

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 552

Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten

August 2012

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 552

Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten

August 2012



Herausgabe und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
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

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

Herausgeber und Vertrieb:

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

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-942964-25-8

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011

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

Vorwort

In den letzten Jahren hat es sich zunehmend abgezeichnet, dass Hochwasserabflüsse einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht mehr ausschließlich durch statistische Analyse der beobachteten Scheitelabflüsse ermittelt werden, sondern die Vorgehensweise umfassender ist. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, wurde vorgeschlagen, das Merkblatt DVWK-M 251/1999 (DVWK 1999a) zu überarbeiten. Eine vorläufige Sichtung des Standes der Technik zu dieser Fragestellung zeigte sehr bald, dass ein breiter angelegter Ansatz sowohl dem derzeitigen Kenntnisstand als auch der bei vielen Institutionen geübten Praxis entspricht. Der Vorschlag nach einer Neufassung des Merkblattes wurde deshalb aufgegriffen.

Eine schwerpunktmäßige Neuorientierung wurde in zweierlei Hinsicht vorgenommen: Zum einen wegen der oft beschränkten Aussagekraft statistischer Auswertungen, besonders bei kurzen Reihen bzw. kleinen Überschreitungswahrscheinlichkeiten, empfiehlt das Merkblatt jetzt die Verwendung von Informationen, die über die Hochwasserscheiteldaten hinausgehen. Durch zeitlich, kausal und räumlich erweiterte Information soll die Aussagekraft und Zuverlässigkeit der berechneten Hochwasserabflüsse erhöht werden. Zum zweiten beschränkte sich das Merkblatt DVWK-M 251 auf Methoden für Flussquerschnitte mit Pegeldaten. In der Praxis sind jedoch oft keine Pegeldaten vorhanden. Deshalb werden hier dafür geeignete Methoden beschrieben und empfohlen. Des breiteren Anhanges des Merkblattes DWA-M 552 trägt auch der umfassendere Titel „Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ Rechnung.

Die Ausarbeitung des vorliegenden Merkblattes war nur durch das vorbildhafte Engagement der Mitglieder der Arbeitsgruppe möglich. Die konstruktive Atmosphäre hat die Arbeiten ganz wesentlich gefördert. Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe sei hierfür ausdrücklich gedankt. Sämtliche Reise- und Personalkosten wurden von der Ruhr-Universität Bochum, der Technischen Universität Wien, der Technischen Universität Braunschweig, dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, dem Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht in Rheinland-Pfalz und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie dem Österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft getragen. Für diese finanzielle Unterstützung sei ebenfalls an dieser Stelle ausführlich gedankt.

Die Unterzeichnenden würden sich freuen, wenn mit dem hier vorgelegten Merkblatt ein Beitrag zu den Bemühungen um gute Lösungsansätze für die Praxis geleistet werden kann.

A. Schumann

G. Blöschl

Frühere Ausgaben

DVWK-M 251/1999

Verfasser

Das Merkblatt wurde von einer Expertengruppe für die DWA-Arbeitsgruppe HW-4.1 „Hochwasserrisikomanagement“ im DWA-Fachausschuss HW-4 „Hochwasservorsorge“ erarbeitet. Dieser Expertengruppe gehören folgende Mitglieder an:

BLÖSCHL, Günter	Univ. Prof., Technische Universität Wien (stellv. Sprecher)
BÜTTNER, Uwe	Dipl.-Hydrol., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
DEMUTH, Norbert	Dipl.-Geogr., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz
HOLLE, Franz-Klemens	Dipl.-Ing., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
MEON, Günter	Univ. Prof., Technische Universität Braunschweig
MERZ, Ralf	Prof., ehemals Technische Universität Wien, jetzt Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Standort Halle
MÜLLER, Gabriele	Dr., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
SCHUMANN, Andreas	Univ. Prof., Ruhr-Universität Bochum (Sprecher)

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

Die Expertengruppe dankt Herrn Dipl.-Ing. Jose Luis Salinas, Universitätsassistent der TU Wien für seine tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung der Anhänge.

