



Die Anpassung an Extremwetterereignisse  
ökobilanziell optimiert implementieren am  
Beispiel Geestland

# Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Geestland

Zukünftige klimatische Entwicklungen und Vulnerabilität  
Geestlands gegenüber den Folgen des Klimawandels im 21.  
Jahrhundert

Nicolas Hübner



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Kurzzusammenfassung

Die Folgen des Klimawandels sind in Deutschland bereits spürbar und erfordern sowohl ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen als auch die Anpassung an unvermeidbare Veränderungen. Kommunen spielen durch ihre zentrale Rolle in der Daseinsvorsorge eine entscheidende Rolle in der Klimaanpassung. Da sich Klimarisiken lokal sehr unterschiedlich auswirken - abhängig von klimatischen Einflüssen, vulnerablen Bevölkerungsgruppen, Ökosystemen, Infrastrukturen und sozioökonomischen Bedingungen - bilden kommunale Klimawirkungs- und Risikoanalysen (KWRA) eine entscheidende Grundlage für eine zielgerichtete und erfolgreiche Maßnahmenplanung.

Die vorliegende KWRA für die Stadt Geestland im Landkreis Cuxhaven untersucht spezifische Klimarisiken und Anpassungsbedarfe in verschiedenen Handlungsfeldern. Mithilfe eines vereinfachten, vergleichenden Ansatzes auf Basis der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland wurde die Gesamtkomplexität der Analyse reduziert und lokale Abweichungen der Vulnerabilität identifiziert. Die Untersuchung integriert lokale Perspektiven aus Stakeholdergesprächen sowie wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Literatur.

Die Analyse beschreibt zunächst die projizierten klimatischen Veränderungen für Geestland zur Mitte (2036-2065) und zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) unter dem "Weiter-so-wie-bisher"-Emissionsszenario (RCP 8.5). Temperaturbasierte Einflüsse, wie die Zunahme heißer Tage, Tropennächte und längerer Hitzeperioden, fallen in Geestland durch den maritimen Einfluss der Nordsee moderater aus als in kontinental geprägten Regionen Deutschlands. Allerdings ist ein deutlicher Rückgang von Frost- und Eistagen zu erwarten. Beim Niederschlag zeichnet sich eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge sowie eine Intensivierung von Starkregenereignissen ab. Gleichzeitig wird der relative Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht durch nacheiszeitliche Landhebungen und -senkungen voraussichtlich deutlich stärker ausfallen als an der Ostseeküste.

In vielen Handlungsfeldern wie Boden, Industrie und Gewerbe, Bauwesen, menschliche Gesundheit und Forstwirtschaft fallen die resultierenden Klimarisiken aufgrund eines geringen Versiegelungsgrads, der ländlichen Struktur Geestlands und des maritimen Klimas voraussichtlich moderat aus. Die Vulnerabilität Geestlands ist hier geringer als im bundesdeutschen Durchschnitt. Hohe Risiken und Anpassungserfordernisse bis zum Ende des Jahrhunderts bestehen in den Handlungsfeldern Biodiversität, Wasserwirtschaft sowie Küsten- und Meeresschutz. Insbesondere im Bereich der Biodiversität kommt der Klimawandel zu einer Reihe bestehender Stressfaktoren, wie extensive Landwirtschaft, Bebauung, Landnutzung und Fischerei hinzu. Zu den drängendsten Herausforderungen zählen der Ökosystemschutz des Wattenmeeres, das durch marine Hitzewellen, invasive Arten und eine Verkürzung der Überflutungsdauer der Wattflächen infolge des Meeresspiegelanstiegs bedroht ist, sowie das Wassermengenmanagement in den tief gelegenen Marschgebieten entlang der Küste, da die Abflusskapazität für Niederschlagswasser in Kombination mit steigenden Wasserständen der Außenweser, insbesondere bei Kettentiden, zunehmend eingeschränkt wird.

Die Ergebnisse der vorliegenden KWRA fließen in die kommunale Maßnahmenplanung ein und bilden die Grundlage für die Erstellung eines Klimaanpassungskonzeptes für Geestland.

