Technische Universität Dresden – Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

40. Dresdner Wasserbaukolloquium 2017
„Bemessung im Wasserbau“

Eine Methodik zur Ermittlung der kombinierten Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen im Rückstaubereich von Sperrwerken

Edgar Nehlsen
Peter Fröhle

Im Rahmen der Umsetzung der HWRM-RL sind auch für die Nebenflüsse der großen deutschen Ästuare Hochwasserereignisse mit definierten Eintrittswahrscheinlichkeiten zu ermitteln und deren Auswirkungen zu betrachten. Ein wesentliches Wasserstands beeinflussendes Merkmal der meisten Nebenflüsse der deutschen Ästuare sind Sturmflutsperrwerke im Bereich von deren Mündung. Im Rückstaubereich dieser Sperrwerke führen kombinierte Ereignisse, bestehend aus einer Sperrung über mehrere Tiden überlagert mit einem Binnenhochwasserabfluss zu maßgebenden Hochwasserständen. Die im Folgenden zusammengefassten Untersuchungen zeigen eine Möglichkeit auf, wie die Wahrscheinlichkeit eines solchen kombinierten Hochwasserereignisses ermittelt werden kann. Aus einer beispielhaften Anwendung geht hervor, dass das es sich hierbei vielfach um extrem seltene Ereignisse mit sehr großen Wiederkehrintervallen (teilweise > 5000 Jahre) handelt. Im Hinblick auf die Umsetzung der EU-HWRM-RL, die die Betrachtung von Hochwasserereignissen definierter Wahrscheinlichkeiten fordert, ist es daher sinnvoll die bestehenden Annahmen zu überprüfen, gegebenenfalls anzupassen und die Wahrscheinlichkeiten von den angesetzten kombinierten Hochwasserereignissen auf der Grundlage der präsentierten Methodik spezifisch für jeden Nebenfluss zu bestimmen.

Stichworte: Sperrwerk, Tide, kombinierte Wahrscheinlichkeit

1 Einführung

Viele Nebenflüsse der großen deutschen Ästuare sind im Bereich ihrer Mündung mit einem Sturmflutsperrwerk versehen. Planung und Bau der Sperrwerke wurde forciert durch die schweren Sturmfluten von 1953 (Niederländische Küste) und 1962 (Deutsche Bucht) in deren Folge die Küstenschutzstrategie für die Nordseeküste überarbeitet wurde. Ein wesentliches Ziel der neuen Strategie war die deutliche Verkürzung der Hauptdeichlinien (Niedersachsen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1962; Schleswig-Holstein Ministerium für Er-

nährung, Landwirtschaft und Forsten 1963). Dementsprechend wurden die Sperrwerke im Bereich der Mündungen der Nebenflüsse platziert, deren Deiche bis zur Inbetriebnahme der Sperrwerke ebenfalls zur Hauptdeichlinie gehörten. Im Bereich der Unterelbe wurde die Länge der Hauptdeichlinie durch den Bau von Mündungsschöpfwerken an den sieben größten Nebenflüssen mehr als halbiert. Die Schließung der Sperrwerkstore erfolgt in der Regel bereits bei Wasserständen von 0,5 m bis 1,0 m über dem mittleren Tidehochwasser (MThw) was dazu führt, dass einige Sperrwerke häufiger als 100 Mal pro Jahr geschlossen werden.

Auf der Binnenseite der Sperrwerke führte deren Inbetriebnahme zu einer grundsätzlichen Änderung der Hochwassersituation. Da Sturmfluten gekehrt werden, sind in den Unterläufen der Nebenflüsse keine Wasserstände in der Größenordnung von extremen Sturmfluten mehr zu erwarten. Trotzdem können sich auf der Binnenseite der Sperrwerke hohe Wasserstände einstellen, die zu Überflutungen der Niederungen der Nebenflüsse führen. Diese Hochwassersituation wird dadurch hervorgerufen, dass der Binnenabfluss während einer lange andauernden Sperrung nicht abfließen kann und es folglich zu einem Aufstau des Wassers auf der Binnenseite des Sperrwerks kommt. Von dem Aufstau ist in der Regel der gesamte tidebeeinflusste Abschnitt eines Nebenflusses betroffen.

