

Die Ostseesturmflut vom Oktober 2023 an den sandigen Flachküsten und Binnenküsten von Mecklenburg-Vorpommern

Marcus Siewert¹, Anja Klee², Lars Tiepolt² und Frank Weichbrodt³

¹ Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, Abteilung Küste
marcus.siewert@stalumm.mv-regierung.de

² Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, Abteilung Küste

³ Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

Zusammenfassung

Die Sturmflut an der deutschen Ostseeküste im Oktober 2023 war im Bereich von Mecklenburg-Vorpommern eine mittlere (im Westen) bzw. leichte Sturmflut (im Osten). Auf die Beschreibung der Genese der Sturmflut folgt die statistische Einordnung und der Vergleich zu früheren Ereignissen. Die Bilanzierung der Schäden fokussiert auf die vom Land Mecklenburg-Vorpommern unterhaltenen Landesküstenschutzdünen. Strategische Aspekte zur langfristigen Sicherung dieser Hochwasserschutzbauwerke werden erläutert. Die Auswirkungen der Sturmflut an den inneren Küsten des Landes schließen den Artikel ab.

Im Bereich von Landesküstenschutzdünen kam es durch die Kombination von hohen Wasserständen und Seegang lokal zu teilweise erheblichen Sandumlagerungen aus dem Dünenkörper in Richtung Strand und Schorre. Diese Sandumlagerungen waren aber weder überraschend noch mit negativen Auswirkungen für das Schutzniveau an der Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern. Die lange Verweilzeit der Sturmflut führte dazu, dass es auch an den inneren Küsten erhebliche Wasserstandserhöhungen gegeben hat. Dies hat zu einer hydraulischen Belastung der Deiche geführt. Entgegen der in den Medien verbreiteten Informationen ist kein Deich gebrochen.

Schlagwörter

Ostsee, Sturmflut, Dünenerosion

Summary

The storm surge at the German Baltic Sea coast in October 2023 ranged in Mecklenburg-Vorpommern from moderate in the west to light in the east. The paper describes the formation of the surge, followed by a statistical classification and comparison to previous events. The damage evaluation focusses on flood protection dunes maintained by the federal state of Mecklenburg-Vorpommern. Strategic aspects for safeguarding these dunes are discussed. The paper ends with a description of the storm surge effects at the inner coast.

In the area of the state's coastal protection dunes, the combination of high water levels and swell led to significant local sand displacement from the dune toward the beach and the shore. Surprisingly, however, This sand displacement was no surprise and had no negative impact on the protection level at the outer coast

of Mecklenburg-Vorpommern. The long duration of the storm surge also led to significant water level increases on the inner coasts. This resulted in hydraulic stress on the dikes. Contrary to the information disseminated in the media, no dike has breached.

Keywords

Baltic Sea, storm surge, dune erosion

1 Einleitung

Am 20./21.10.2023 ereignete sich in der westlichen Ostsee eine schwere Sturmflut. An der deutschen Ostseeküste wurden die höchsten Scheitelwerte in der westlichen Kieler Bucht registriert. Am Pegel Flensburg wurde ein außergewöhnlicher Wasserstand von 2,27 m über Normalmittelwasserstand gemessen (Kategorie „sehr schwere Sturmflut“).

Ursachen des Ereignisses waren ein über der Ostsee liegendes Starkwindfeld mit langanhaltendem Oststurm sowie ein ausgeprägter Füllungsgrad in der Ostsee zwischen 35 und 45 cm. Diese Konstellation führte insbesondere in den westlichen Gebieten der deutschen Ostseeküste zu langen Verweildauern von Wasserständen über 1 m über Normalmittelwasserstand. In Flensburg verweilte das Wasser 53 Stunden über 1 m und 9 Stunden über 2 m über dem Normalmittelwasser.

In Mecklenburg-Vorpommern nahm die Sturmflut im Vergleich zu Schleswig-Holstein einen moderaten Verlauf und erreichte an der Außenküste das Ausmaß einer leichten Sturmflut für die Bereiche östlich von Rügen bis zu einer schweren Sturmflut mit einem statistischen Wiederkehrintervall von 10 Jahren für den Bereich Nordwestmecklenburg. An der windexponierten Ostküste Rügens wurden die hohen Wasserstände von starkem, langanhaltendem Seegang begleitet, welcher lokal zu erheblichen Schäden an kommunalen Infrastrukturen im Uferbereich führte.

Insgesamt verlief die Sturmflut für das Land ohne schwerwiegende Folgen. Die Anlagen des Landesküstenschutzes haben sich bewährt und funktionierten ohne Einschränkung. Die erwartungsgemäß eingetretenen Sedimentumlagerungen im Bereich der Landesküstenschutzdünen überstiegen nicht das übliche Ausmaß vergleichbarer Sturmflutereignisse.

2 Wetterlage

Ein Hochdruckgebiet (1030 hPa) über Skandinavien (Lofoten/Nordschweden) sowie ein ausgedehntes Sturmtief über England (975 hPa, Tief „Viktor“) führten im Verlauf des 20.10.2023 zu einem starken Luftdruckgefälle mit über dem Norden Deutschlands und der Ostsee verlaufender Luftmassengrenze und damit verbundenem hohem Sturmpotential (Abbildung 1).

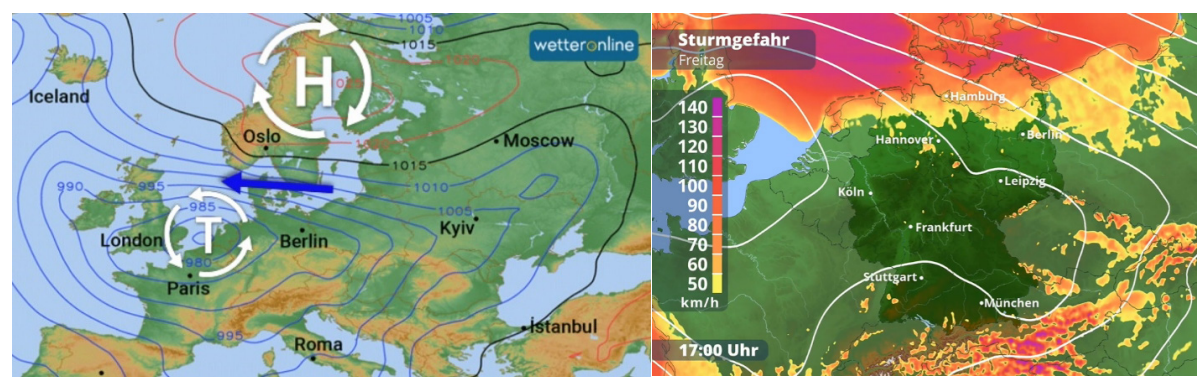


Abbildung 1: Großwetterlage in Europa am 20.10.2023 mit ausgeprägter Ostwindrichtung (blauer Pfeil) (links) sowie Sturmvorhersage für den Norden Deutschlands 20.10.2023/17 h MEZ (rechts). (Quellen: www.wetteronline.de und www.wetter.com).

In der Nördlichen und Zentralen Ostsee wehte anfangs ein Wind aus nördlicher Richtung, dann erfasste eine Ostströmung die gesamte Ostsee. Sowohl über der Ost- als auch der Nordsee entwickelte sich dann ein ausgedehnter und langanhaltender Oststurm (Tabelle 1).

Tabelle 1: Windentwicklung über der Ostsee vom 19. bis 21.10.2023 (Quelle: DWD).

