

The October 2023 Baltic Sea storm surge – insights from a multidisciplinary perspective

Die Ostsee-Sturmflut vom Oktober 2023 – Einblicke aus multidisziplinärer Perspektive

Christian Winter¹ and Jacobus Hofstede²

¹ *Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
christian.winter@ifg.uni-kiel.de*

² *Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein;
jacobus.hofstede@mekun.landsh.de*

Editorial – bilingual – zweisprachig

1 Introduction

The Baltic Sea storm surge of October 19–21, 2023 was an exceptional event with high impact to the German coast, particularly that of the Federal State of Schleswig-Holstein. This special volume brings together fifteen studies documenting the impacts on flood defenses and other public and private infrastructure. Further contributions analyze the event from meteorological, hydrological, engineering, remote sensing, and policy perspectives.

This storm surge ranked among the most severe events in recent history for the German Baltic Sea coast. It was classified as a “very severe storm surge” for several gauges in Schleswig-Holstein and “severe” for Mecklenburg-Vorpommern. Peak water levels in Schleswig-Holstein had reached well over 2 m above mean sea level at several gauges: 2.27 m in Flensburg, 2.20 m in Langballig, 2.07 m in Schleimünde, etc; rating the event as the second highest in nearly 200 years of records in northern Schleswig-Holstein (Nöthel et al. 2025). Return intervals are site specific, ranging from 20 to 200 years (Beckmann et al. 2025a). The Schleswig gauge in the Schlei Fjord recorded the highest peak water level at 2.29 m above mean sea level, which corresponds to a return interval of 100 to 200 years (Hirschhäuser et al. 2025).

Three key factors contributed to the event:

1. A stationary high-pressure system over Scandinavia and a low-pressure system over Central Europe generated persistent easterly winds reaching 29 m/s (Nöthel et al. 2025, Meyer et al. 2025).
2. Pre-existing elevated water levels in the Baltic Sea, combined with wind setup and basin oscillations (seiches), amplified the surge effects (Nöthel et al. 2025).
3. The shallow western Baltic (17–27 m depth) and coastal constrictions like the Lübeck Bight further enhanced water level increases (Beckmann et al. 2025b).

The long duration, locally lasting over 50 hours (Holfort 2025), differed significantly from previous events in the area (Schütt et al. 2025) and caused prolonged coastal flooding and destructive wave attack along many natural and protected stretches. Eight of 35 regional

dike systems in Schleswig-Holstein failed and about 20 required comprehensive repair (Hofstede and Aufderbeck 2025). In all, 5.740 ha of land was flooded during the event, including also city centers, e.g., in Eckernförde and Flensburg. Peters et al. (2025a, 2025b) and Seiß (2025) documented the extensive damage to public and private assets like marinas and campsites. The event led to extensive disaster response measures, including the evacuation of people from vulnerable areas. The state authority responsible for coastal flood defense in Schleswig-Holstein provided over 200.000 sandbags, 1.350 big bags, 600 sand containers, and 2.500 tons of iron silicate rocks (Hofstede and Aufderbeck. 2025). Due to the lower peak water levels in Mecklenburg-Vorpommern (Nöthel et al. 2025), the damage here was comparatively moderate and easier to manage (Siewert et al. 2025).

The contributions in this special volume address several interconnected themes: Hydrological and meteorological drivers were analyzed by Holfort (2025), Nöthel et al. (2025) and Meyer et al. (2025), who identified the primary mechanisms of extreme conditions. Meyer's comparison with the 1872 storm surge, the only event with recorded higher peak water levels, revealed similar atmospheric patterns but different spatial impacts. Holfort (2025) argued that in the Schlei, which only has a narrow connection to the Baltic Sea, heavy rainfall might have contributed to the height of the local surge. Geomorphic responses were quantified by Schütt et al. (2025) using Sentinel-2 satellite data, showing variable erosion patterns along the coast. Their Shoreline Extraction and Change Analysis Tool (SEaCAT) exemplarily showed how the Schleimünde sand spit experienced six months of continued erosion post-event, while other areas recovered more quickly. Bokhari Irminger et al. (2025) complemented these findings with LiDAR surveys documenting 1.3 million m³ of sediment loss along the Swedish coast. Monitoring innovations were showcased by Wiesenberger et al. (2025), who demonstrated how seismic networks could track wave energy during the event, and by Sudhaus (2025), who mapped flood extents using SAR satellite imagery even after water levels receded.

