

Auswirkungen von Sturmflutentlastungspoldern an der Unterweser

Nicole von Lieberman
Dr.-Ing.

Stephan Mai
Dipl.-Phys.

Nino Ohle
Dipl.-Ing.

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover
Geschäftsführender Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. C. Zimmermann
Nienburger Str. 4, D-30167 Hannover

1 Einleitung

Zur Dämpfung von Hochwasserflutwellen an Gewässern, Flüssen und Ästuaren wird in vielen Studien (z.B. BUND, 1996) die Einrichtung von Sturmflutentlastungspoldern in Erwägung gezogen. Häufig sind jedoch die tatsächlichen Auswirkungen auf Wasserstände und Abflüsse durch Auen oder künstliche Überflutungspolder nicht bekannt.

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) sieht in den am Oberrhein zum Ausgleich der Hochwasserverschärfung durch den Ausbau eingerichteten und nach regionalen Gesichtspunkten betriebenen künstlichen Hochwasserrückhaltebecken (Polder) sogar eine in der Regel abflußverschärfende Wirkung, weil sie zu selten geflutet werden.

Daher wurden im Rahmen des interdisziplinären Forschungsvorhabens Klimaänderung und Unterweserregion (KLIMU) Untersuchungen zu Auswirkungen und zum Management von Sturmflutentlastungspoldern durchgeführt.

Hierbei wurde sowohl die Wirkung der örtlichen Lage der Polder, der zeitliche Verlauf der Flutung wie auch Wirkung verschiedener Polderöffnungen untersucht.

Die Größe, Lage und Dimensionierung der Sturmflutentlastungspolder wurde anhand vorhergehender Untersuchungen im Rahmen des KLIMU-Projektes (von Lieberman und Mai, 1999) durchgeführt.

Abb. 1 zeigt eine Übersicht der Unterweserregion und eine räumliche Zuordnung der drei möglichen Entlastungspolder in diesem Bereich, wie sie auch in der BUND-Studie (1996) dargestellt sind.

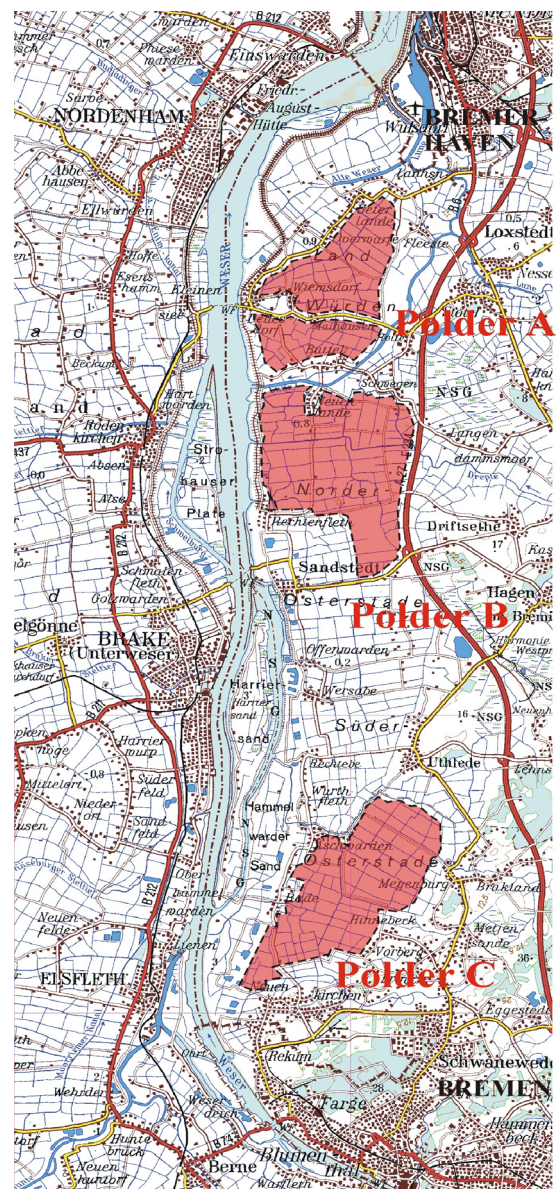


Abb. 1 Übersicht und räumliche Zuordnung der drei Sturmflutentlastungspolder (Datenbasis: LGN, 1998)

2 Randbedingungen

2.1 Darstellung der Polder

Die Auswirkungen der drei Sturmflutentlastungspolder am rechten Weserufer auf die Wasserstände in der Unterweser wurden mit Hilfe des numerischen Simulationsprogramms MIKE21 berechnet. Hierbei wurden Simulationen mit jeweils einem Polder und unterschiedlichen Polderkombinationen durchgeführt. Um Antworten auf die Regulierung und das Management der Polder zu erhalten, wurden die Varianten mit unterschiedlichen Polderöffnungsweiten und Drempelhöhen berechnet.

Die in der Abb. 1 dargestellten Polder sind der Studie der BUND-Arbeitsgruppe Unterweser entnommen. Diese schlägt an der Unterweser Polder im Land Würden bei Dedesdorf, in der Drepteniederung und in Osterstade-Süd vor. Zur Flutung der Polder müßten die vorhandenen Hauptdeiche flußseits geschliffen werden. Hierdurch könnten Sturmflutspitzen in der Unterweser vermieden und die Deiche entlastet werden. Zudem könnten gefährliche Hochwasserstände für angrenzende Siedlungen gesenkt werden.