Wind in Bft.	19.10.2023	19.10.2023	20.10.2023	20.10.2023	21.10.2023	21.10.2023
DWD	03:00 Uhr	09:00 Uhr	03:00 Uhr	09:00 Uhr	03:00 Uhr	09:00 Uhr
Nördl. Ostsee	NNE 5	NE 5	E 6	ENE 6	E 6	E 7
Zentr. Ostsee	NNE 4	ENE 4	E 6	E 6	E 7	E 7
SE-Ostsee	E 4	E 5	E 6	E 6	E 7	ESE 7
Südl. Ostsee	E 5	E 6	E 6	E 7	E 6	ESE 5
Westl. Ostsee	E 5	E 6	E 6	E 7	E 5	ESE 4

Die ausgeprägte Ost-West-Ausrichtung des Sturmfeldes bewirkte eine unterschiedliche Wasserstandsentwicklung an den deutschen Küsten. In der Nordsee wurde das Wasser von der deutschen Küste auf die offene See gedrückt (Sturmebbe), für die westliche Ostsee wurde eine landesweite Sturmflut mit unterschiedlichen lokalen Buchteneffekten vorhergesagt.

3 Sturmflutwarnung und Alarmstufen

Durch den Wasserstandsvorhersagedienst des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Rostock erfolgte über die automatische Alarmierung per FACT24, Fax, E-Mail sowie Internet eine Warnung vor einer Sturmflut mittleren bis schweren Ausmaßes für alle Bereiche der deutschen Ostseeküste

(KB – Kieler Bucht, LB – Lübecker Bucht, wR – westlich Rügens und öR – östlich Rügens):

- Mi., 17.10.2023

erste Ankündigung einer Sturmflut für den 19.10.2023
- Do., 18.10.2023

07:30 Uhr Sturmflutwarnung
Prognose ab 19.10. Mittag: KB 1,00–1,50 m über NHN
Prognose ab 19.10. Nachmittag: LB 1,00–1,40 m; wR 0,80–1,10 m; öR 0,70–1,10 m über NHN.
- Fr., 19.10.2023

07:30 Uhr:
Prognose von 19.10. bis 21.10. Mittag: KB 1,20–1,90 m, Flensburg bis 2,00 m; LB 1,00–1,80 m; wR 0,70–1,50 m, öR 0,70–1,20 m; innere

Küstengewässer (Bodden und Haff) 0,70–1,10 m, Greifswalder Bodden bis 1,50 m über NHN

Sa., 21.10.2023

10:45 Uhr Entwarnung

Die durch das BSH seit Ankündigung der Sturmflut regelmäßig aktualisierten Modellläufe der Wasserstandsprognosen führten bis zum Eintritt der Sturmflut zu insgesamt nach oben korrigierten Scheitelwasserständen. Für die Küste Mecklenburg-Vorpommerns prognostizierten die verschiedenen Wasserstandsmodelle zuletzt Maximalwasserstände von 1,20 m über Normalmittelwasser für die Außenküstenabschnitte östlich von Rügen sowie 1,50 m über Normalmittelwasser für die Außenküstenabschnitte westlich von Rügen und somit lokal variierend den Eintritt einer leichten bis schweren Sturmflut. Für die inneren Küstengewässer wurden Scheitelwasserstände bis 1,10 m über Normalmittelwasser vorhergesagt. Die in Abbildung 2 aufgeführten Modellläufe zeigen die verschiedenen Wasserstandsprognosen für den Pegelstandort Warnemünde am 20.10./21:46 Uhr MEZ kurz vor Erreichen des Sturmflutscheitels.

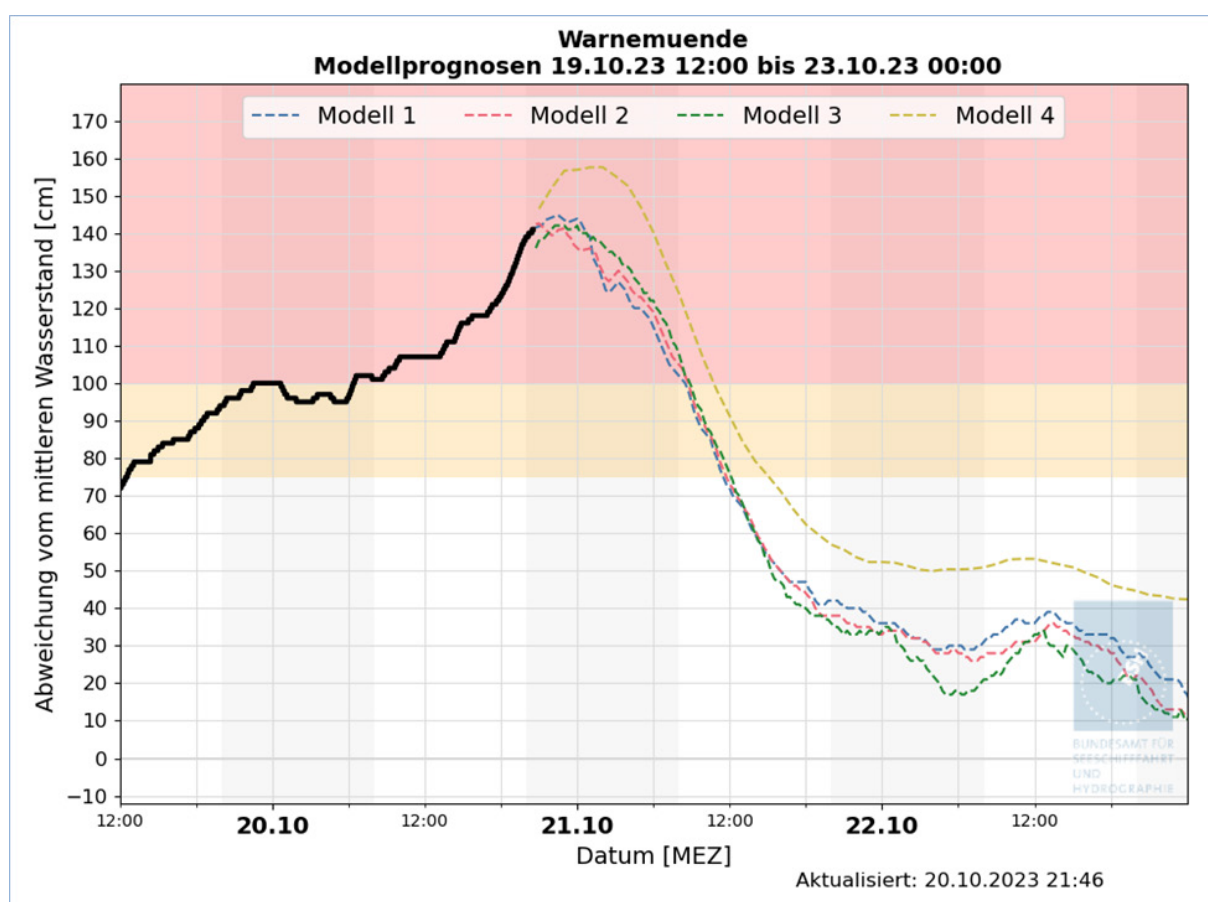


Abbildung 2: Modellprognosen für den Wasserstand (farbige Linien) sowie Messung (schwarze Linie) am Pegel Warnemünde für die Zeit vom 19. bis 23.10.2023. (Quelle: www.bsh.de).

Basierend auf den Wasserstandsprognosen empfahlen die Hochwassermeldezentren den kreisfreien Städten und Landkreisen die Ausrufung der Alarmstufe II. Im Landkreis Nordwestmecklenburg wurde aufgrund der zu erwartenden höheren Wasserstände im Bereich der Wismarbucht die Alarmstufe III ausgelöst. Den Alarmstufen ist grundsätzlich der Beginn folgender Hochwasserdienste mit entsprechenden Zuständigkeiten zugeordnet:

Alarmstufe I Wasserstandsmeldedienst (Hochwassermeldezentren)

Alarmstufe II Kontrolldienst (Landrat bzw. Oberbürgermeister; Fachberatung d. StALU)

Alarmstufe III Wachdienst (Landrat bzw. Oberbürgermeister; Fachberatung StALU)

Alarmstufe IV Hochwasserabwehr (Landrat/Oberbürgermeister; Fachberatung StALU)

4 Verlauf und statistische Einordnung der Sturmflut

Die Sturmflut vom 20. bis 21.10.2023 ereignete sich wenige Tage nach Beginn der offiziellen Sturmflutsaison am 16.10. Bereits Tage vor dem Ereignis betrug der Füllungsgrad der gesamten Ostsee zwischen 0,35 und 0,45 m über Normalmittelwasserstand. An der deutschen Ostseeküste lagen die Wasserstände in der Kieler Bucht und in der Lübecker Bucht zwischen 0,20 und 0,50 m und im Gebiet östlich Rügens zwischen 0,20 und 0,60 m über dem mittleren Wasserstand. Das beeinflusste in der Folge auch die Maximalwasserstände der Sturmflut.