The studies employed diverse methodological approaches: Historical analysis by Beckmann et al. (2025a) integrated pre-1950 flood records into extreme value statistics. Their work assigned the 2023 event a 70-year return period in Flensburg, which lies in the range (50 to 100 years) given by Hirschhäuser et al. (2025) and Holfort (2025). Hydrodynamic modeling by Beckmann et al. (2025b) reconstructed the event using the unstructured-grid model SCHISM, validating results against 42 tide gauges. Their simulations highlighted how bathymetric features like the Darss Sill modulated surge propagation. Remote sensing techniques were applied by Schütt et al. (2025) achieving 10 m resolution shoreline change detection using Sentinel-2, while Sudhaus (2025) demonstrated SAR's capability to map flooded areas despite vegetation cover. Seismic monitoring by Wiesenberger et al. (2025) established that coastal stations within 25–30 km could effectively track local wave activity through secondary microseism signals in the 2–10 s period range.

A synthesis of the studies yields several key insights: The event's meteorological drivers were similar to 1872, but produced different spatial impacts due to variations in the pressure gradient (Meyer et al. 2025). The 2023 surge's westward concentration left eastern areas like Sassnitz with high winds but lower water levels (Nöthel et al. 2025). Coastal responses varied depending on the geomorphic setting. Dune systems in Mecklenburg-Vorpommern showed resilience through sediment redistribution (Siewert et al. 2025), while the Schleimünde spit experienced prolonged erosion (Schütt et al. 2025). The damage to the regional dikes in Schleswig-Holstein revealed systemic problems in non-governmental

coastal flood defenses (Hofstede and Aufderbeck 2025). For smaller municipalities and local water associations, appropriate maintenance of their regional dikes represents a major challenge, especially in light of climate change induced stronger sea level rise.

The event has driven several policy developments. Schleswig-Holstein's offer to assume responsibility for coastal flood defense in densely populated coastal lowlands protected by regional dikes (Hofstede and Aufderbeck 2025) represents a governance shift, acknowledging the challenges faced by local municipalities and water associations. Improved flood forecasting has emerged as a priority (Holfort 2025). Beckmann et al. (2025a) demonstrate how historical data integration may contribute to producing more accurate return period estimates, while Wiesenberg et al. (2025) show seismic networks' potential for real-time monitoring. Adaptive measures for private assets are advocated by Peters et al. (2025b) and Reiß (2025), including floating marina systems and evacuation plans for campsites. These relatively low-cost solutions could significantly reduce future damages.

The October 2023 surge provides critical insights for coastal risk management:

1. The event underscores the need for technical defense systems that account for both peak water levels and surge duration – a factor previously underestimated in design standards for the Schleswig-Holstein Baltic Sea coast (Hirschhäuser et al. 2025).
2. It highlights the value of multidisciplinary monitoring networks combining traditional gauges with seismic, satellite, and modeling approaches for comprehensive event documentation.
3. The studies collectively demonstrate that sustainable adaptation to climate change induced stronger sea level rise and higher storm surge water levels requires both technical solutions and governance reforms, particularly for addressing systemic vulnerabilities in decentralized protection systems.

As climate change is ongoing, the integration of these lessons into coastal applied and fundamental research and flood risk management will be essential for building resilient communities along the Baltic coast.

2 Einführung

Diese Sturmflut (In den Beiträgen wird das Ereignis synonym als Sturmhochwasser, Ostseesturmflut, oder vereinfacht Sturmflut bezeichnet. Letztere Bezeichnung folgt der Definition des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie und bezieht sich nicht auf eine erhöhte Flut im Sinne von Gezeitenperioden.) zählte zu den schwersten Ereignissen der jüngeren Geschichte an der deutschen Ostseeküste. Sie wurde für mehrere Pegel in Schleswig-Holstein als „sehr schwere Sturmflut“ und für Mecklenburg-Vorpommern als „schwere Sturmflut“ eingestuft. Die Spitzenwasserstände in Schleswig-Holstein erreichten an mehreren Pegeln weit über 2 m über dem mittleren Meeresspiegel: 2,27 m in Flensburg, 2,20 m in Langballig, 2,07 m in Schleimünde usw.; damit war das Ereignis das zweithöchste in den fast 200 Jahren der Aufzeichnungen im nördlichen Schleswig-Holstein (Nöthel et al. 2025). Die Wiederkehrintervalle sind standortspezifisch und reichen von 20 bis 200 Jahren (Beckmann et al. 2025a). Am Pegel Schleswig in der Schlei-Förde wurde der höchste Spitzenwasserstand mit 2,29 m über NN gemessen, was einem Wiederkehrintervall von 100 bis 200 Jahren entspricht (Hirschhäuser et al. 2025).