Die Flutung und Entlastung der Polder könnte automatisch durch ein Überströmen der Deiche an bestimmten Polderöffnungen geschehen, hier wären die Deichkronen auf bestimmte Drempel- bzw. Bestickhöhen abgesenkt; oder die Flutung geschieht durch Einlaufbauwerke, wie z.B. Siele und Schöpfwerke, welche im Deich zu errichten sind. Mit Hilfe von Schöpfwerken oder Deichsielen wäre auch eine schnelle Entleerung gewährleistet, so daß die Polder bei einer folgenden erhöhten Flut erneut Wassermengen aufnehmen könnten.

Es sollte weiterhin berücksichtigt werden, daß die Flächen der Hochwasserentlastungspolder frei gehalten werden müssen, so daß es in diesen Gebieten zur Einschränkung im Siedlungs-, Verkehrswege- und Industriebau kommen würde. Für die im Planungsgebiet existierenden Gehöfte müßte Objektschutz betrieben oder diese umgesiedelt werden. In den Poldern könnte eine verringerte, naturverträgliche Landwirtschaft betrieben werden, wobei die Polder extensiv als Dauergrünland bewirtschaftet werden könnten. Die Entlastungspolder würden so nicht nur dem Sturmflutschutz, sondern ebenfalls dem Naturschutz dienen. „Die jetzige ökologische Funktion der benötigten Flächen bliebe auf diese Weise langfristig gesichert und kann sogar verbessert werden“ (BUND, 1996). Jedoch darf hierbei nicht außer Acht gelassen werden, daß im Falle einer Sturmflut die Polder mit Salzwasser überschwemmt würden und so gegebenenfalls der vorhandene Lebensraum vieler Tiere zerstört würde.

2.2 Bathymetrie

Die Topographie im numerischen Modell wurde auf eine Gitterweite von 50 m x 50 m diskretisiert. Hierbei wurden die Bereiche der Unterweser, die bei normaler Tide geflutet werden, regelmäßig von dem BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) vermessen, so daß für diesen Abschnitt (UW-km 20 bis UW-km 65) Höhen aus den Jahren 1990/1991 in die Bathymetrie des Modells eingegeben wurden. Die Geländehöhen der Vorländer wurden topographischen Karten im Maßstab von 1:5000 entnommen und digitalisiert. Die Höhendaten der übrigen Gebiete wurden durch die LGN (1998) mit Hilfe von digitalen DGM 50-Karten zur Verfügung gestellt. Die Geländehöhen der Topographie sind in der Abb. 2 dargestellt.

2.3 Wasserstände und Durchflüsse

Das numerische Modell MIKE21 benötigt sowohl Wasserstände und Durchflüsse an seinen Rändern. An den wasserstandsgesteuerten Rändern wurde ein Wasserspiegel über die gesamte Simulationszeit vorgegeben. Hierzu wurden am seeseitigen Systemrand Wasserstände einer Sturmflut vom Herbst 1996 am Pegel Bremerhaven anhand von Daten des WSA Bremerhavens in das Modell eingegeben. Der Durchfluß an den durchflußgesteuerten Rändern kann über die Zeit konstant oder variabel eingegeben werden. Hierzu wurden am oberstromigen Modellrand die konstanten Durchflüsse des Weserwehrs in Bremen (750 m³/s)

und die konstanten Zuflüsse der Hunte (10 m³/s), gemessen am Hunte-Sperrwerk, für die o.g. Sturmflut dem Modell vorgegeben (Abb.2).

Um die Wirkung der Polder auch bei Sturmfluten mit Kettentiden zu erkennen, wurde die Flutkurve vom 29. und 30. Oktober 1996 gewählt, die durch zwei aufeinanderfolgende Peaks gekennzeichnet ist. Ihr Verlauf ist der Abb.2 zu entnehmen.