# Impressum



## Herausgeber

Technische Universität Berlin  
Straße des 17. Juni 135  
10623 Berlin  
<https://www.tu.berlin/see/anexge>



Die Anpassung an Extremwetterereignisse  
ökobilanziell optimiert implementieren am  
Beispiel Geestland

## Bearbeitung und Redaktion

Nicolas Hübner  
Projekt AnExGe  
Technische Universität Berlin  
Fachgebiet für Sustainable Engineering



## Kontakt und Information

Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Sustainable Engineering  
Nicolas Hübner  
Tel. 030314-70834  
E-Mail: [nicolas.huebner@tu-berlin.de](mailto:nicolas.huebner@tu-berlin.de)  
<https://www.tu.berlin/see>



## Mit Unterstützung der

Stadt Geestland  
Sieverner Straße 10  
27607 Geestland  
<https://www.geestland.eu>

Online verfügbar unter: DOI [10.14279/depositonce-22361](https://doi.org/10.14279/depositonce-22361)

Die vorliegende Klimarisikoanalyse wurde im Rahmen des Projektes “AnExGe - Die Anpassung an Extremwetterereignisse ökobilanziell optimiert implementieren am Beispiel Geestland” im Fachgebiet Sustainable Engineering der Technischen Universität Berlin erstellt. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz im Rahmen der Förderrichtlinie "Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels". Förderkennzeichen: 67DAS294.

Titelfoto: Blick auf den Deich bei Imsum, Nicolas Hübner (2024)

Berlin, 6. Dezember 2024



*This work is licensed under a  
[Creative Commons Attribution 4.0  
International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)*

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	9
2. Methodik und Begriffe.....	10
3. Zusammenfassung relevanter Vorarbeiten .....	13
3.1. Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland.....	13
3.2. Vulnerabilitätsanalyse der Metropolregion Bremen-Oldenburg .....	14
4. Klimatische Einflüsse .....	17
4.1. Das Klima während der Referenzperiode bis heute .....	17
4.1.1. Lufttemperatur.....	18
4.1.2. Jahresniederschlag.....	18
4.1.3. Mittlere Windgeschwindigkeit .....	19
4.1.4. Relativer Meeresspiegel und Sturmfluten .....	20
4.1.5. Extremwetterereignisse .....	21
4.2. Zukünftige Klimaentwicklungen im 21. Jahrhundert.....	22
4.2.1. Lufttemperatur.....	26
4.2.2. Jahresniederschlag.....	26
4.2.3. Mittlere Windgeschwindigkeit .....	27
4.2.4. Relativer Meeresspiegel und Sturmfluten .....	27
4.2.5. Extremwetterereignisse .....	29
5. Sensitivität.....	29
5.1. Sozialstruktur .....	30
5.2. Wirtschaftsstruktur und Governance .....	31
6. Räumliche Exposition .....	32
7. Klimawirkungen- und Risiken in ausgewählten Handlungsfeldern .....	35
7.1.1. Biologische Vielfalt.....	39
7.1.2. Küsten- und Meeresschutz .....	48
7.1.3. Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft.....	53
7.1.4. Tourismuswirtschaft .....	64
7.1.5. Landwirtschaft.....	67
8. Unsicherheiten und Grenzen der Analyse.....	76
9. Zusammenfassung und Ausblick .....	77
Anhang .....	83

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimastreifen der Jahresmitteltemperatur im Landkreis Cuxhaven von 1971-2023 auf Basis von Stationsmessungen, Quelle: DWD, 2024b - Jahresmitteltemperaturen über dem Periodenmittel sind rot, darunter blau.; Darstellung: Lily Hinkers ..... 10

Abbildung 2 Grafische Darstellung der Methodik der KWRA, Quelle: UBA 2021 - ergänzt um Zeitstrahl (Nicolas Hübner)..... 12

Abbildung 3: Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Rahmen des Projektes "nordwest2050", Quelle: Schuchardt & Wittig, 2012 .. 16

Abbildung 4 Blick vom Imsumer Deich, Quelle: Nicolas Hübner, 2024 ..... 17

Abbildung 5 Jahresmitteltemperaturen im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b..... 18

Abbildung 6 Jahresniederschlag im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b ..... 19

Abbildung 7 Mittlere Windgeschwindigkeit im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b ..... 20

Abbildung 8 Historische Änderung des Meeresspiegels an der Messtation Cuxhaven, Quelle: PSML, 2024 ..... 20

Abbildung 9: Sturmtidenhäufigkeit am Pegel Norderney zwischen 1920 und 2020, Quelle: NLWKN ..... 21

Abbildung 10 Meeresspiegel in der deutschen Bucht unter RCP8.5 in 2100 mit (links - hellblau) und ohne (rechts - orange) bestehende Küstenschutzanlagen, Quelle: Schuld et al., 2020 ..... 28

Abbildung 11: DRMKC Vulnerabilitätsindex des Landkreises Cuxhaven im europäischen Vergleich, Quelle: EC. JRC, 2023 ..... 30

Abbildung 12: Demografische Prognosen für den Landkreis Cuxhaven, Quelle: PTV Transport Consult GmbH, 2016 ..... 31

Abbildung 13: Topografische Karte Geestland, © OpenStreetMap Mitwirkende unter ODbL ..... 33