Die ausgeprägte Ostströmung des Sturmes führte insgesamt zu von Ost nach West ansteigenden Scheitelwasserständen und erreichte am Pegel Flensburg in Schleswig-Holstein den Höchststand von 2,27 m über Normalmittelwasserstand (Abbildung 3). Dies entspricht der Kategorie einer sehr schweren Sturmflut.

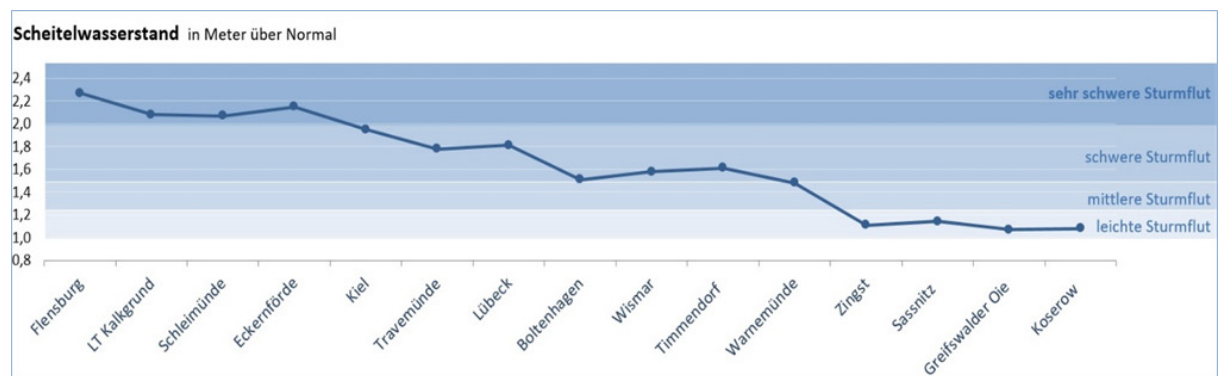


Abbildung 3: Scheitelwasserstände der Sturmflut am 20./21.10.2023 an der deutschen Ostseeküste (Quelle: www.pegelonline.de).

Tabelle 2: Scheitelwasserstände an der Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern am 20./21.10. (Quelle: www.pegelonline.de).

Außenküste	Scheitelwasserstand über Normalmittelwasserstand	Uhrzeit	Sturmflut-kategorie	Alarm-stufe	Statistik
Boltenhagen	1,51 m	20.10., 18:10 Uhr	schwere Sturmflut	III	HW 5
Timmendorf	1,61 m	20.10., 20:36 Uhr	schwere Sturmflut	III	HW 10
Wismar	1,58 m	20.10., 22:20 Uhr	schwere Sturmflut	III	HW 5
Warnemünde	1,48 m	20.10., 22:37 Uhr	mittlere Sturmflut	II	HW 10
Zingst	1,11 m	20.10., 18:15 Uhr	leichte Sturmflut	I	k.A.
Sassnitz	1,14 m	20.10., 22:04 Uhr	leichte Sturmflut	I	HW 5
Koserow	1,08 m	20.10., 19:05 Uhr	leichte Sturmflut	I	< HW 2

In Mecklenburg-Vorpommern erreichte die Sturmflut nur im westlichen Landesteil das Ausmaß einer schweren Sturmflut. Der höchste Scheitelwert wurde hier mit 1,61 m über Normalmittelwasserstand in Timmendorf auf der Insel Poel registriert. Richtung Osten

sanken die Scheitelwasserstände an der Außenküste kontinuierlich ab und erreichten auf der Insel Usedom mit 1,08 m über Normalmittelwasserstand in Koserow nur noch die Intensität einer leichten Sturmflut (Tabelle 2, Abbildung 4). Leichte Sturmfluten weisen eine statistische Häufigkeit von 1 bis 2 Jahren auf, schwere Sturmfluten von 5 bis 20 Jahren.

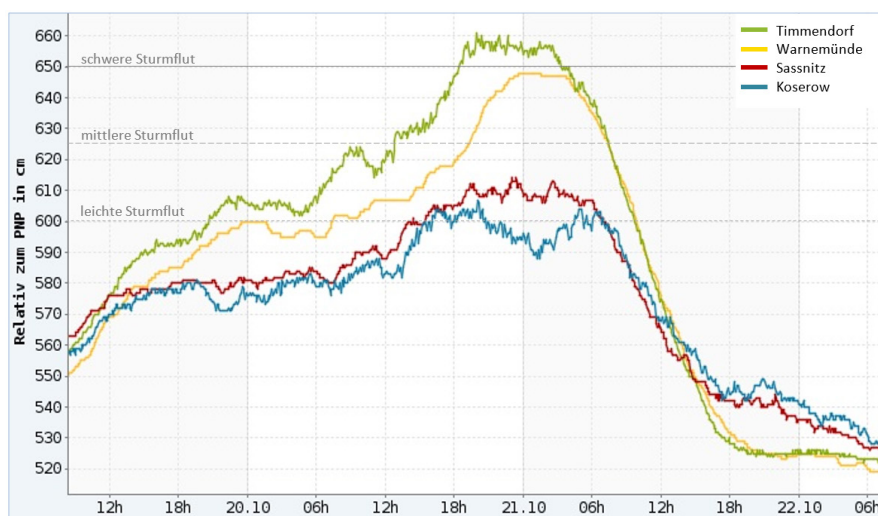


Abbildung 4: Ganglinienvergleich des Wasserstandes vom 19. bis 22.10.2023 für ausgewählte Standorte an der Außenküste. (Quelle: www.pegelonline.de).

An den inneren Küstengewässern sorgte der anhaltende Oststurm für einen erhöhten Wassereinstrom mit boddenseitig entsprechend hohen Wasserstandsanstiegen. Die statistisch höchsten Scheitelwasserstände wurden an den Binnenküsten des Darß (Althagen, Born, Wiek) sowie des Peenestroms (Wolgast) mit dem Ausmaß eines jeweils 20-jährlichen Hochwasserereignisses registriert (Tabelle 3, Abbildung 5).

Die Hochwasserstände wiesen vor allem an den westlichen Küstenabschnitten sehr lange Verweildauern auf. Insbesondere im Bereich der Kieler und Mecklenburger Bucht verursachte der langanhaltende Oststurm erhebliche Verweildauern der Sturmflutwasserstände von über 1,00 m über Normalmittelwasserstand. Am längsten hielt das Hochwasser in Flensburg mit 53 Stunden über 1,00 m und 9 Stunden über 2,00 m über Normalmittelwasserstand an.

Tabelle 3: Scheitelwasserstände an der Binnenküste von Mecklenburg-Vorpommern am 20./21.10. (Quelle: www.pegelonline.de).