Inhalt

Vorwort	.....	3
Verfasser	.....	4
Bilderverzeichnis	.....	6
Tabellenverzeichnis	.....	8
Benutzerhinweis	.....	9
Einleitung	.....	9
Gegenstand des vorliegenden Merkblattes	.....	9
Grundsätzliches Vorgehen in diesem Merkblatt	.....	10
1 Anwendungsbereich	.....	14
2 Hochwasserdaten	.....	15
2.1 Prüfung und Korrektur der Hochwasserabflüsse	.....	15
2.2 Stichprobengewinnung	.....	16
2.3 Instationarität der Hochwasserreihen	.....	18
3 Wahrscheinlichkeitsanalyse	.....	20
3.1 Vorbemerkungen	.....	20
3.2 Empirische Unterschreitungswahrscheinlichkeiten (plotting positions) und Umgang mit außergewöhnlich hohen Hochwasserscheitelabflüssen	.....	20
3.3 Verteilungsfunktionen	.....	22
3.4 Parameterschätzung	.....	23
3.4.1 Momentenmethode (Produktmomente)	.....	23
3.4.2 Momentenmethode (wahrscheinlichkeitsgewichtete Momente)	.....	23
3.4.3 Maximum-Likelihood-Methode	.....	24
3.4.4 Bewertung der Schätzverfahren	.....	24
3.5 Konfidenzbereich (Vertrauensbereich)	.....	25
4 Zeitliche Informationserweiterung	.....	26
4.1 Vorbemerkungen	.....	26
4.2 Historische Hochwasser	.....	26
4.3 Einordnung des Zeitraums der Beobachtungsreihe	.....	30
5 Kausale Informationserweiterung	.....	32
5.1 Vorbemerkungen	.....	32
5.2 Hochwassergenese und Saisonalität	.....	32
5.3 Gebietsprozesse	.....	34
5.4 Ereignisbasierte und kontinuierliche Niederschlag-Abfluss-Modelle	.....	37
5.4.1 Vorbemerkungen	.....	37
5.4.2 Wahl des Niederschlag-Abfluss-Modells	.....	37
5.4.3 Definition der Jährlichkeit der berechneten Hochwasserscheitel bei Anwendung von Ereignismodellen	.....	38
5.4.4 Verwendung der Ergebnisse der Niederschlag-Abfluss-Modellierung	.....	38
5.5 Aus Niederschlagsdaten abgeleitete <i>HQ</i> -Statistik	.....	39
6 Räumliche Informationserweiterung	.....	41
6.1 Vorbemerkungen	.....	41
6.2 Kartografische Darstellung der Hochwasserverhältnisse	.....	41

6.3	Hüllkurven, Spendendiagramme, Längsschnitte	42
6.4	Statistische Regionalisierungsverfahren	45
6.5	Bewertung der Methoden und Empfehlung	46
7	Kombination von Statistik und Zusatzinformationen und Bewertung der Aussagekraft.....	49
7.1	Methode und Kriterien.....	49
7.2	Beispiel zur Kombination der Informationen (Pegel Zwettl/Kamp)	53
Anhang A	Abkürzungen und Symbole	64
Anhang B	Statistische Kenngrößen und Verteilungsfunktionen	67
B.1	Stichprobenmomente.....	68
B.2	Statistische Kennwerte.....	69
B.3	Allgemeine Extremwertverteilung.....	70
B.4	Extremwertverteilung Typ 1 (Gumbel-Verteilung).....	71
B.5	Dreiparametrische Pearson-III-Verteilung	72
B.6	Dreiparametrische Weibull – Verteilung	74
B.7	Dreiparametrische logarithmische Normalverteilung	75
B.8	Dreiparametrische logarithmische Pearson-III-Verteilung	76
Anhang C	Verfahren zur Berücksichtigung historischer Hochwasser	78
C.1	Vorbemerkungen	78
C.2	Berücksichtigung historischer Hochwasser.....	78
Anhang D	Kombination der Informationsquellen mit formalen Methoden	83
D.1	Erläuterungen zu Anhang D.....	83
D.2	Kombination der Informationsquellen mit formalen Methoden	83
Technische Regeln		85
Literatur		85
Register		88