Drei Hauptfaktoren trugen zu dem Ereignis bei:

1. Ein stationäres Hochdruckgebiet über Skandinavien und ein Tiefdrucksystem über Mitteleuropa führten zu anhaltenden Ostwinden mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 29 m/s (Nöthel et al. 2025, Meyer et al. 2025).
2. Wasserstände waren durch Windstau und Beckenoszillationen (Seiches) zuvor erhöht (Nöthel et al. 2025).
3. Die flache westliche Ostsee (17–27 m Tiefe) und trichterförmige Geometrien wie die Lübecker Bucht verstärkten den Wasserstand zusätzlich (Beckmann et al. 2025b).

Die lange Dauer des Ereignisses – teilweise über 50 Stunden (Holfort 2025) – wich deutlich von früheren Sturmfluten ab (Schütt et al. 2025) und führte zu langanhaltenden Überflutungen und zerstörerischem Wellenschlag an vielen natürlichen und geschützten Küstenabschnitten. Acht von 35 Regionaldeichen in Schleswig-Holstein versagten, rund 20 mussten umfassend repariert werden (Hofstede und Aufderbeck 2025). Insgesamt wurden 5.740 Hektar Land überflutet, darunter auch Bereiche der Stadtzentren in Eckernförde und Flensburg. Peters et al. (2025a, 2025b) und Seiß (2025) dokumentierten umfangreiche Schäden an öffentlichen und privaten Anlagen wie Marinas und Campingplätzen. Das Ereignis führte zu umfangreichen Katastrophenschutzmaßnahmen, einschließlich Evakuierungen. Die für den Küstenschutz zuständige Landesbehörde stellte über 200.000 Sandsäcke, 1.350 Big Bags, 600 Sandcontainer und 2.500 Tonnen Eisensilikatsteine bereit (Hofstede und Aufderbeck 2025). Aufgrund niedrigerer Scheitelwasserstände in Mecklenburg-Vorpommern (Nöthel et al. 2025) fielen die Schäden dort vergleichsweise moderat aus und waren besser zu bewältigen (Siewert et al. 2025).

Die Beiträge in diesem Sonderband behandeln verschiedene miteinander verknüpfte Themen: Die hydrologischen und meteorologischen Ursachen der Sturmflut wurden von Holfort (2025), Nöthel et al. (2025) und Meyer et al. (2025) untersucht. Meyers Vergleich mit der Sturmflut von 1872 – dem einzigen bekannten Ereignis mit noch höheren Wasserständen – zeigte ähnliche meteorologische Muster, jedoch unterschiedliche räumliche Auswirkungen. Holfort (2025) spekuliert, dass in der Schlei, die nur eine schmale Verbindung zur Ostsee besitzt, auch der starke Regen zur Höhe des lokalen Sturmhochwassers beigetragen haben könnte. Geomorphologische Veränderungen wurden von Schütt et al. (2025) mithilfe von Sentinel-2-Satellitendaten erfasst, die unterschiedliche Erosionsmuster entlang der Küste zeigen. Ihr „Shoreline Extraction and Change Analysis Tool“ (SEaCAT) zeigt zum Beispiel, dass an der Sandnehrung bei Schleimünde noch sechs Monate nach dem Ereignis Erosion zu erkennen war, während andere Bereiche sich erholten. Bokhari Irminger et al. (2025) ergänzten diese Ergebnisse durch LiDAR-Vermessungen entlang der schwedischen Küste, die einen Sedimentverlust von 1,3 Millionen m³ dokumentierten. Innovationen im Monitoring wurden von Wiesenberg et al. (2025) vorgestellt. Sie zeigen, wie seismische Netzwerke Aussagen zur Wellenenergie während solcher Ereignisse erfassen. Sudhaus (2025) zeigt, wie überflutete Gebiete mithilfe von SAR-Satellitenbildern kartiert werden können – auch nachdem sich das Wasser zurückgezogen hatte.