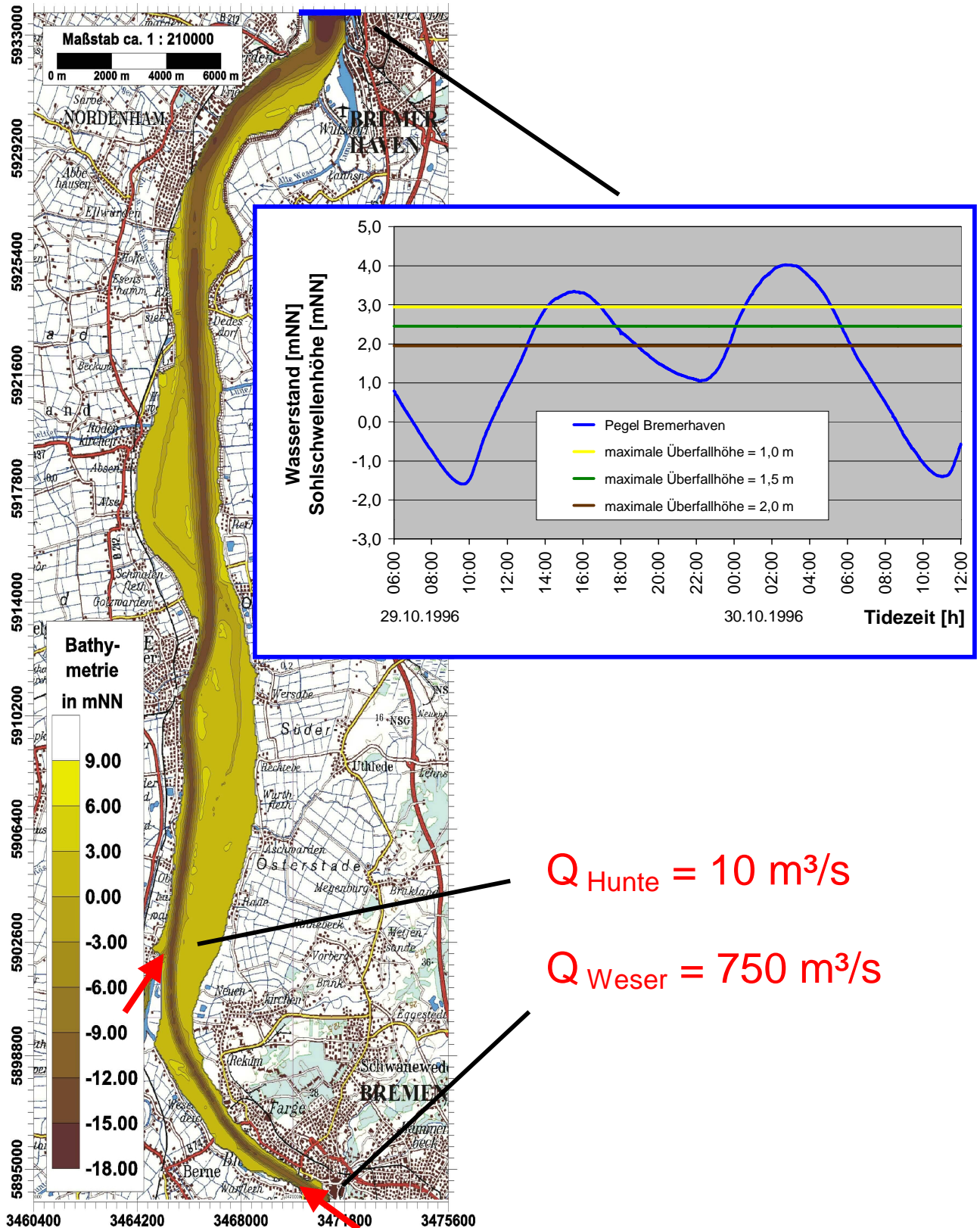


Abb. 2 Randbedingungen Bathymetrie, Wasserstand und Durchfluß im Untersuchungsgebiet

2.4 Weitere Randbedingungen

Zur genaueren Berechnung der Wasserstände wurde dem Modell auch das örtlich konstante, aber zeitlich variable Windfeld vorgegeben, wie es durch die Windstaukurve am Pegel Bremerhaven (Abb. 3) repräsentiert wird.