Abbildung 14: Flächennutzung Stadt Geestland, Quelle: Stadt Geestland, 2021 ..... 34

Abbildung 15 Karte der Höhenstufen Geestlands, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors..... 34

Abbildung 16: Pazifische Austern neben Miesmuscheln, Quelle: Ocean Summit 2024 ..... 41

Abbildung 17: Karte der kohlenstoffreichen Böden Geestlands, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors..... 42

Abbildung 18: Ausschnitt Dürre-Risikokarte mit wasserabhängigen Biotoptypen, Quelle: Hydor Consult GmbH et al., 2023; Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors ..... 43

Abbildung 19: Blick über das Ahlenmoor, Quelle: Nicolas Hübner, 2024 ..... 45

Abbildung 20: Küstenschutzanlagen des Deichverbands Land Wursten und bremenports GmbH & Co. KG, Quelle: NLWKN, 2007 .....	49
Abbildung 21: Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 12 h nach einem dynamischen Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) im Marschgebiet Geestlands entlang des Grauwallkanals, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven   © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0   © GeoBasis-DE / LGLN   © OpenStreetMap contributors .....	59
Abbildung 22: Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 1 h nach einem dynamischen Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) im Stadtgebiet Langen, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven   © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0   © GeoBasis-DE / LGLN   © OpenStreetMap contributors .....	60
Abbildung 23 Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 1 h nach einem dynamischen Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) im Ruschkampsweg, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven   © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0   © GeoBasis-DE / LGLN   © OpenStreetMap contributors .....	60
Abbildung 24: Blick auf die Burg Bederkesa, Quelle: Nicolas Hübner, 2024.....	64
Abbildung 25: Dürrerisiko mit betroffenen Landnutzungsgruppen - Ausschnitt zwischen Langen, Sievern und dem Dorumer Moor, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven   © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0   © GeoBasis-DE / LGLN   © OpenStreetMap contributors .....	74

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen ausgewählter Klimakennwerte und Klimatologischer Kenntage, Quelle: (Pfeifer et al., 2021).....	11
Tabelle 2 Ausgewählte Extremwetterereignisse mit medialer Aufmerksamkeit und lokaler Auswirkung auf Geestland .....	22
Tabelle 3: Zusammenfassung der zukünftigen Klimaentwicklungen für Geestland.....	25
Tabelle 4: prognostizierte temperaturbasierte Klimakennwerte für Geestland zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts unter RCP8.5 im Vergleich zu Deutschland .....	26
Tabelle 5: prognostizierte niederschlagsbasierte Klimakennwerte für Geestland zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts unter RCP8.5 im Vergleich zu Deutschland .....	27
Tabelle 6: Ergebnisse des Screening-Prozesses zur Identifikation relevanter zu betrachtender Handlungsfelder und Klimawirkungen (Auswahl blau markiert).....	37
Tabelle 7: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Biodiversität und Naturschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012).....	40
Tabelle 8: Klimarisikobewertung des Handlungsfeldes "Biologische Vielfalt" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021).....	40
Tabelle 9: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Ausbreitung invasiver Arten" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	41
Tabelle 10: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	44

Tabelle 11: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Verlust genetischer Vielfalt” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	46
Tabelle 12: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021) .....	46
Tabelle 13: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Ökosystemleistungen” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	47
Tabelle 14: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Küstenschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012) .....	50
Tabelle 15: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds “Küsten- und Meeresschutz” ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021) .....	51
Tabelle 16: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Naturräumliche Veränderungen an Küsten” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	52
Tabelle 17: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	53
Tabelle 18: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012) .....	54
Tabelle 19: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds “Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft” ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021).....	55
Tabelle 20: Anzahl, Größe und maximal erreichte Wassertiefe (Überflutungshöhe) der betroffenen Nutzungstypflächen im Landkreis Cuxhaven für ein zeitlich dynamisches Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3), basierend auf TAUW GmbH et al. (2024)..	57
Tabelle 21: Klimarisikobewertung der Klimawirkungen “Hochwasser” und “Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021) .....	61
Tabelle 22: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Grundwasserstand und -qualität” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021).....	63
Tabelle 23: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Tourismuswirtschaft" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012) .....	65
Tabelle 24: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds “Tourismuswirtschaft” ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021) .....	65
Tabelle 25: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021) .....	66
Tabelle 26: Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Viehbestand in Geestland 2020, angelehnt an LSN (2024b) .....	68
Tabelle 27: Zusammensetzung der landwirtschaftlichen Betriebe und Nutzflächen in Geestland in 2020, angepasst von LSN (2024b) .....	68
Tabelle 28: Zusammensetzung der Kulturarten im Ackerbau: Pflanzen zur Grünernte in Geestland in 2020, angepasst von LSN (2024b) .....	68
Tabelle 29: Zusammensetzung der Kulturarten im Ackerbau: Getreideanbau in Geestland in 2020, angepasst von LSN (2024b) .....	69
Tabelle 30: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds “Landwirtschaft” ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021) .....	72