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Stellung des Merkblattes innerhalb des Systems der Hochwasserbemessung	10
Bild 2:	Struktur des vorliegenden Merkblattes und Empfehlung für die gesamte Vorgehensweise	13
Bild 3:	Beispiel für die Veränderung des Gewässerprofils nach einem Hochwasser	15
Bild 4:	Kriterien für unabhängige Hochwasserscheitel.....	16
Bild 5:	a) Erhöhung von Hochwasserabflüssen durch Urbanisierung im Einzugsgebiet b) Abflachung der Hochwasserscheitel durch zusätzliche Retentionsflächen, z. B. nach Deichrückverlegung c) Wirkung des technischen Rückhalts in Speichern, Scheitelreduzierung bei kleinen Ereignissen, Verringerung bzw. Verlust der Hochwasserscheitelreduzierung bei Extremereignissen.....	18
Bild 6:	Plotting positions nach Gleichung (1) für den Pegel Zwettl/Kamp und geschätzte Verteilungsfunktion...	21
Bild 7:	Jahreshöchstwerte des Abflusses am Pegel Wasserburg am Inn	26
Bild 8:	Historische Hochwasser am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde mit einem Schwellenwert von 800 m ³ /s	28
Bild 9:	Ergebnisse der Anwendung der in Anhang C dargestellten Verfahren zur Einbeziehung historischer Hochwasser in die statistische Analyse für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	30
Bild 10:	Beobachtete maximale jährliche Abflussscheitel des Klambachs bei Sturmmühle und der Naarn bei Haid.....	31

Bild 11:	Beispiele für die unterschiedliche Saisonalität der Hochwasserwahrscheinlichkeiten österreichischer Pegel	32
Bild 12:	Kombination der Verteilungsfunktionen der Winter- und Sommerhochwasser am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde	33
Bild 13:	Unterschiedlicher Bewuchs der Gewässer der zwei benachbarten Gebiete Mitterbach mit $A_E = 30 \text{ km}^2$ und Wienerbruck mit $A_E = 36 \text{ km}^2$	35
Bild 14:	Hochwasserwahrscheinlichkeitsverteilungen und Abflussbeiwerte der zugehörigen Hochwasserereignisse	36
Bild 15:	a) Extreme Niederschläge in der Pulkau-Region b) Vergleich einer längeren Zeitreihe extremer Niederschläge mit einer kürzeren Teilreihe, für die parallel Abflussbeobachtungen vorliegen.....	39
Bild 16:	Hochwasserwahrscheinlichkeitsverteilung nach dem Gradex-Verfahren für den Pegel Wienerbruck/Ötscherbach in Abhängigkeit von den Niederschlägen an der Station Lackenhof.....	41
Bild 17:	Räumliche Verteilung der auf eine hypothetische Gebietsfläche von 100 km^2 normierten mittleren jährlichen Hochwasserspense	42
Bild 18:	Spendendiagramm der Regionen Bregenzer Wald und Weinviertel für die einhundertjährige Abflussspense	43
Bild 19:	HQ_T -Längsschnitt der Zwickauer Mulde zwischen den Pegeln Zwickau-Pölbitz und Wechselburg 1.....	44
Bild 20:	Kombination der Wahrscheinlichkeitsanalyse mit Zusatzinformation – Hydrologisch-argumentative Vorgehensweise	52
Bild 21:	a) Beobachtete Jahreshochwasser am Kamp bei Zwettl der Periode 1951 bis 2006 und aus Wasserständen rekonstruierte Jahreshochwasser von 1896 bis 1947 b) AEV, angepasst an die Hochwasserreihe mit und ohne Hochwasserereignis 2002	55
Bild 22:	Verteilung der Hochwasser für Zwettl am Kamp unter Berücksichtigung von drei historischen Hochwassern mit einem Abfluss zwischen $200 \text{ m}^3/\text{s}$ und $400 \text{ m}^3/\text{s}$ in den letzten 500 Jahren, einem Schwellenwert von $300 \text{ m}^3/\text{s}$ in der historischen Periode und 5 % bzw. 95 % Grenzen des Vertrauensbereichs	55
Bild 23:	Gebietsbegehung: Durchlässige sandige Böden in den meisten Gebietsteilen, Sättigungsflächen in Gewässernähe	56