Entsprechend der veränderten Auslöser für die Hochwasserentstehung wurden für Bemessungsaufgaben, wie z.B. die Festlegung des Deichbesticks für die Nebenflüsse oder die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten, Hochwasserereignisse definiert, die eine Kombination aus Binnenabfluss und lange andauernden hohen Außerwasserständen im Hauptästuar mit umfassen. Heute besteht insbesondere vor dem Hintergrund der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL) die Frage nach der Wahrscheinlichkeit mit der ein solches kombiniertes Ereignis auftritt.

In Abbildung 1 ist ein denkbarer schematischer Verlauf der Abfluss- und Wasserstandsganglinien im Fall einer Sperrung über eine Tnw-Kette mit zwei aufeinanderfolgenden erhöhten Tideniedrigwassern (Tnw) dargestellt. Diese führen dazu, dass das Sperrwerk aufgrund hoher Außenwasserstände auch zu den Zeitpunkten der beiden Tnw nicht geöffnet werden kann. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse beziehen sich allesamt auf das in Abbildung 1 schematisch dargestellte Ereignis, das in Anlehnung an die gängige Praxis gewählt wurde.

Der Binnenabfluss setzt sich an Nebenflüssen in tief liegenden Marschen aus zwei wesentlichen Komponenten zusammen: i) dem natürlichen Zufluss aus dem oberen Einzugsgebiet (zumeist der Geest), der im freien Gefälle erfolgt und ii) dem künstlichen Zufluss über die Schöpfwerke, die das untere Einzugsgebiet im Bereich der Marsch entwässern. Für den Zufluss aus dem oberen Einzugsgebiet wird

in der Praxis zumeist ein statistisches Abflussereignis mit einem definierten Wiederkehrintervall, z.B. HQ_5 oder HQ_{10}, angenommen. Außerdem überlagert sich die maximale Fülle der Hochwasserganglinie mit der Sperrung. Der Zufluss über die Schöpfwerke wird aufgrund der mangelnden Datengrundlage als konstant angenommen. Die Sperrung beginnt während der Flut sobald der Außenwasserstand den festgelegten Schließwasserstand überschreitet. Durch den abrupt abreißenden Impuls entsteht zunächst ein Absperrsunk. Parallel zur Beruhigung der Strömung und dem Ausspiegeln des Wasservolumens führt der Binnenabfluss zu einem Anstieg des Wasserspiegels. Die Anstiegsrate des Wasserspiegels hängt dabei von der Fülle des Abflusses und dem Stauraum hinter dem Sperrwerk ab. Letzterer ist in der Regel eine fixierte Größe, die durch die Topographie von Gewässer und Vorländern (inklusive Verlauf der Deichlinie) gegeben wird. Nur wenige Nebenflusssysteme, wie z.B. (Ochtum, Hunte, Lühe) verfügen an ihren Unterläufen über Polder, die bei hohen Wasserständen geflutet werden und somit den Anstieg des Wasserspiegels verlangsamen.

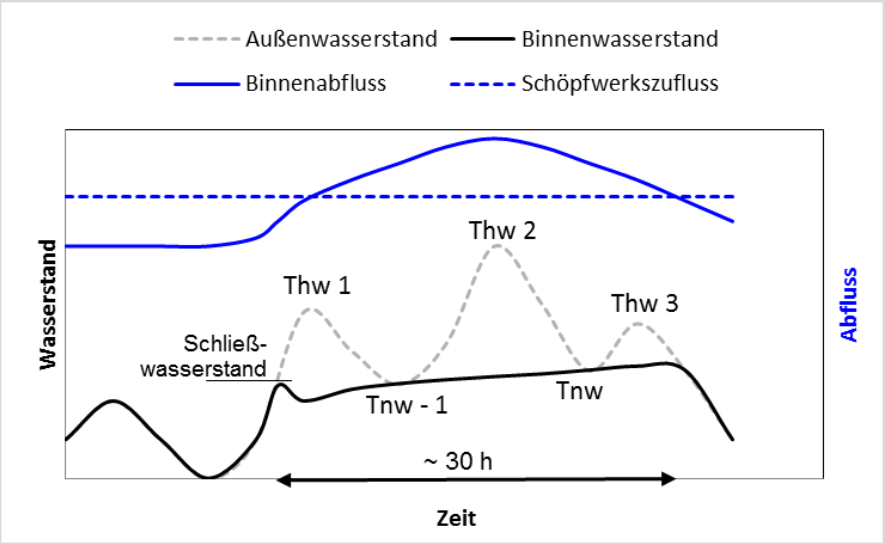

Abbildung 1: Schematischer Verlauf und zeitliche Überlagerung der Wasserstands- und Abflussganglinien im Fall einer Sperrung über eine Kettentide mit zwei erhöhten Tnw, aus (Nehlsen 2017)

