definitionen ausgewählter Archimedischer Copulas	95

1	Anhang F Verfahren zur Hochwassertypisierung	97
2	F.1 Vorbemerkungen	97
3	F.2 Hochwassertypisierung	97
4	Anhang G Verfahren zur Ermittlung von Saisonalität	100
5	G.1 Vorbemerkungen	100
6	G.2 Das wahrscheinlichkeitsgewichtete Burn-Diagramm	100
7	Anhang H Verfahren zur Berücksichtigung historischer Hochwasser	103
8	Quellen und Literaturhinweise	105

9 Bilderverzeichnis

10	Bild 1: Stellung des Merkblatts innerhalb des Systems der wasserbaulichen Hochwasserbemessung	12
11		
12	Bild 2: Beispiel für die Veränderung des Gewässerprofils nach einem Hochwasser.....	23
13	Bild 3: Kriterien für unabhängige Hochwasserscheitel, MQ bezeichnet den langjährigen mittleren Abfluss.....	26
14		
15	Bild 4: Unterschied AMAX- und POT-Werte in Bezug auf den Schwellenwert u	26
16	Bild 5: Schematische Darstellung verschiedener Bruchpunkte und Trends	30
17	Bild 6: Beispiel einer beobachteten Datenreihe, die den zugrundeliegenden Prozess nicht hinreichend beschreibt.....	32
18		
19	Bild 7: Als signifikant identifizierte hochwasserarme und hochwasserreiche Perioden in den Jahreshöchstabflüssen am Pegel Köln/Rhein. Als Schwellenwert wurde das $HQ(5)$, berechnet aus der Gesamtreihe, gewählt	32
20		
21		
22	Bild 8: Signifikante Trends über jeweils 30 Jahre im Ergebnis des Mann-Kendall-Test mit einem Signifikanzniveau von 0,05 in der Reihe der Jahreshöchstabflüsse in Köln 1817-2013	33
23		
24		
25	Bild 9: Beispiele für mögliche Ursachen von Instationaritäten:	
26	a) Erhöhung von Hochwasserabflüssen durch Urbanisierung im Einzugsgebiet;	
27	b) Abflachung der Hochwasserscheitel durch zusätzliche Retentionsflächen, zum Beispiel nach Deichrückverlegung;	
28	c) Wirkung des technischen Rückhalts in Speichern, Scheitelreduzierung bei kleinen Ereignissen, Verringerung bzw. Verlust der Hochwasserscheitel-	
29	minderung bei Extremereignissen.....	33
30		
31		
32	Bild 10: Verschiedene Verteilungsfunktionen, angepasst mit unterschiedlichen Schätzverfahren an die Jahreshöchstabflüsse am Pegel Marienthal/Regen, dargestellt zusammen mit den empirischen Jährlichkeiten	42
33		
34		
35	Bild 11: 5%- und 95%-Konfidenzintervalle für die Hochwasserquantile geschätzt mittels GEV-Verteilung und L-Momenten sowie empirische Jährlichkeiten für den Pegel Marienthal/Regen	43
36		
37		
38	Bild 12: Q-Q-Plot der beobachteten Quantile der Jahreshöchstabflüsse am Pegel Marienthal/ Regen und der theoretischen der GEV-Verteilung mit mittels L-Momenten geschätzten Parametern sowie Histogramm der Jahreshöchst-	
39	abflüsse mit mittels L-Momenten angepasster Dichte der GEV-Verteilung.....	45
40		
41		
42	Bild 13: Bivariate Stichprobe von X und Y mit den univariaten Dichtefunktionen $f_X(x)$ und $f_Y(y)$ sowie synthetischen Realisationen unter Verwendung einer Copula bei Annahme einer statistischen Unabhängigkeit	49
43		
44		

