

Dünenmonitoring bei Sturmflutereignissen

NILS KOLDRACK, RALF BILL, CONSTANTIN SCHWEIGER, CHRISTIAN KAEHLER,
SEBASTIAN FÜRST, FOKKE SAATHOFF, MATTHIAS JONAS & KONRAD MIEGEL

Das Forschungsvorhaben PADO (Prozesse und Auswirkungen von Dünendurchbrüchen an der deutschen Ostseeküste) hat es sich zur Aufgabe gemacht, wesentliche Erkenntnisse zur Dünendynamik und dem Verhalten von Dünen in Durchbruchsituationen zu generieren. Damit soll das Bemessungskonzept für Dünen und kombinierte Küstenschutzsysteme verbessert werden.

Hierfür wurde ein für ein jährliches Sturmflutereignis bemessenes großmaßstäbliches Dünenbauwerk am Strand von Rostock Warnemünde errichtet. Das Bauwerk wurde durch ein auftretendes Hochwasser bis zum Versagen (Dünendurchbruch) belastet und dabei durch eine umfangreiche Instrumentierung überwacht. Mit einem 3D-Messkonzept konnte die Dünenoberfläche kontinuierlich vermessen und die stattfindenden Prozesse, wie die Brechenbildung, erfasst werden. Die gewonnenen Daten dienen unter anderem als Grundlage für die Kalibrierung numerischer Modelle sowie für weiterführende Untersuchungen langfristiger Folgen eines Dünendurchbruchs auf das Hinterland. Hierbei wird das Hauptaugenmerk auf die damit verbundene Versalzung und den möglichen Aussüßungsprozess gelegt. Darüber hinaus finden auf Basis der überschwemmten Gebiete sozioökonomische Auswertungen statt, bei denen technische, hydrologische und ökonomische Bewertungen der durch Dünen geschützten Küstenregionen durchgeführt werden.

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund, dass durch die immer intensivere Nutzung der Küstenregionen die Risiken für Menschen und Wirtschaftsgüter bei extremen Naturereignissen stetig steigen, muss die Weiterentwicklung zukunftsorientierter Konzepte und Infrastrukturen im Küstenschutz vorangetrieben werden.

Der Integration von Küstenökosystemen in den Küstenschutz und der Entwicklung adaptiver, naturnaher, kosteneffizienter und nachhaltiger Küstenschutzbauwerke kommt dabei eine immer größere Bedeutung zu. An der deutschen Ostseeküste bilden naturnahe Hochwasserschutzdünen ein wesentliches Element des Schutzsystems gegen Überflutungen. Um die Schutzwirkung von Dünen, insbesondere vor dem Hintergrund der durch den Klimawandel zu erwarteten Zunahme von Extremereignissen, prognostizieren und planen zu können, ist es erforderlich, sowohl die Prozesse der Dünenerosion und des Dünendurchbruchs als auch die dem Dünendurchbruch nachfolgenden Überflutungsprozesse zu verstehen.

Ziel des vom BMBF geförderten Projekts PADO (Prozesse und Auswirkungen von Dünendurchbrüchen an der deutschen Ostseeküste) ist es wesentliche Erkenntnisse zur Dünendynamik mit einer großmaßstäblichen Forschungsdüne zu generieren und diese dann

zu nutzen, um numerische Modelle zu kalibrieren und auf Modellregionen in Mecklenburg-Vorpommern anzuwenden. Abschließend sollen sie als Grundlage für ein verbessertes Bemessungskonzept für Vollschutz- und Systemschutzdünen dienen. Das Projekt untersucht dabei drei Standorte (Warnemünde, Graal-Müritz und Ahrenshoop) entlang der Küste Mecklenburg-Vorpommerns.

2. Standort und Bemessung der Forschungsdüne

Bei der Wahl des Standortes für die Forschungsdüne mussten verschiedene Faktoren und Randbedingungen berücksichtigt werden. Die Forschungsdünen wurden in den Wintermonaten 2017/2018 und 2018/2019 am Strand von Rostock-Warnemünde errichtet. Ein wesentlicher Faktor für die Wahl des Standorts ist die unmittelbare Nähe der Forschungsdüne zum Internen Messnetz Küste (IMK) (STALU MM. 2019). Damit ist gewährleistet, dass die im Belastungsfall erhobenen Daten in direkte Beziehung zu den hydrodynamischen Daten (Wasserstand und Seegang) gebracht werden können.

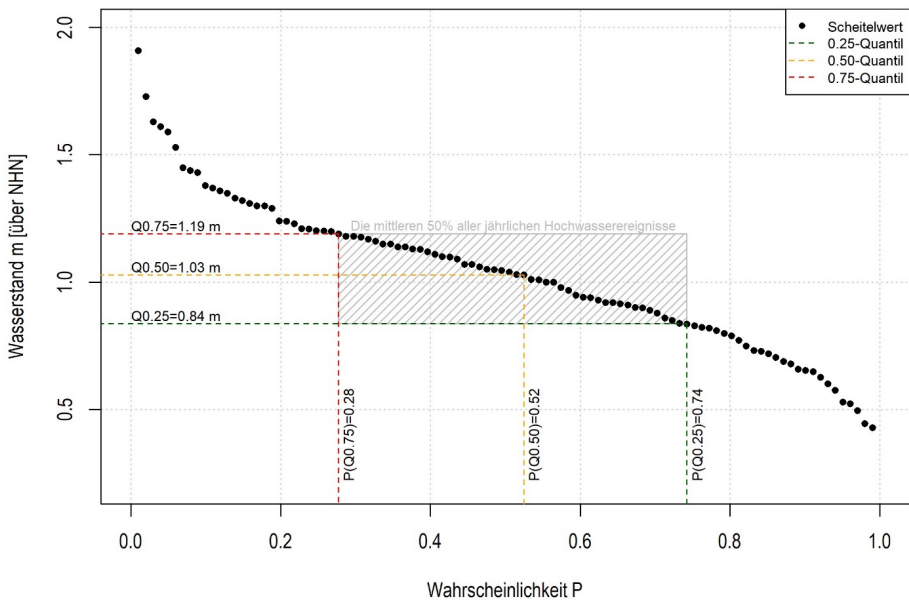


Abbildung 1: Empirische Eintrittswahrscheinlichkeiten für die mittleren 50 % aller jährlichen Ereignisse.