Der fortwährende Anstieg des Binnenwasserstands im Fall einer Sperrung wird erst durch die Wiederöffnung des Sperrwerks bei Gleichheit von Binnen- und Außenwasserstand gestoppt. Die Veranschaulichung der Wasserstandsganglinien in Abbildung 1 macht deutlich, dass die Tnw eine entscheidende Bedeutung haben, da zu diesen Zeitpunkten der Wasserstandsverlauf definitionsgemäß ein lokales Minimum aufweist. Dementsprechend wird bei den nachfolgend vorgestellten Untersuchungen zur Bestimmung des Wiederkehrintervalls eines kombinierten Ereignisses sowohl die Größe des Abflusses als auch die Tnw im Hauptästuar einbezogen.

2 Methodik

Die Ermittlung der kombinierten Wahrscheinlichkeit des dargestellten Bemessungsereignisses erfordert eine statistische Analyse von Tideniedrigwasser- und Abflusszeitreihen. Dabei sollten die zugrunde gelegten Wasserstandszeitreihen repräsentativ für die Verhältnisse auf der Außenseite des jeweiligen Sperrwerks und die Abflusszeitreihen repräsentativ für den Binnenabfluss aus dem gesamten Einzugsgebiet des jeweiligen Nebenflusses sein.

Die Wasserstände im Bereich der Ästuare unterliegen im Allgemeinen unterschiedlichen Einflüssen, die zu einer Veränderung der mittleren Wasserstände führen. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts führten z.B. massive Baumaßnahmen, die die Verbesserung der Schiffbarkeit die Sicherung des anthropogen genutzten Raumen zum Ziel hatten, zu teilweise signifikanten Veränderungen der mittleren Wasserstände. Von diesen Änderungen sind auch die Tnw betroffen. Während die Veränderungen des MTnw im Mündungsbereich der Ästuare noch vergleichsweise gering ausfallen ist in Richtung stromauf jedoch eine deutliche Abnahme der Tnw-Höhen erkennbar. Das bedeutet im Rahmen dieser Untersuchung, dass die gemessenen Zeitreihen im Bereich der Nebenflussmündungen zunächst überprüft und homogenisiert werden müssen. Das Ziel der Homogenisierung ist es, den anthropogenen Einfluss weitgehend zu eliminieren und darüber hinaus eine möglichst lange Tnw-Zeitreihe zu generieren.

Ein möglicher Ansatz zur Ermittlung einer homogenen Tnw-Zeitreihe ist die Verwendung eines Regressionsmodells mit dem die gemessenen Daten eines mündungsnahen Bezugspegels auf den jeweils betrachteten Pegel nahe der Mündung des Nebenflusses transferiert werden. Dabei wird aus jeder gemessenen Zeitreihe ein Ausschnitt gewählt, der für den aktuellen Ausbauzustand des Ästuars repräsentative Werte beinhaltet. Aus diesem Ausschnitt werden wiederum nur die relevanten Ereignisse, d.h. im vorliegenden Fall nur die erhöhten Tnw, extrahiert. Aus der Gegenüberstellung der Daten im Streudiagramm wird dann eine abschnittsweise lineare Funktion abgeleitet mit der dann die gesamte verfügbare Datenreihe vom Bezugspegel auf den jeweiligen nebenflussnahen Pegel transferiert wird. Aus der erzeugten Tnw-Zeitreihe wird dann eine Stichprobe bestehend aus Tnw-Paaren gewonnen, die einer bivariaten Extremwertanalyse unterzogen wird.