1	Bild 14:	Beispiel der UND, ODER und konditionalen Wahrscheinlichkeit am Beispiel	
2		von ausgewerteten Hochwasserscheiteln und -füllen.....	51
3	Bild 15:	Historische Hochwasser am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	
4		innerhalb der systematischen Reihe 1910 bis 2020 (Schwellenwert: 800 m ³ /s)	
5		und Veränderung der zugeordneten Jährlichkeiten	54
6	Bild 16:	Ergebnisse der Anwendung des in Anhang H dargestellten Verfahrens der	
7		partiellen wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente zur Einbeziehung	
8		historischer Hochwasser in die statistische Analyse für den Pegel	
9		Wechselburg 1/Zwickauer Mulde.....	55
10	Bild 17:	Beobachtete maximale jährliche Abflussscheitel der Sehma bei Annaberg	
11		und der Zschopau bei Tannenberg	57
12	Bild 18:	Wahrscheinlichkeitsgewichtetes Kreisdiagramm der Jahreshöchstabflüsse	
13		am Pegel Marienthal/Regen.....	59
14	Bild 19:	Saisonale Verteilung für Sommer- und Winterhöchstabflüsse, Mischverteilung	
15		beider Saisons sowie Verteilung der Jahreshöchstabflüsse (GEV/ L-Momente)	
16		am Pegel Marienthal/ Regen.....	60
17	Bild 20:	TMPS-Mischungsmodell und Typverteilungen sowie Verteilung der	
18		Jahreshöchstabflüsse (AMS, GEV mit L-Momenten) für den Pegel	
19		Marienthal/ Regen. Bezeichnung der Hochwassertypen analog zu Anhang F.....	62
20	Bild 21:	Beispiel für synthetische Ganglinien für verschiedene Hochwassertypen für	
21		das $HQ(100)$ von 83 m ³ /s am Pegel Achsheim/ Schmutter	
22		a) mit mittleren Parametern für Anstiegs- und Rückgangszeit und	
23		b) mit einem Ensemble von Startparametern für Anstiegs- und Rückgangszeit.....	63
24	Bild 22:	MHQ-Diagramm der Gebiete von Mulde und Spree in Sachsen	68
25	Bild 23:	HQ-Längsschnitt der Lausitzer Neiße	70
26	Bild 24:	Ausgewählte $HQ(T)$ -Längsschnitte der Lausitzer Neiße zwischen den	
27		Pegeln Hartau und Görlitz als Regressionsgeraden.....	70
28	Bild 25:	Mittels hierarchischem Clustering ermittelte hydrologisch ähnliche Regionen	
29		für die Formparameter der GPD und GEV im hydrologischen Bayern,	
30		differenziert nach Hochwassertyp.....	74
31	Bild 26:	Gesamtschau der Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsermittlung.....	79
32	Bild 27:	Jahreshöchstabflüsse am Pegel Marienthal/Regen.....	80
33	Bild E.1:	Dichten der Archimedischen Copulas für verschiedene Werte von Kendalls Tau	96
34	Bild F.1:	Schematische Darstellung der Hochwassertypisierung.....	97
35	Bild F.2:	Unterteilung der regengetriebenen Hochwasser anhand ihrer TQ-Werte	
36		mittels linearer Regression für den Pegel Marienthal/Regen. R^2 ist das	
37		Bestimmtheitsmaß	99
38	Bild F.3:	Unterteilung der schneeschnmelzbeeinflussten Hochwasser anhand ihrer	
39		Niederschlags- und Schneeschmelzsumme für den Pegel Marienthal/Regen	99
40	Bild G.1:	Burn-Diagramm der Jahreshöchstabflüsse am Pegel Marienthal/Regen	100
41	Bild G.2:	Wahrscheinlichkeitsgewichtetes Burn-Diagramm der Jahreshöchstabflüsse	
42		am Pegel Marienthal/Regen.....	102
43	Bild H.1:	Historische Hochwasser (grau) und Hochwasser der systematischen Reihe	
44		für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde in Sachsen	103
45	Bild H.2:	Berücksichtigung historischer Hochwasser für den Pegel Wechselburg	
46		1/Zwickauer Mulde mittels PPWM	104

1	Tabellenverzeichnis	
2	Tabelle 1: Empfohlene Verfahren und Methoden zur Ermittlung von	
3	Hochwasserwahrscheinlichkeiten	14
4	Tabelle 2: Theoretische Unterschiede zwischen den statistischen	
5	Wiederkehrintervallen T_p , berechnet aus der partiellen Reihe, und T_a ,	
6	berechnet aus der Reihe der Jahreshöchstwerte	38
7	Tabelle 3: Überblick zu Schätzverfahren.....	41
8	Tabelle 4: Mögliche Ursachen für extreme Hochwasser als Ursache schwerer	
9	Ränder von Hochwasserverteilungen.....	47
10	Tabelle 5: Hochwasser, die einen Schwellenwert von $800 \text{ m}^3/\text{s}$ überschreiten, und	
11	deren empirische Jährlichkeit, bezogen auf den Zeitraum 1434 bis 2020	
12	für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	54
13	Tabelle 6: Momente der Reihe der jährlichen Hochwasserabflüsse der Pegel Annaberg 1	
14	($A_E = 48,7 \text{ km}^2$) und Tannenberg ($A_E = 91,1 \text{ km}^2$).....	57
15	Tabelle 7: Einschätzung des Hochwasserverhaltens (Ergebnisspektrum) nach	
16	unterschiedlichen Methoden (beispielhaft) für den Pegel Marienthal	
17	am Regen ($A_E = 2.613 \text{ km}^2$). IE bedeutet Informationserweiterung	81
18	Tabelle B.1: Stichprobenmomente	84
19	Tabelle B.2: Statistische Kennwerte (Stichprobenschätzer)	84
20	Tabelle C.1: Generalisierte Extremwertverteilung (GEV)	85
21	Tabelle C.2: Extremwertverteilung Typ 1 (Gumbel- Verteilung)	86
22	Tabelle C.3: Dreiparametrische Pearson-III-Verteilung	87
23	Tabelle C.4: Dreiparametrische logarithmische Normalverteilung.....	88
24	Tabelle C.5: Dreiparametrische logarithmische Pearson-III-Verteilung.....	90
25	Tabelle C.6: Generalisierte Pareto-Verteilung	91
26	Tabelle C.7: Cauchy-Verteilung.....	92
27	Tabelle E.1: Definitionen häufig verwendeter Archimedischer Copulas.....	95

1

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.