Tabelle 31: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Abiotischer Stress (Pflanzen)” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)..... 76

Tabelle 32: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse für die betrachteten Handlungsfelder und Klimarisiken, ausgewählte Klimawirkungen und ihre Bewertung farblich hinterlegt, Bewertung nicht näher betrachteter Klimawirkungen (weiß hinterlegt) basiert auf der KWRA 2021 nach UBA (2021), für diese wird die eingeschätzte relative Betroffenheit Geestland im Vergleich zum Bundesdurchschnitt symbolisch dargestellt..... 78

# 1. Einleitung

Der Klimawandel und seine Folgen sind weltweit spürbar. Steigende Temperaturen und Meeresspiegel sowie zunehmende Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Stürme, Dürren und Starkregen stellen menschliche und natürliche Systeme vor große Herausforderungen. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Erdoberfläche im globalen Mittel um 1,1°C erwärmt - mit steigender Geschwindigkeit (IPCC, 2023). In Deutschland sind die Temperaturen im gleichen Zeitraum sogar um 1,6 °C gestiegen, da sich Landregionen schneller als die Ozeane erwärmen. Die letzten neun Jahre markierten die wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1850 und erreichten im Jahr 2023 einen neuen Höchststand (DWD, 2024a).

Diese Entwicklungen haben spürbare Auswirkungen für die menschliche Gesundheit, Infrastrukturen, die Wirtschaft und vulnerable Ökosysteme. Dabei prägen insbesondere die Extremwetterereignisse aufgrund ihres hohen Schadenspotenzials den Anpassungsbedarf. Eine aktuelle Studie geht unabhängig von zukünftigen Klimaschutzanstrengungen von einem Rückgang der Weltwirtschaft um 19 % bis zum Jahr 2050 aus, allein durch bereits sichere Veränderungen in Niederschlag und Temperatur (Kotz et al., 2024). Vor diesem Hintergrund und dem zunehmenden Tempo des Temperaturanstiegs wird deutlich, dass starker Klimaschutz allein nicht ausreicht. Der Schutz von Mensch und Umwelt erfordert gleichzeitig eine frühzeitige, proaktive und transformative Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Kommunen spielen durch ihre Aufgaben in der Daseinsvorsorge eine Schlüsselrolle in der Klimafolgenanpassung und tragen eine Verantwortung für die Bevölkerung. Zudem verankert das neue Klimaanpassungsgesetz die Klimaanpassung als staatliche Aufgabe im Bundesrecht und schreibt schrittweise die Erstellung von Klimaanpassungskonzepten für Gemeinden und Kreise vor (Deutscher Bundestag, 2024). Grundlage der Konzepte sind individuelle Klimawirkungs- und Risikoanalysen (KWRA), die unter Berücksichtigung lokaler Einflussfaktoren die spezifischen Klimarisiken einschätzen. Geestland, die Stadt der 16 Ortschaften, ist mit knapp 32.000 Einwohnerinnen und Einwohnern auf 356 km<sup>2</sup> die zweitgrößte Flächenkommune in Niedersachsen. Mit ihrer zentralen Lage im Landkreis (LK) Cuxhaven sieht sich die Stadt als "Initiatorin und Vermittlerin gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Beziehungen und Entwicklungen in der Region" (Stadt Geestland, 2019). Die Klimastreifen in Abbildung 1 verdeutlichen die Häufung von überdurchschnittlichen hohen Temperaturen in den letzten Jahren. Durch die küstennahe Lage sowie die topographischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist Geestland durch Hochwasser und Sturmfluten gefährdet. Darüber hinaus sind die vielfältigen empfindlichen Ökosysteme sowie die ausgeprägte Landwirtschaft und der Tourismus direkt von Wetter und Klima abhängig und daher besonders exponiert.

Ziel der folgenden KWRA ist die Untersuchung der Vulnerabilität Geestlands gegenüber den Folgen des Klimawandels in verschiedenen Handlungsfeldern unter Berücksichtigung der lokalen Betroffenheit. Diese Analyse bildet die Grundlage für die Entwicklung eines kommunalen Klimaanpassungskonzeptes und die Auswahl von Maßnahmen, um den identifizierten Klimarisiken zu begegnen.