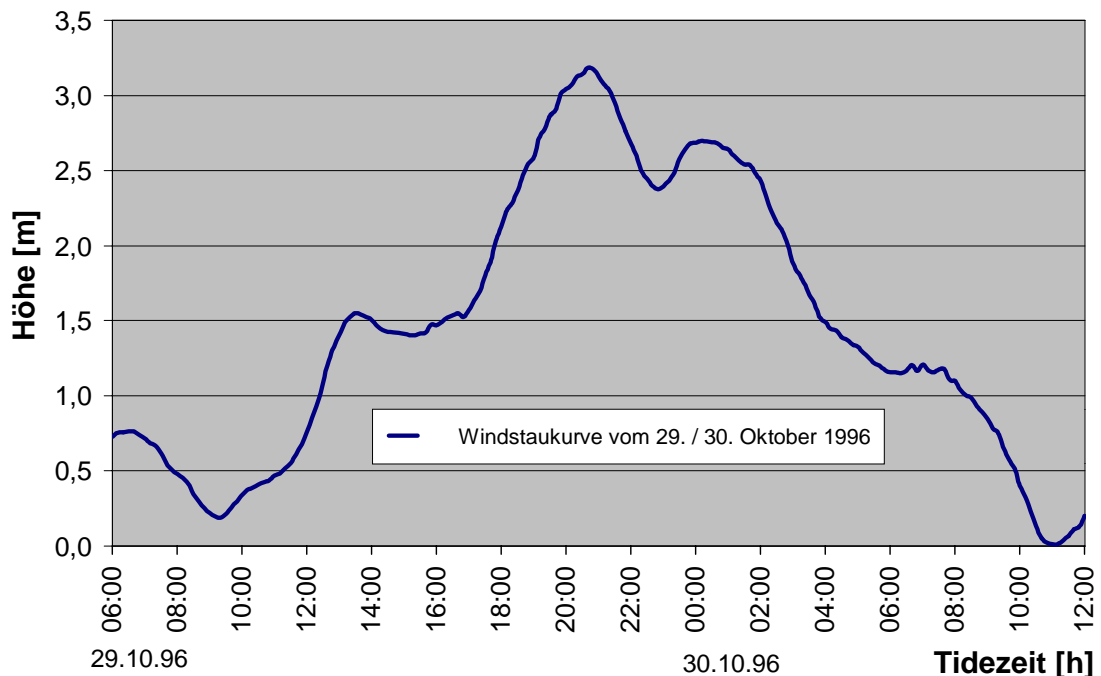


Abb. 3 Windstaukurve vom 29. und 30. Oktober 1996 am Pegel Bremerhaven

Die Sohlreibung kann in MIKE21 variabel nach unterschiedlichen topographischen Verhältnissen definiert werden. In diesem Fall wurde eine konstante Manning-Zahl für den gesamten Sohlbereich von $29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gewählt. Sie wurde bei der Kalibrierung des Modells mit Daten der Sturmflut von 1976 kalibriert. Die Validierung des Unterwesermodells erfolgte anhand der vorhandenen Tidekurven der Pegelstationen von Nordenham und Rechtenfleth für die Sturmflut von 1996. Die Wirbelviskosität wurde in Form des Smagorinsky-Faktors mit einem Wert von 0,5 berücksichtigt, wie er von Ohle und Mai (2000) ermittelt wurde.

3 Abflüsse in die Polder

3.1 Entlastung in die Polder

Die Entlastung in die Polder kann mit Hilfe des hydronumerischen Programms MIKE21 auf zwei Arten geschehen. Zum einen ist es möglich in den Bereichen der Polderöffnungen Linien- oder Punktsenken anzulegen und zum anderen wäre es möglich, eine tatsächliche Überflutung eines Polders zu simulieren.

Der Vorteil der Simulation einer tatsächlichen Überflutung liegt vor allem darin, daß die Abflüsse in den Polder nicht im Vorfeld ermittelt werden müssen und zum anderen auch die Rückführung des Wassers aus dem Polder und sein Einfluß auf die Wasserstände berücksichtigt wird. Ein solches Vorgehen ist jedoch sehr langwierig und mit vielen programmbedingten Schwierigkeiten verbunden. So müssen Höhendaten der Überflutungsflächen mit ins Programm eingearbeitet werden und Probleme des Flutens- und Trockenfallens einzelner Zellen berücksichtigt werden. Zudem ist nicht sicher, ob die Prozesse wesentliche Auswirkungen auf die Wasserstände in der Unterweser haben und ob die Einrichtung von Überflutungspoldern überhaupt eine Entlastung für die Deiche bringt. Daher wurden im Vorfeld vereinfachte Annahmen für die Abflüsse in die Polder getroffen und diese als Punktsenken in die MIKE21-Berechnung aufgenommen.

3.2 Berechnung der Abflüsse

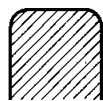
Der Abfluß in die Polder wurde in erster Näherung mit Hilfe der Formel für einen vollkommenen Überfall berechnet. Bei einem solchen Überfall muß ein Fließwechsel stattfinden, das heißt, der Unterwasserstand darf den Oberwasserstand nicht beeinflussen. Dieses ist im Modell so lange gewährt, bis der Wasserstand in den Poldern höher als die Schwelle ist. Der Abfluß bei einem vollkommenen Überfall ermittelt sich als

$$Q = \frac{2}{3} \cdot B \cdot \mu \cdot (2 \cdot g)^{0,5} \cdot h^{1,5}$$

mit:

Q	-	Abfluß durch die Polderöffnung [m³/s]
B	-	Breite der Schwelle [m]
μ	-	Überfallbeiwert [-]
g	-	Erdbeschleunigung [m/s²]
h	-	Wassertiefe über der Schwelle [m]

Bei der Ausführung der Polderöffnung wurde nicht die Variante eines beweglichen Wehres gewählt, weil dieses Bauwerk voraussichtlich über mehrere hundert Meter zu teuer wäre. Zur Berechnung des Durchflusses wurde deshalb von einem festen Wehr in Form eines gekappten Deiches ausgegangen. Diese Form entspricht etwa denen in Abb. 4 mit den Überfallbeiwerten $\mu = 0,50$ bis $0,55$ und $\mu < 0,73$. Für die Durchflußberechnungen wurde $\mu = 0,6$ gesetzt.



breit waagrecht, Kanten abgerundet
 $\mu = 0,50$ bis $0,55$



dachförmig, gut abgerundet
 $\mu < 0,73$

Abb. 4 Geometrische Form von Einlaufbauwerken (Wendehorst, 1998)

3.3 Variationen der Polderöffnungen

Die Höhe der Schwelle des Einlaufbauwerkes wurde in Abhängigkeit von dem maximalen Wasserstand der Bemessungssturmflut gesetzt. Bei den Abflußberechnungen wurde die Differenz zwischen der Höhe der Schwelle und dem maximalen Wasserstand an der Polderöffnung variiert. Es wurden dabei Werte von 1 m, 1,5 m und 2 m gewählt.

Die Öffnungsbreite der Polder wurde bei den Abflußberechnungen in 100-Meter-Schritten von 100 m bis 500 m variiert. Größere Polderöffnungen erschienen nicht als sinnvoll, da der theoretische Wasserstand in den Poldern sonst über die Höhe der Schwelle ansteigen würde. Die gewählte Formel für einen vollkommenen Überfall gilt jedoch nur, solange ein Fließwechsel stattfindet. Dieses wäre dann nicht mehr der Fall, und die errechneten Abflüsse entsprächen nicht mehr denen bei begrenztem Poldervolumen. Unberücksichtigt blieb bei den Berechnungen, wie schon oben erwähnt, ein eventuelles Abpumpen oder Abfließen des Wassers aus den Poldern.