Bild 24:	Ereignisabflussbeiwerte von Jahreshochwassern am Pegel Zwettl, aufgetragen gegen die Jährlichkeit des Hochwasserabflusses.....	56
Bild 25:	Zusammenschau der Niederschlagsauswertungen in der Region des Kamp	58
Bild 26:	Dimensionslose Niederschlagssummenkurven für unterschiedliche Ereignisse am Kamp und Einhüllende.....	58
Bild 27:	Simulierte Hochwasserwellen für Zwettl/Kamp für Niederschläge einer Jährlichkeit von 100 Jahren und unterschiedlicher Dauer, anfangsbetonte Niederschlagsverteilung	59
Bild 28:	Simulierte Hochwasserwelle für Zwettl/Kamp für Niederschläge einer Jährlichkeit von 100 Jahren und einer Dauer von 12 Stunden mit unterschiedlichen zeitlichen Niederschlagsverteilungen	59
Bild 29:	Kartografische Darstellung der mittleren jährlichen Hochwasserspense MHq_{100} und Jahresniederschlag.....	60
Bild 30:	Spendendiagramm der Region Kamp	61
Bild 31:	Verteilung der Hochwasser und Zusammenschau der erweiterten Informationen für den Kamp bei Zwettl.....	62
Bild C.1:	Historische Hochwasser und Hochwasser der systematischen Reihe für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde in Sachsen.....	79
Bild C.2:	Berücksichtigung historischer Hochwasser für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde nach dem Verfahren DVWK (1999a). Als Verteilungsfunktion wurde die AEV mit wahrscheinlichkeitsgewichteten Momenten genutzt	79
Bild C.3:	Berücksichtigung historischer Hochwasser für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde nach der Maximum-Likelihood-Methode. Schwellenwert $Q_0 = 435 \text{ m}^3/\text{s}$	80
Bild C.4:	Berücksichtigung historischer Hochwasser für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde nach der Maximum-Likelihood-Methode. Schwellenwert $Q_0 = 800 \text{ m}^3/\text{s}$	81
Bild C.5:	Berücksichtigung historischer Hochwasser für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde mittels PPWM	82
Bild D.1:	Beispiel der Kombination der Wahrscheinlichkeitsanalyse mit Zusatzinformation mittels der Bayesian MCMC-Methode am Beispiel des Pegels Zwettl/Kamp	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Extremwerthydrologie als grundlegender Ansatz dieses Merkblattes im Vergleich zur ausschließlich statistischen Betrachtung.....	11
Tabelle 2:	Beispiele sich ergänzender Methoden zur Bestimmung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten.....	12
Tabelle 3:	Statistisches Wiederkehrintervall T_p , berechnet aus der partiellen Reihe, und zugehörige Jährlichkeit T_a , berechnet aus der Reihe der Jahreshöchstwerte	17
Tabelle 4:	Vergleich von 2- und 3-parametrischen Verteilungsfunktionen	22
Tabelle 5:	Überblick zu Schätzverfahren.....	24
Tabelle 6:	Hochwasser, die einen Schwellenwert von 800 m ³ /s überschreiten, und deren empirische Jährlichkeit, bezogen auf den Zeitraum 1434 bis 2006 für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde mit $T = 1/P_i$	28
Tabelle 7:	Vergleich von Methoden zur Berücksichtigung historischer Hochwasser	29
Tabelle 8:	Momente der Reihe der jährlichen Hochwasserabflüsse der Pegel Sturmmühle und Haid.....	31
Tabelle 9:	Vergleich der Regionalisierungsverfahren	48
Tabelle 10:	Datensituation bzw. Untersuchungen, die die Zuverlässigkeit der geschätzten Hochwasserscheitel einer bestimmten Jährlichkeit erhöhen	50
Tabelle 11:	Einschätzung des Hochwasserverhaltens nach unterschiedlichen Methoden für den Pegel Zwettl am Kamp.....	63
Tabelle C.1:	Berechnung der Likelihood-Funktionen für unterschiedliche Abflussangaben der historischen Hochwasser, bei denen ein Mindestabfluss, Bereiche oder genaue Angaben der Durchflüsse bekannt sind	80