In den Zeitreihen des Binnenabflusses aus den Einzugsgebieten sind keine größeren anthropogenen Beeinflussungen zu erwarten. Im Hinblick auf die Ermittlung des Wiederkehrintervalls des kombinierten Ereignisses (Tnw-Kette mit Hochwasserabfluss) ist es allerdings von wesentlicher Bedeutung ob ein signifikanter Zusammenhang (Korrelation) zwischen hohen Binnenabflussereignissen und erhöhten Tnw besteht. Ist dies nicht der Fall, d.h. das Zusammentreffen kann als rein

zufällig betrachtet werden, dann können die Wahrscheinlichkeiten der beiden Komponenten Hochwasserabfluss und Tnw-Kette unabhängig voneinander ermittelt und anschließend miteinander multipliziert werden. Andernfalls wird eine multivariate Betrachtung erforderlich. Zur Beurteilung eines möglichen Zusammenhangs zwischen den Parametern sowie dessen Stärke werden eine Korrelationsanalyse sowie eine phänomenologische Betrachtung durchgeführt.

3 Datengrundlage

Für die Untersuchungen standen Abflusszeitreihen von Pegeln im oberen Einzugsgebiet der Nebenflüsse und Wasserstandszeitreihen der Tnw von Elbe-Pegeln für den Zeitraum zwischen ca. 1900 und 2015 (Cuxhaven) bzw. zwischen den 1960er Jahren und 2015 (übrige Pegel) zur Verfügung, die sich in der Nähe der Nebenflussmündungen bzw. nahe der Elbmündung (Cuxhaven) befinden. Die Abflusszeitreihen haben eine zeitliche Auflösung von einer Stunde und wurden vom Landesamt für Landwirtschaft und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) sowie vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz bereitgestellt. Die Wasserstandszeitreihen der Tnw wurden von der Wasser- und Schifffahrtsstraßenverwaltung des Bundes (WSV) zur Verfügung gestellt. Bei allen Zeitreihen handelt es sich um durch die Behörden geprüfte Datensätze.

Während die verwendeten Abflusszeitreihen keine signifikanten Trends aufweisen, ist dies bei den Wasserstandszeitreihen der Tnw der Fall. Die Tnw-Zeitreihen von den mündungsnahen Pegeln weisen einen positiven Trend auf, z.B. Pegel Cuxhaven: 1,2 mm/a. Dieser positive Trend kehrt sich in Richtung stromauf des Ästuars um, so dass die meisten Tnw-Zeitreihen von den weiter stromauf gelegenen Pegeln im Bereich der Nebenflussmündungen einen negativen Trend aufweisen. Grundsätzlich nimmt der negative Trend in Richtung stromauf stetig zu.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden Ergebnisse des vorgestellten Ansatzes beispielhaft für den Elbnebenfluss Krückau dargestellt. Der nächstgelegene Elbe-Pegel ist der Pegel Kollmar an dem seit 1964 Wasserstände aufgezeichnet werden. Aufgrund der beschriebenen starken anthropogenen Beeinflussung werden die Daten jedoch nicht direkt für weitere Auswertungen genutzt. Stattdessen werden Daten jüngeren Datums genutzt, um das vorgestellte lineare Regressionsmodell aufzubauen. Dazu

werden die Tnw der Pegel Kollmar und Cuxhaven in einem Streudiagramm aufgetragen und Geradengleichungen abgeleitet. In Abbildung 2 sind die am Pegel Kollmar gemessenen und die auf der Grundlage des Regressionsmodells simulierten Werte dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Werte nur geringfügig von der Winkelhalbierenden abweichen und das angewendete Verfahren genaue Ergebnisse liefert. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil des Ansatzes ist die Länge der Zeitreihe am Pegel Cuxhaven. Für die weiteren Untersuchungen steht nunmehr eine Zeitreihe von 115 Jahren zur Verfügung.

