WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Neue Ansätze führen zu neuen Bemessungshochwasserereignissen? Ein Blick auf die neuen Methoden des DWA-Merkblatts M 552

WasserWirtschaft

Oppel, Henning; Grundmann, Nina; Fischer, Svenja

https://doi.org/10.1007/s35147-025-2474-5

This publication is made publicly available in the institutional repository of Wageningen University and Research, under the terms of article 25fa of the Dutch Copyright Act, also known as the Amendment Taverne.

Article 25fa states that the author of a short scientific work funded either wholly or partially by Dutch public funds is entitled to make that work publicly available for no consideration following a reasonable period of time after the work was first published, provided that clear reference is made to the source of the first publication of the work.

This publication is distributed using the principles as determined in the Association of Universities in the Netherlands (VSNU) 'Article 25fa implementation' project. According to these principles research outputs of researchers employed by Dutch Universities that comply with the legal requirements of Article 25fa of the Dutch Copyright Act are distributed online and free of cost or other barriers in institutional repositories. Research outputs are distributed six months after their first online publication in the original published version and with proper attribution to the source of the original publication.

You are permitted to download and use the publication for personal purposes. All rights remain with the author(s) and / or copyright owner(s) of this work. Any use of the publication or parts of it other than authorised under article 25fa of the Dutch Copyright act is prohibited. Wageningen University & Research and the author(s) of this publication shall not be held responsible or liable for any damages resulting from your (re)use of this publication.

For questions regarding the public availability of this publication please contact openaccess.library@wur.nl

Neue Ansätze führen zu neuen Bemessungshochwasserereignissen? Ein Blick auf die neuen Methoden des DWA-Merkblatts M 552

Das neu erarbeitete DWA-Merkblatt M 552 „Stochastische und deterministische Wege zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ [2] entstand vor dem Hintergrund vieler Extremereignisse in den vergangenen Jahren und bietet eine Vielzahl neuer statistischer sowie stochastischer Ansätze, um Hochwasserwahrscheinlichkeiten genauer abschätzen zu können. In diesem Betrag werden die Verfahren der partiellen Serie sowie der Typ-basierten Statistik auf beispielhafte Datensätze angewendet, um den Einfluss auf Hochwasserabflüsse zu quantifizieren und den Mehrwert des Einbezugs weiterer Informationen zu beurteilen.

Henning Oppel, Svenja Fischer und Nina Grundmann

1 Anerkannte Regeln der Technik

Welche Jährlichkeit hat ein bereits aufgetretenes Hochwasser und mit welchen Abflüssen muss ich bei einer bestimmten, anderen Jährlichkeit rechnen?

Dies sind die grundlegenden Fragen der stochastischen Hydrologie bzw. der Hochwasserstatistik. Die Hochwasserereignisse der jüngeren Vergangenheit führen uns die Komplexität dieser Aufgabenstellung deutlich vor Augen [1]. Neben der Erfassung des tatsächlich aufgetretenen Abflusswertes schließt sich die Frage der Einordnung dieser Hochwasserereignisse an. Welche empirische Wahrscheinlichkeit muss diesen Ereignissen zugeordnet werden? Gerade um Extremereignisse korrekt einzuordnen, bedarf es dem Einbezug von weiteren Informationen, um eine möglichst verlässliche Einschätzung der Auftrittswahrscheinlichkeiten zu gewährleisten. Das neue DWA-Merkblatt M 552 [2] legt daher einen Fokus auf verschiedene Möglichkeiten, zusätzliche Informationen quantitativ in die Hochwasserstatistik mit einzubeziehen. Insbesondere die Berücksichtigung der Genese von Hochwasserereignissen in Form von Hochwassertypen, die mit Hilfe von Typbasierter Statistik berücksichtigt werden kann, stellt eine wesentliche Neuerung dar. Gleichzeitigt weist das Merkblatt auf die gewachsenen Möglichkeiten zur Verarbeitung von größeren Datenmengen hin [3] und hebt die Verwendung von partiellen Serien deutlich hervor.