Benutzerhinweis

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 dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes 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.

Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Merkblattes

Eine Vielzahl wasserwirtschaftlicher Planungs- und Bemessungsaufgaben erfordern Kenntnisse über Hochwasserabflüsse und ihre Wahrscheinlichkeiten. Statt des Begriffes „Wahrscheinlichkeit“ wird in der Hydrologie oft der Begriff „Jährlichkeit“ (Kehrwert der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Hochwasserabflusses) oder der Begriff „Wiederkehrintervall“ (mittlere Zeitspanne, in der ein Hochwasserabfluss überschritten wird) verwendet. Ziel dieses Merkblattes ist es, Empfehlungen für die Bestimmung von Hochwasserabflüssen an einem Fließgewässerquerschnitt und den zugeordneten Jährlichkeiten zu geben.

Die Güte der berechneten Hochwasserabflüsse bzw. ihrer Jährlichkeiten hängt von der Datenbasis und den verwendeten Methoden ab. Meist ist die Datenbasis so beschaffen, dass die berechneten Werte erhebliche Unsicherheiten aufweisen. Dieses Merkblatt empfiehlt deshalb die parallele Anwendung mehrerer Methoden, um diese Unsicherheiten möglichst klein zu halten. Ein vollkommenes Ausschalten aller Unsicherheiten ist jedoch wegen der Eigenart des Problems nie möglich. Vom Ansatz her entsprechen die hier empfohlenen Methoden der bestmöglichen Schätzung der Werte unter Verwendung der zum Zeitpunkt der Berechnung verfügbaren Information. Dies bedeutet, dass eine Überschätzung und eine Unterschätzung als gleich wahrscheinlich angesehen werden. In der Statistik spricht man dann von dem Erwartungswert, also jenem Abfluss einer bestimmten Jährlichkeit, der theoretisch im Mittel über viele Anwendungsfälle erreicht werden soll. Dies bedeutet allerdings auch, dass, z. B. nach Vorliegen einer längeren Hochwasserdatenreihe, eine abermalige Ermittlung des Hochwasserabflusses veränderte Rechenwerte ergeben kann.

Je nach Anwendungsfall sind unterschiedliche Jährlichkeiten gefragt. Dieses Merkblatt empfiehlt als grundsätzliche Vorgehensweise für alle Jährlichkeiten die parallele Anwendung mehrerer Methoden. Bei den dargestellten Methoden und Beispielen ist der Fokus auf Jährlichkeiten von 10 bis 200 Jahren gerichtet. Je größer die Jährlichkeit, desto umfangreichere hydrologische Untersuchungen und Kenntnisse sind erforderlich und desto größere Verantwortung tragen die mit der Bearbeitung betrauten Hydrologen.

Im Rahmen einer konkreten Anwendung sind über die Bestimmung des Hochwasserabflusses bestimmter Jährlichkeit hinausgehende Aufgaben zu lösen. Bei der Dimensionierung bzw. Bemessung von Bauwerken oder anderen Maßnahmen ist es etwa notwendig, einen Bemessungsabfluss anzugeben. Darunter wird der Abfluss verstanden, auf den eine Hochwasserschutzmaßnahme auszuliegen ist (Schutz der Unterlieger), den das zu bemessende Bauwerk schadlos abführen oder dem es standhalten soll. Der Bemessungsabfluss wird meist auf Basis des Hochwasserabflusses einer bestimmten Jährlichkeit gewählt, um ein ähnliches Schutzziel mehrerer Vorhaben in einer Verwaltungsregion zu erreichen oder um Bemessungsvorschriften, z. B. für Stauanlagen, zu erfüllen. Bei der wasserbaulichen Bemessung werden in der Regel zusätzliche Überlegungen angestellt, insbesondere im Hinblick auf die Überlastungsfähigkeit der Anlage und etwaige Restrisiken. Deshalb werden die Bemessungsabflüsse oft größer als der Hochwasserabfluss der vorgegebenen Jährlichkeit gewählt, wodurch zusätzliche Sicherheiten eingeplant werden. Sicherheitsorientierte wasserbauliche Überlegungen zur Wahl des Bemessungsabflusses sind jedoch nicht Gegenstand der Darstellungen. Die Verknüpfung von hydrologischen und wasserbaulichen Grundlagen für die Anlagenbemessung zeigt Bild 1.

