

Notfallvorsorge

Die Zeitschrift für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Das aktuelle Thema Deutsche Resilienzstrategie – Ein wichtiger Schritt in Richtung gesamtstaatlicher Resilienz? Positive und Kritische Anmerkungen

Wasser an den Küsten Ostfrieslands (WAKOS): maßgeschneiderte Klimaservices für die Anpassung | Brandrauch – eine unterschätzte Gefahr beim Waldbrand? | Zivilmilitärische Zusammenarbeit im Bereich Gesundheitsversorgung und Sanitätsdienst im Fall der Landes- oder Bündnisverteidigung



Dr. Helge Bormann ist Hydrologe an der Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth im Referat Forschung und Transfer, Cordula Berkenbrink ist im Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz an der Forschungsstelle Küste, Dr. Leena Karrasch ist an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg am Lehrstuhl für Ökologische Ökonomie, Prof. Dr. Gudrun Massmann lehrt an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg am Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Prof. Dr. Beate Ratter lehrt an der Universität Hamburg Integrative Geographie, Anke Wessels ist an der Universität Hamburg am Institut für Geographie, Dr. Ralf Weisse ist am Helmholtz-Zentrum Hereon, Institut für Küstensysteme.

Wasser an den Küsten Ostfrieslands (WAKOS): maßgeschneiderte Klimaservices für die Anpassung

Wasser und damit verbundene Naturgefahren stellen die nordwestdeutsche Küstenregion seit jeher vor große Herausforderungen, sowohl kurzfristig für das Risikomanagement als auch langfristig bei der Anpassung an den Klimawandel. Gemeinsam mit Praxispartnern in der Region untersucht das Projekt WAKOS, wie die Küstenregion gegenüber Ereignisbündeln, z. B. dem gleichzeitigen Auftreten von Sturmfluten und Starkregen, und vor den Folgen des Klimawandels nachhaltig geschützt werden kann.



Foto: Entwässerungsverband Emden

Lokale Überflutungen im Februar 2020 infolge von ergiebigen Regenfällen und eingeschränkter Pumpkapazität

Einleitung

Die deutsche Nordseeküste ist seit jeher Extremereignissen wie Sturmfluten und Binnenhochwasser ausgesetzt. Die Küstenbewohner haben darauf mit vielfältigen, überwiegend technischen Maßnahmen reagiert. So wurde vor ca. 1000 Jahren mit dem Deichbau begonnen, um sich gegen Überflutungen zu schützen. Die Deiche wurden nach höher auflaufenden Sturmfluten immer weiter verstärkt. Aktuell werden vorwiegend Klimadeiche gebaut, die einen Sicherheitszuschlag für den bis zum Jahr 2100 zu erwartenden Anstieg des Meeresspiegels beinhalten und darüber hinaus auch nachträglich noch verstärkt werden können (MU, 2022).

Infolge des Deichbaus musste zeitgleich auch eine effiziente Binnenentwässerung aufgebaut werden, um sich des überschüssigen Wassers aus dem tiefliegenden Binnenland durch die Deichlinie hindurch „entledigen“ zu können (Bormann, 2023). Mit der Zeit wurden organisatorische Strukturen der Selbstverwaltung wie Deichbände und Entwässerungsverbände gegründet, die die Aufgaben des Küstenschutzes und des Binnenhochwasserschutzes in den Küstenniederungen für die Allgemeinheit übernommen haben.

Heute sind die Deiche an der Nordseeküste so sicher wie nie zuvor. Das effiziente Entwässerungsmanagement sorgt dafür, dass es in den Marschgebieten bei Starkregen nur noch selten zu nennenswerten Überschwemmungen kommt. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist allerdings zu erwarten, dass die Anforderungen an Küstenschutz und Binnenentwässerung erheblich steigen werden. Sollen also die aktuellen Sicherheitsstandards gehalten werden, muss den zu erwartenden Klimawandelfolgen frühzeitig Rechnung getragen werden.

Durch den Klimawandel wird auch die Gefährdung der Süßwasserressourcen an der Küste zunehmen. Besonders gefährdet sind dabei die Süßwasserlinsen der der Küste vorgelagerten Barriereinseln. Ein Dünendurchbruch infolge einer extremen Sturmflut könnte ausreichen, um

eine im Sandkern der Inseln befindliche Süßwasserlinse für Jahrzehnte zu versalzen. Die Konsequenz wäre, dass die Trinkwasserversorgung der Inseln, die nicht über eine Wasserleitung vom Festland versorgt werden, akut gefährdet wäre.