Binnenküste	Scheitelwasserstand über Normalmittelwasserstand	Uhrzeit	Sturmflut-kategorie	Alarm-stufe	Statistik
Rostock UW	1,50 m	20.10., 22:15 Uhr	-	II	HW 5
Althagen	1,00 m	21.10., 13:42 Uhr	-	II	HW 20
Barth	1,09 m	21.10., 05:53 Uhr	-	I	HW 10
Kloster	1,31 m	21.10., 00:44 Uhr	-	-	< HW 10
Stralsund	1,51 m	20.10., 20:56 Uhr	-	III	< HW 20
Greifswald	1,48 m	20.10., 18:53 Uhr	-	II	< HW 10
Wolgast	1,14 m	20.10., 19:35 Uhr	-	-	HW 20
Karnin	1,06 m	20.10., 19:04 Uhr	-	-	< HW 20
Ueckermünde	0,92 m	20.10., 18:44 Uhr	-	I	HW 5

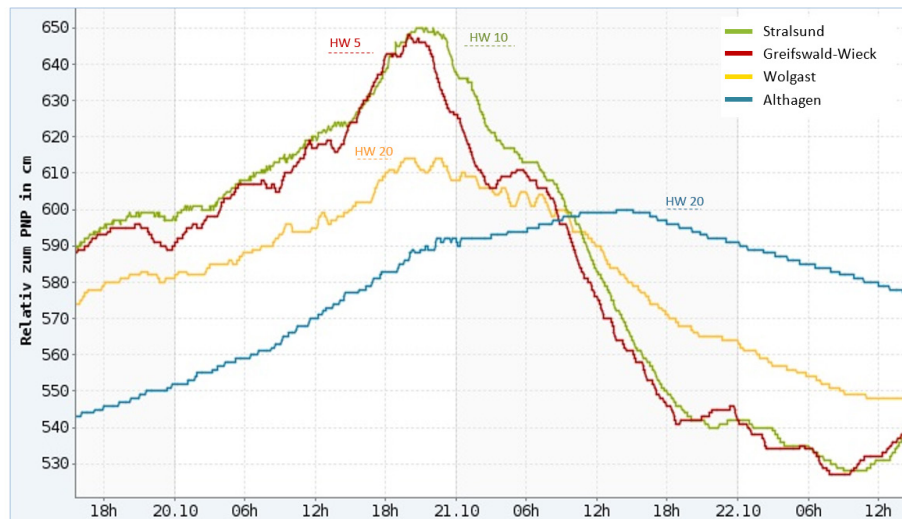


Abbildung 5: Ganglinienvergleich des Wasserstandes vom 19. bis 22.10.2023 für ausgewählte Standorte an der Binnenküste. (Quelle: www.pegelonline.de).

In Mecklenburg-Vorpommern waren Sturmflutwasserstände von über 1,00 m über Normalmittelwasserstand mit 37 Stunden am längsten im Bereich Nordwestmecklenburg (Wismar und Timmendorf/Poel) zu verzeichnen. Wasserstände von über 1,50 m über Normalmittelwasserstand (schwere Sturmflut) hielten hier insgesamt 9 Stunden an. Generell nahm die Verweildauer der Sturmflutwasserstände ähnlich der Höhe der Scheitelwasserstände von West nach Ost ab und erreichte mit ca. 10 Stunden sein Minimum am Standort Koserow auf Usedom (Abbildung 6).

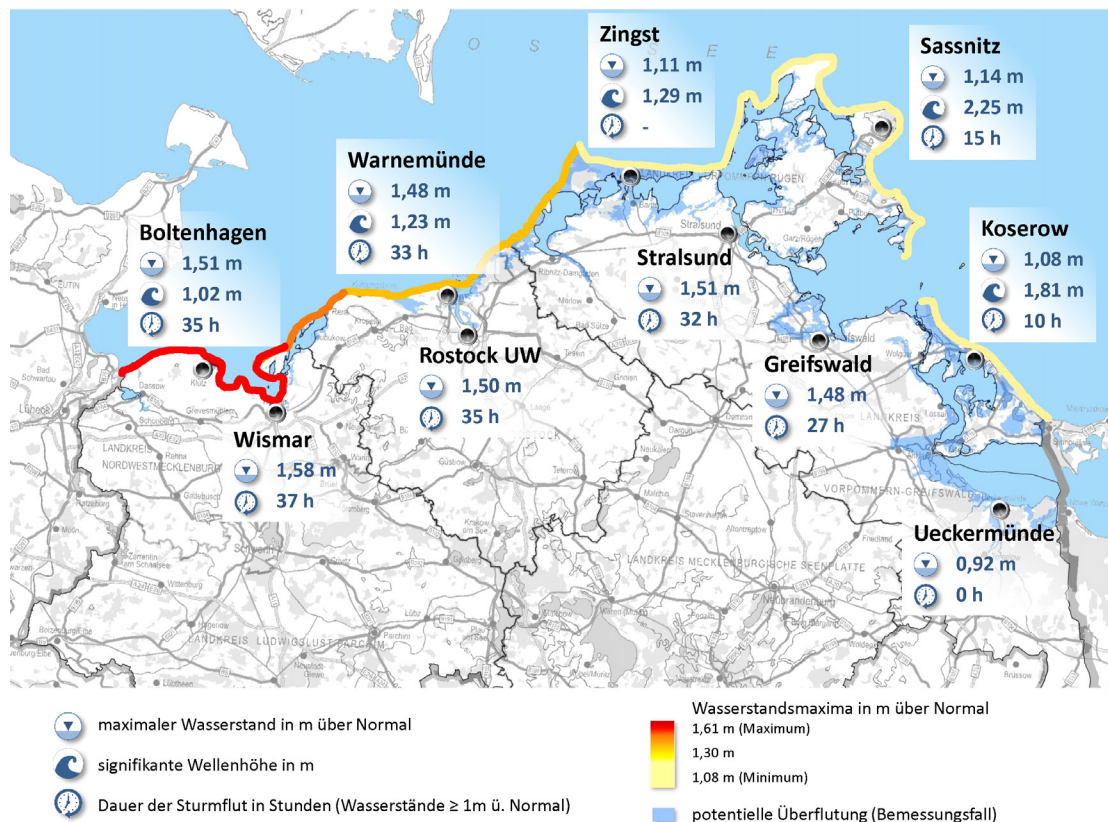


Abbildung 6: Sturmflutkennwerte vom 20./21.10.2023 für ausgewählte Standorte an der Außen- und Binnenküste von Mecklenburg-Vorpommern. (Quelle WSA/Internes Messnetz Küste).

Die hohen Wasserstände wurden lokal z. T. von starkem Seegang begleitet. Die Seegangsbelastung fiel dabei östlich von Rügen mit einer signifikanten Wellenhöhe bis zu 2,25 m (Göhren, Küstennahbereich in 5 m Wassertiefe) deutlich höher aus als an den Küstenabschnitten westlich von Rügen. Hier wurde in der Wismarbucht (Boltenhagen) eine signifikante Wellenhöhe von maximal 1,02 m registriert (Abbildung 7).

Hervorzuheben ist die langanhaltende Seegangsbelastung vor Rügens Ostküste mit bis zu 15 Stunden andauernden Wellenhöhen von über 2 m. Der Seegang erreichte hier eine maximale Wellenhöhe von bis zu 2,91 m.

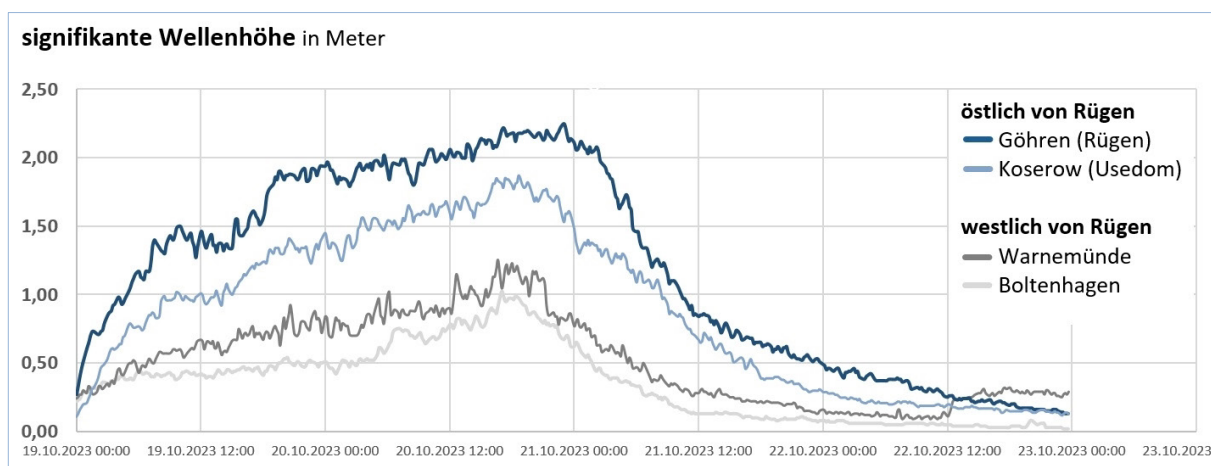


Abbildung 7: Seegangsverlauf (signifikante Wellenhöhe) während der Sturmflut an der Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern. (Quelle: Internes Messnetz Küste).