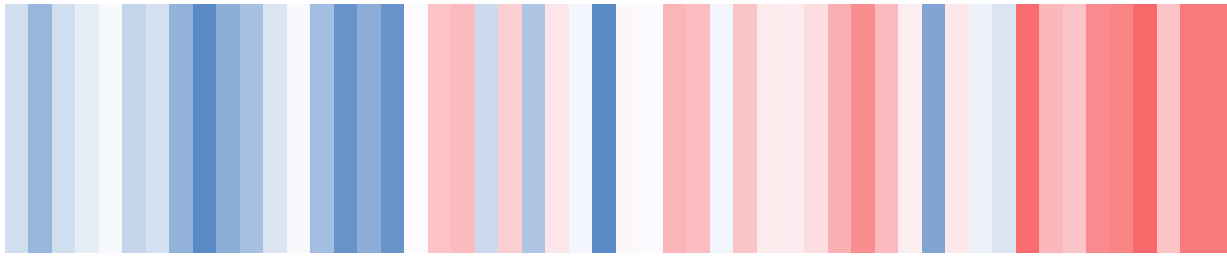


Abbildung 1: Klimastreifen des Landkreises Cuxhaven von 1971-2023 auf Basis von Stationsmessungen, Jahresmitteltemperaturen über dem Periodenmittel sind rot, darunter blau; Darstellung: Lily Hinkers nach DWD, 2024b

## 2. Methodik und Begriffe

Methodische Grundlage der folgenden KWRA für Geestland sind die DIN EN ISO 14091 “Anpassung an den Klimawandel - Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung” (DIN, 2021) sowie die Handlungsempfehlungen des Umweltbundesamtes (UBA) zu deren Umsetzung (UBA, 2022). Die Studie basiert auf zwei studentischen Abschlussarbeiten, die im Rahmen des Forschungsprojektes “AnExGe - Die Anpassung an Extremwetterereignisse ökobilanziell optimiert implementieren am Beispiel Geestland” erstellt wurden:

- Bachelorarbeit “Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Landkreises Cuxhaven” (Hinkers, 2024), Betreuer: Nicolas Hübner (Technische Universität Berlin)
- Bachelorarbeit “Ökonomische und ökologische Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft im Landkreis Cuxhaven” (Lühr, 2024), Betreuer: Nicolas Hübner (Technische Universität Berlin)

Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden zusammengeführt und ergänzt durch die Ergebnisse einer Literaturrecherche sowie verschiedener Experteninterviews und Gesprächsrunden, die im Rahmen des Projektes mit Verantwortlichen aus Verwaltung, Landwirtschaft und öffentlichen Trägern in Geestland durchgeführt wurden. So wurde eine Synthese aus theoretischem Wissen sowie praktischen Bedenken und Erfahrungen der Stakeholder vor Ort geschaffen.

Im Rahmen der KWRA wird zunächst das beobachtete Klima in der nahen Vergangenheit während der Referenzperiode 1971-2000 beschrieben. Anschließend werden die zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen (klimatische Einflüsse) in der Region zur Mitte (2036-2065) und zum Ende (2069-2098) dieses Jahrhunderts zusammengefasst.

Zur Beschreibung des Klimas werden Klimakennwerte und Klimatologische Kenntage, wie in Tabelle 1 dargestellt, herangezogen. Diese Parameter ermöglichen eine systematische Quantifizierung klimatischer Veränderungen. Klimakennwerte sind statistische Werte, die durchschnittliche Bedingungen über einen bestimmten Zeitraum beschreiben. Dazu gehören die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur, die Summe der jährlichen Niederschläge und die mittlere Windgeschwindigkeit. Klimatologische Kenntage dagegen beschreiben spezifische Tage im Jahr, an denen ein definierter Schwellenwert eines Klimaparameters über- oder unterschritten wird beziehungsweise ein bestimmtes Wetterphänomen eingetreten ist.

Klimaprojektionen ermöglichen Abschätzungen der zukünftigen klimatischen Entwicklung. Dies umfasst Veränderungen in Temperatur, Niederschlagsmenge, Wind und weiteren Klimaparametern. Um zukünftige Entwicklungen vorauszusagen, sind Annahmen über die zukünftige Entwicklung von Treibhausgasemissionen notwendig, welche von sozialen,

ökonomischen und politischen Entwicklungen abhängen. Klimaprojektionen werden daher auf Basis von Emissionsszenarien, den sogenannten Representative Concentration Pathways (RCPs) des Weltklimarats (IPCC), mithilfe von Klimamodellen berechnet (IPCC, 2014). RCPs stehen jeweils für ein Spektrum von sozialen, technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen, die die Treibhausgaskonzentration und resultierenden Strahlungsantrieb in der Atmosphäre beeinflussen. Die numerischen Werte in den Pfadbezeichnungen quantifizieren den induzierten Strahlungsantrieb (in  $W/m^2$ ) gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Es werden vier repräsentative Pfade - RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 - für das 21. Jahrhundert beschrieben.