Ziele des WAKOS Projekts

Um den Folgen des Klimawandels vorausschauend begegnen zu können, benötigen die handelnden Akteure wie Kommunen und Verbände entscheidungsrelevantes Wissen über die potenziellen Folgen. Ziel des WAKOS Projekts ist es, genau solches Wissen für den nordwestdeutschen Küstenraum bereitzustellen, nutzerfreundlich aufzubereiten und die Akteure damit im Hinblick auf die langfristige Anpassung von Küstenschutz und Wasserwirtschaft zu unterstützen. Das Projekt WAKOS wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des RegKlim-Programms (Regionale Informationen zum Klimahandeln) gefördert und untersucht als eine von sechs Modellregionen in Deutschland die ostfriesische Küstenregion. Während in der ersten Förderphase (2020–2024) der Fokus am Beispiel des ersten Entwässerungsverbandes Emden und der Insel Norderney auf einem verbesserten Verständnis potenzieller Klimafolgen und den Anpassungskapazitäten der Akteure lag, ist für die zweite Förderphase (2024–2027) vorgesehen, dieses Wissen in nutzbare und nützliche Produkte und Formate zu überführen, um regionale Akteure und die Zivilgesellschaft beim Anpassungshandeln zu unterstützen.

Laut aktueller Projektionen wird die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen voraussichtlich zunehmen (IPCC, 2021; Brasseur et al., 2023). Aktuelle Studien deuten an, dass technische Lösungen die Folgen des Klimawandels trotz erheblicher Anstrengungen nicht allein bewältigen können. Dem Risikomanagement, und damit auch dem Katastrophenschutz, wird eine zunehmende Bedeutung zukommen (Spiekermann et al., 2018). Während älteren Einwohnern noch bewusst ist, dass in der Marsch

früher das Wasser im Winter häufig auf Wiesen und Wegen stand, nimmt die heutige Generation diese Gefahr kaum noch wahr. Dies liegt auch daran, dass die Entwässerungsverbände sehr effizient arbeiten. Das hohe Schutzniveau birgt aber das Risiko, dass sich Einzelne nicht mehr auf eventuelle Notfälle vorbereiten. Man verlässt sich gerne auf die „öffentliche Hand“, um eventuell auftretende Probleme zu lösen (Ahlhorn et al., 2018). An dieser Stelle ist eine gesellschaftliche Aufklärungsarbeit erforderlich, um die Möglichkeiten und Grenzen von Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz aufzuzeigen.

Wasser als Risikofaktor an der Küste

Ostfriesland ist wie viele andere Küstenniederungen dadurch geprägt, dass Wasser die Region von mehreren Seiten gefährdet. Sturmfluten haben seit jeher das größte Zerstörungspotenzial und stehen daher im Fokus, wenn es um den Schutz vor dem Meeresspiegelanstieg geht. Deiche und Sperrwerke scheinen bis heute geeignete Mittel zu sein, da ein kontrollierter Rückzug für Niederungsgebiete bisher keine Option darstellt (Niemeyer et al., 2014). Neben Sturmfluten können auch ergiebige Regenfälle Überflutungen der Niederungsgebiete verursachen. Übersteigt die Niederschlagsmenge die Entwässerungskapazität der Schöpfwerke, steigen die Binnenwasserstände nach und nach an. Dies führt zu Überschwemmungen, sobald die Speicherkapazität des Gewässernetzes und der Böden überschritten ist.

Den regionalen Akteuren, wie Entwässerungsverbänden und Kommunen, ist dieses Hochwasserrisiko (Foto, Seite 17) sehr wohl bewusst. Aber welche Folgen sind zu erwarten, wenn beide Extremereignisse als Ereignisbündel gleichzeitig auftreten? Wenn also z. B. während einer Sturmflutserie, wie im Februar 2022, ergiebige Niederschläge fallen und die Pumpleistung durch die hohen Wasserstände in der Nordsee stark eingeschränkt ist? Und welche Auswirkungen würde der Klimawandel auf derartige Situationen haben? Bisher liegen für diesen Fall keine quantitativen Abschätzungen vor.

Bedeutung von Ereignisbündeln

Die Wissenschaft spricht von compound events (dt. Ereignisbündeln), wenn mehrere treibende Kräfte ein System beeinflussen und sich deren Wirkung kumuliert. Die Auswertung von Messdaten aus den vergangenen Jahrzehnten zeigt, dass die höchsten Binnenwasserstände an der Nordseeküste dann beobachtet wurden, wenn Sturmfluten und ergiebige Niederschläge gleichzeitig auftraten. Mit diesem typischen Ereignisbündel ist das größte Hochwasserrisiko verbunden. Hervorzuheben ist, dass es weder die höchsten Sturmfluten noch die größten Niederschläge waren, die das Entwässerungssystem an den Rand der Leistungsfähigkeit brachten (Abb. 1), sondern das gleichzeitige Auftreten moderater Einzelereignisse (Bormann und Kerschull, 2023). Auch das verstärkte Zusammentreffen von hohen Oberwasserabflüssen größerer Flüsse und Sturmfluten kann zu erhöhten Wasserständen und damit Hochwassergefahren führen. Im Rahmen von WAKOS konnten solche Zusammenhänge für Flüsse mit westwärts gerichteten Mündungen (z. B. die Elbe) nachgewiesen werden. Für die Ems als zentrales Gewässer in der WAKOS-Region ist ein solcher Zusammenhang aber nicht signifikant nachweisbar (Heinrich et al., 2023).

Welche Änderungen des Klimas werden für die Nordseeküste projiziert?