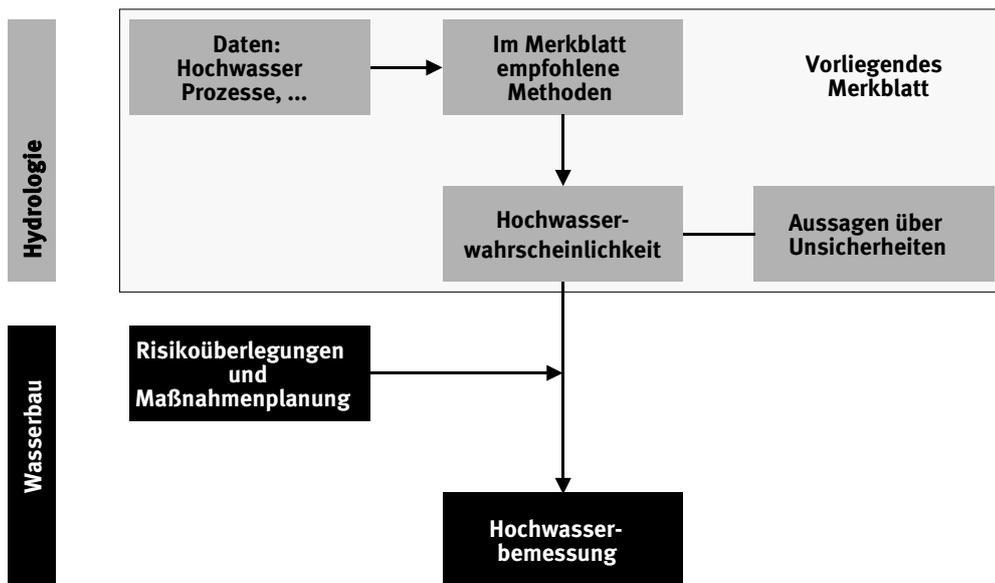


Bild 1: Stellung des Merkblattes innerhalb des Systems der Hochwasserbemessung (nach SPREAFICO et al. 2003, verändert)

Unter Umständen ist die Angabe des Hochwasserscheitelabflusses nicht ausreichend, sondern die Hochwasserganglinie wird benötigt, z. B. um die Speicherretention bei der Planung eines Stauraums zu berücksichtigen. Meist wird diese Hochwasserwelle mit Niederschlag-Abfluss-Modellen unter Annahme eines bestimmten Ereignisniederschlags berechnet. Hinweise zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung sind in Abschnitt 5.4 zu finden. Die Bestimmung von Hochwasserwellen oder -füllen wird in diesem Merkblatt aber nicht behandelt.

Grundsätzliches Vorgehen in diesem Merkblatt

Die Praxis hat gezeigt, dass das Merkblatt DVWK-251/1999 (DVWK 1999a) unter den aktuellen Anforderungen an Grenzen stößt. Deshalb wurde eine Neuorientierung vorgenommen. Diese bezieht sich nicht auf den grundsätzlichen Ansatz sondern auf die Schwerpunktsetzung:

(a) Das Merkblatt DVWK-251/1999 konzentrierte sich auf die statistische Analyse der Hochwasserscheitel-daten. Wie dort bereits angemerkt wurde, ist eine ausschließlich statistische Vorgehensweise nur dann gerechtfertigt, wenn die Voraussetzungen der Statistik erfüllt sind. In der Praxis ist dies selten der Fall, da die Hochwasserdatenreihen meist zu kurz, fehlerbehaftet und nicht stationär sind, aus verschiedenen Grundgesamtheiten stammen, Hochwasser generell bevorzugt in bestimmten Zeiträumen (in der Größenordnung von Dekaden) gehäuft auftreten und

eventuell auch anthropogene Einflüsse wirksam sind. Deshalb sind statistische Tests (Anpassungs-, Trend-, Ausreißertests) oft nicht aussagekräftig. Größere Unterschiede bei der Verwendung von verschiedenen Verteilungsfunktionen und Parameterschätzmethoden weisen auf einen, für die Aufgabenstellung zu geringen Informationsgehalt des Hochwasserkollektivs hin. Tests vermitteln damit oftmals nur eine scheinbare Objektivität. Das neue Merkblatt DWA-M 552 trägt diesem Umstand Rechnung, indem es zur Erhöhung der Aussagekraft die Verwendung von Informationen empfiehlt, die über die Reihe der Jahreshöchstwerte des Abflusses hinausgehen. Diese Informationserweiterung kann in zeitlicher, kausaler und räumlicher Hinsicht erfolgen (DYCK et al. 1980, MERZ & BLÖSCHL 2008a,b). Die Vorgehensweise, bei der die Wahl des Hochwassers einer bestimmten Jährlichkeit weniger aus der statistischen, sondern vor allem aus der hydrologischen Perspektive erfolgt, wird durch den Begriff „Extremwerthydrologie“ (im Gegensatz zur Extremwertstatistik) zusammengefasst (BLÖSCHL & MERZ 2008a,b). Tabelle 1 zeigt einige Beispiele, bei denen für die gleiche Fragestellung eine gegenüber der ausschließlich statistischen Betrachtung erweiterte Vorgehensweise empfohlen wird. Die Tabelle zeigt auch, wie bei der regionalen Betrachtung hydrologische Argumente eingeführt werden können.