Je nach Polderöffnungsweite und Überfallhöhe beginnen die Flutungen der Polder zeitlich versetzt. Bei einer maximalen Überfallhöhe von 2,0 m setzt eine Entlastung am frühesten ein. Dieses kann sich positiv auf eine Kappung des Scheitels im Unterstrom auswirken. Beginnt zum Beispiel die Entlastung des Polders C vor dem Eintreten des Scheitels, können sich die Absenkungen im Unterstrom fortsetzen, um dann den eintretenden Scheitel in der nördlichen Unterweser zu kappen. Ähnlich ist das Vorgehen, um den Scheitel im Oberstrom der Öffnung zu senken. Auch hier kann ein sehr großer Abfluß zum Zeitpunkt der maximalen

Wasserstände dieses bewirken. Um diese großen Abflüsse zu erreichen, muß die Schwelle möglichst tief angeordnet sein, so daß eine große Überfallhöhe vorhanden ist.

Durch eine optimale Regulierung der Einlaufbauwerke kann sowohl eine gezielte örtliche als auch zeitliche Absenkung erreicht werden. Voraussetzung ist jedoch, daß der Verlauf der eintretenden Tidekurve bekannt ist. Um eine optimale Regulierung zu gewähren, könnte es deshalb sinnvoll sein, das Einlaufbauwerk mit einer beweglichen Sohlenschwelle auszuführen. In der Abb. 5 sind die berechneten Abflüsse in die Polder bei einer Öffnungsweite von 500 m und unterschiedlichen Drempel- bzw. Überfallhöhen dargestellt.

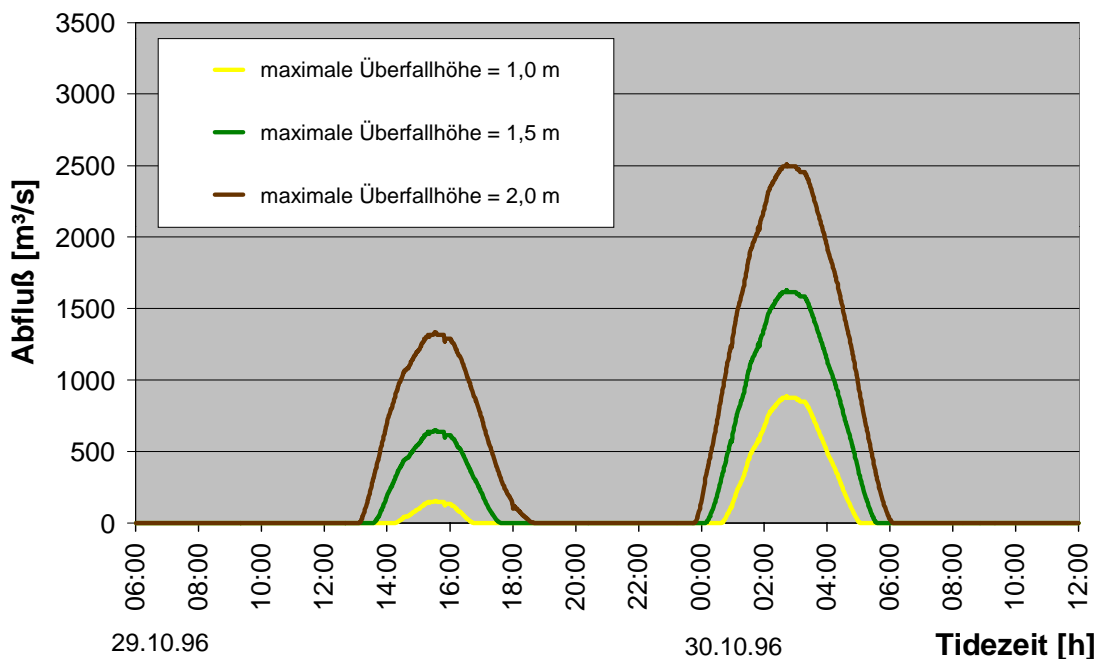


Abb. 5 Abflüsse in die Polder maximalen Überfallhöhen und einer Polderöffnungsbreite von 500 m

4 Einfluß der geographischen Lage

In den Simulationsläufen zur Bestimmung des Einflusses der geographischen Lage aller drei Polder auf die Wasserstände, wurden folgende Randbedingungen für alle drei Polder gewählt: Die Öffnungsweite wurde auf 200 m und die maximal mögliche Überfallhöhe an der Polderöffnung wurde auf 1,5 m festgelegt. Es wurden vier Varianten berechnet, wobei in drei Simulationen jeweils ein Polder berücksichtigt wurde, und eine Simulation mit allen Poldern durchgeführt wurde. Weitere Kombinationen, wie zum Beispiel zwei angeschlossene Polder, wurden durch Überlagerungen einzelner Rechnungen berücksichtigt.