Abbildung 8 ordnet die Sturmflut vom 20./21.10.2023 in die empirische Zeitreihe aller seit der an der westlichen Ostseeküste höchsten messtechnisch erfassten Sturmflut im Jahre 1872 registrierten Scheitelwasserstände für den Pegelstandort Warnemünde ein. Bezogen auf den Warnemünder Pegel ereigneten sich schwere Sturmfluten (Scheitelwasserstände ab 1,50 m über Normalmittelwasserstand) seitdem insgesamt 12 Mal. Die Sturmflut vom Oktober 2023 lag für den Pegel Warnemünde mit 1,48 m über Normalmittelwasserstand im oberen Bereich einer mittleren Sturmflut (Scheitelwasserstände zwischen 1,25 bis 1,50 m über Normalmittelwasserstand).

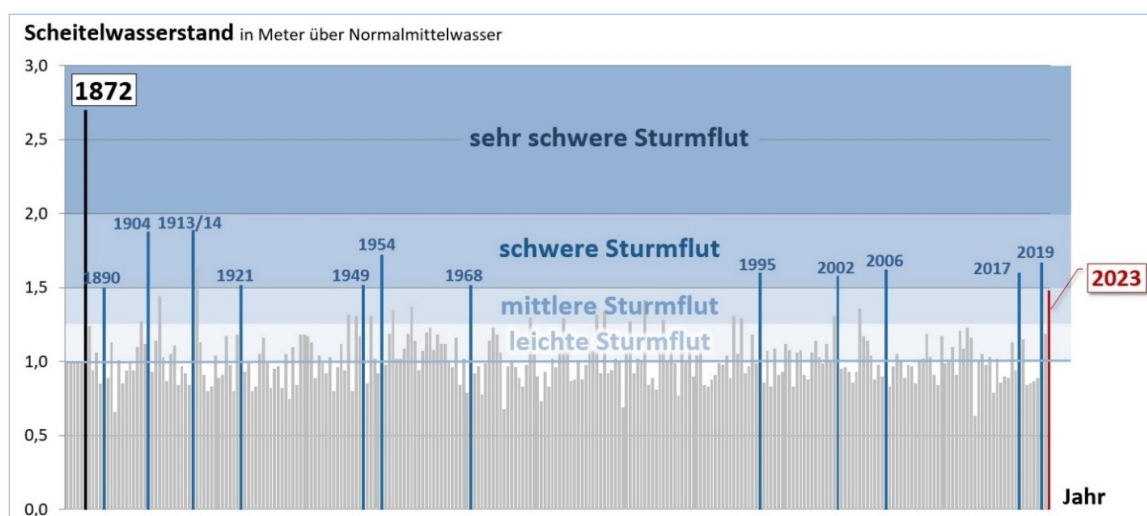


Abbildung 8: Einordnung der Sturmflut am 20./21.10.2023 in die Zeitreihe 1872 bis 2023 für den Pegel Warnemünde.

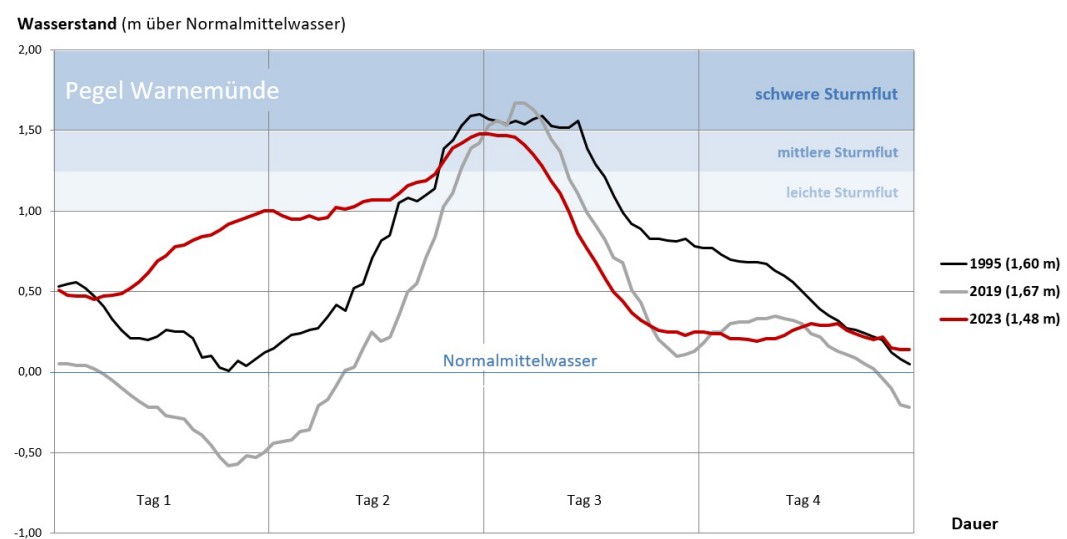
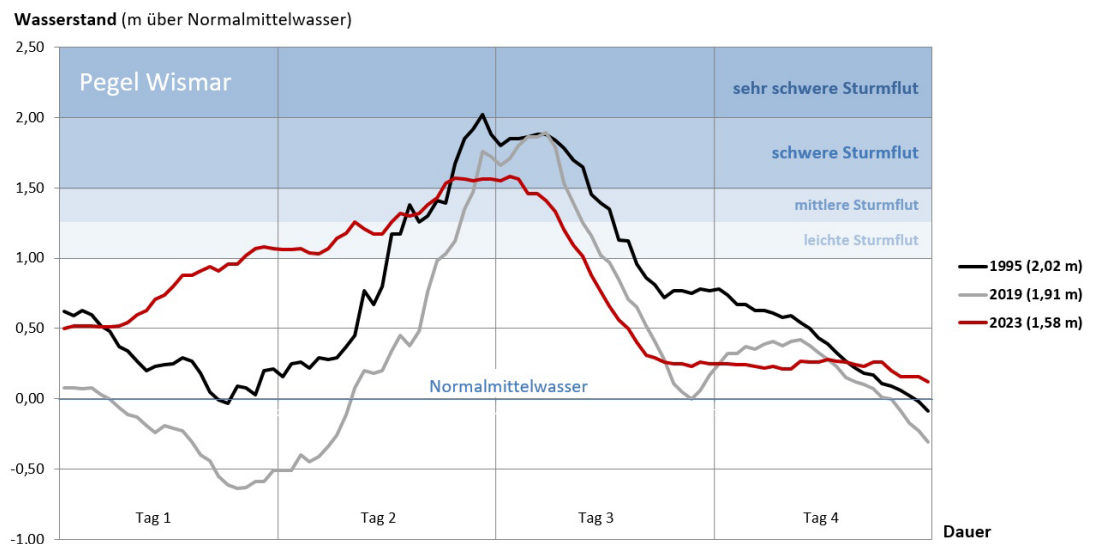
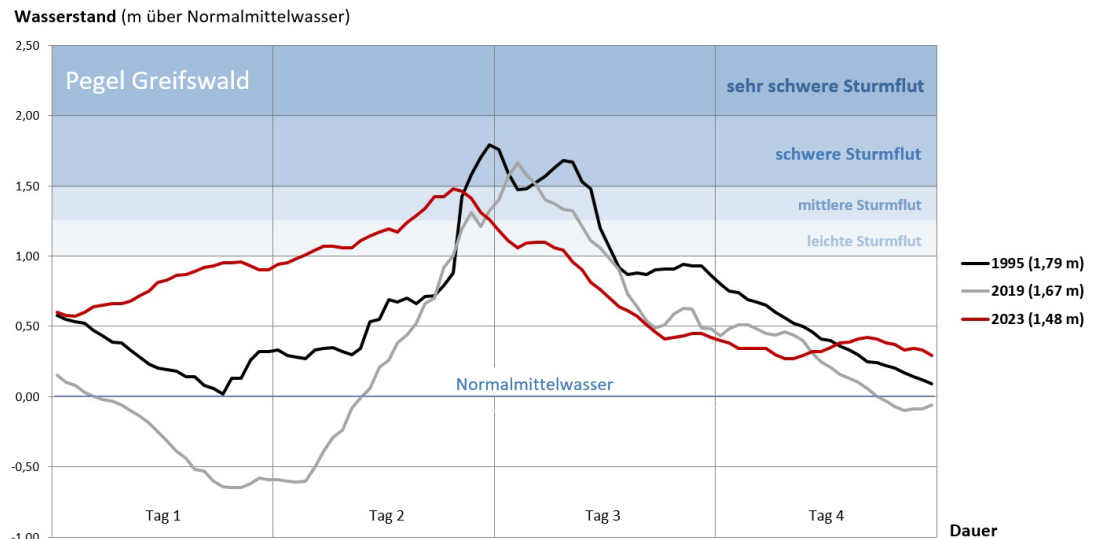