2 Einleitung

3 Gegenstand des vorliegenden Merkblatts

4 Eine Vielzahl wasserwirtschaftlicher Planungs- und Bemessungsaufgaben erfordert Kenntnisse über
5 Hochwasserabflüsse und deren Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Statt der Überschreitungs-
6 wahrscheinlichkeit wird in der Hydrologie oft der Begriff „Jährlichkeit“ (Kehrwert der jährlichen Über-
7 schreitungswahrscheinlichkeit eines Hochwasserscheitelabflusses) oder die Bezeichnung „statisti-
8 sches Wiederkehrintervall“ (mittlere Zeitspanne, in der ein Hochwasserabfluss überschritten wird)
9 verwendet. Ziel dieses Merkblatts ist es, Empfehlungen für die Anwendung von hochwasserstatisti-
10 schen Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserabflüssen an einem Fließgewässerquerschnitt für
11 die jeweiligen ausgewählten Jährlichkeiten zu geben.

12 Die Zielsetzung der hier dargestellten Verfahren und Methoden besteht in einer bestmöglichen Schät-
13 zung der hochwasserstatistischen Kennwerte unter Verwendung der zum Zeitpunkt der Berechnung
14 verfügbaren Information. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Überschätzung und eine Unter-
15 schätzung als gleich wahrscheinlich anzunehmen sind. In der Statistik wird dann von dem Erwar-
16 tungswert gesprochen, also jenem Abfluss einer bestimmten Jährlichkeit, der theoretisch im Mittel
17 über viele Anwendungsfälle erreicht wird. Dies bedeutet allerdings auch, dass, zum Beispiel nach Vor-
18 liegen einer längeren Hochwasserdatenreihe, das heißt, beim Vorliegen neuer Informationen, eine
19 abermalige Ermittlung des Hochwasserabflusses oftmals veränderte Rechenergebnisse ergeben
20 wird.

21 Die Ergebnisse, das heißt, die berechneten Hochwasserabflüsse für die vorgegebenen Jährlichkeiten,
22 hängen von der Datenbasis und den verwendeten Methoden ab. Meist ist die Datenbasis so beschaffen,
23 dass die berechneten Werte erhebliche Unsicherheiten aufweisen. Auch die angewandten Verfahren
24 und Methoden unterscheiden sich je nach Anwendungsfall und Datenbasis in ihrer Eignung, wodurch
25 weitere Unsicherheiten bedingt sind.

26 Je nach Anwendungsfall werden Abflusswerte für unterschiedliche Jährlichkeiten benötigt. Dieses
27 Merkblatt empfiehlt als grundsätzliche Vorgehensweise für alle Jährlichkeiten die parallele Anwen-
28 dung mehrerer Methoden. Bei den dargestellten Methoden und Beispielen ist der Fokus auf Jährlich-

VORSCHAU

Die extremen Überflutungen der letzten Jahre zeigen unter anderem, wie problematisch die Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten ist, wenn die Entstehung und der Verlauf dieser Ereignisse nicht differenziert berücksichtigt werden. Insbesondere die zunehmende Zahl von Sturzfluten infolge von Starkregen erfordert ein neues Verständnis der Hochwassergefährdung in Deutschland. Dabei ist zu beachten, wie sich Sturzfluten von den herkömmlichen Flusshochwassern unterscheiden: extrem kurze Anstiegszeiten, hohe Fließgeschwindigkeiten, schießende Abflüsse, starke hydraulische Belastung der Gewässer und der Überflutungsflächen und oftmals extreme Schäden. Die Erfahrungen derartiger Extremhochwasser bildeten den Ausgangspunkt für die Überarbeitung des im Jahr 2012 veröffentlichten Merkblatts DWA-M 552 mit dem Ziel, die auf einer erweiterten Datenbasis beruhenden neuen hydrologischen Erkenntnisse in das Merkblatt einfließen zu lassen.

Durch die Integration von Informationen zur Entstehung und zu den meteorologischen Ursachen von Hochwassern können nunmehr belastbare Aussagen zur Wahrscheinlichkeit extremer Ereignisse und zum Verlauf des Extrapolationsbereichs der statistischen Verteilungsfunktionen gemacht werden. Im vorliegenden Merkblatt wird die Erweiterung der Datenbasis durch partielle Serien empfohlen. Neu sind ebenso Ausführungen zur multivariaten Statistik und zu Trend- und Bruchpunkttests. Festgehalten wird an der parallelen Anwendung mehrerer Verfahren. Ziel ist die Ermittlung einer Spannbreite für das gesuchte Hochwasserquantil, welche mittels objektiver Kriterien aus den verschiedenen Verfahren bestimmt werden kann. Der zugehörige Erwartungswert kann dann als Anhaltspunkt für die Schätzung verwendet werden. Mit diesen Werkzeugen bietet das vorliegende Merkblatt neue Ansätze zur Ermittlung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten und bildet einen Baustein für das Hochwasser- und Starkregenerisiko-Management.

VORSCHAU

ISBN: 978-3-96862-648-2 (Print)
978-3-96862-649-9 (E-Book)

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

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · info@dwa.de · www.dwa.de