(b) Das Merkblatt DVWK-M 251/1999 beschränkte sich auf die Empfehlung von Methoden, die auf beobachtete Flussquerschnitte (Pegel) anwendbar sind. Allerdings werden in vielen praktischen Fällen Aussagen zu Hochwasserscheitelabflüssen einer bestimmten Jährlichkeit an solchen Stellen benötigt, an denen keine

Pegel vorhanden sind. Hierfür werden Empfehlungen benötigt. Das vorliegende Merkblatt trägt diesem Umstand Rechnung, indem es ausführliche Empfehlungen für die Bestimmung von Hochwassern an unbeobachteten Abflussquerschnitten gibt (siehe Abschnitt 6).

Wie bereits oben erwähnt, wird eine Informationserweiterung des Hochwasserdatensatzes in zeitlicher, kausaler und räumlicher Hinsicht empfohlen. Die zeitliche Informationserweiterung besteht z. B. aus der Analyse historischer Hochwasserereignisse und einem Vergleich mit längeren Abflussreihen aus Nachbargebieten. Die kausale Informationserweiterung kann qualitativ durch einen Vergleich mit anderen hydrologischen Daten (Niederschlag, Abflussbeiwert, Saisonalität der Hochwasser, Abflusstyp, Geomorphologie des Gebiets) oder quantitativ mittels Niederschlag-Abfluss-Modellierung oder Simulationsverfahren erfolgen. Die räumliche Informationserweiterung beinhaltet Regionalisierungsmethoden (Hüllkurven, Spendingia-

gramme, Regressionen mit Gebietseigenschaften, geostatistische Verfahren bzw. hydrologische Längsschnitte bei großen Flüssen) und erlaubt auch Aussagen für Gebiete ohne Abflussmessungen. Um ein umfangreiches Bild über die Hochwasser im betreffenden Gebiet zu erhalten, sind möglichst verschiedenartige Informationen in die Berechnung einzubeziehen (GUTKNECHT et al. 2006). Die hier empfohlenen Methoden unterscheiden sich nach der Datenbasis (z. B. Hochwasserdaten, Niederschlag, Gebietsbegehungen), nach der Struktur der Methode (z. B. Hochwasserwahrscheinlichkeitsverteilungen, Niederschlag-Abfluss-Modellierung) sowie nach den zugrundeliegenden Annahmen (z. B. räumliche Homogenität bei Regionalisierungsverfahren, zeitliche Stationarität bei der Verwendung historischer Hochwasser). Die Verschiedenartigkeit der Informationen bedeutet, dass sich die einzelnen methodischen Zugänge ergänzen, wodurch jeweils die spezifischen Vorteile genutzt werden können (Tabelle 2).

Tabelle 1: Extremwerthydrologie als grundlegender Ansatz dieses Merkblattes im Vergleich zur ausschließlich statistischen Betrachtung (nach BLÖSCHL & MERZ 2008a)

Problemstellung	DVWK-M 251/1999 Extremwertstatistik (statistische Methoden)	DWA-M 552 (2011) Extremwerthydrologie (statistische Methoden plus zeitliche, räumliche und kausale Informationserweiterung)
Stationarität – Trend	Statistische Trendanalyse und Trendtest	Kausale Analyse der Veränderung der Prozesse im Gebiet, z. B. zur Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen
Parameter der Verteilungsfunktion (VF)	Parameterschätzmethode mit kleinster Abweichung für gegebene VF	Parameterschätzmethode mit zusätzlicher hydrologischer Einschätzung, z. B. über historische Hochwasser, regionales Verhalten, Niederschlagsverhalten, Abflussbeiwerte
Wahl der VF	VF mit der besten Anpassung (Anpassungstest)	Entscheidung zwischen 2- und 3-parametrischer VF in Abhängigkeit von der Reihenlänge; Berücksichtigung hydrologischer Überlegungen
Jährlichkeit des größten Abflusses im Kollektiv	Verschiedene „optimale“ plotting positions	Hydrologische Einschätzung, z. B. über historische Hochwasser, den Vergleich mit Nachbargebieten oder langen Niederschlagsreihen
Extrapolationsverhalten der VF	Ergibt sich aus gewählter VF und optimierten Parametern	VF so gewählt, dass Extrapolationsverhalten mit (hydrologisch eingeschätzter) Jährlichkeit des Höchstwerts im Kollektiv und erweiterter Information im Einklang ist
Außergewöhnlich große Hochwasserscheitel	Statistischer Ausreißertest	Einschätzung der Jährlichkeit (s. o.)
ANMERKUNG VF Verteilungsfunktion		