Zur erfolgreichen Umsetzung des Feldexperiments ist eine Sturmflut erforderlich, welche an der deutschen Ostseeküste regelmäßig in den Wintermonaten auftritt. Die Forschungsdüne wurde so dimensioniert, dass sie planmäßig bei einer jährlichen Sturmflut bis zur

möglichen Breschenbildung belastet wird. Zunächst wurde untersucht, welche jährlichen maximalen Wasserstände des Pegels Rostock-Warnemünde (WSA 2019) bisher messtechnisch erfasst sind. Die mittleren 50 % der jährlichen Maxima liegen zwischen 0,84 m und 1,19 m ü. NHN. Die empirischen Eintrittswahrscheinlichkeiten sind in Abbildung 1 dargestellt. Im Mittel kann ein Wasserstand von etwa 1 m im Jahr erwartet werden.

Diese Aussagen beziehen sich nur auf die jeweils höchsten Wasserstände im Jahr und enthalten keinerlei Informationen zur Fülle und der Dauer der Sturmfluten. In einer weiteren Untersuchung wurde auf Grundlage der Messdaten eine synthetische Bemessungsganglinie für ein durchschnittliches Hochwasserereignis mit einem Scheitelwert von 0,85 m ü. NHN und einer Dauer von 18 h (Wasserstände über 0,65 m ü. NHN) in Warnemünde abgeleitet und zur Dimensionierung der Forschungsdüne verwendet.

Die Geometrie der Forschungsdüne orientierte sich an dem Regelquerschnitt einer Vollschuttdüne. Die Böschungen wurden mit einer Neigung von 1:2 konstruiert. Damit die messtechnische Erfassung der Breschenausbreitung in Längsrichtung der Düne sichergestellt ist, wurde die Kronenbreite im Verhältnis zur Höhe der Forschungsdüne deutlich reduziert. Die Forschungsdüne war 150 m lang und hatte eine Kronenhöhe von 1,0 m. Die Kronenbreite belief sich auf 2,0 m. Das Strandareal um die Düne wurde begradigt und ein Planum hergestellt. Insgesamt hatte die Düne ein Aufschüttvolumen von $\sim 700 \text{ m}^3$. Auf Grundlage der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten der Wasserstände wurde für den Dünenfuß eine Höhe von 0,5 m ü. NHN gewählt.

Der Bau der Düne dauerte zwei Wochen. In der ersten Woche wurde der Sand aus dem Akkumulationsbereich der Mole in Warnemünde an den Standort der Forschungsdüne gefahren. In der zweiten Woche wurde die Düne profiliert. Die Forschungsdüne wurde lagenweise (alle $\sim 30 \text{ cm}$) bewässert und mit einer Rüttelplatte verdichtet, um eine Lagerungsdichte vergleichbar der der Landesküstenschutzdünen zu erhalten. In der Mitte der Düne wurde abschließend eine Sollbruchstelle erzeugt, indem etwa 0,25 m der oberen Schicht über eine Länge von 5 m abgetragen wurde. Abbildung 2 zeigt die Forschungsdüne am Strand von Warnemünde im November 2018.

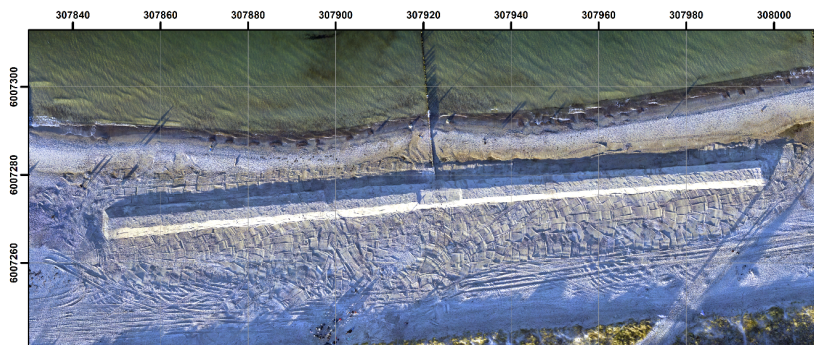


Abbildung 2: Orthofoto der Forschungsdüne vom 16.11.2018.

Für die messtechnische Überwachung wurde ein Messpfahl mit einer Höhe von 4 m auf einer Buhnenreihe in einem Abstand von 15 m zur Düne installiert. Die Messpfahlkonstruktion musste dabei verschiedene Anforderungen erfüllen:

- einfache Installation der Technik bei widrigen Bedingungen,
- ein ausreichender Abstand zu der Forschungsdüne,
- minimale Schwingungen durch Wind und Seegang,
- Energieversorgung der Messtechnik,
- Beständigkeit gegen Salzwasser

Die Anforderungen wurden durch einen Edelstahlmesspfahl, der mit zwei Betongewichten abgespannt wurde, erfüllt. Der Aufbau dieser Konstruktion ist schematisch in der Abbildung 3 gezeigt.