Sowohl die Klimaanpassung als auch ein zukunftsorientiertes Risikomanagement müssen den Klimawandel und dessen potenzielle Auswirkungen in ihrer strategischen Ausrichtung berücksichtigen. Die zu erwartende globale Klimaentwicklung ist in den Berichten des Weltklimarats beschrieben (z. B. IPCC, 2019, 2021). Auch für die nationale Ebene wurden Projektionen und mögliche Auswirkungen skizziert (z. B. Brasseur et al., 2023).

Ein Großteil der Maßnahmen einer erfolgreichen Klimaanpassung und eines vorausschauenden Katastrophenmanagements muss allerdings

auf der lokalen und regionalen Ebene erfolgen. Die dafür erforderlichen Informationen über den regionalen Klimawandel werden z. B. von Informationsdiensten wie dem NIKLIS (Das Niedersächsische Klimainformationssystem), dem Norddeutschen Küsten- und Klimabüro oder dem „Climate Service Center Germany“ (GERICS) aufbereitet. Das Niedersächsische Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO, <https://niko-klima.de/>) stellt Auswertungen von Klima-Messdaten auf Landkreisebene zur Verfügung, und seit 2021 wird vom GERICS für die Landkreise eine Auswertung der Klimaprojektionen öffentlich zugänglich angeboten (www.gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/landkreise).

Die zukünftigen Klimatrends, die in diesen „Klimaausblicken für Landkreise“ entlang der deutschen Nordseeküste beschrieben werden, stehen im Einklang mit den überregionalen Projektionen. Die Zunahme der Temperatur ist für alle Szenarien und Jahreszeiten ein robus-

tes Signal. In Bezug auf den Niederschlag ist u. a. eine Zunahme der Winterniederschläge zu erwarten, während die Sommerniederschläge tendenziell eher abnehmen. Die Streuung der Niederschlagsprojektionen ist allerdings relativ hoch. Robust ist für alle Projektionen eine Zunahme der Starkregenhäufigkeit, die jahreszeitenübergreifend für alle Klimaszenarien zu erwarten ist (Abb. 2).

Auf welche Klimafolgen sollten wir vorbereitet sein?

Während Indikatoren über den regionalen Klimawandel bereits systematisch zur Verfügung stehen, ist das Wissen zu regionalen Klimafolgen überwiegend noch fragmentiert verfügbar und wurde vor allem im Rahmen von diversen Forschungsprojekten generiert. Hier setzt WAKOS an: Alle beteiligten Projektpartner haben bereits Forschungsprojekte zur Identifizierung regionaler Klimafolgen und Anpassungsoptionen in der

Abb. 1: Beobachtete Ereignisbündel: Vergleich der höchsten beobachteten Binnenwasserstände über dem Zielwasserstand (orange) mit den Wasserständen bei den ergiebigsten Niederschlägen (blau) und höchsten Außenwasserständen (rot). Gezeigt werden die jeweils 15 größten Ereignisse aus dem Zeitraum 2000–2019 im Gebiet des 1. Entwässerungsverbands Emden.