Beide Ansätze stehen zwar im Kontext weiterer Verfahren, stellen aber einen Schwerpunkt des neuen Merkblattes dar und versprechen einen großen Mehrwert für die Berücksichtigung von Extremereignissen. Daher soll in diesem Betrag die Umsetzung der Typ-basierten Statistik sowie der Verwendung einer partiellen Serie an zwei Pegeln exemplarisch durchgeführt und die Ergebnisse im Vergleich zur klassischen Extremwertstatistik auf Basis von Jahreshöchstwerten bewertet werden.

Kompakt

- Quantitative Informationserweiterung ermöglicht eine sicherere Abschätzung von Hochwasserabflüssen.
- Die partielle Serie sowie die Typ-basierte Statistik verändern die Schätzung der Abflüsse.
- Ob Abflüsse höher oder geringer als auf Basis von Jahreshöchstabflüssen geschätzt werden, ist standortabhängig.

2 Methoden

Neben der Verwendung der partiellen Serie und der Typ-basierten Statistik wird eine vergleichende Extremwertstatistik auf Basis von Jahreshöchstabflüssen verwendet. Diese richtet sich nach den Vorgaben des DWA-Merkblattes M 552. Dieses Verfahren sowie die im Folgenden detaillierter erläuterten Verfahren der partiellen Serie und der Typ-basierten Statistik wurden mit Hilfe der begleitenden Software HQ-Statistik-Expert umgesetzt [3].

2.1 Partielle Serie

In der Hochwasserstatistik werden zumeist Jahreshöchstabflüsse als Grundlage für die Schätzung von Hochwasserquantilen verwendet. Diese haben jedoch den Nachteil, dass exakt ein Ereignis pro Jahr berücksichtigt wird. In Jahren mit mehreren Hochwassern führt dies zu Informationsverlust, während in Jahren mit keinem Hochwasser niedrige Scheitelwerte die Statistik künstlich verändern. Daher wird im DWA-Merkblatt M 552 empfohlen, auch die partielle Serie für die Hochwasserstatistik anzuwenden. Diese berücksichtigt alle Hochwasser-

scheitel über einem vorab gewählten Schwellenwert. Die Wahl des Schwellenwertes ist kritisch und hat großen Einfluss auf die Schätzung der Quantile. Im DWA-Merkblatt M 552 werden zwei Wahlverfahren vorgestellt: die empirische-hydrologische Schätzung anhand einer festgelegten Anzahl Hochwasser pro Jahr oder auf Basis eines Vielfachen des MQ-Wertes. In dieser Studie wurde eine empirisch-hydrologische Schätzung durchgeführt mit dem Ziel, im Mittel drei Ereignisse pro Jahr zu separieren. Für die erhaltenen Ereignisse gibt das Merkblatt die generalisierte Pareto-Verteilung (GPD) als Standardverteilung an, um Schätzungen für Jährlichkeiten zu erhalten.

2.2 Typ-basierte Statistik

Ein häufig kritisierter Nachteil bei den Standard-Verfahren der Hochwasserstatistik ist, dass Hochwasser unterschiedlicher Genese gemeinsam in einer Stichprobe betrachtet werden und somit die Homogenitätsannahme verletzt ist. Die Typ-basierte Hochwasserstatistik hingegen teilt die Stichprobe in verschiedene Hochwassertypen auf. Es existieren verschiedene Verfahren zur Typisierung. In diesem Beitrag werden Hochwasser zunächst anhand der Dynamik der Abflusswerte anhand eines Varianz-basierten Schwellenwertes separiert [4]. Anschließend werden die Hochwasserereignisse anhand der Ganglinienform (unter Verwendung des Verhältnisses von Hochwasserfülle zu -scheitel, dem TQ-Wert) und unter Berücksichtigung des Anteils von Schneeschmelze in fünf Hochwassertypen aufgeteilt [5]. Es ergeben sich fünf Hochwassertypen:

- R1: Ereignisse mit kleinem TQ-Wert, d. h. großer Scheitel und vergleichsweise kleine Fülle, assoziiert mit Starkregen.
- R2: Ereignisse mit mittlerem TQ-Wert, d. h. ausgeglichenes Verhältnis zwischen Scheitel und Fülle, assoziiert mit langandauerndem Regen (auch: Dauerregen).
- R3: Ereignisse mit großem TQ-Wert, d. h. großes Volumen, oftmals mehrere, aber kleine Scheitel, assoziiert mit Dauerregen und der Abfolge vieler einzelner Regenereignisse nacheinander in kurzer Zeit (auch: intermittierende Ereignisse).
- S1: Regen-auf-Schnee-Hochwasser: Hochwasser mit einem Schneeschmelzanteil von mehr als 25 %, wobei intensiver Regen auf eine Schneedecke fällt.
- S2: Schneeschmelzhochwasser: Hochwasser mit einem Schneeschmelzanteil von mehr als 25 % ohne signifikanten Regeneinfluss.

Die Hochwasser werden nach Hochwassertypen in fünf Stichproben $j = 1, \ldots, 5$ aufgeteilt, wobei eine GPD G_j an die Werte über einem Typ-spezifischen Schwellwert u_j angepasst wird, um einen Typ-spezifischen Parametersatz θ_j zu erhalten. Zudem wird eine Generalisierte Extremwertverteilung F_j an alle Hochwasserscheitel eines Typs angepasst, um die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung des Schwellenwertes zu ermitteln. Das Mischungsmodell aller Hochwassertypen ergibt sich dann mit der Verteilungsfunktion:

$$F_a(x) = \prod_{j=1}^{m_t} (G_j(x;\theta_j, u_j)(1 - F_j(u_j)) + F_j(u_j)) \qquad (1)$$

3 Daten

3.1 Einzugsgebiete Marienthal und Tannenberg

Für diese Studie wurden zwei Pegel in Mittelgebirgsregionen in Deutschland untersucht. Die Pegel wurden aufgrund ihrer guten Datengrundlage sowie ihren deutlich voneinander abweichenden Einzugsgebietsflächen gewählt, da sie so eine möglichst breite Anwendbarkeit der Methoden verdeutlichen können. Für beide Fallstudien lagen Abfluss-, Niederschlags-, Temperatur- und potenzielle Verdunstungszeitreihen vor.

Untersucht wurde zum einen der Pegel Marienthal am Fluss Regen, einem Nebenfluss der Donau im Bayrischen Wald. Das Einzugsgebiet (EZG) des Pegels beträgt 2 615 km². Für das Einzugsgebiet liegen Jahreshöchstabflüsse sowie Tagesmittel- und Maximalwerte für den Zeitraum von 1930 bis 2019 ohne Fehljahre vor.

Als zweite Fallstudie wurde der Pegel Tannenberg an der Zschopau im Erzgebirge untersucht. Das EZG dieses Pegels liegt mit 91,1 km² deutlich unter der Fläche des Pegels Marienthals. Für diesen Pegel lagen Jahreshöchstabflüsse, Tagesmittel und -maxima von 1960 bis 2015 ohne Fehljahre vor.

3.2 Berechnung der Schneeschmelze

Für die Typisierung der Ereignisse ist unter anderem die Identifizierung des Anteils von Schneeschmelze am resultierenden Abfluss erforderlich (Abschnitt 3.3). Zur Durchführung wird daher eine Zeitreihe der Schneeschmelze im EZG benötigt, die mit Hilfe des deterministischen Niederschlag-Abfluss-Modells HBV_{96} [6] in einer eigenen Implementierung ermittelt wurde.

3.3 Ereignisseparation und Typisierung

Mit Hilfe des in Abschnitt 2.2 vorgestellten Verfahrens wurden aus den kontinuierlichen Tagesganglinien Marienthal 297 und am Pegel Tannenberg 189 Ereignisse separiert. Mit Hilfe der Schneeschmelzdaten sowie mit Hilfe des Scheitel-Füllen-Verhältnisses [5] wurden diese Ereignisse weiter in die Zielklassifikation unterteilt. Für jeden Ereignistyp wurden mehr als fünf Ereignisse identifiziert (**Tabelle 1**), daher können alle Typen berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Separierte Ereignisse sowie Ergebnisse der Klassifikation: Anzahl von Ereignissen je Hochwassertyp (Quelle: Oppel)