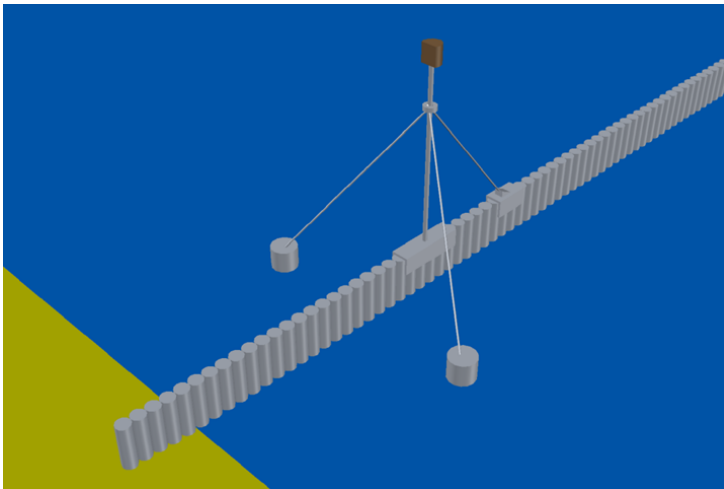


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Messpfahlkonstruktion.

3. Deformationsvermessung

Zwei Tage nach Fertigstellung der Düne trat am 18.11.2018 eine Sturmflut ein und erodierte den Großteil der Düne. Mittels umfangreicher Vermessung konnte die Deformation des Bauwerks über den Zeitraum der Sturmflut (18.11, 15:30 Uhr – 19.11, 5:30 Uhr) vollständig dokumentiert werden.

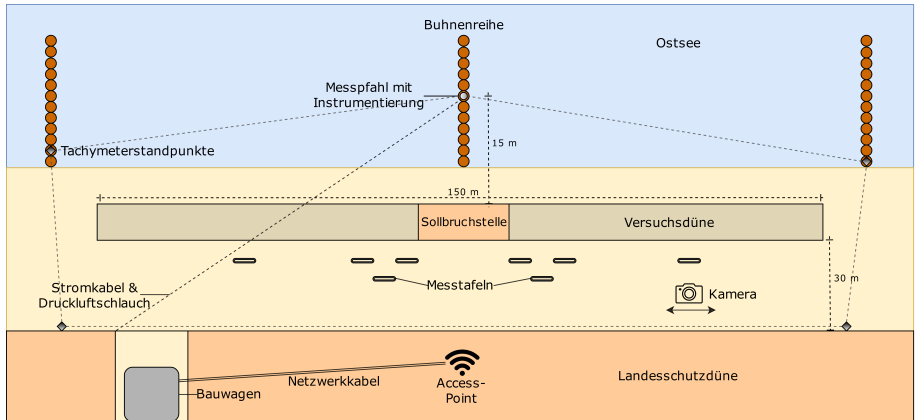


Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Messsystems.

Für die ereignisbezogene Oberflächenvermessung wurde ein terrestrischer Laserscanner (TLS – FARO Focus3D X 130) eingesetzt, der auf dem Messpfahl montiert war (Abbildung 4). So konnte immer wieder während der Sturmflut die gesamte Dünenoberfläche durch Millionen von Punkten abgetastet und ein Bruchereignis räumlich und zeitlich aufgezeichnet werden. Um die aufgenommenen 3D-Punktwolken der Forschungsdüne im Nachhinein zu georeferenzieren, wurden Messtafeln mit einer Höhe von 1,55 m hinter der Düne aufgestellt. Zur Bildokumentation und redundanten Auswertung mittels Photogrammetrie der Ereignisse wurde zusätzlich ein Kamerasystem (GoPro Hero4 Black) auf dem Messpfahl installiert. Darüber hinaus wurde das Untersuchungsgebiet vorher und nachher mittels UAV-Technik als 3D-Punktwolken und Orthofotos erfasst. Gesteuert wurde das gesamte Messsystem via WLAN, hierfür wurde ein Access Point auf der Landesschutzdüne aufgebaut, welcher mit einem Netzwerkkabel an das lokale Netzwerk verbunden ist.

Mit dieser Methode konnte während der Messkampagne die Düne im Schnitt alle acht Minuten einmal vollständig gescannt werden. Darüber hinaus wurden insgesamt 19:45 Stunden Videomaterial aufgenommen.

Beim ersten Scanvorgang besaß die Forschungsdüne ein Volumen von $681,57 \text{ m}^3$ (Abbildung 5). Knapp vier Stunden nach Messbeginn war das Gesamtvolumen bereits halbiert. Grund für diesen großen Volumenverlust waren die hydrodynamischen Randbedingungen (Abbildung 6). Denn bereits um 14:30 Uhr wurde der Dünenfuß bei einem Wasserstand von $0,28 \text{ m}$ ü. NHN belastet. Hierbei spielte neben dem Wasserstand, der bis um 18 Uhr auf $0,55 \text{ m}$ ü. NHN anstieg auch der Wellenauflauf eine große Rolle als Belastungsfaktor. In den folgenden Stunden bis zur letzten Messung um 5:30 Uhr verringerte sich das Volumen um insgesamt $68,82 \%$ ($469,05 \text{ m}^3$) während der Sturmflut.

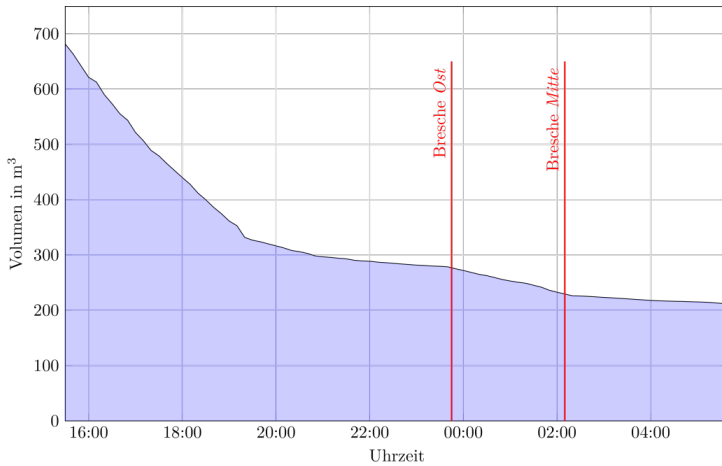


Abbildung 5: Volumenveränderung der Forschungsdüne während der Messkampagne.