Abbildung 9: Ganglinienvergleich der Sturmfluten 1995, 2019 und 2023 für ausgewählte Standorte in Mecklenburg-Vorpommern. (Quelle: Professur Geotechnik & Küstenwasserbau Universität Rostock).

Trotz der im Vergleich mit den letzten schweren Sturmfluten niedriger eingetretenen Scheitelwerte ist die Sturmflut vom 20./21.10.2023 insgesamt dennoch als schweres Hochwasserereignis zu werten. Die im Vorfeld der Sturmflut ausgeprägte Vorfüllung der Küstengewässer sowie die lokal zum Teil erheblichen Verweildauern hoher Wasserstände führten zu insgesamt großen Sturmflutfüllen (Fülle = Flächenintegral der Wasserstandsganglinie). Die Füllen der Sturmflut vom Oktober 2023 sind im Ganglinienvergleich der letzten schweren Sturmfluten in etwa mit der Sturmflut von 2019 vergleichbar (Abbildung 9).

5 Sturmflutschäden und Schadensbilanzierung

5.1 Vorbereitende Maßnahmen des Landes und der Kommunen

Die Hochwassermeldezentren der Staatlichen Ämter für Landwirtschaft und Umwelt waren während des Hochwasserereignisses bis zum Ende der Sturmflut dauerhaft besetzt. Den kreisfreien Städten und Landkreisen an der Küste wurde durch die Hochwassermeldezentren die Ausrufung der Alarmstufe II (Kontrolldienst) empfohlen. Im Landkreis Nordwestmecklenburg wurde aufgrund der höher prognostizierten Wasserstände im Bereich der Wismarbucht und der Lübecker Bucht die Alarmstufe III (Wachdienst) ausgelöst. Mit der Ausrufung der Alarmstufen war die besondere Überwachung der Hochwasserschutzanlagen insbesondere in den relevanten Abschnitten verbunden. Die mit den Alarmstufen verbundenen vorbereitenden und abwehrenden Maßnahmen zur Hochwasserbekämpfung lagen in der Zuständigkeit der Landkreise und kreisfreien Städte.

Die in der Zuständigkeit der Landesverwaltung befindlichen Sperrwerke (Greifswald, Conventer Niederung, Tarnowitz, Klütz u. a.) wurden vorschriftsmäßig geschlossen. Ebenso wurden alle im Bereich von Landesküstenschutzanlagen vorhandenen Mobilverschlüsse wasserstandsbezogen geschlossen (Sturmflutschutztore, Dammbalkenverschlüsse, Schieber). Die Strände an den Außenküsten des Landes waren bis auf wenige Ausnahmen von baulichen Anlagen und Gegenständen beräumt. Dies wurde im Vorfeld der Sturmflut durch Vorortkontrollen in allen Küstengemeinden überprüft. Vereinzelt festgestellte verbliebene Gegenstände, wie Strandkörbe, Wege- und Fundamentplatten, wurden gegenüber den zuständigen Kommunalverwaltungen gemeldet und bei technischer Erreichbarkeit ebenfalls unverzüglich beräumt. Verbliebene Einzelgegenstände stellten unter Berücksichtigung der Wasserstandsprognose keine ernsthafte Gefahr für die Funktionsfähigkeit der Küstenschutzanlagen dar.

5.2 Schadenskartierung und -bilanzierung

Die unmittelbar im Anschluss an das Sturmflutereignis von den für den Landesküstenschutz zuständigen Staatlichen Ämtern für Landwirtschaft und Umwelt (StÄLU) vorgenommene Schadenskartierung der Küste ergab, dass es zu keinem Versagen von Landesküstenschutzanlagen kam. Die Systeme des Landesküstenschutzes funktionierten ohne Einschränkung. Alle operativen Maßnahmen des Küstenschutzes liefen reibungslos ab. Es traten keine Überflutungen oder gravierenden Küstenrückgänge in durch Landesküstenschutzanlagen geschützten Bereichen auf. Die erwartungsgemäß eingetretenen Sedimentumlagerungen im Düne-Strand-Schorre-System der Landesküstenschutzdünen gingen

nicht über das übliche Maß hinaus und führten zu keiner Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der Anlagen.

Im Hinblick auf die gerade erst begonnene Sturmflutsaison ergab die erste Schadensbilanzierung, dass das Schutzniveau der Küste durch die Sturmflut nicht beeinträchtigt wurde und die Küstenschutzanlagen auch ein nachfolgendes Sturmflutereignis sicher kehren können.

An den stark seegangsbelasteten Küstenabschnitten der besonders exponierten Ostküste von Rügen sowie in Bereichen Ostvorpommerns kam es lokal zu baulichen Schäden an kommunalen Infrastrukturen, wie Hafenanlagen und touristischen Einrichtungen. Zudem führte die Überströmung eines landwirtschaftlichen Deiches zu einer lokal begrenzten Überflutung des Hinterlandes, jedoch ohne Gefährdung von Zusammenhangbebauung.

An ungesicherten Steilufern traten stellenweise Rückgänge und Versteilungen auf. In Abstimmung mit den zuständigen Gemeinden und kreisfreien Städten erfolgte lokal die Ausweisung und Sicherung von sturmflutbedingten Gefahrenquellen.

6 Funktionelle Bewertung der Leistungsfähigkeit der Landesküstenschutzdünen

Im Bereich von Landesküstenschutzdünen kam es durch die Kombination von hohen Wasserständen und Seegang lokal zu teilweise erheblichen Sandumlagerungen aus dem Dünenkörper in Richtung Strand und Schorre. Dies stellt jedoch keinen Schaden dar, sondern ist Teil des Wirkprinzips von Dünen. Küstenschutzdünen sind „Verschleißbauwerke“, deren Sanddepot im Laufe einer Sturmflut erodieren und über den Prozess des Sedimentquertransportes in den Strand- und Schorrebereich umgelagert werden soll.

Durch die Sandumlagerungen sind in einigen Küstenabschnitten zum Teil mehrere Meter hohe Dünenkliffs entstanden, welche zur Minimierung des Gefahrenpotentials im Rahmen der Bauwerksunterhaltung zeitnah abgeöschert wurden. Landesweit wurde geschätzt, dass circa 500.000 m³ Sand umgelagert wurden.