Tabelle 1: Definitionen ausgewählter Klimakennwerte und klimatologischer Kennziffern, Quelle: (Pfeifer et al., 2021)

<b>Kennwert</b>	<b>Definition</b>	<b>Einheit</b>
Temperatur	mittlere Lufttemperatur in 2 m Höhe	°C
Sommertage	Anzahl der Tage mit Maximaltemperatur $\geq 25$ °C	Tage
heiße Tage	Anzahl der Tage mit Maximaltemperatur $\geq 30$ °C	Tage
Tropennächte	Anzahl der Tage mit Minimaltemperatur $> 20$ °C	Tage
Frosttage	Anzahl der Tage mit Minimaltemperatur $< 0$ °C	Tage
Frostwechseltage	Tage mit Maximaltemperatur $\geq$ und Minimaltemperatur $< 0$ °C	Tage
Eistage	Anzahl der Tage mit Maximaltemperatur $< 0$ °C	Tage
mittlerer Niederschlag	durchschnittliche Niederschlagssumme bezogen aufs Jahr (Regen und Schnee)	mm
Sehr feuchte Tage	Anzahl der Tage mit Niederschlag $> 20$ mm	Tage
Extrem feuchte Tage	Anzahl der Tage mit Niederschlag $> 30$ mm	Tage
Trockentage	Anzahl der Trockentage mit Niederschlag $< 1$ mm	Tage
Vegetationstage	Anzahl an Tagen pro Jahr mit einer Tagesmitteltemperatur $> 5$ °C	Tage
Spätfrosttage	Anzahl der Frosttage zwischen 1. April - 30. Juni	Tage
Hitzeperiode	Maximale Dauer von Perioden aufeinanderfolgender Tage mit einer Tagesmaximaltemperatur $> 30$ °C	Tage
Schwüle Tage	Anzahl Tage mit einem Wasserdampf-Partialdruck in Luft $> 18,8$ hPa	Tage
95. Perzentil des Niederschlags	Tagesniederschlag, dessen Höhe an 5 % aller Tage im Jahr mit Niederschlag $> 1$ mm überschritten wird.	mm/Tag
99. Perzentil des Niederschlags	Tagesniederschlag, dessen Höhe an 1 % aller Tage im Jahr mit Niederschlag $> 1$ mm überschritten wird.	mm/Tag
Tage mit Niederschlag $\geq 20$ mm/Tag	Anzahl Tage mit Niederschlag $\geq 20$ mm/Tag	Anzahl Tage

Der Klimawandel wirkt sich in Abhängigkeit von der lokalen Vulnerabilität und dem Vorhandensein potenziell betroffener Systeme räumlich sehr unterschiedlich aus. Daher werden die klimatischen Einflüsse im Anschluss mit der lokalen Sensitivität und räumlichen Exposition Geestlands verschnitten, um die Klimawirkungen und -risiken für verschiedene Handlungsfelder, wie der Landwirtschaft oder Wasserwirtschaft, zu ermitteln. Dieses Vorgehen ermöglicht die Identifikation der lokal-spezifischen Betroffenheit Geestlands und die Identifikation von Klimarisiko-Hotspots. Das Vorgehen wird in Abbildung 2 grafisch zusammengefasst. Die Bestimmung der Anpassungskapazität ist eine besondere Herausforderung, da sie von verschiedenen Faktoren wie dem politischen Willen beeinflusst wird und ihre künftige Anwendung von Natur aus unsicher ist. Daher wird hier auf eine systematische Bewertung verzichtet und die Anpassungskapazität an einzelnen geeigneten Stellen anekdotisch abgeschätzt.