EZG	Gesamt	S1	S2	R1	R2	R3
Marienthal	297	91	20	116	37	33
Tannenberg	189	27	12	54	66	30

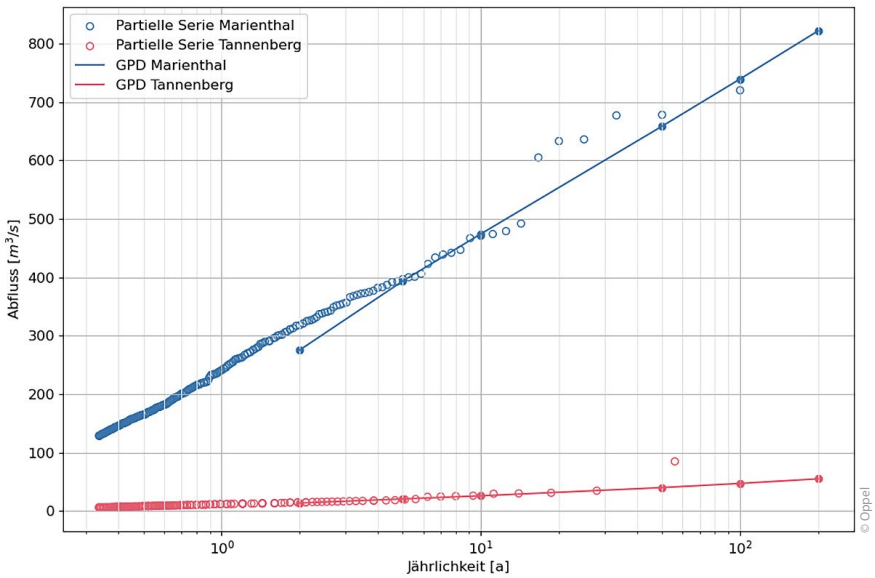

Bild 1: Empirische und theoretische Hochwasserquantile der partiellen Serien der Pegel Marienthal und Tannenberg

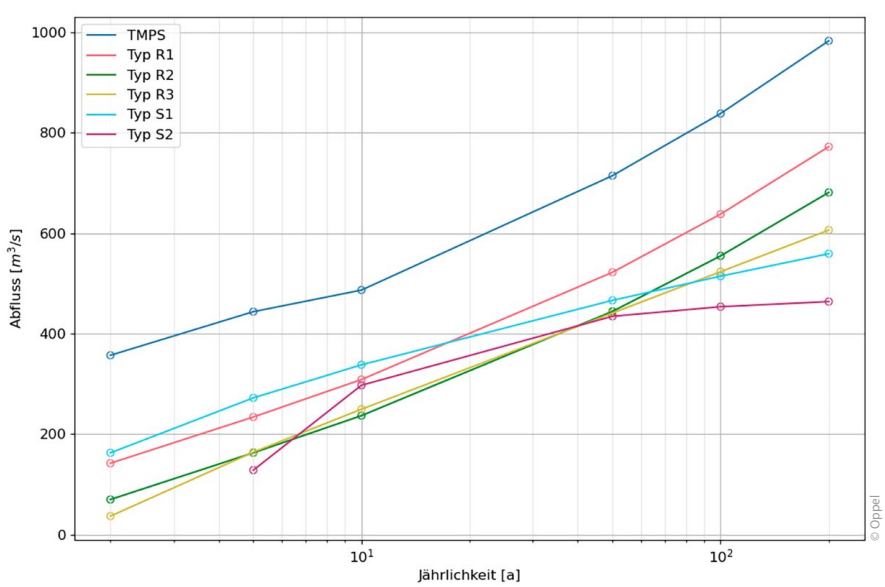

Bild 2: Theoretische Hochwasserquantile des TMPS-Mischungsmodells sowie der individuellen Typverteilungen R1 (Starkregen), R2 (Dauerregen), R3 (intermittierend), S1 (Regen-auf-Schnee) und S2 (Schnee)

4 Ergebnisse

4.1 Jahreshöchstabflüsse

Bei beiden Datensätzen wurden zu Vergleichszwecken eine Ermittlung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten auf Basis von Jahreshöchstabflüssen durchgeführt. Dafür wurden mit Hilfe des HQ-Statistik-Expert alle im Merkblatt aufgeführten Verteilungsfunktionen (VF) angepasst und die Güte der Anpassungen berechnet. Dabei wurden in beiden Fällen keine VF abgelehnt bzw. stach keine VF mit einer signifikant besseren Anpassung hervor. Daher wurden die Mittelwerte der Hochwasserquantile aller VF als Ergebnis verwendet (**Tabelle 2**).