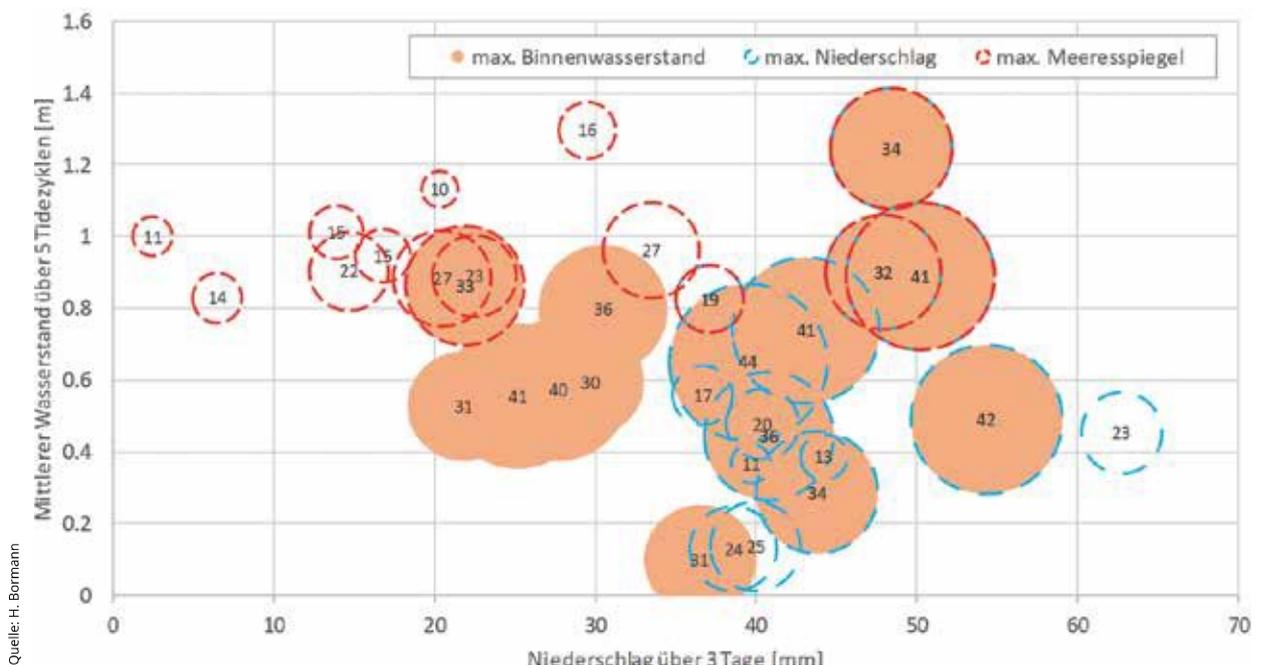


Abb. 2: Projizierte Zunahme der Tage mit Starkregen [≥ 20 mm/Tag] und der Trockentage im im Landkreis Aurich für die Emissionsszenarien RCP8.5 (rot), RCP4.5 (blau) und RCP2.6 (grau)

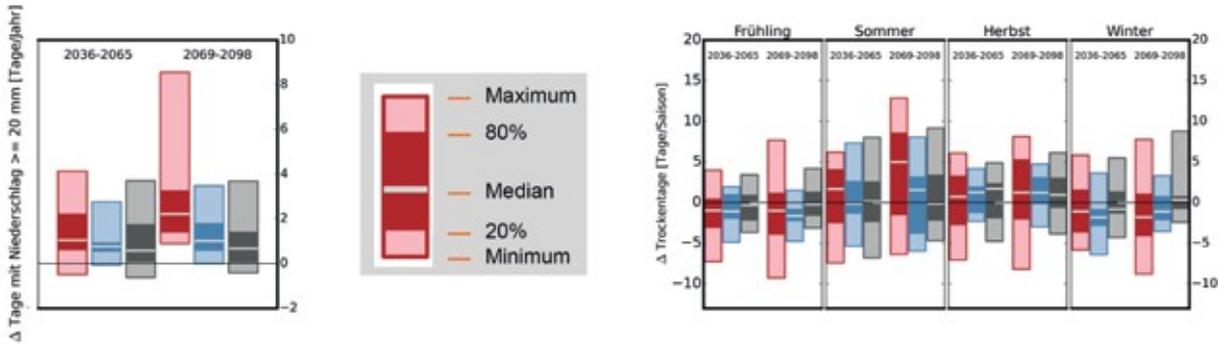
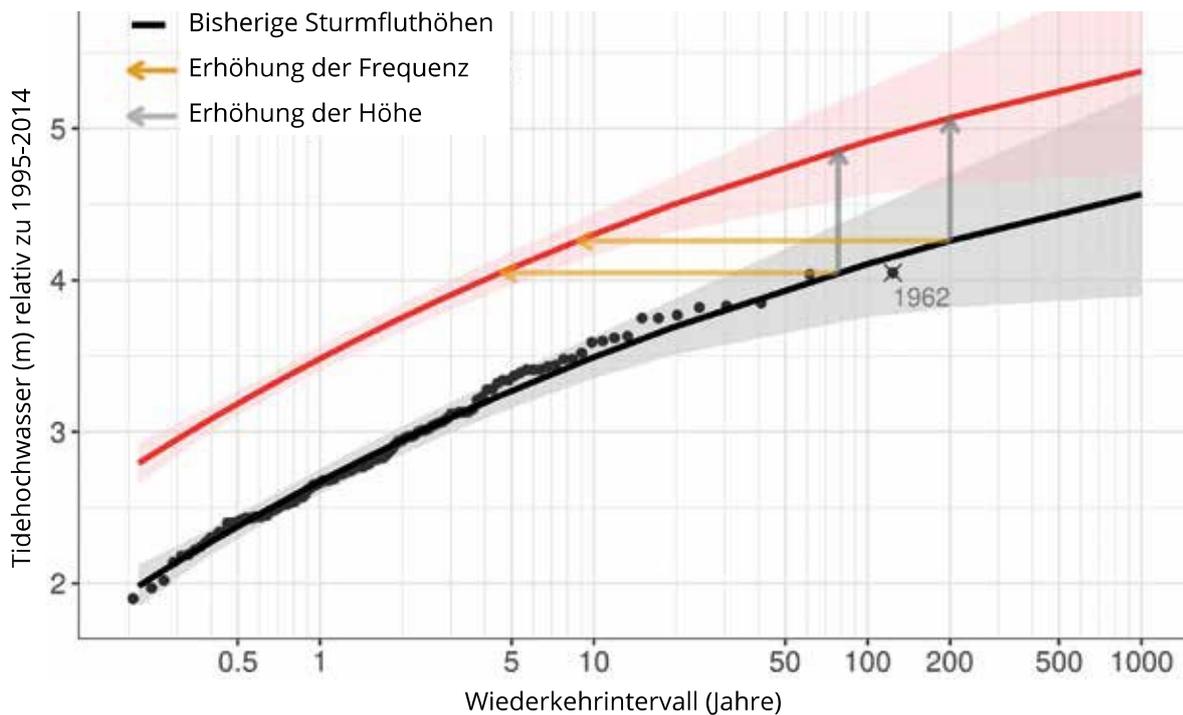