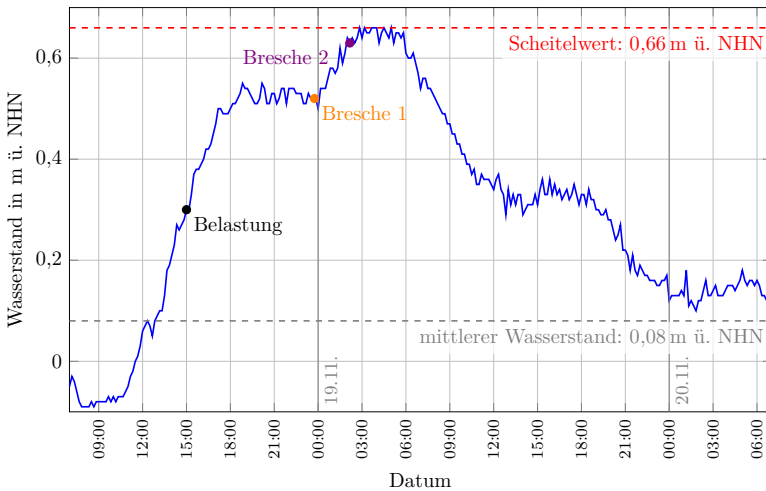


Abbildung 6: Wasserstandsganglinien während der Sturmflut.

Abbildung 7 zeigt Querprofile der Forschungsdüne zu verschiedenen Zeitpunkten der Messkampagne. Um 15:45 Uhr, dem Zeitpunkt der ersten Laserscanmessung, war der Dünenfuß mehr als eine Stunde belastet. Eine Stunde später wurde am Dünenfuß ca. 0,1 cm Sand weggespült und nur wenig Material von der Dünenkrone war nachgerutscht. Nach zwei Stunden wurde der Dünenfuß um 0,42 m erodiert, Sand hatte sich vor der Düne ab-

gelagert und der Fuß hatte sich um 0,09 m angehoben. Nach drei Stunden hatte sich der Dünenkörper an diesem Standort um 1,37 m in der Tiefe verkleinert und es hat sich deutlich mehr Material vor dem Dünenfuß angesammelt, sodass die Wellen eine größere Geländehöhe bewältigen mussten, um die Düne zu belasten. Vier Stunden nach der ersten Messung war die Dünenkrone durch den hohen Wellenauflauf um 0,15 m geschrumpft und der Dünenkörper war um 2 m zurückgegangen. In den nächsten zwei Stunden wurde deutlich weniger Material von der Düne gespült, erst in der letzten Stunde verringerte sich die Dünenkronenhöhe auf eine Geländehöhe von 1,07 m. Dies entspricht einer Reduktion um 0,4 m. Die mittlere Auflaufhöhe betrug zu diesem Zeitpunkt 1,02 m ü. NHN. Die Wellen überströmten die Düne und die erste Bresche entstand.

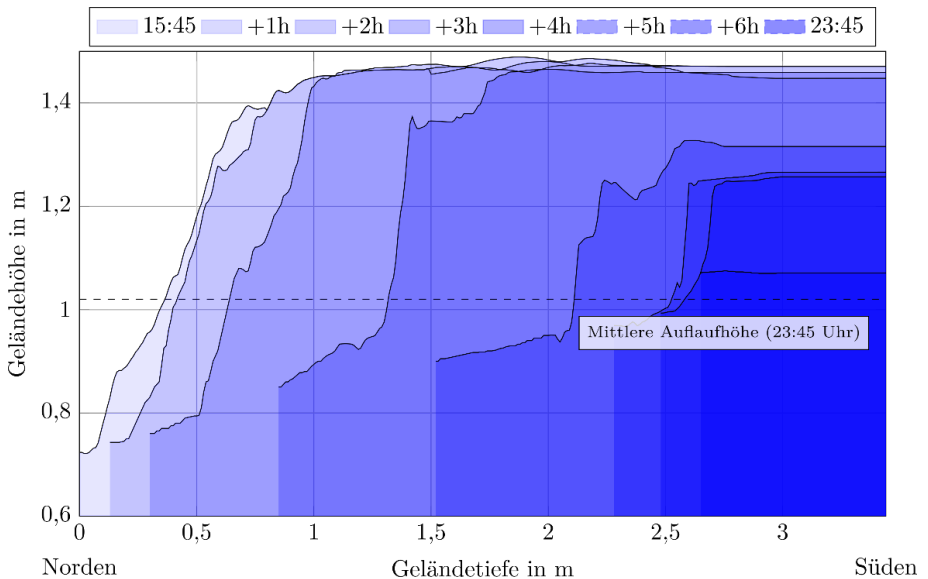


Abbildung 7: Querprofile der Forschungsdüne an einer Bresche.

Am 19. November, der Tag an dem die Sturmflut abnahm, wurde das Teiluntersuchungsgebiet erneut befliegen. Aus dem abgeleiteten Differenzmodell zur Befliegung vom 16. November, dem Tag der Fertigstellung der Forschungsdüne, wird deutlich, in welchen Regionen die Düne komplett erodiert wurde (Abbildung 8). Im östlichen Bereich, bis zur Sollbruchstelle, wurde der Dünenkörper komplett abgetragen. Im westlichen Gebiet hingegen konnte die Sturmflut nicht komplett die Düne abtragen und ein kleiner Teil (212,52 m³) blieb stehen. Vor allem im östlichen Bereich sammelte sich Sand vor der Düne an. Über eine Flächenbreite von 40 m erhob sich die Geländehöhe um über 0,4 m. Östlich der Düne sowie an Flächen in der östlichen Polderfläche hob sich das Relief ebenfalls um bis zu 0,2 cm.