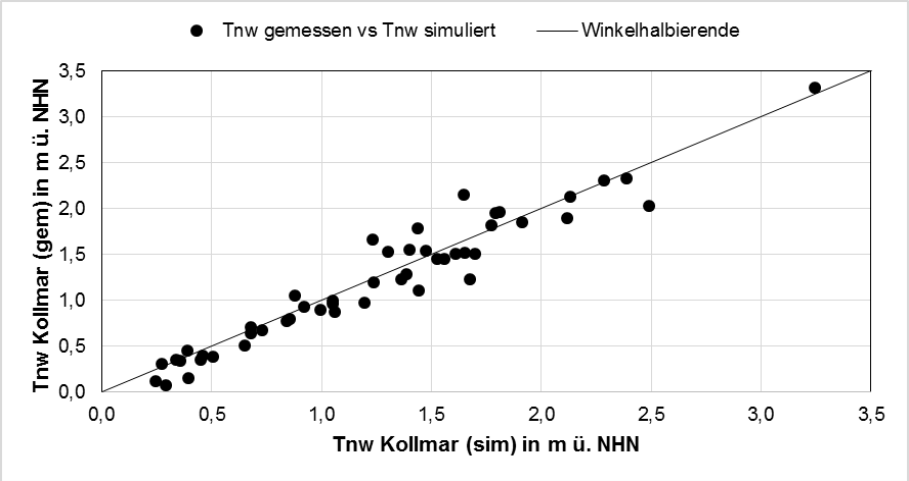

Abbildung 2: Streudiagramm der simulierten und gemessenen Tnw-Höhen am Pegel Kollmar (Zeitraum: 01.11.1964-31.10.2013), aus (Nehlsen 2017)

Aus der simulierten 115 Jahre umfassenden Zeitreihe wird eine Stichprobe gewonnen, die aus Wertepaaren von jeweils zwei aufeinanderfolgenden erhöhten Tnw besteht. Das Kriterium für die Aufnahme in die Stichprobe ergibt sich in Anlehnung an (Siefert 1985) und (Gönnert und Siefert 1998). Beide definieren für die Elbe einen Windstau von mindestens zwei Metern als Sturmflut. Dementsprechend werden auch nur solche Tnw-Paare in die Stichprobe aufgenommen, die einen entsprechenden Windstau aufweisen. Die auf diese Weise für den Pegel Kollmar gewonnene Stichprobe ist in Abbildung 3 dargestellt. Es wird deutlich, dass keine Korrelation zwischen den Tnw-Paaren besteht, was jedoch nicht bedeutet, dass die Paare in gar keinem Zusammenhang stehen. Tatsächlich besteht ein kausaler Zusammenhang wie von (Nehlsen 2017) dargestellt und untersucht. Ein statistischer Zusammenhang zwischen den Werten besteht über die Stichprobendefinition, woraus sich schließlich eine Aussage über Wahrscheinlichkeiten ergibt.

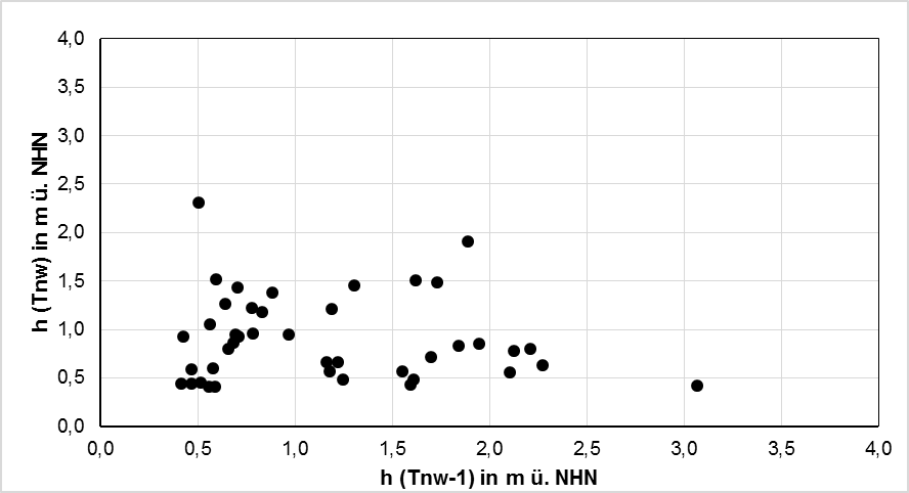

Abbildung 3: Streudiagramm der Wertepaare bestehend aus zwei aufeinanderfolgenden Tnw mit einem Windstau von mindestens 2 m (extrahiert aus der simulierten Tnw-Zeitreihe für den Pegel Kollmar, Zeitraum 01.11.1905-31.10.2013)