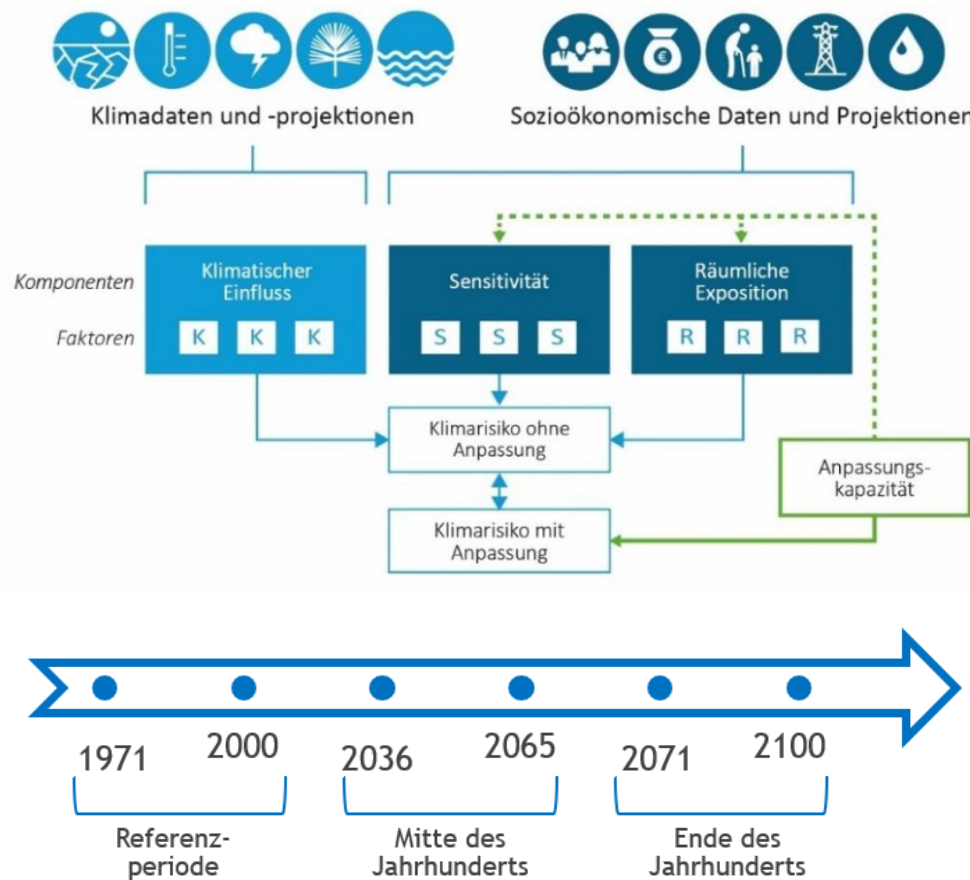


Abbildung 2 Grafische Darstellung der Methodik der KWRA, Quelle: UBA 2021 - ergänzt um Zeitstrahl durch Nicolas Hübner

Die vorliegende orientiert sich am risikobasierten Ansatz, wie er im 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) definiert wurde. Klimarisiken variieren stark auf lokaler Ebene und hängen von den folgenden drei Faktoren ab:

1. Räumliche Exposition: Das Vorhandensein potenziell betroffener menschlicher und natürlicher Systeme.
2. Sensitivität: Das Maß der Anfälligkeit eines Systems gegenüber klimatischen Veränderungen, häufig durch sozioökonomische Faktoren beschrieben.
3. Anpassungskapazität: Die Fähigkeit eines Systems, auf Klimafolgen zu reagieren und sich an neue Bedingungen anzupassen, beispielsweise durch gezielte Maßnahmen. Anpassungskapazität kann sowohl die Sensitivität als auch langfristig die räumliche Exposition verringern.

Nach der neuen Definition setzt sich die Vulnerabilität aus Sensitivität, Anpassungskapazität und der sogenannten Bewältigungskapazität zusammen - der Fähigkeit, kurzfristig auf Klimafolgen zu reagieren. Diese wird hier in die beiden vorherigen Faktoren integriert. Es wird zwischen Klimarisiken mit und ohne Anpassung unterschieden, letztere werden auch als Klimawirkungen bezeichnet.

## 3. Zusammenfassung relevanter Vorarbeiten

Zunächst werden die Ergebnisse relevanter Vulnerabilitätsstudien für Deutschland und für die Region kurz zusammengefasst. Als Grundlage und Vergleichsobjekt für die Bewertung werden eine bundesweite (UBA, 2021) und eine überregionale KWRA für die Metropolregion Bremen-Oldenburg (Schuchardt & Wittig, 2012) herangezogen. Aufbauend auf diesen Studien wird im Anschluss die Betroffenheit Geestlands vom Klimawandel unter Berücksichtigung der lokalen Besonderheiten beschrieben.

### 3.1. Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland

Die "Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland" (UBA, 2021) analysiert die aktuellen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels in verschiedenen Sektoren und Regionen Deutschlands. Dabei wurden für 13 übergeordnete Handlungsfelder und 102 Klimawirkungen das Klimarisiko der Gegenwart, Mitte des Jahrhunderts und Ende des Jahrhunderts bewertet. In der KWRA 2021 wurden zwei Fälle zur Abbildung der Unsicherheiten und Bandbreiten zukünftiger Entwicklungen auf Basis des sogenannten "weiter-so-wie-bisher" RCP8.5 Szenarios betrachtet. Im optimistischen Fall wird das 15. Perzentil des RCP8.5-Szenarios verwendet, das einen schwächeren Klimawandel und damit niedrigere Risiken bzw. höhere Chancen beschreibt. Der pessimistische Fall nutzt hingegen das 85. Perzentil des RCP8.5-Szenarios, das einen stärkeren Klimawandel und damit verbundene

höhere Risiken bzw. niedrigere Chancen widerspiegelt. Die Analyse zeigt, dass alle Regionen in Deutschland von Klimaveränderungen betroffen sein werden, mit besonders starken Auswirkungen durch Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Starkregen und Sturmfluten.