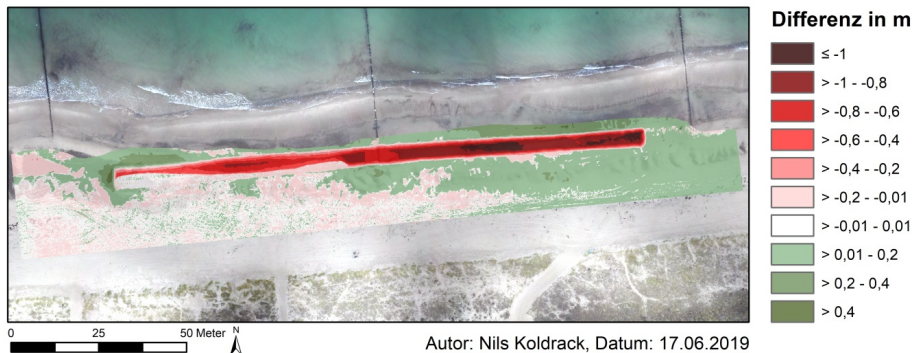


Abbildung 8: Höhendifferenz zwischen dem 16.11 und 19.11.2019.

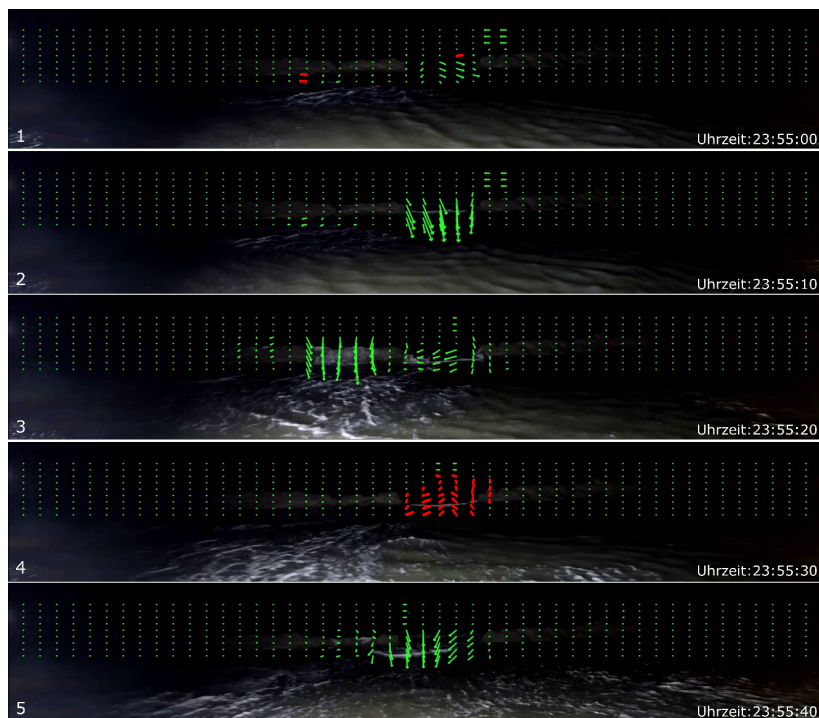


Abbildung 9: Darstellung der Wellenbewegung, mit Hilfe des optischen Flusses.

Auf Basis der Videodaten von der Kamera aus der Polderfläche, konnte mit Hilfe des optischen Flusses, analysiert werden, wie die Polderfläche hinter der Düne im östlichen Bereich durch die Bresche geflutet wurde und wie sich das eingeströmte Wasser nach dem Absinken der Sturmflutwelle wieder teilweise zurückzog. Der optische Fluss stellt dabei ein Vektorfeld dar, welches für jeden Bildpunkt Bewegungsinformationen in Form von Bewegungsrichtung und Bewegungslänge angibt.

Abbildung 9 zeigt die Wellenbewegung in einer Bresche. Das gleichmäßige Vektorfeld dient zur Auswertung der Breschenentwicklung und die Bewegungsinformationen in Form von Bewegungsrichtung und Bewegungslänge gibt Informationen über die Wellenbewegung. Die grünen Pfeile beschreiben dabei das einströmende Wasser und die roten Pfeile das aus der Polderfläche herausströmende Wasser. Die Punkte im Vektorfeld haben einen horizontalen Abstand von 50 cm und einen vertikalen Abstand von 10 cm.

Um 23:55:00 Uhr war die Bresche 1,875 m groß und es sind kaum Bewegungen zu erkennen. 10 Sekunden später strömte mit einer Welle Wasser durch die Bresche in die Polderfläche. Um 23:55:20 Uhr war die Sturmflutwelle so hoch, dass sie über den westlichen Bereich neben der Bresche der Düne floss, in dem Gebiet, wo acht Minuten später eine zweite Bresche entstand. Bis zur letzten Aufnahme um 23:55:40 Uhr wuchs die Bresche gegenüber der ersten Aufnahme um 25 cm. Wasser strömte durch die Öffnung und wurde aufgrund der Windrichtung in der Polderfläche nach Westen gedrückt.

4. Numerische Modellierung

Die Oberflächenmodelle der Düne sind Grundlage für die numerische Modellierung der sturmflutbedingten Dünenerosion mit der Open Source Software XBeach. Dabei handelt es sich um ein zweidimensionales, tiefengemittelt (2DH) Küstenerosionsmodell, mit dem verschiedene hydrodynamische und morphologische Prozesse sowie verschiedene Einwirkungen auf sandige Küsten während einer Sturmflut simuliert werden können (ROELVINK, D. ET AL. 2009).