Abb. 3: Projektion der Veränderung des Tidehochwassers von Sturmfluten am Pegel Norderney in Abhängigkeit von der Jährlichkeit in einer Zukunft „Weiter wie bisher“ (Szenario RCP8.5) im Vergleich zu den bisherigen Sturmfluthöhen



Küstenregion durchgeführt und bringen Erfahrungen hinsichtlich der Herausforderungen und Anpassungskapazitäten mit. Dieses Wissen wird in WAKOS für die Küstenregion zusammengeführt, vervollständigt und verfügbar gemacht.

Für die Einschätzung, wie sich die regionalen Risiken von Ereignisbündeln in Zukunft verän-

dern, sind modellbasierte Szenario-Rechnungen auf Basis von Klimaprojektionen erforderlich. Im Bereich des Küstenschutzes ist das zukünftige Auflaufen von Sturmfluten relevant. An der deutschen Nordseeküste wird nach derzeitigem Wissen vorwiegend der Meeresspiegelanstieg für einen Anstieg extremer Wasserstände sorgen

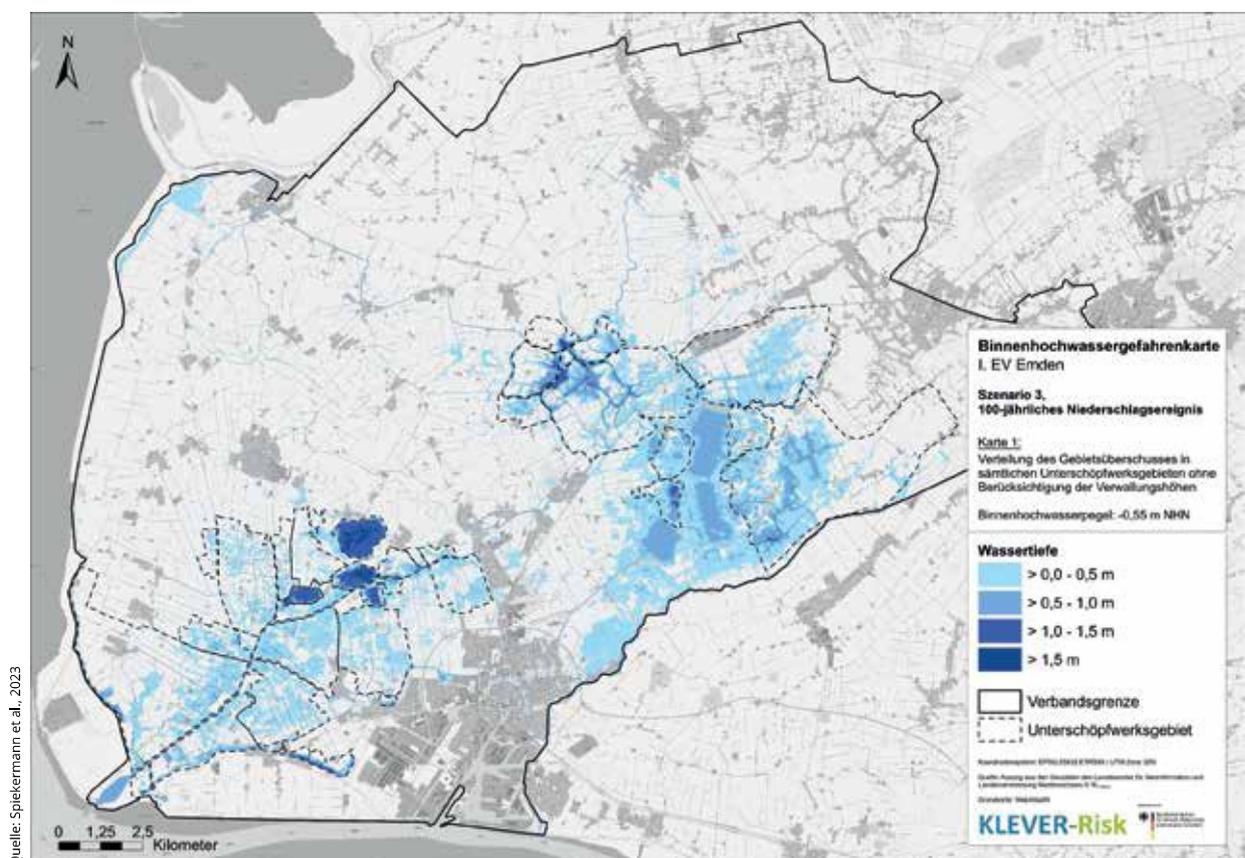
(der Mittelwert der Projektionen geht derzeit von ca. 1 m Anstieg bis Ende des Jahrhunderts aus), während die Klimaszenarien keine Veränderung der Sturmaktivität zeigen (Meinke und Weisse, 2024). In der Summe werden extreme Sturmflutwasserstände zukünftig also häufiger und höher auftreten (Abb. 3). Der Meeresspiegel-Monitor des Norddeutschen Küsten- und Klimabüros am Helmholtz-Zentrum Hereon stellt entsprechende Informationen für die handelnden Akteure zur Verfügung.