Nachdem der Zusammenhang zwischen den Tnw-Paaren geklärt ist, stellt sich noch die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Binnenabflüssen und erhöhten Tnw besteht. Dazu sind in Abbildung 4 die Tagesmittelwerte des Abflusses in der Krückau und die Tnw-Höhe aufgetragen. Da in der Regel zwei Tnw pro Tag auftreten, wird der jeweils höhere Wert gewählt. Eine Trendanalyse ergibt keinen signifikanten Trend. Im Gegensatz zu den Tnw-Paaren ergibt die phänomenologische Betrachtung keinen kausalen Zusammenhang (siehe Nehlsen 2017). Die genaue ereignisbezogene Betrachtung zeigt, dass eine mögliche Korrelation von sehr wenigen Ereignissen stark beeinflusst wird. Hierfür sind beispielhaft die Binnenhochwasserereignisse im Oktober 1998 und im Januar 2012 sowie die Nikolaussturmflut 2013 zu nennen.

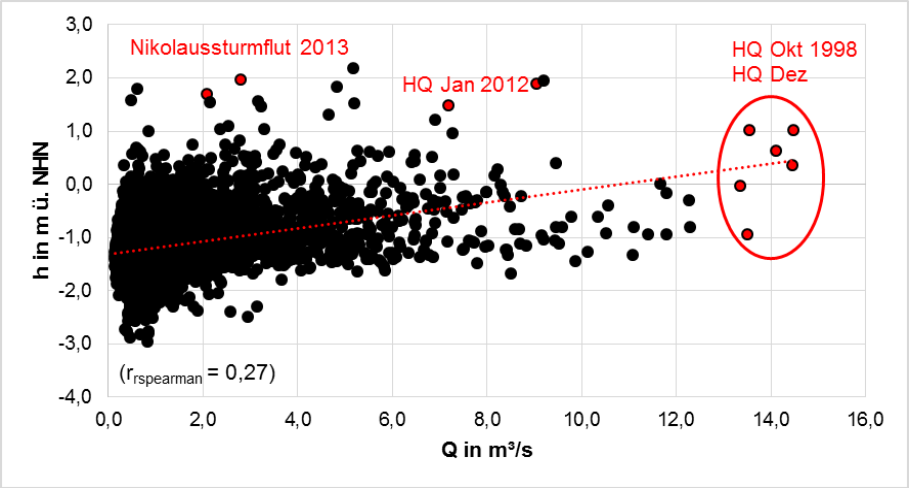

Abbildung 4: Streudiagramm der Tagesmittelwerte des Abflusses am Krückau-Pegel A23 und dem höheren Tages-Tnw am Pegel Kollmar (Zeitraum 01.11.1995-31.10.2014)

Da zwischen erhöhten Tnw in der Elbe und erhöhten Binnenabflüssen in den Nebenflüssen kein Zusammenhang besteht, werden die Wahrscheinlichkeiten der beiden Komponenten zunächst separat bestimmt und anschließend miteinander multipliziert. Für den Abfluss wird eine univariate Extremwertanalyse durchgeführt, um Aussagen zu der Größe definierter statistischer Ereignisse (z.B. HQ_5 und HQ_{10}) zu erhalten. Weitere Informationen hierzu sind in (Nehlsen 2017) zu finden.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von zwei deutlich erhöhten (d.h. min. 2m Windstau) Tnw in Folge wird auf der Grundlage einer bivariaten Analyse bestimmt. Hierfür werden Copula-Funktionen herangezogen, mit denen der funktionale Zusammenhang zweier Zufallsvariablen mit beliebigen Randverteilungen beschrieben wird. In Abbildung 5 sind die Stichproben (schwarze Kreuze) sowie die auf der Grundlage der Randverteilungen und der Copula-Funktion simulierten Werte (graue Ringe) dargestellt. Jedem Tnw-Paar wird eine gemeinsame Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Im Folgenden sowie in Abbildung 5 werden aus Gründen des besseren Verständnisses die entsprechenden Wiederkehrintervalle in Jahren angegeben. Durch Verbinden von Werten mit gleichem Wiederkehrintervall entstehen Isolinien gleicher Wiederkehrintervalle (schwarze durchgezogene Linien). Bei der statistischen Einordnung der gemessenen Ereignisse fällt auf, dass das Wertepaar (1,89/1,91 m ü. NN), das während der Sturmflut vom Februar 1962 auftrat, das größte Wiederkehrintervall von etwa 500 Jahren aufweist. Das zweitgrößte Wiederkehrintervall weist die zweite Niedrigwasser-Orkanflut vom Februar 1967 auf, bei der ein Tnw einen Windstau von fast 4,5 m erreichte. Das nachfolgende Tnw fiel allerdings (genauso wie das vorherige Tnw) deutlich niedriger aus, weshalb sich für die Kombination (3,06/0,46 m ü. NN) kein größeres Wiederkehrintervall als ca. 200 Jahre ergibt.