Bei der Beurteilung der Wirkung der Polder wird im folgenden besonderes Augenmerk auf die Auswirkung auf den Scheitel der Tidekurve gelegt. Nur durch die Absenkung der Scheitelwasserstände können Sturmfluten wirkungsvoll gemindert und die Deiche entlastet werden. Hierzu wurden für alle Varianten die maximal aufgetretenen Wasserstände ausgegeben und die Differenzen gegenüber dem Zustand der Nullvariante ermittelt.

In Abb. 6 ist die Wirkung der einzelnen Polder und ihrer Kombinationen auf die Scheitelwasserdifferenzen in Abhängigkeit von der örtlichen Lage der Polder zusammenfassend dargestellt. Die Öffnung des Polders C befindet sich bei UW-km 31. Die Beeinflussung dieses Polders sinkt stromab mit zunehmender Entfernung von der Entnahmestelle, bis am Polder A die Differenzen den gleichen Wert aufweisen, wie dort durch die Polder A und B erzielt werden können. Der Polder A (UW-km 52) und der Polder B (UW-km 48) bewirken in der gesamten Unterweser stromauf die gleichen Differenzen von etwa 3 cm. Die größten Differenzen in den Scheitelwasserständen bewirkt jedoch das Fluten aller drei Polder. Hier können, im Vergleich

mit den Auswirkungen eines einzelnen Polders, Scheitelwasserstandsdifferenzen von maximal 10 cm im Süden und Differenzen von nicht mehr als 4 cm im Bereich Nordenham erreicht werden. Dies macht deutlich, daß es erst bei einer Entlastung durch alle Polder zu nennenswerten Absenkungen kommen kann. Sollen jedoch örtlich gezielt Absenkungen in der Unterweser erreicht werden, kann es sinnvoll sein, die Wirkungsweise der einzelnen Polder zu berücksichtigen. Die vorteilhafte Lage des Polders C beruht hierbei z.B. auf der größeren Entfernung zur Nordsee.

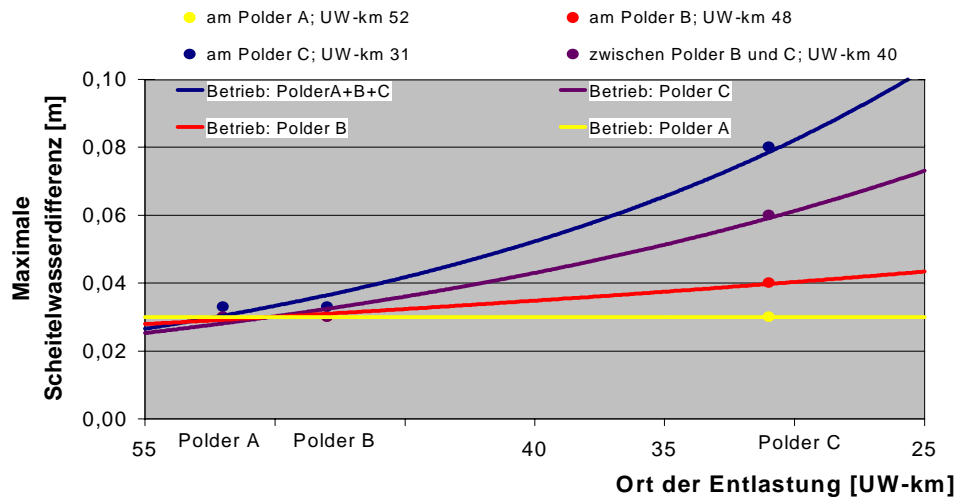


Abb. 6 Einfluß der Polder in Abhängigkeit vom Ort der Entlastung

5 Einfluß der Schwellenhöhen

Bei der Ermittlung des Einflusses der Schwellenhöhen der Polderöffnung auf die Scheitelwasserstände wurde die Öffnungsweite aller Polder auf 500 m gesetzt und die maximalen Überfallhöhen variiert, wobei die Sohlschwelle auf eine Höhe von 1,0 m, 1,5 m bzw. 2,0 m unter dem maximalen Wert der Sturmflutkurve gesetzt wurde. Auch hier werden nur die Auswirkungen auf die maximalen Wasserstände und die Scheiteldifferenzen beschrieben, auf die Darstellung der Ergebnisse der zeitlichen Absenkung wird verzichtet. In Abb. 7 ist der Einfluß der Überfallhöhe beim Betrieb verschiedener Polder und an unterschiedlichen Stellen in der Unterweser dargestellt.