Die zentrale Herausforderung für die Binnenentwässerung ist die Abschätzung der zukünftigen Abflussbildung in den Verbandsgebieten. Da durch den Anstieg des Meeresspiegels die Sielzeiten (Zeiten, in denen das Wasser mit freiem Gefälle durch die Deichlinie entwässert werden

kann) abnehmen werden, werden die Entwässerungskapazitäten der Küstenniederungen auf die vorhandenen Pumpkapazitäten limitiert sein. Vor dem Hintergrund der Niederschlagsprojektionen ist mit einer Zunahme der Abflussbildung in den Wintermonaten zu rechnen. Da diese Jahreszeit schon heute den größten Entwässerungsbedarf hat, ist zukünftig ein erheblicher Handlungsbedarf gegeben.

In WAKOS wurden für den Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen (NIKO, 2023) bereits spezifische Indikatoren zum Entwässerungsbedarf für die Vergangenheit und die Zukunft beschrieben und mit Datenanalysen aus der Zielregion hinterlegt. Damit leistet WAKOS eine Ergänzung verfügbarer Portale durch Ableitung und Quantifizierung spezifischer Informationen

Abb. 4: Gefahrenkarte für das Gebiet des 1. Entwässerungsverbands Emden für den Fall, dass ein 100-jährlicher Niederschlag mit dem Versagen der Binnenentwässerung zusammenfällt (z. B. durch Stromausfall). Blau eingefärbte Flächen wären überflutet.



für den Küstenraum zur Entscheidungsunterstützung regionaler Akteure und bewertet die regionale Übertragbarkeit der Klimafolgen-Abschätzungen (Bormann und Kebschull, 2023).

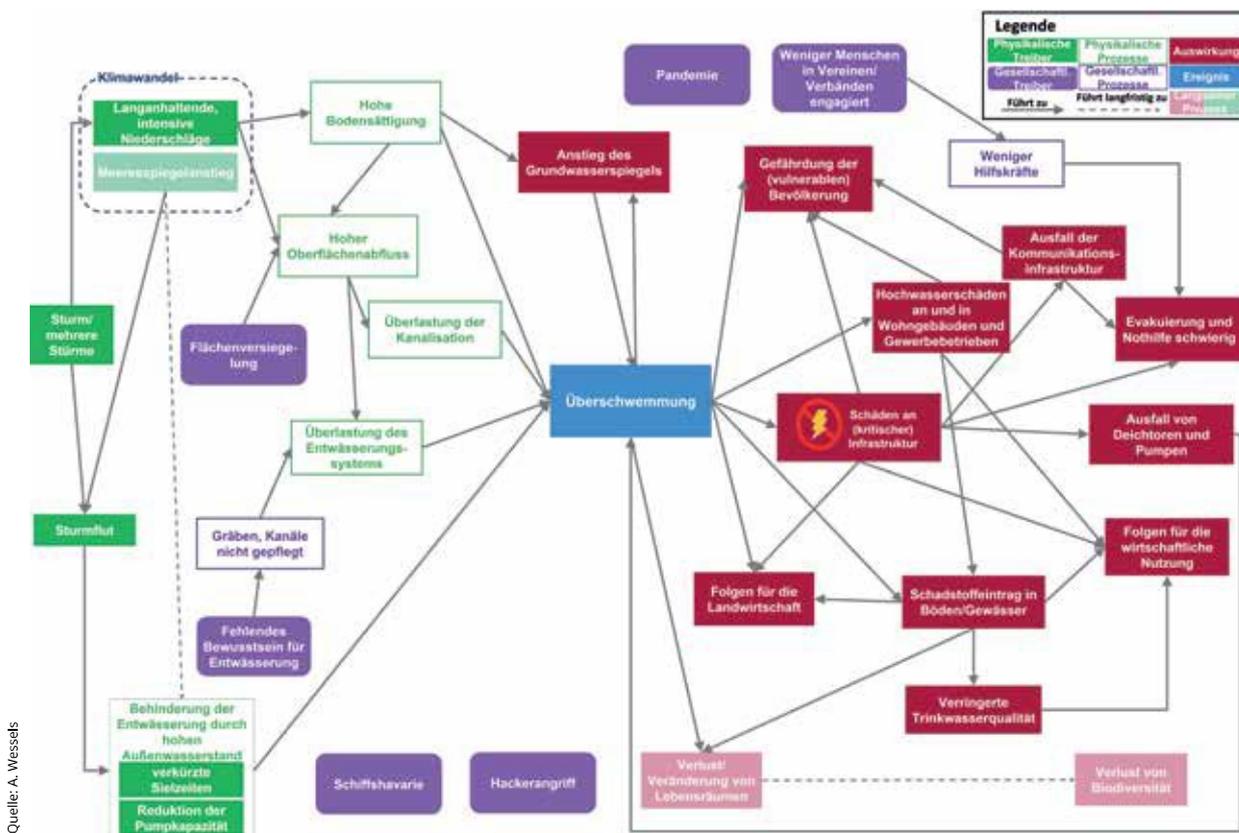
Auf Basis von hochaufgelösten Klimaszenarien werden in WAKOS Ereignisbündel von Sturmfluten und Starkregen in die Zukunft projiziert (Bormann und Kebschull, 2023). Diese Projektionen zeigen, dass der oben beschriebene Mechanismus, der zu einer Überlastung der Entwässerungssysteme führt, auch für die untersuchten Zukunftsszenarien zu erwarten ist. Für alle Klimaszenarien des IPCC nimmt die potenzielle Überlastung der technischen Systeme der Binnenentwässerung zu, so dass ohne Anpassungsmaßnahmen häufigere und intensivere Überschwemmungen zu erwarten sind. Solche