4.2 Partielle Serie

Aus der hydrologisch-empirischen Analyse ergab sich für den Pegel Marienthal ein Schwellenwert von $u_{Marienthal}$ = 127 m³/s und damit 370 Monats-HQ-Werte, die über diesem Grenzwert lagen.

In Tannenberg lag der Schwellenwert bei $u_{Tannenberg}$ = 6,2 m³/s, damit wurden 170 Monats-HQ der partiellen Serie hinzugefügt (**Bild 1**).

Für beide partielle Serien wurde eine GPD angepasst und mit Hilfe der angepassten VF die theoretischen Hochwasserquantile für die Jährlichkeiten 2 a, 5 a, 10 a, 50 a, 100 a und 200 a berechnet (**Tabelle 2** und **Bild 1**).

4.3 Typ-basierte Statistik

Nicht alle zuvor separierten Ereignisse können als signifikante Ereignisse für die Berechnung der Typ-basierten Hochwasserquantile gewertet werden. Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass für den Pegel Tannenberg mehr Ereignisse separiert wurden als bei der zuvor angewen-

Tabelle 2: Hochwasserquantile (in m³/s) für verschiedene Jährlichkeiten berechnet basierend auf Jahreshöchstwerten, GPD für die partielle Serie sowie mittels TMPS am Pegel Marienthal und Tannenberg (Quelle: Oppel)

Pegel	Verfahren	Jährlichkeit [a]					
		2	5	10	50	100	200
Marienthal	Jahresmaxima	274,2	387,2	462,8	639,4	703,4	776,1
	Partielle Serie	275,6	393,7	474,3	658,5	739,4	821,7
	TMPS	356,9	443,7	486,7	714,6	838,3	983,0
Tannenberg	Jahresmaxima	13,3	21,7	27,9	43,3	50,7	58,8
	Partielle Serie	13,8	20,8	26,2	40,3	47,0	55,3
	TMPS	18,9	26,9	31,7	39,1	41,8	48,1

deten partiellen Serie verwendet wurde. Daher wurde zunächst je Typ ein Abflussschwellwert bestimmt, mit dem wiederum für jeden Ereignistyp eine eigene partielle Serie erzeugt wurde. Der jeweilige Schwellwert berechnete sich dabei als entsprechend der empirischen Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignistyps je Monat gemittelter MQ. Für Schneeereignisse berechnete sich der Schwellenwert demnach vorrangig aus den MQ-Werten der Wintermonate.

Für jede der partiellen Serien wurden erneut GP-Verteilungen angepasst und für jeden Typ die gesuchten Hochwasserquantile berechnet (**Tabelle 2**). **Bild 2** zeigt exemplarisch die Quantile der individuellen Typ-GPD sowie des typbasierten Mischungsmodells partieller Serien (TMPS). Zu erkennen ist, dass einerseits die TMPS-Verteilung deutlich über den individuellen Typ-Verteilungen liegt. Andererseits folgt die Form des Mischmodells dem jeweils dominierenden Typ. Im dargestellten Beispiel folgt die Verteilung im unteren Jährlichkeitsbereich dem Typ S1 und im oberen Bereich dem Typ R1.

5 Fazit

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass mit den verbesserten Verfahren der partiellen Serie sowie der Typ-basierten Statistik Hochwasserquantile berechnet werden, die von der Berechnung, die allein auf Jahreshöchstabflüssen basiert, abweichen. Die hier beispielhaft ausgewählten Fallstudien zeigen dabei, dass der Einfluss standort-abhängig ist und nicht pauschal beurteilt werden kann.