Für die genaue Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Landesküstenschutzdünen wurden unmittelbar nach der Sturmflut terrestrische Vermessungen für Landesküstenschutzdünen mit bekanntem bzw. erwartetem sturmflutbedingtem Sedimentdefizit veranlasst. Die Messkampagne lieferte für 12 Dünenabschnitte insgesamt 74 Profilaufnahmen auf rund 16,5 km Küstenlänge. Der aufgenommene Profilverein umfasste jeweils den Dünen- und Strandbereich. Auswertbare Messergebnisse lagen eine Woche nach dem Sturmflutereignis vor. Die Auswertung erfolgte anhand von Soll-Ist-Vergleichen des Dünen-Strand-Profils auf Basis des Teilautomatisierten Dünenkatasters (TADK) mit Dünenprofilen einer Airborne-Laserscanning-Aufnahme vom September/Okttober 2022 als Differenzmodell (Abbildung 10).

Die Auswertung der Profilvergleiche ergab, dass grundsätzlich alle Landesküstenschutzdünen über ein Verschleißteil von mindestens 50 % verfügen, so dass ein unmittelbar eintretendes HW₂₀₀-Ereignis schadlos gekehrt werden kann. Es bestand somit kein akuter Handlungsbedarf (Aufspülerfordernis). Kurzfristig und/oder wiederholt eintretende Hochwässer (auch mit Eintrittswahrscheinlichkeiten < HW₂₀₀) könnten jedoch zu einer zunehmenden Schwächung der Leistungsfähigkeit der Dünen führen und in der Folge zu einem kurzfristigen bzw. akutem Handlungsbedarf führen.

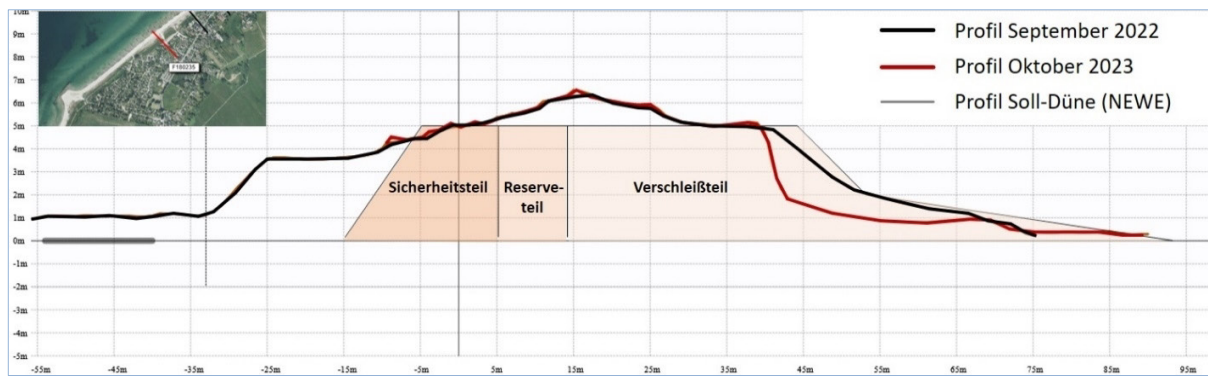


Abbildung 10: Profilvergleich für die Düne Ahrenshoop (KKM F180.235) vor und nach der Sturmflut am 20./21.11.2023. (Quelle: TADK).

Da die Funktionstüchtigkeit einer Küstenschutzdüne auf einen mit ausreichend Sand ausgestatteten Strand- und Schorrebereich angewiesen ist, waren bereits vor dem Sturmflutereignis für 2 der insgesamt 27 Küstenschutzdünen des Landes Wiederholungsaufspülungen zum Ausgleich von Materialdefiziten und zur Wiederherstellung des geforderten Strand-Schorre-Profiles vorgesehen, deren Rahmenbedingungen nach der Sturmflut überprüft und die Projektdaten entsprechend angepasst werden mussten:

- Küstenabschnitt Prerow-Zingst:
Im Rahmen einer bereits Anfang Oktober 2023 begonnenen Aufspülung sollten bis Ende Dezember 2023 mehr als 700.000 m³ Sand auf einer Küstenlänge von 10,3 km aufgespült werden. Die infolge der Sturmflut entstandenen Materialverluste führen zu einem Mehrbedarf von ca. 15 % Aufspülsand.
- Küstenabschnitt Neuhaus-Dierhagen:
Eine für den Winter 2023/24 geplante Aufspülmaßnahme mit einer Spülmenge von rund 300.000 m³ auf 1,7 km Küstenlänge wurde nach der Sturmflut überprüft und ein Mehrbedarf von 10 % Aufspülsand ermittelt.

7 Strategische Aspekte von Sandaufspülungen

Die Sandumlagerungen an den Landesküstenschutzdünen während der Sturmflut im Oktober 2023 waren weder überraschend noch mit negativen Auswirkungen für das Schutzniveau an der Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern. Entsprechend den in Kapitel 6 beschriebenen Wirkungsmechanismen ist die Düne ein Verschleißbauwerk, das eine definierte Anzahl an Sturmflutereignissen kehren kann bis es aufgezehrt ist. Vorteil dieser Küsten- und Hochwasserschutzstrategie ist der Erhalt der natürlichen Sedimentdynamik und die Vermeidung von harten Bauwerken zur Ufersicherung.

Der Prozess der Dünenentwicklung wird durch jährliche Laserscans und ereignisbezogene Vermessungen aufgenommen und begutachtet. Tritt keine besonders schwere Sturmflut auf, müssen die Dünen im zeitlichen Abstand von etwa 5 bis 10 Jahren (ohne Buhnen) bzw. 12 bis 15 Jahren (mit Buhnen) durch eine Wiederholungsaufspülung instandgesetzt werden. Der mittlere jährliche Sedimentbedarf für die Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern beträgt aktuell etwa 500.000 m³. Dieser Bedarf kann durch Sturmflutereignisse deutlich steigen. Zum Erhalt der Schutzfunktion der Dünen sind demnach regelmäßig größere Mengen an Sediment erforderlich. Für eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Sandressourcen ist lokales und regionales Management erforderlich.

Die aktuellen Planungen zum Sedimentmanagement gehen bis in das Jahr 2036 (Abbildung 11). Die Ostseesturmflut 2023 hat diesen Plan nicht substantiell beeinflusst. Der Vergleich des aktuellen jährlichen Sedimentbedarfes mit den bergrechtlich genehmigten und erkundeten Sedimentvorräten zeigt, dass bei unveränderten Bemessungsansätzen dieses Konzept des Hochwasserschutzes noch für viele Dekaden durchführbar ist. Vor dem Hintergrund des sich beschleunigenden Meeresspiegelanstiegs ist aber mit einem Anstieg der Entnahmemengen zu rechnen. Die Quantifizierung dieses Mehrbedarfes ist Gegenstand aktueller Forschungen. Langfristig wird mit einer Anpassung der Aufspülstrategie zu rechnen sein.