Tabelle 2: Beispiele sich ergänzender Methoden zur Bestimmung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten

Methoden	Vorteile	Nachteile
Lokale Hochwasserstatistik	<ul style="list-style-type: none"> • erfasst summarisch Abflussprozesse im Gebiet • robust 	<ul style="list-style-type: none"> • kurze Reihen verringern Aussagekraft • Abflussdaten bei großen Ereignissen oft unsicher • bei anthropogenen Beeinflussungen wenig aussagekräftig
Historische Hochwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung seltener Ereignisse möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Einschätzung der Jährlichkeit sowie Annahme von Stationarität problematisch
Niederschlag-Abfluss-Modellierung	<ul style="list-style-type: none"> • Einzeleinflüsse können gut analysiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Wahl der Eingangsgrößen und Parameter schwierig • Jährlichkeit nur näherungsweise definiert
Regionale Hochwasserstatistik	<ul style="list-style-type: none"> • größere Datenbasis 	<ul style="list-style-type: none"> • regionale Homogenität oft nicht gewährleistet • Erfassen lokaler Verhältnisse schwierig

Die Ermittlung der gesuchten Hochwasserdurchflüsse einer bestimmten Jährlichkeit erfolgt hier auf Basis einer Kombination der Ergebnisse verschiedener Methoden und einer Zusammenschau aller verfügbaren Informationen. Dabei besteht das Ziel einerseits in der Einengung des Unsicherheitsbereichs des gesuchten Hochwasserabflusses im Vergleich zum Ergebnisspektrum, das durch die Schätzungen mit unterschiedlichen Verfahren aufgespannt wird, und andererseits in der Reduktion der mit den einzelnen Schätzungen verbundenen Unsicherheit. Eine Rest-Unsicherheit verbleibt jedoch in allen Fällen. Deshalb ist das Ergebnis der Untersuchungen nach diesem Merkblatt nicht nur eine bestmögliche Schätzung der Hochwasserdurchflüsse einer bestimmten Jährlichkeit, sondern auch eine, diese Unsicherheit beschreibende Spannweite. Obwohl es generell möglich ist, die Kombination mit statistisch formalen Methoden (Bayes'sche Methoden) durchzuführen, ist davon auszugehen, dass in den meisten Fällen die Kombination der Verfahren auf der Basis einer Experteneinschätzung erfolgt. Die Zusammenschau der Ergebnisse begründet dabei den persönlichen Überzeugtheitsgrad des Bearbeiters. Im Rahmen dieses Merkblattes werden Kriterien für die Kombination der Informationserweiterungen mit den Ergebnissen statistischer Analysen angegeben. Den, aus Sicht der Bearbeiter, aussagekräftigeren Methoden bzw. Informationen sollte ein höheres Gewicht beigemessen werden. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Vorgehensweise ist damit die hydrologische Analyse, Interpretation und Argumentation, die zum Teil auch auf qualitativem Wissen und Erfahrungen basieren muss.

Die konkrete Vorgehensweise der Ermittlung kann der Struktur des Merkblattes folgen (Bild 2). Abschnitte 2 und 3 geben Empfehlungen zur Datenaufbereitung und zur Wahrscheinlichkeitsanalyse. Die Abschnitte 4, 5 und 6 beinhalten Empfehlungen zur Erweiterung der Informationsbasis. Abschnitt 7 erläutert schließlich die Kombination der Informationen anhand eines Beispiels.

Je nach Datenlage sind in einem Gebiet nicht alle vier Informationsquellen (Hochwasserdaten sowie zeitliche, kausale und räumliche Informationserweiterungen) vorhanden. In kleinen Gebieten fehlen oft Pegel- und historische Hochwasserdaten. Das Merkblatt gibt Anhaltspunkte dafür, welche Informationen in der jeweiligen Situation sinnvoll einbezogen werden sollten. Grundsätzlich ist zu bedenken, dass die Güte der Ergebnisse bei Erweiterung der Informationsbasis zunimmt und es deshalb sinnvoll ist, alle verfügbaren Informationen zu nutzen. Eine Informationserweiterung muss dabei nicht die Anwendung komplexer Modelle bedeuten, die dem Praktiker nicht zur Verfügung stehen. Oft ist bereits durch wenige zusätzliche Überlegungen und das Einbeziehen von Informationen zum Gebiet und zu den ablaufenden Prozessen eine Untersetzung oder Verbesserung der Ergebnisse der statistischen Analyse möglich.