Um nun das Tnw-Paar zu finden, das genau dazu führt, dass das Sperrwerk nicht geöffnet werden kann (vgl. Abbildung 1) muss der zugehörige Binnenwasserstand zum Zeitpunkt des Eintretens des ersten (Tnw-1) und des zweiten (Tnw) ermittelt werden. Dies kann mit Hilfe eines hydrodynamisch-numerischen Modells erfolgen wie in (Nehlsen 2017) dargestellt. Im Folgenden wird diese Thematik nicht aufgegriffen. Stattdessen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich der Wasserstand nach Beginn der Sperrung nicht mehr ändert. Dementsprechend ist nach einer Kombination zu suchen, bei der beide Tnw exakt den Schließwasserstand erreichen.

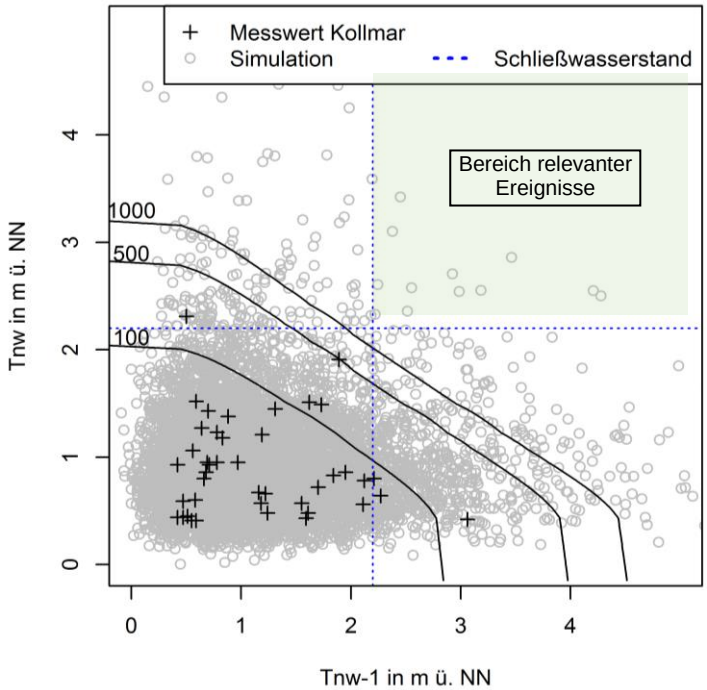

Abbildung 5: Gemessene und simulierte Datenpaare sowie Linien gleicher Wiederkehrintervalle für den Pegel Kollmar

Der Schließwasserstand ist in Abbildung 5 als gestrichelte Linie dargestellt. Dort wo sich beide Linien kreuzen, befindet sich der gesuchte Wert. Es wird deutlich, dass in der 115 Jahre umfassenden Tnw-Zeitreihe kein Tnw-Paar zu finden ist, das dem gesuchten Wert besonders nahe kommt. Insgesamt sind überhaupt nur drei einzelne Tnw zu verzeichnen, die höher aufgelaufen sind als der Schließwasserstand. Damit wird deutlich, dass es sich bei der gesuchten Kombination um ein extrem seltenes Ereignis handelt. Tatsächlich ergibt sich für das gesuchte Tnw-Paar ein Wiederkehrintervall von mehr als 1000 Jahren.