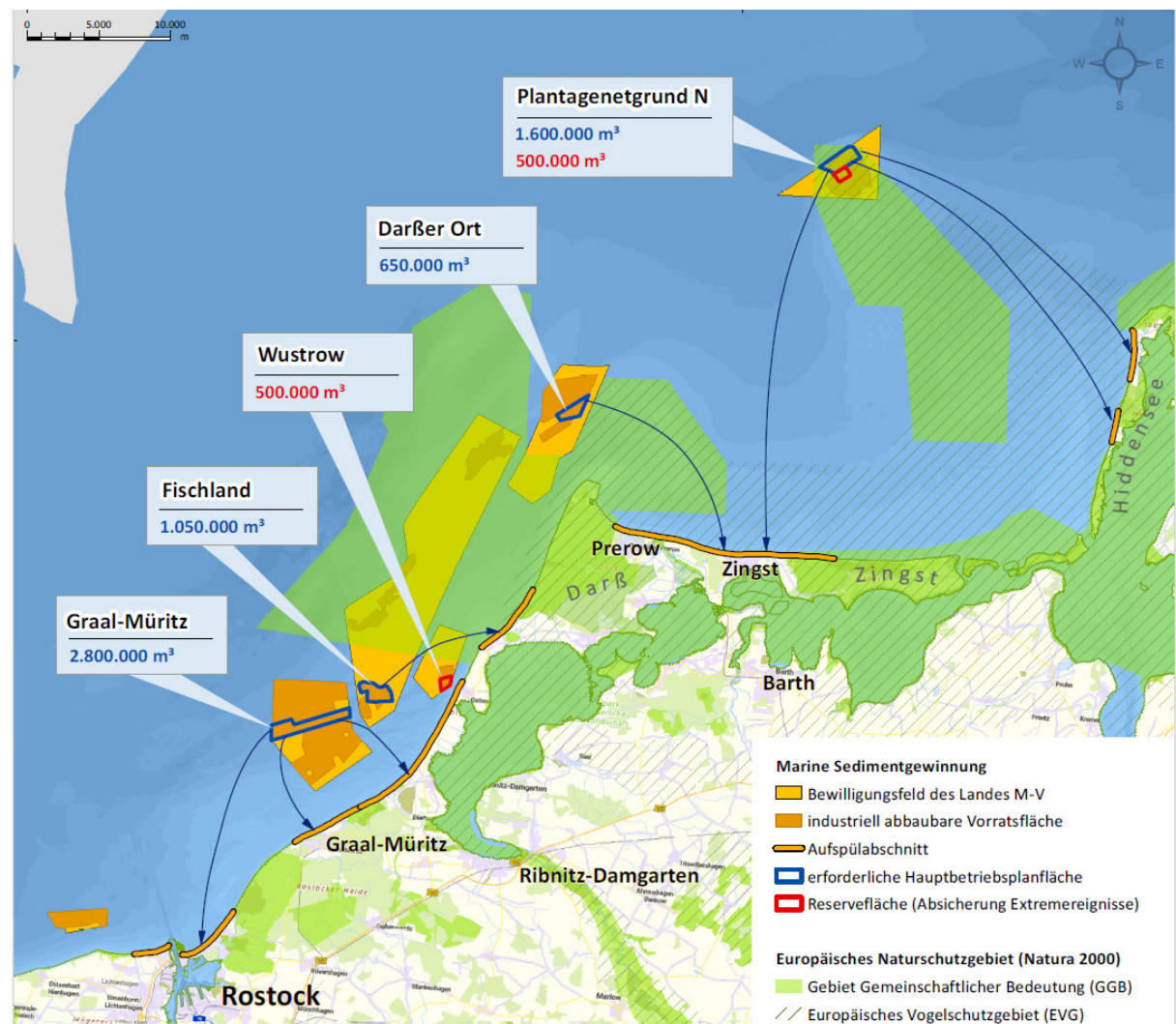


Abbildung 11: Abbauregime auf den Sandentnahmeflächen des Landes Mecklenburg-Vorpommern im Bereich Fischland-Darß-Zingst.

8 Schutz der inneren Küsten

Die lange Verweilzeit der Sturmflut führte dazu, dass es auch an den inneren Küsten erhebliche Wasserstandserhöhungen gegeben hat (Abbildung 5). Dies hat zu einer hydraulischen Belastung der Deiche an den inneren Küsten geführt. Entgegen der in den Medien verbreiteten Informationen ist kein Deich gebrochen. Im Verlauf der Sturmflut gab es eine temporäre Überströmung eines Deiches, der zum Schutz landwirtschaftlicher Nutzflächen

errichtet wurde. Aufgrund dieses Schutzzieles hat der Deich eine geringere Ausbauhöhe als neu errichtete Deiche zum Schutz im Zusammenhang bebauter Gebiete. Zu keinem Zeitpunkt gab es eine Gefährdung von Wohngebäuden und Menschenleben.

Der Fokus der Landesküstenschutzverwaltung von Mecklenburg-Vorpommern lag in den vergangenen Jahrzehnten vor allem auf den Außenküsten. Dies lag unter anderem an dem starken Befall der Buhnen durch die Bohrmuschel *Teredo Navalis* und die damit verbundenen Zerstörungen sowie der Schaffung eines einheitlichen Ausbauzustandes der Hochwasserschutzdünen in Kombination mit Buhnenneubau. Der Schutz der Außenküste gegen Durchbruch im Sturmflutfall ist auch gleichzeitig unerlässlich für den Schutz der inneren Küsten. Nur wenn die äußere Schutzlinie gehalten wird, bleiben die Einstromquerschnitte in die Bodden und Haffe unverändert. Das gesamte Schutzkonzept entlang der inneren Küsten basiert auf dieser Annahme.

Der nun erreichte gute Ausbauzustand der Schutzanlagen an der Außenküste eröffnet seit einigen Jahren Raum für die Verbesserung des Schutzniveaus an den inneren Küsten von Mecklenburg-Vorpommern. Einige Großprojekte sind bereits in der Umsetzung. Vielerorts werden Maßnahmen geplant und vorbereitet. Die Planungsprozesse entlang der inneren Küsten sind durch die Überlagerung einer Vielzahl von Nutzungen langwierig und komplex. Auch hier wird es letztendlich mit Blick auf die unterschiedlichen flächenbezogenen Interessen und Anforderungen aus Sicht von Naturschutz, Moorschutz, Landwirtschaft, Tourismus und Bebauung Kompromisse und einen zukunftsorientierten, abwägenden Küsten- und Hochwasserschutz geben müssen.

9 Schlussfolgerungen

Die grundsätzliche Strategie des Küsten- und Hochwasserschutzes in Mecklenburg-Vorpommern hat sich während der Sturmflut vom Oktober 2023 bewährt.

Im Bereich von Landesküstenschutzdünen kam es durch die Kombination von hohen Wasserständen und Seegang lokal zu teilweise erheblichen Sandumlagerungen aus dem Dünenkörper in Richtung Strand und Schorre. Basierend auf der Annahme, dass die Düne als Verschleißbauwerk bemessen ist, waren diese weder überraschend noch mit negativen Auswirkungen für das Schutzniveau an der Außenküste.

Langfristig müssen die daraus resultierenden Sedimentdefizite durch Wiederholungsaufspülungen kompensiert werden. Vor dem Hintergrund des steigenden Meeresspiegels ist davon auszugehen, dass sich die zeitlichen Abstände zwischen den Wiederholungsaufspülungen verkürzen werden. In Summe wird also der Bedarf an Sediment steigen. Ob die bisherigen Bemessungsansätze für sturmflutbedingte Dünenerosion auch zukünftig Bestand haben, ist Gegenstand aktueller Forschungen. Auch hier ist mit einem möglichen Mehrbedarf an Sediment zu rechnen. Diese Bedarfe langfristig zu decken ist nur möglich, wenn die Küstenschutzverwaltung die marine Sandengewinnung gegenüber konkurrierenden Nutzungen auch zukünftig durchsetzen kann.

Die lange Verweilzeit der Sturmflut führte dazu, dass es auch an den inneren Küsten erhebliche Wasserstandserhöhungen gegeben hat. Diese sind in ihrem Ausmaß durch die natürlichen Zustromquerschnitte von der offenen See in die inneren Küstengewässer begrenzt. Der steigende Meeresspiegel wird zu einer Zunahme der eingeströmten Wassermenge führen. Dies wird sich auf die Sturmflutganglinien an den inneren Küsten

auswirken. Für die Planung neuer Hochwasserschutzanlagen sind demnach neue Sturmflutganglinien und Bemessungswasserstände abzuleiten. Darüber hinaus sind morphologische Untersuchungen zur Entwicklung der Einstromgebiete erforderlich. So lassen sich bathymetrische Veränderungen erkennen und für die Ableitung neuer Sturmflutkennwerte berücksichtigen.