Der Modellaufbau (Modellgitter und Randbedingungen) erfolgt auf Basis der Daten, die im Rahmen des physikalischen Modellversuchs erhoben wurden. Für das Modellgitter wurden neben dem DGM der Forschungsdüne die Bathymetrie des Vorstrandes, die mit GNSS und Tachymetrie vermessen wurde, ein DGM5 der umliegenden Küste sowie Bathymetriedaten mit einer Auflösung von 50 m des frei zugänglichen GeoSeaPortals des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) verwendet. Um einerseits den untersuchungsrelevanten Bereich fein aufzulösen und andererseits die erforderliche Rechendauer zu reduzieren, wurde ein Modellgitter mit einer variablen Zellgröße erstellt. Im Bereich der Forschungsdüne wurde eine Auflösung von $dx_{min} = dy_{min} = 1\text{m}$ gewählt, welche in Richtung des Modelleinlaufs und der lateralen Ränder auf $dx_{max} = 14\text{m}$ bzw. $dy_{max} = 10\text{m}$ ansteigt. Zusätzlich wurde das Gitter von einer Wassertiefe von 10 m künstlich mit einer konstanten Steigung von 0,05 auf eine maximale Wassertiefe von 20 m am Modelleinlauf verlängert. Das finale Modellgitter ist in Abbildung 10 (links) dargestellt. Zusätzlich sind die Standorte des IMK-Messnetzes gekennzeichnet. Abbildung 10 (rechts) zeigt die verwendeten hydrodynamischen Randbedingungen (Wellenhöhe, -periode, -richtung) von der Messboje in 10 m (P1) und den Wasserstand am Pegel Warnemünde (Tide). Die

Sedimenteigenschaften wurden auf Basis einer Kornanalyse mit $D50 = 0,03 \text{ mm}$ und $D90 = 0,05 \text{ mm}$ vorgegeben, des Weiteren eine konstante Sohlrauheit von $n = 0,02 \text{ s/m}^{1/3}$.

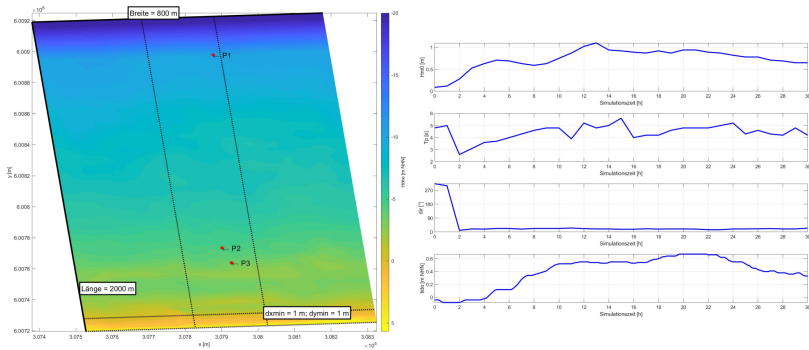


Abbildung 10: Resultierendes Modellgitter mit Kennzeichnung Standorte (P1 – P3) der IMK-Messkette (links); hydrodynamische Randbedingungen (Wellenhöhe, -periode, -richtung) am Standort der Messboje und Wasserstandsganglinie vom Pegel Warnemünde (rechts).

In Abbildung 11 ist der Vergleich der gemessenen (links) und simulierten (rechts) finalen Höhenlage (oben), die Höhendifferenz ($z_{b_{post}} - z_{b_{ini}}$) im gesamten Vermessungsbe-
reich und als Detailansicht (mittig) sowie die finale Höhendifferenz zwischen Simulation und Messung (unten) dargestellt. Für $z_b < 0 \text{ m}$ NHN sind sowohl in der Erosionszone ($1920\text{m} < y < 1940\text{m}$) als auch im Ablagerungsbereich ($1900\text{m} < y < 1920\text{m}$) große Unterschiede zwischen Messung und Simulation vorhanden wie die Höhendifferenzen zeigen (jeweils mittlere Abbildungen). Im Bereich der Forschungsdüne hingegen folgt eine gute räumliche Übereinkunft sowohl im westlichen Bereich ($320\text{m} < x < 390\text{m}$) als auch im östlichen Teil, wo der gesamte Dünenkörper abgetragen wird. Wie die Höhendifferenz ($z_{b_{post}} - z_{b_{ini}}$) der Messdaten zeigt, bleibt der hintere Teil der Düne bei $320\text{m} < y < 350\text{m}$ und $380\text{m} < y < 390\text{m}$ nahezu unverändert. Bei der Simulation wird die Düne in beiden Abschnitten jedoch erodiert und bleibt stattdessen zwischen $355\text{m} < y < 365\text{m}$ unversehrt. Der Vergleich der finalen Höhenlagen (untere Abbildung) zwischen Simulation und Messung bestätigt die Abweichungen im verbleibenden Teil der Forschungsdüne. Andererseits besteht im Bereich der zweiten Bresche ($y \sim 400\text{m}$) eine sehr gute Übereinkunft der finalen Höhenlagen. Im Bereich der ersten Bresche ($y \sim 465\text{m}$) wird die Erosion um wenige Zentimeter von der Simulation unterschätzt.

Die Ergebnisse der numerischen Modellierung zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Simulation und den Messdaten hinsichtlich der finalen Höhenwerte im Bereich der Forschungsdüne. Dies trifft vor allem für den linksseitigen Bereich zu, wo die Sturmflut zu einer Erosion des gesamten Dünenkörpers führt. Im rechtsseitigen Bereich wird der beobachtete seeseitige Dünenabtrag vom Modell zufriedenstellend abgebildet, jedoch weichen die Bereiche mit höherer/geringerer Erosion etwas von den Messdaten ab.