Die Studien verwendeten verschiedene methodische Ansätze: Eine historische Analyse von Beckmann et al. (2025a) integrierte historische Hochwasserdaten in die Extremwertstatistik. Sie wiesen dem Ereignis von 2023 für Flensburg eine Wiederkehrzeit von 70 Jahren zu – im Bereich der 50 bis 100 Jahre, die auch Hirschhäuser et al. (2025) und Holfort

(2025) angeben. Eine hydrodynamische Modellierung durch Beckmann et al. (2025b) rekonstruierte das Ereignis mit dem unstrukturierten numerischen Modell SCHISM und validierte die Ergebnisse an 42 Pegelstationen. Die Simulationen zeigten, wie bathymetrische Gegebenheiten wie die Darßer Schelle die Ausbreitung der Flut beeinflussten. Fernerkundungstechniken wurden von Schütt et al. (2025) mit einer 10-m-Auflösung zur Uferliniendetektion angewendet, während Sudhaus (2025) demonstriert, wie durch SAR selbst bei Vegetationsbedeckung überflutete Gebiete kartiert werden können. Die seismologischen Daten von Wiesenberg et al. (2025) zeigte, dass Küstenstationen im Umkreis von 25–30 km lokale Wellenaktivitäten anhand von Mikroseismik-Signalen im 2–10 s-Periodenbereich effektiv verfolgen konnten.

Aus der Gesamtschau der Studien ergeben sich mehrere zentrale Erkenntnisse: Die meteorologischen Bedingungen ähnelten denen von 1872, führten jedoch zu anderen räumlichen Auswirkungen aufgrund unterschiedlicher Druckgradienten (Meyer et al. 2025). Die Sturmflut ließ östliche Regionen wie Sassnitz zwar starke Winde, aber geringere Wasserstände erleben (Nöthel et al. 2025). Die Reaktionen der Küste variierten je nach geomorphologischen Bedingungen: Dünensysteme in Mecklenburg-Vorpommern zeigten Resilienz durch Sedimentumlagerungen (Siewert et al. 2025), während die Nehrung bei Schleimünde eine anhaltende Erosion erfuhr (Schütt et al. 2025). Die Schäden an Regionaldeichen in Schleswig-Holstein offenbarten systemische Schwächen im Küstenschutz (Hofstede und Aufderbeck 2025). Für kleinere Gemeinden und Wasserverbände stellt die angemessene Instandhaltung von Regionaldeichen eine große Herausforderung dar – insbesondere im Hinblick auf den durch den Klimawandel verstärkten Meeresspiegelanstieg.

Das Ereignis hat mehrere politische Entwicklungen angestoßen. Das Angebot des Landes Schleswig-Holsteins, die Verantwortung für den Küstenschutz in dicht besiedelten, tief liegenden Küstengebieten mit regionalem Deichschutz zu übernehmen (Hofstede und Aufderbeck 2025), stellt einen Wandel in der Governance dar und erkennt die Herausforderungen für lokale Akteure an. Verbesserte Hochwasservorhersagen sind zu einer Priorität geworden (Holfort 2025). Beckmann et al. (2025a) zeigen, wie die Einbindung historischer Daten zu genaueren Wiederkehrzeitschätzungen beitragen kann, während Wiesenberg et al. (2025) das Potenzial seismischer Netzwerke für das Echtzeitmonitoring demonstrieren. Für private Anlagen empfehlen Peters et al. (2025b) und Reiß (2025) adaptive Maßnahmen wie schwimmende Hafensysteme und Evakuierungspläne für Campingplätze – vergleichsweise kostengünstige Lösungen, die zukünftige Schäden erheblich verringern könnten.