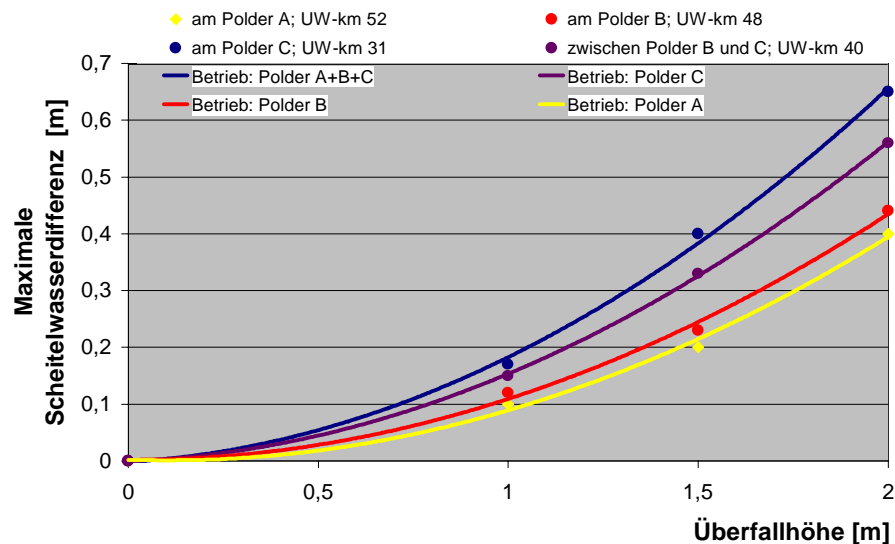


Abb. 7 Einfluß der Überfallhöhe auf die Scheitelwasserdifferenzen

Die Absenkungen verteilen sich in der Unterweser bei allen drei gewählten Überfallhöhen gleich. Die größten Differenzen treten im südlichen Bereich auf und verringern sich stromab. Die Absenkungen, die größer als 2 cm sind, erreichen bei einer Überfallhöhe von 2 m fast die Lune (siehe Abb. 1) bei Bremerhaven. Mit sinkender Überfallhöhe verschieben sich diese Differenzen um 10 km bei einer Überfallhöhe von 1,5 m bzw. um 20 km bei einer Überfallhöhe von 1,0 m nach Süden. Bei Bremen treten die größten Absenkungen auf. Sehr deutlich ist dieses in der Abb. 8, in der die Variante mit einer Überfallhöhe von 1,5 m dargestellt ist, erkennbar. Oberstrom der Polderöffnung steigen die Differenzen von 40 cm bis 50 cm auf über 50 cm an. Durch die Verringerung der Breite des Flusses sinkt der Durchfluß, und die Absenkungen haben eine größere Wirkung.

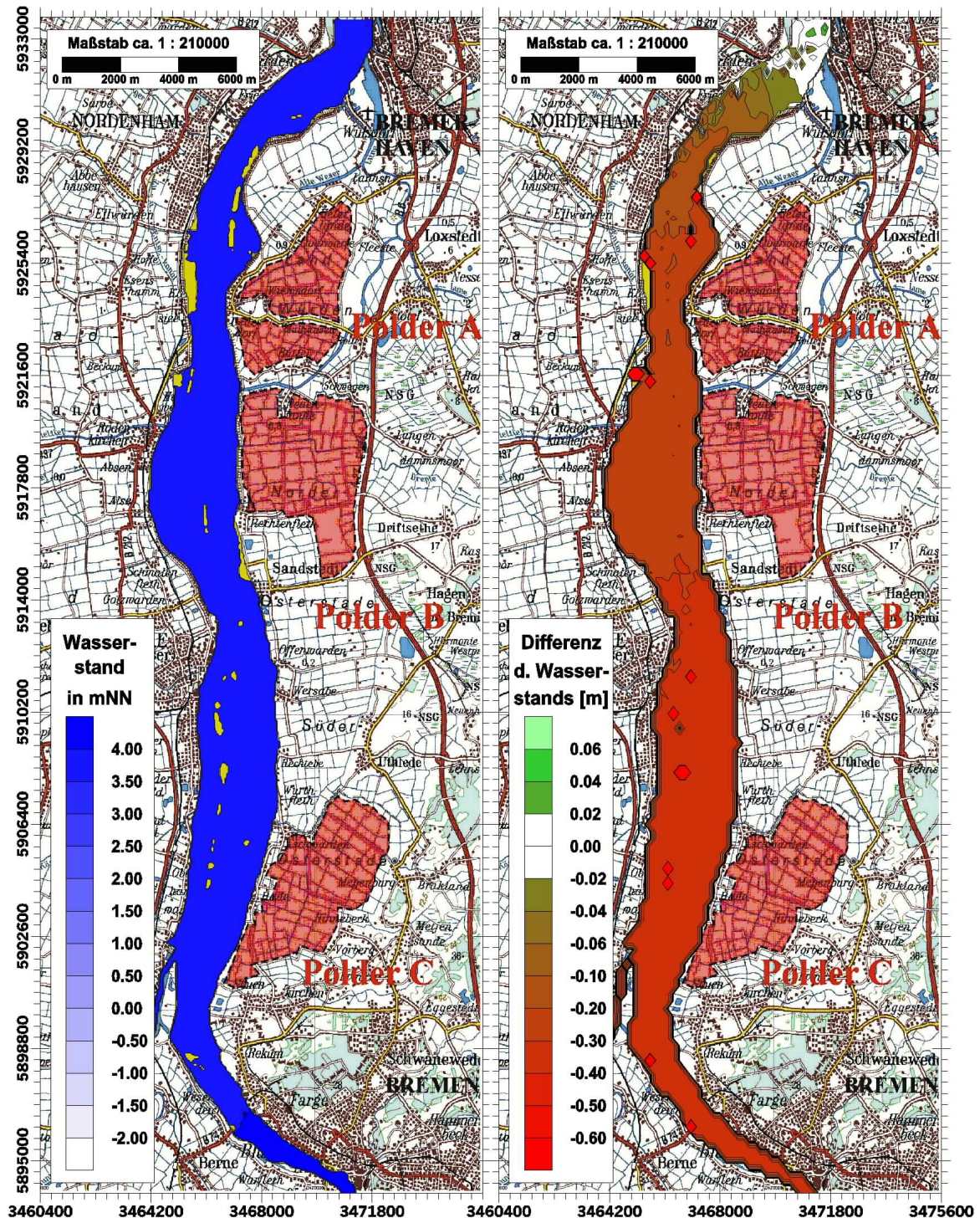


Abb. 8 Max. Wasserstand und max. Differenz der Scheitelwasserstände der Variante mit allen Poldern gegenüber der Nullvariante bei einer Überfallhöhe = 1,5 m und einer Öffnungsbreite = 500 m