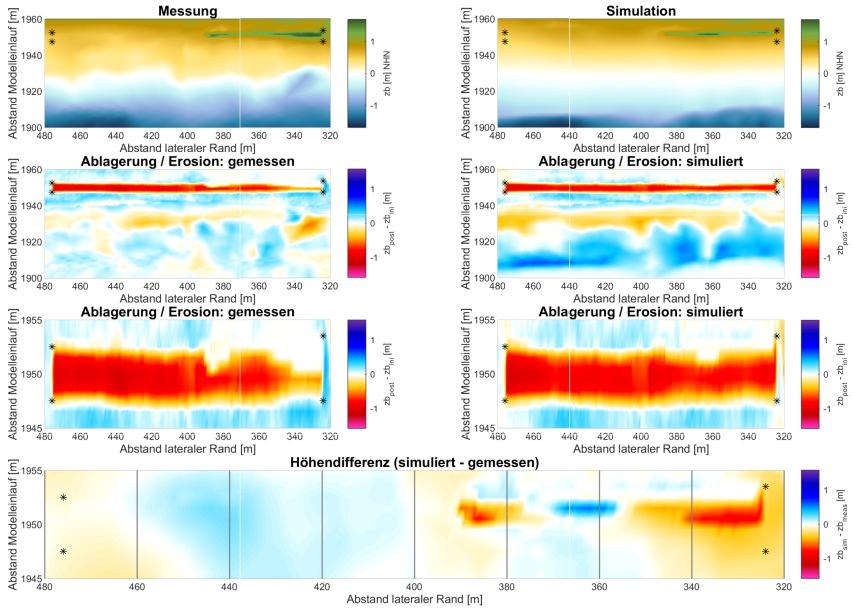


Abbildung 11: Vergleich zwischen Messung (links) und Simulation (rechts) der finalen Höhenlage (oben), Höhendifferenz (final – initial) im gesamten Vermessungsbereich und als Detailsicht (mittig) sowie Differenz der finalen Höhenlagen (Simulation – Messung (unten)). Die Forschungsdüne wird durch die schwarzen Punkte gekennzeichnet.

5. Hydrologie

Aufgabe der Hydrologie ist den hydrologischen Systemzustand des Referenzgebiets bei Graal– Müritz zu erfassen. Dabei werden die hydrologischen Prozesse eines durch Dünen- durchbruch bedingten Überschwemmungsereignisses mit dem damit verbundenen Salzein- trag ins Hinterland näher betrachtet.

Das Referenzgebiet bei Graal–Müritz ist rund 20 km nordöstlich von Rostock an der deut- schen Ostseeküste gelegen. Es wird über das Grabensystem Moorgraben und dem gleich- namigen Schöpfwerk entwässert (WBV 2019). Das Gebiet besteht aus den Teilgebieten Müritzer Wiesen und dem westlichen Teil des Ribnitzer Großen Moores. Im Norden wird das Untersuchungsgebiet durch die parallel zur Ostsee verlaufenden Hochwasserschutz- düne begrenzt. Die Teilgebiete sind durch einen unterirdischen Durchlass (DN 800) ab einem Wasserstand von rund 1 m ü. NHN hydraulisch miteinander verbunden.

Das Gebiet zeichnet sich durch zwei übereinander liegende, sandige Grundwasserleiter aus, welche durch eine gering leitende Schicht aus Geschiebemergel voneinander getrennt sind (LUNG–MV 2019). Im Bereich des Moores liegt außerdem eine geringmächtige Torfschicht auf der oberen Sandschicht auf. Für ein Überflutungsereignis wurden zwei

Lastfälle angenommen:

- im Lastfall 1 wird ein durch Dünendurchbruch bedingter Einstrom von Ostseewasser im Bereich des Ribnitzer Großen Moores angenommen
- im Lastfall 2 im Bereich der Müritzer Wiesen (Abbildung 12).

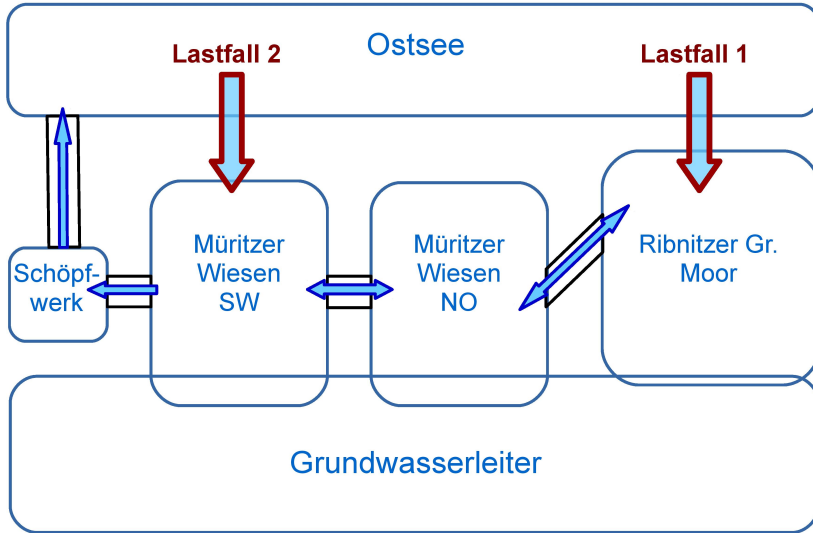


Abbildung 12: Hydrologische Verhältnisse des Referenzgebiets Graal-Müritz.

Mit der Annahme einer gleichmäßig ausgespiegelten Wasserfläche in allen Teilgebieten ist ein Wasserstand von mindestens 1,3 m ü. NHN erforderlich, damit Wasser im Bereich des Ribnitzer Großen Moores über die östlichen Gebietsgrenzen hinweg das Einzugsgebiet des Schöpfwerkes Moorgraben verlassen kann (KIRCHNER, T. 2018). Aus diesem Grund wurde bei den potenziellen Überflutungsflächen von einem Überstau von 1,3 m ü. NHN als Initialzustand für eine instationäre Modellierung der Grundwasserströmung und Grundwasserbelastung mit Salzwasser ausgegangen (BEIMOWSKI, F. 2019). Die Modellierung erfolgte mit der Modellierungssoftware FEFLOW. Dabei sollte der Lastfall 2 und die dadurch entstandenen Auswirkungen der Salzwasserintrusion in den Grundwasserleiter genauer untersucht werden. Es stellt sich weiterhin die Frage, ob eine rund 500 m südwestlich der Müritzer Wiesen gelegene Brunnengalerie des Wasserversorgers Nordwasser GmbH durch Versalzung gefährdet sei.