Die Sturmflut im Oktober 2023 liefert zentrale Erkenntnisse für das Küstenrisikomanagement:

1. Das Ereignis unterstreicht die Notwendigkeit technischer Schutzsysteme, die sowohl den Spitzenwasserstand als auch die Dauer des Anstiegs berücksichtigen – ein Aspekt, der bisher in den Bemessungsgrundlagen für die schleswig-holsteinische Ostseeküste unterschätzt wurde (Hirschhäuser et al. 2025).
2. Es zeigt den Wert multidisziplinärer Monitoringnetzwerke auf, die traditionelle Pegel mit seismischen, satellitengestützten und modellbasierten Ansätzen kombinieren.
3. Die Studien zeigen, dass nachhaltige Anpassung an den klimabedingt stärkeren Meeresspiegelanstieg und höhere Sturmflutwasserstände sowohl technische Lösungen als auch Reformen in der Governance erfordert – insbesondere zur Behebung systemischer Schwächen in dezentralen Schutzsystemen.

Da der Klimawandel immer weiter fortschreitet, wird die Integration dieser Erkenntnisse in die angewandte und grundlagenorientierte Küstenforschung sowie das Hochwasserrisikomanagement entscheidend sein, um widerstandsfähige Küstengemeinden an der Ostsee zu schaffen.

3 References – Literaturverzeichnis

Beckmann, S.; Jensen, J.; Arns, A.; Niehüser, S.: Integration von erweiterten Informationen in die statistische Analyse am Beispiel von Flensburg. In: Die Küste, 94, 2025a.

Beckmann, S.; Arns, A.; Fleischer, D.; Stamm, J.: Hydrodynamische Rekonstruktion des Sturmhochwassers vom 20./21. Oktober 2023. In: Die Küste, 94, 2025b.

Bokhari Irminger, S.; Adell, A.; Karlsson, M.; Schöld, S.; Magnusson, Å.: Impact and response of storm Babet from a Swedish perspective. In: Die Küste, 94, 2025.

Hirschhäuser, T.; Blümel, M.; Dey, T.; Thiesen, H.; Peters, J.; Christiansen, L.; Franz, B.: Die Ostseesturmflut Oktober 2023 in Schleswig-Holstein. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094103>, 2025.

Hofstede, J.; Aufderbeck, J.: Die Ostseesturmflut im Oktober 2023: Schäden an Küstenschutzanlagen und Konsequenzen für den Küstenschutz in Schleswig-Holstein. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094102>, 2025.

Holfort, J.: Die Ostseesturmflut vom 19. bis 21. Oktober 2023 aus der Sicht des Wasserstandsvorhersagedienstes Ostsee. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094107>, 2025.

Meyer, E. M. I.; Gaslikova, L.; Groll, N.; Weisse, R.: The Baltic storm surges of 1872 and 2023 – what do they have in common? In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094106>, 2025.

Nöthel, H.; Neemann, V.; Hausmann, L.; Bauerhorst, H.; Schwuchow, N.: Ablauf der Ostseesturmflut vom Oktober 2023. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094109>, 2025.

Peters, K.; Scholz, U.; Knöfler, P.; Blaschke, S.: Dokumentation der Sturmflutschäden in Großenbrode, Sütel und Süssau. In: Die Küste 94, 2025a.

Peters, K.; Jannsen, M.; Feyock, B.: Sturmflutschäden im Yachthafen Damp. In: Die Küste, 94, 2025b.

Schütt, E. M.; Stelzer, K.; Scholze, J.; König, M.; Christiansen, L.; Oppelt, N.: Beyond the 2023 surge: Quantifying shoreline dynamics in the German Baltic Sea with Sentinel-2. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094105>, 2025.

Seiß, G.: Die Ostseesturmflut vom 20./21. Oktober – Ursachen des vergleichsweise hohen Schadensaufkommens sowie Betrachtung im Hinblick auf mögliche Minimierungsstrategien. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094101>, 2025.

Siewert, M.; Klee, A.; Tiepolt, L.; Weichbrodt, F.: Die Ostseesturmflut vom Oktober 2023 an den sandigen Flachküsten und Binnenküsten von Mecklenburg-Vorpommern. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094108>, 2025.

Sudhaus, H.: Capabilities of satellite radar measurements to map large-scale flooding. In: Die Küste, 94, 2025.

Wiesenberg, L.; Weidle, C.; Krämer, K.; Pilger, C.; Winter, C.; Meier, T.: Seismic monitoring of the October 2023 storm surge along the coast of the Baltic Sea. In: Die Küste, 94, <https://doi.org/10.18171/1.094104>, 2025.