6 Zusammenfassung

Die Auswirkungen von Sturmflutentlastungspoldern an der Unterweser wurden anhand von numerischen Simulationen mit einer Sturmfluttide vom 29. / 30. Oktober 1996 durchgeführt. Die Wirkung der örtlichen Lage der Polder wurde anhand der Scheitelwasserdifferenzen und des zeitlichen Verlaufs der Wasserstands-differenzen deutlich. Bei einer Entlastung des sich am weitesten im Landesinneren befindenden Polders C in Osterstade-Süd konnten an den günstigsten Stellen Wasserstands-differenzen von maximal 8 cm berechnet werden. Diese können jedoch durch eine Vergrößerung der Öffnungsbreite bzw. ein Herabsetzen der Schwelle verdreifacht werden. Der Polder A bei Dedesdorf und der Polder B in der Drepteniederung haben aufgrund ihrer Nähe zur Nordsee einen geringeren Einfluß auf die Wasserstandsabsenkungen. Oberstrom der Polderöffnungen setzen sich die maximalen Absenkungen mit der einlaufenden Tidewelle fort und können in der gesamten Unterweser zeitgleich mit dem Scheitelwasser eintreten. Unterstrom der Polderöffnungen verringern sich die Differenzen und setzen zeitlich versetzt zum Scheitel der Tidekurve ein, so daß die maximalen Absenkungen durch eine Entlastung des Polders C in Osterstade-Süd stromab verringert werden. In der nördlichen Unterweser kann es aufgrund dessen nur durch eine Kombination mit dem Dedesdorfer Polder A und dem Polder B in der Drepteniederung zu Scheitelwasserstandsabsenkungen von etwa 23 cm kommen. Im südlichen Bereich der Unterweser konnte der zweite Scheitel der Kettentide um 40 cm gesenkt werden.

Durch die Variation der Schwellenhöhe der Polderöffnungen konnte ein linearer Zusammenhang zwischen maximalem Abfluß und erzielter Scheitelwasserstands-differenz festgestellt werden. Durch Einlaufbauwerke mit beweglicher Schwelle könnten zum Zeitpunkt des Eintretens der Scheitelwasserstände die Schwellen herabgesetzt werden, und größere Abflüsse erzielt werden. Eine frühzeitige Entlastung des Polders in Osterstade-Süd kann, durch die sich nach Oberstrom fortsetzenden Absenkungen, das eintretende Scheitelwasser in der nördlichen Unterweser senken.

Findet nur die Kappung des zweiten Scheitels der Sturmflutkurve von 1996 statt, können Scheitelwasserabsenkungen durch alle drei Polder von 40 cm im nördlichen bis 70 cm im südlichen Bereich der Unterweser erreicht werden. Die Simulationen mit dem HN-Modell MIKE21 haben gezeigt, daß durch die drei Überlaufpolder in der Unterweser im günstigsten Fall Wasserstandsabsenkungen von 60 cm und bei zwei aufeinanderfolgenden Sturmtiden von 40 cm bewirkt werden. Die wirtschaftlichen und die ökologischen Aspekte sind den Nutzen einer Wasserstandsabsenkung gegenüberzustellen. Der Küstenschutz muß aber im Vordergrund stehen. Werden durch eine Klimaveränderung verstärkt Küstenschutzmaßnahmen zur Sicherung der anliegenden Siedlungen erforderlich und stoßen andere wirtschaftlichere Küstenschutzmaßnahmen, wie Deicherhöhungen, auf ihre Grenzen, muß die Anlage von Sturmflutentlastungspoldern als weiteres Küstenschutzelement in der Unterweserregion mit einbezogen werden.

7 Literatur

- BUND** Das Weserästuar im Spannungsfeld zwischen Natur- und Küstenschutz - Ein integriertes Entwicklungskonzept für die Weser und ihre Marsch; BUND-Arbeitsgruppe "Unterweser", erschienen in Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, Band 2/96, 1996
- LGN** Amtliche Topographische Karten von Niedersachsen und Bremen; Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, CD-Rom Ausgabe, 1998
- Ohle, N. und S. Mai** Comparison of Physical and Numerical Simulations of Currents; Proceedings of the 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa, USA, 2000
- von Lieberman, N. und S. Mai** Küstenschutz an der Unterweser vor dem Hintergrund von Naturraum und Nutzung, erschienen in Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung, Die Unterweser als Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum, Heft 35, 1999
- Wendehorst, R.** Bautechnische Zahlentafeln, 28. Aufl., Teubner-Verlag, Stuttgart, 1998