

MUSE- Statistisch-probabilistische Einordnung von Sturmfluten mit sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten

Jürgen Jensen & Christoph Mudersbach

Im Jahr 2002 wurde das KFKI-Forschungsvorhaben „Modellgestützte Untersuchungen zu Sturmfluten mit sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten (MUSE)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmbf) mit einer Dauer von 3 Jahren genehmigt. Das Vorhaben ist ein Verbundprojekt der Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt (fwu) an der Universität Siegen, dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

Die statistische Einordnung von extremen Wasserständen mit sehr kleinen Eintrittswahrscheinlichkeiten ($<10^{-3}$) ist durch eine statistische Analyse der beobachteten Daten nicht sicher abzuschätzen. Aus einer Beobachtungsreihe von ca. 100 Jahren kann nach statistischen Grundsätzen nur auf die 2- bis 3-fache Länge dieser Zeitreihe extrapoliert werden.

Durch das KFKI-Projekt MUSE sollen zusätzliche Informationen im Bereich von sehr seltenen Extremereignissen erarbeitet werden, die eine deutlich größere Extrapolationszeitspanne ermöglichen. Dazu eignen sich Simulationen von physikalisch konsistenten Sturmflutwetterlagen und die Modellierung von zugehörigen Windstauwerten bzw. Wasserständen; diese zusätzlichen Informationen können in die statistisch-probabilistische Datenanalyse einfließen und verbessern.

Dabei ist zu beachten, dass es mehrere Möglichkeiten gibt, diese zusätzlichen Informationen in die statistische Analyse einzubeziehen. Mit den zu erwartenden Ergebnissen wird die Diskussion der statistischen Einordnung von extremen Sturmfluten auf Grundlage unterschiedlicher Ansätze auf eine deutlich breitere Basis gestellt; dabei erheben einzelne Ansätze nicht den Anspruch auf „Richtigkeit“.

Das Problem der statistischen Einordnung von extremen Wasserständen ergibt sich immer dann, wenn ein Ereignis auftritt, welches deutlich größer ist, als die zuvor beobachteten Ereignisse oder auf ein Ereignis mit einer sehr kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit geschlossen werden soll. Durch das Auftreten eines Extremwertes ändern sich oft die Ergebnisse der statistischen Einordnung erheblich. Dieser Effekt konnte im Jahr 2002 beim Elbehochwasser festgestellt werden, woraufhin die statistischen Verfahren teilweise gänzlich in Frage gestellt wurden. Diese Unsicherheit bei der Einordnung solch extremer Werte führt auch an der Ostsee zu der Tatsache, dass für Aufgaben im Küsteningenieurwesen meistens auf eine weitergehende statistische Analyse verzichtet wird und das Hochwasserereignis von 1872 maßgebend ist, welches „augenscheinlich“ nicht in die beobachtete Zeitreihe passt (Abb. 1).

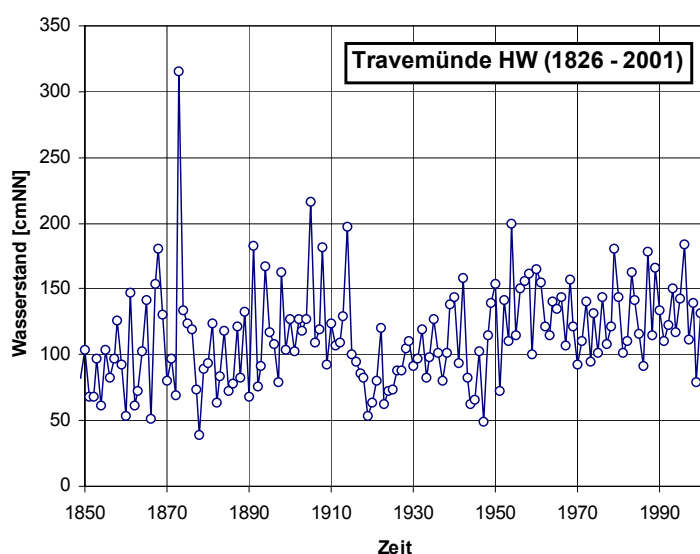


Abb. 1: HW-Zeitreihe des Pegels Travemünde (Ostsee)

Bei der Untersuchung dieses Sachverhaltes, stellen sich zunächst folgende Fragen: Sind außerordentliche Extremereignisse (z.B. Travemünde 1872 oder Elbe 2002) Ausreißer oder gehören sie zur natürlichen Variabilität einer Zeitreihe? Gibt es einen höchsten Wasserstand, der physikalisch begründet werden kann?