Die Untersuchungen zeigen, daß im Falle eines Dünendurchbruchs die auslösende Sturmflut selbst die kritische Systembelastung darstellt und darüber hinaus die Austauschprozesse des Wassers zwischen Wiesen und Moor zu keiner signifikanten Erhöhung der

Schadensrisiken führen. Einströmendes Ostseewasser würde die Müritzer Wiesen und das angrenzende Moor überschwemmen und so Salz ins System einführen. In Anbetracht steigender Wasserstände ergibt sich ein Schwellenwert, ab dem die Gräben vollgefüllt sind und Ausuferung über das Grabensystem hinaus in die Flächen der Müritzer Wiesen einsetzt. Dieser Wert liegt bei 0,5m über NHN. Eine Absenkung des Flutwasserstands von 1,3m über NHN auf diesen Schwellenwert kann mit maximaler Pumpleistung des Schöpfwerks Moorgraben in rund 31 Tagen realisiert werden.

Das Grundwassermodell zeigt, dass fünf Tage nach einem potenziellen Flutereignis der obere Aquifer im Bereich der überstauten Flächen komplett mit Salz durchdrungen wäre. Nach 31 Tagen zum Ende der Absenkphase hätte das Salz die untere Sandschicht erreicht. Die Aussüßung geschieht in der großräumigen Grundwasserströmungsrichtung folgend in Richtung Ostsee. Rund fünf Jahre nach dem Überschwemmungsereignis würden die Konzentrationen für Chlorid im Grundwasserleiter wieder unter den festgelegten Grenzwert für Trinkwasser von 250 mg l^{-1} zurückgegangen sein (TRINKWV 2001). Gemessen an der Ausgangskonzentration wäre die Aussüßung nach insgesamt 10 Jahren abgeschlossen. Bedingt durch die Dominanz der großräumigen Grundwasserströmung in Richtung Ostsee sind innerhalb der 10 Modellierungsjahre die Trinkwasserbrunnen des Wasserversorgers Nordwasser GmbH, die südwestlich der Müritzer Wiesen gelegen sind, zu keinem Zeitpunkt durch Versalzung gefährdet. Saisonale Schwankungen wie beispielsweise die der Grundwasserneubildung wurden in dieser Studie nicht weiter betrachtet, weshalb diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf besteht.

6. Zusammenfassung

Das Projekt hat mit seinen Untersuchungen zur Verbesserung der Wissensbasis und darauf aufbauend zur Weiterentwicklung der bestehenden Bemessungswerkzeuge beigetragen. Es wurde ein 3D-Messkonzept entwickelt, um eine Düne während einer Sturmflut kontinuierlich zu vermessen. Anhand der erhobenen Oberflächenmodelle konnte eine Deformationsanalyse der Forschungsdüne durchgeführt werden. Ebenso bilden die Geländemodelle die Basis der numerischen Modellierung, die die Versagensprozesse, sowie die Überflutung/Entleerung von Polderflächen und Niederungen simulierte. Längerfristige Folgen eines Dünendurchbruchs auf das Hinterland der geschützten Küstenregionen, insbesondere im Hinblick auf die damit verbundene Versalzung und den anschließenden Aussüßungsprozess, wurden durch hydrologische Analysen aufgezeigt. Bei einer Überschwemmung des Referenzgebiets ist davon auszugehen, dass die Aussüßung des Gebiets circa eine Dekade andauert.

Literatur

- STALU MM. (2019): Internes Messnetz Küste Mecklenburg-Vorpommern. Von <http://imk-mv.de/index.php> abgerufen.
- WSA (2019): Bereitstellung der Pegeldata durch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Stralsund.
- ROELVINK, D., RENIERS, A., VAN DONGEREN, A., VAN THIEL DE VRIES, J., MCCALL, R. & LESCINSKI, J (2009): Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering* 56 (11-12), 1133–1152. doi:10.1016/j.coastaleng.2009.08.006.
- WBV (2019): Wasser- und Bodenverband Untere Warnow-Küste: Steckbrief Schöpfwerk „Moorgraben“, <https://wbv-untere-warnow-kueste.de/schoepfwerke/moorgraben/> (abgerufen am 26.11.2019).
- LUNG-MV (2019): Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Landesbohrdatenspeicher, <https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/atlas/script/index.php> (abgerufen am 04.05.2019).
- KIRCHNER, T. (2018): Untersuchung der hydrologischen Verhältnisse in den Müritzer Wiesen unter Berücksichtigung des Zuflusses aus dem Großen Ribnitzer Moor: Grundlage für die Bewertung potenzieller Folgen von Überschwemmungen durch Sturmfluten, Masterarbeit im Fach Umweltingenieurwissenschaften, Professur für Hydrologie und Angewandte Meteorologie, Universität Rostock.
- BEIMOWSKI, F. (2019): Simulation der Auswirkungen eines Salzwasserüberstaus auf das Grundwasser im Bereich Graal-Müritz unter Anwendung der numerischen Modellierungssoftware FEFLOW, Masterarbeit im Fach Umweltingenieurwissenschaften, Professur für Hydrologie und Angewandte Meteorologie, Universität Rostock.
- TRINKWV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Berlin.

Kontakt

NILS KOLDRACK

RALF BILL

Universität Rostock
Professur für Geodäsie und Geoinformatik
nils.koldrack, ralf.bill@uni-rostock.de

CONSTANTIN SCHWEIGER

RWTH Aachen
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
schweiger@iww.rwth-aachen.de

CHRISTIAN KAEHLER

SEBASTIAN FÜRST

FOKKE SAATHOFF

Universität Rostock
Professur für Geotechnik und Küstenwasserbau
christian.kaehler, sebastian.fuerst, fokke.saathoff@uni-rostock.de

MATTHIAS JONAS

KONRAD MIEGEL

Universität Rostock
Professur für Hydrologie und Angewandte Meteorologie
konrad.miegel, matthias.jonas@uni-rostock.de