5 Diskussion und Schlussfolgerung

Die Untersuchungen zeigen eine Möglichkeit auf, wie die Wahrscheinlichkeit eines kombinierten Hochwasserereignisses (Binnenhochwasser und wasserstandsbedingte Sperrung über zwei Tnw) im Rückstaubereich von Sperrwerken ermittelt werden kann. Es wird gezeigt, dass zwischen den beiden Komponenten Binnenhochwasser und erhöhte Tnw statistisch kein signifikanter Zusammenhang besteht, weshalb die beiden Komponenten unabhängig voneinander ausgewertet werden. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bzw. das Wiederkehrintervall von zwei erhöhten Tnw in Folge wird auf der Grundlage einer bivariaten Extremwertanalyse bestimmt. Die statistische Einordnung der in 115 Jahren aufgetretenen Ereignisse zeigt, dass das Wiederkehrintervall für eine Sperrung über zwei

Tnw in Folge unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Steuerung (Schließwasserstand) extrem groß ist (>1000 Jahre). Das Wiederkehrintervall für das kombinierte Ereignis (Binnenhochwasser und wasserstandsbedingte Sperrung über zwei Tnw) ergibt sich aus der Multiplikation der einzelnen Wiederkehrintervalle. Wird z.B. für das Binnenhochwasser ein HQ_5 angenommen, ergibt sich für das kombinierte Ereignis ein Wiederkehrintervall >5000 Jahre. Insgesamt ist zu beachten, dass im vorliegenden Fall ein Tnw-Paar eingeordnet wurde, das sich aus der vereinfachenden Annahme ergibt, dass sich der Wasserstand während der Sperrung statisch verhält. Dies entspricht natürlich nicht der Realität. Bei der genauen Berücksichtigung der Wasserstandsentwicklung ergibt sich ein noch höheres Wiederkehrintervall wie von (Nehlsen 2017) gezeigt. Unabhängig davon kann jedoch auch an dieser Stelle aus den vorgestellten Ergebnissen gefolgert werden, dass das untersuchte Ereignis, das an der gängigen Praxis angelehnt ist, ein sehr hohes Wiederkehrintervall hat. Dies gilt trotz der unterschiedlichen Eigenschaften (Binnenabfluss, Stauraum, Tideverhältnisse, Schließwasserstand etc.), die die Nebenflüsse von Elbe und Weser aufweisen, übergreifend für nahezu alle Nebenflüsse. Im Hinblick auf die Umsetzung der EU-HWRM-RL, die die Betrachtung von Hochwasserereignissen definierter Wahrscheinlichkeiten fordert, ist es daher sinnvoll die bestehenden Annahmen zu überprüfen und die Wahrscheinlichkeiten der angesetzten kombinierten Hochwasserereignissen spezifisch für jeden Nebenfluss, z.B. auf der Grundlage des vorgestellten Ansatzes, zu bestimmen.

6 Literatur

Gönnert, Gabriele; Siefert, Winfried (1998): Sturmflutatlas Cuxhaven. [Hamburg]: Strom- und Hafenbau (Studie / Strom- und Hafenbau [Hamburg], Strombau/Hydrologie <24>, Nr. 91).

Nehlsen, Edgar (2017): Wasserbauliche Systemanalyse zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf tidebeeinflusste Nebenflüsse der Elbe. Im Druck. Hamburg: TuTech Verlag (Hamburger Wasserbau-Schriften, 20).

Niedersachsen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1962): Nieders. Küstenschutzprogramm. Deichbau und Küstenschutz ab 1963. Unter Mitarbeit von Niedersächsischer Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Hannover.

Schleswig-Holstein Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1963): Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung, Küstenschutz in Schleswig-Holstein. Unter Mitarbeit von Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Kiel.

Siefert, Winfried (1985): Sturmfluten von 1901 bis 1984 vor der südlichen Nordseeküste und in Hamburg. Ganglinien. Hamburg: Behörde für Wirtschaft Verkehr u. Landwirtschaft Strom- u. Hafenbau (Hamburger Küstenforschung, 44).

Autoren:

Dipl.-Ing. Edgar Nehlsen

Institut für Wasserbau
TU Hamburg-Harburg
Denickestraße 22
21073 Hamburg

Tel.: +49 40 42878 4274
Fax: +49 40 42874 2802
E-Mail: nehlsen@tuhh.de

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

Institut für Wasserbau
TU Hamburg-Harburg
Denickestraße 22
21073 Hamburg

Tel.: +49 40 42878 4600
Fax: +49 40 42874 2802
E-Mail: froehle@tuhh.de