Überlastungsrechnungen können für die Küstenniederungen in Form von Überflutungskarten dargestellt werden (Bormann et al., 2022). Diese stellen eine wichtige Information für eine frühzeitige Notfallvorsorge dar, da sie zeigen, welche Gebiete bei bestimmten Ereignisszenarien von Hochwasser betroffen sein können (Abb. 4).

Wie blicken die regionalen Akteure auf Ereignisbündel?

Entscheidend für den Erfolg von Klimaanpassung und vorausschauendem Katastrophenmanagement ist, die Perspektiven der handelnden Akteure bei der Entwicklung von Informationsangeboten zu berücksichtigen. Dazu wurden in WAKOS mögliche Ereignisbündel in enger Zusammenarbeit mit regionalen Akteuren

Abb. 5: Ereignisbündel „Wasser von allen Seiten“ im westlichen Ostfriesland. Die dargestellte Ereigniskaskade gibt einen Überblick über mögliche, interagierende Triebkräfte und Auswirkungen und ermöglicht es, Maßnahmen zur Reduktion potenzieller Schäden zu planen.



Quelle: A. Wessels

identifiziert (Abb. 5 zeigt beispielhaft das Ereignisbündel „Wasser von allen Seiten“). Neben den hydrologischen und klimatischen Ereignissen (grüne Kästchen) wurden von den Akteuren auch diverse Triebkräfte und Ereignisse des sozioökonomischen Systems genannt (violette Kästchen), die sich mit den klimawandelbezogenen Ereignissen überlagern und ein großes Spektrum von Auswirkungen (rote Kästchen) erzeugen können. Zwar können in WAKOS nicht alle Triebkräfte und Wirkungen modelliert und quantifiziert werden, jedoch sind die genannten Ereigniskaskaden eine geeignete Grundlage, um potenzielle Anpassungs- und Risikomanagementmaßnahmen wirkungsvoll zu verorten. Dies wurde in WAKOS für die Ereignisbündel Sturmflut und Starkregen sowie Hitze und Trockenheit im Rahmen von Workshops durchgeführt und dokumentiert.

Welche Services werden in WAKOS entwickelt?

In der zweiten Projektphase steht neben einigen Analysen zur Quantifizierung potenzieller Klimafolgen die Entwicklung konkreter Klima-Services im Fokus. Diese sollen die Akteure dabei unterstützen, die Dimension und Wirkung zukünftiger Gefahren durch den Klimawandel besser einschätzen zu können. Informationsangebote wie ein Web-Tool sowie Beteiligungs- und Aktivierungsformate sollen die Verantwortlichen, insbesondere Verbände und Kommunen, in die Lage versetzen, die Anpassung an den Klimawandel proaktiv und strategisch zu planen. So werden neben Klimafolgenabschätzungen auch Beispiele guter Praxis vorgestellt, um Anregungen für mögliche Lösungsansätze zu geben. Die bereitgestellten Informationen sollen auch dazu dienen, Handlungsnotwendigkeiten zu identifizieren, z. B. auf Basis der beschriebenen Binnenhochwassergefahrenkarten für den Küstenraum (Abb. 4, S. 22).

Übergreifendes Ziel von WAKOS ist die Zusammenführung solcher Informationen und Aktivitäten. Die Idealvorstellung ist eine regionale Klimaanpassungsakademie, die sowohl nützliches

Klimawissen für Stakeholder und Gesellschaft liefert, als auch nutzbare Werkzeuge und Konzepte anbietet, um einen leicht zugänglichen und sensiblen Umgang mit der Thematik sowie eine strategische Ausrichtung betroffener Kommunen zu unterstützen. Das BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) und das NIKO (Niedersächsische Kompetenzzentrum Klimawandel) haben bereits Interesse an der Verstärkung von Teilaspekten geäußert und konnten als assoziierte Partner in WAKOS gewonnen werden.

Welcher Mehrwert kann daraus für die Notfallvorsorge generiert werden?