Es erscheint zunächst plausibel, dass es einen theoretisch höchstmöglichen Wasserstand gibt, der damit eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P_U = 0$ besitzt, ohne die Größenordnung dieses Wasserstandes festzulegen.

Aus diesem Grund wurde im Forschungsvorhaben MUSE ein statistisch-probabilistisches Verfahren entwickelt, welches auf der Allgemeinen Extremwertverteilung (GUMBEL Typ III) beruht, bei dem jedoch ein oberer Grenzwert definiert werden kann, dem sich die Verteilungsfunktion asymptotisch nähert. Um die Variabilität einer Zeitreihe untersuchen zu können, wurden umfangreiche Monte-Carlo-Simulationen implementiert, mit deren Hilfe eine Vielzahl von synthetischen Zeitreihen generiert werden können, die in ihrer Struktur der beobachteten Datenreihe entsprechen.

Die bisherigen Zwischenergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen zeigen, dass sich maximale Extremwerte ($P_U < 10^{-4}, -5, \dots$) berechnen lassen, die jedoch deutlich unterhalb der Obergrenze der Verteilungsfunktion liegen. Daraus folgt die Möglichkeit, diese Werte den modellierten maximalen Wasserständen des BSH gleichzusetzen und damit physikalisch begründete Zusatzinformationen zu erhalten.

Die statistisch-probabilistischen Auswertungen der beobachteten Daten (Cuxhaven HThw) zeigen im Vergleich zu den bisher verwendeten Verfahren ähnliche Ergebnisse. Dass ein Extremereignis, welches deutlich über den bisherigen Beobachtungen liegt, in einer Zeitreihe auftreten kann, kann ebenso durch Monte-Carlo-Simulationen nachgebildet werden (Abb. 2).

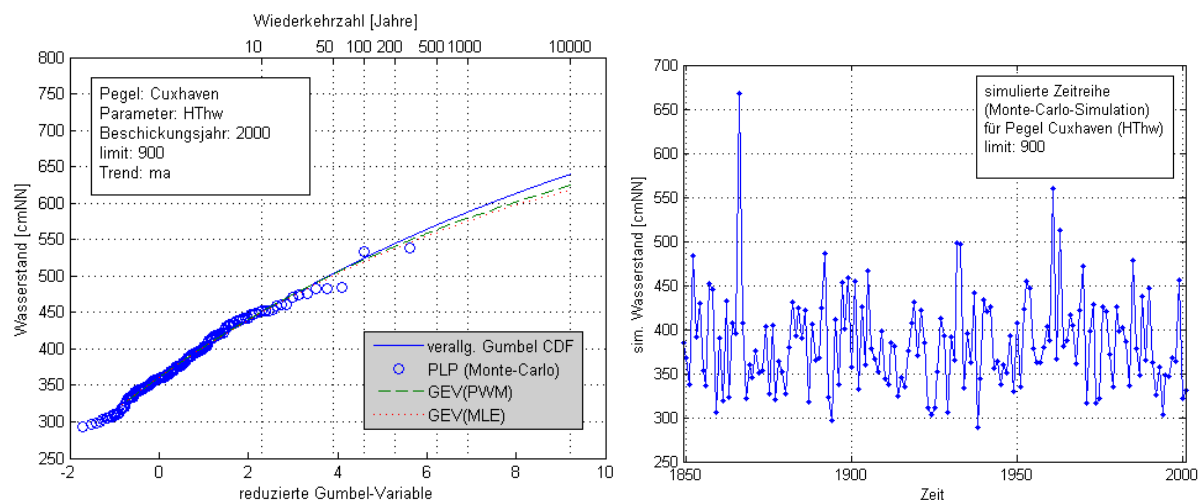


Abb. 2: Statistische Analyse der beobachteten HThw-Datenreihe Cuxhaven und simulierte HThw-Zeitreihe

Wird der beobachteten Zeitreihe ein extremer modellierter Wasserstand hinzugefügt und damit Verhältnisse nach Abbildung 1 simuliert, so zeigt sich, dass hiervon die Ergebnisse des entwickelten Verfahrens ProMUSE nicht so stark beeinflusst werden, wie die Ergebnisse der „klassischen“ Verfahren.

Zusammenfassend kann nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen festgestellt werden, dass die ursprüngliche Zielsetzung der Simulation von Sturmflutwetterlagen erfolgreich ist und darüber hinaus ein statistisch-probabilistisches Verfahren entwickelt wurde, welches die modellierten Zusatzinformationen (DWD, BSH) einbeziehen kann. Die vorgestellten Verfahren und Ergebnisse zur statistischen Einordnung von extremen Sturmfluten müssen noch weiterentwickelt und verifiziert werden.