Konkret zeigen die Fallstudien, dass die Anwendung partieller Serien im Bereich der geringeren Jährlichkeiten (2 a bis 10 a) nur geringe Abweichungen von den Quantilen nach Jahreshöchstabflüssen erzeugt. Bei höheren Jährlichkeiten treten stärkere Abweichungen auf. Am Pegel Marienthal werden für 100 a und 200 a etwa +5 % höhere Abflüsse ermittelt. Im Gegensatz dazu wurden für den Pegel Tannenberg, der in dieser Studie den Pegel mit dem deutlich kleineren EZG darstellt, etwa -7 % geringere Abflüsse berechnet. Die Tendenz der Unterschätzung in Tannenberg und der Überschätzung in Marienthal setzt sich bei der Typ-Statistik fort. Nur fallen die mittleren Abweichungen mit +23 % in Marienthal und -15 % Tannenberg deutlich höher aus.

Um die finalen Hochwasserquantile zu bestimmen, bedarf es einer weitergehenden Betrachtung der Unsicherheiten der Methoden, die auch quantitativ bestimmt werden können. Basierend auf diesen Unsicherheiten können Wichtungen für die einzelnen Methoden definiert werden und somit ein gewichtetes Mittel aller Schätzungen berechnet werden. Unsere Analyse zeigt, dass diese Werte teilweise deutlich von der Verwendung nur eines einzelnen Verfahrens abweichen werden. Gleichzeitig erhöht sich aber die Sicherheit der Abschätzung der Hochwasserquantile, da durch die zusätzlichen Verfahren weitere wichtige Informationen, wie in diesem Falle die Hochwassergenese sowie die Verwendung einer größeren Datengrundlage, in die Schätzung mit eingeflossen sind.

Henning Oppel, Svenja Fischer and Nina Grundmann

New approaches lead to new design flood events? A look at the new methods of DWA standard M 552

The newly published DWA standard M 552 "Stochastic and deterministic methods for determining flood probabilities" [2] was developed against the background of many extreme events in recent years and offers a variety of new statistical and stochastic approaches to estimate flood probabilities more accurately. In this study, the methods of partial series and type-based statistics are applied to exemplary data sets in order to quantify the influence on flood discharges and to assess the added value of including further information.

Autoren

Dr.-Ing. Henning Oppel
Nina Grundmann, M. Sc.
Okeanos Smart Data Solutions GmbH
Viktoriastr. 29
44787 Bochum
henning.oppel@okeanos.ai
nina.grundmann@okeanos.ai

Dr. rer. nat. habil. Svenja Fischer
Wageningen University & Research
Droevendaalsesteeg 3
6708 PB, Wageningen, Niederlande
svenja.fischer@wur.nl

Literatur

[1] Tabari, H.: Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. In: Sci. Rep. 10 (2020), 13 768 (doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2).

[2] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Stochastische Wege zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten unter Berücksichtigung deterministischer Aspekte. In: DWA-Merkblätter (2024), M 552.

[3] Grundmann, N.; Oppel, H.; Bühler, P.: Mit dem HQ-Statistik-Expert den steigenden Ansprüchen der Hochwasserstatistik gerecht werden. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (2024), Nr. 11.

[4] Fischer, S.; Schumann, A.; Bühler, P.: A statistics-based flood event separation. In: Journal of Hydrology X 13 (2021), 100 070 (doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100070).

[5] Fischer, S.; Schumann, A.: Regionalisation of flood frequencies based on flood type-specific mixture distributions. In: Journal of Hydrology X 13 (2021), 100 107 (doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100107).

[6] Lindström, G.; Johansson, B.; Persson, M.; Gardelin M.; Bergström S.: Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. In: Journal of Hydrology 201 (1997), Nr. 1-4, S. 272-288 (doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00041-3).

DOI dieses Beitrags: http://doi.org/10.1007/s35147-025-2474-5

Springer Professional

Hochwasserrisiko

Schwiersch, N.: Hochwasserrisiko als Planungsgröße - Optimierung von Deichquerschnitten mit einem genetischen Algorithmus. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 1/2024. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2025. https://sn.pub/93qrfz