WAKOS führt fragmentiertes Wissen zu Klimafolgen und Klimaanpassung zusammen und füllt Informationslücken für den nordwestdeutschen Küstenraum. Es werden Informationsgrundlagen für die räumliche Planung und für Katastrophenschutzstäbe geschaffen. Szenario-basierte Karten der Hochwassergefährdung in den Küstenniederungen können einen Beitrag zur Evakuierungsplanung, zur Bewertung der Vulnerabilität kritischer Infrastruktur und zur Versorgungsplanung leisten. Für die betrachteten Szenarien können somit schon vor einem Ereignis Managementoptionen für den Hochwasserfall formuliert (z. B. eine gezielte Hochwasser-Entlastung) und Handlungsbedarfe identifiziert werden (z. B. die Notstromversorgung im Katastrophenfall). Langfristig werden auch strategische Planungsprozesse in den Kommunen unterstützt.

WAKOS interagiert direkt mit den relevanten Akteuren aus der Region und stellt dadurch eine zielgruppengerechte Aufbereitung des bereitgestellten Wissens sicher. Die Informationsangebote ergänzen bestehende Plattformen und versetzen die Verantwortlichen in die Lage, handlungsfähig zu sein. Die Stärkung der Vernetzung regionaler Akteure erhöht schließlich auch deren Anpassungskapazität, da eine erfolgreiche Anpassung nur integrativ und gemeinsam gelingen kann.

Danksagung: Die Autor*innen danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Projekte WAKOS und WAKOS 2 im Rahmen des RegIKlim Programms (Regionale Informationen zum Klimahandel; Förderkennzeichen: 01LR2003A/B/C/D/E und 01LR2003A1/B1/C1/D1/E1).

Literatur

- Ahlhorn, F., Keschull, J., Bormann, H. (2018): Risikowahrnehmung und Informationsbedarfe der Bevölkerung über die Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Sturmfluten. *Wasser und Abfall* 20(11), 44–51.
- Bormann, H. (2023): Hydrologie von (flachen) Küstenregionen. In: Ahlhorn, F.: Integriertes Küstenzonenmanagement: Status, Herausforderungen und Aussichten. Springer-Vieweg-Verlag. S. 53–66.
- Bormann, H., Keschull, J. (2023): Model based estimation of climate change impacts on the drainage demand of low lying coastal areas in Northwest Germany along the North Sea. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 48, 101451.
- Bormann, H., Keschull, J. (2023): Wirkung von Ereignisbündeln (Compound events) auf Binnenhochwasserereignisse in den Küstenniederungen. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 44.23, S. 5–14.
- Bormann, H., Keschull, J., Spiekermann, J., Kramer, N. (2022): Eine Methodik zur Ableitung szenariobasierter Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten im nordwestdeutschen Küstenraum. *Wasser und Abfall*, 24(6), 14–20.
- Brasseur, G.P., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (2023, Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland*. 2. Aufl., Springer-Verlag. 348 S.
- Heinrich, P., Hagemann, S., Weisse, R., Schrum, C., Daewel, U., & Gaslikova, L. (2023): Compound flood events: analysing the joint occurrence of extreme river discharge events and storm surges in northern and central Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 1967–1985.
- IPCC (2019): *Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk*. [Collins M., M. Sutherland, L. Bouwer, S.-M. Cheong, T. Frölicher, H. Jacot Des Combes, M. Koll Roxy, I. Losada, K. McInnes, B. Ratter, E. Rivera-Arriaga, R.D. Susanto, D. Swingedouw & L. Tibig] IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, et al. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 589–655.
- IPCC (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.
- Meinke, I. und Weisse, R. (2024): Nordseesturmfluten im Klimawandel. Perspektiven der Küstenentwicklung. Norddeutsches Klima- und Küstenbüro, Helmholtz-Zentrum Hereon, Geesthacht. ISBN 978-3-940923-14-1. (https://www.hereon.de/imperia/md/assets/main/transfer/communication_media/infomaterial/nordseesturmfluten_klimawandel.pdf)
- MU (2022): *Niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels 2021*. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover.
- NIKO (2023): *Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023*, Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO), Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz.
- Niemeyer, Hanz D.; Berkenbrink, Cordula; Ritzmann, Anne; Knaack, Heiko; Wurpts, Andreas; Kaiser, Ralf (2014): *Evaluation of Coastal Protection Strategies in Respect of Climate Change Impacts*. In: *Die Küste* 81. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 565–577.
- Spiekermann, J., Ahlhorn, F., Bormann, H., Keschull, J. (2018): *Zukunft der Binnenentwässerung: Strategische Ausrichtung in Zeiten des Wandels. Eine Betrachtung für das Verbandsgebiet des I. Entwässerungsverbandes Emden*, Universität Oldenburg. <https://uol.de/klever/ergebnisbroschuere>.
- Spiekermann, J., Bormann, H., Keschull, J., Kramer, N. (2023): *Management von Binnenhochwasserrisiken im Küstenraum – Roadmap für eine erfolgreiche Klimaanpassung im westlichen Ostfriesland*. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und Jade Hochschule Wilhelms-haven/Oldenburg/Elsfleth. 112. S. <https://uol.de/klever-risk/ergebnisbroschuere>. ■