Für die deutschen Küstenregionen inklusive Geestlands ist in Zukunft ein vergleichsweise geringer Temperaturanstieg und nur geringe Änderungen bei den durchschnittlichen Niederschlagsmengen zu erwarten. Allerdings wird mit deutlich mehr Starkregenereignissen und einer Tendenz zu feuchteren Wintern gerechnet. Für diese Regionen betont die KWRA 2021 insbesondere die Risiken durch den Meeresspiegelanstieg sowie die steigenden Wassertemperaturen, die die Artenzusammensetzung in der Nordsee beeinflussen und zur Verringerung der Funktion und Größe sensibler Küstenökosysteme wie dem Wattenmeer führen können. Während keine signifikante Änderung der Stärke oder Häufigkeit von Sturmfluten erwartet wird, rechnet die Analyse aufgrund des erhöhten Meeresspiegels mit höheren Sturmflutwasserständen. Der bestehende Küstenschutz gilt als wirksam, jedoch wird aufgrund verstärkter Starkregenereignisse und einer verringerten Siel-Kapazität durch ein reduziertes Freigefälle eine höhere Gefahr von Binnenhochwasser prognostiziert. Dies erfordert erhebliche Investitionen in Schöpfwerke, um den Schutz vor Überflutungen sicherzustellen (UBA, 2021).

### 3.2. Vulnerabilitätsanalyse der Metropolregion Bremen-Oldenburg

Das Forschungsprojekt “nordwest2050” führte eine umfassende Vulnerabilitätsanalyse für die Metropolregion Bremen-Oldenburg durch (Schuchardt & Wittig, 2012), um die Auswirkungen des Klimawandels in 2050 und 2085 für 12 Sektoren zu untersuchen. Den Klimaprojektionen liegt das “A1B” Klimaszenario zugrunde. Es gehört zur A1-Familie der Klimaszenarien und war Grundlage für den 3. und 4. Weltklimabericht des IPCC. Dieses Szenario geht von einem starken Wirtschaftswachstum, einer ausgeglichenen Energieversorgung und keinen nennenswerten Klimaschutzanstrengungen aus. Es entspricht einem “Weiter-wie-bisher”-Szenario und ist in seinen Auswirkungen in etwa vergleichbar mit dem neueren und detaillierteren RCP8.5-Szenario, welches allerdings einen höheren Anteil fossiler Brennstoffe in der Energieversorgung annimmt.

Im Rahmen der Analyse wurde eine Kombination aus subjektivistischen Methoden (sozialwissenschaftliche Ansätze, Experteninterviews) und objektivistischen Methoden (Analyse naturräumlicher und technischer Dimensionen basierend auf objektiven Faktoren und Indikatoren) verwendet. Demnach gehört die Nordwestregion, einschließlich der Nordseeküste und des Weserästuars, zu den stark vom Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten betroffenen Gebieten in Deutschland. Die Analyse zeigt jedoch, dass der Klimawandel bis 2050 größtenteils beherrschbar bleibt. Dies liegt an den vergleichsweise moderat ausfallenden Klimaänderungen, ausgenommen von Extremwetterereignissen, und weil die regionale Anpassungskapazität als mittel bis hoch eingeschätzt wird.

Die sektorale Analyse ergab, dass ohne Berücksichtigung der Anpassungskapazität mittlere bis hohe potenzielle Auswirkungen in den Bereichen “Menschliche Gesundheit” (zunehmende Hitzeperioden und Überschwemmungen), “Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz” (Starkregenereignisse und steigende Tidewasserstände) sowie “Küstenschutz” und

“Biodiversität und Naturschutz” (beschleunigter Meeresspiegelanstieg) zu erwarten sind. Andere Sektoren wie “Bauwesen”, “Tourismuswirtschaft”, “Raumplanung”, “Bevölkerungs- und Katastrophenschutz” sowie die Wertschöpfungsketten der Ernährungs- und Energiewirtschaft weisen eher geringe bis mittlere Verwundbarkeiten auf. Vereinzelt könnten für den “Tourismus” und die “Vorproduktion der Milchviehwirtschaft” sogar positive Auswirkungen erwartet werden. Kritische Infrastruktur in der “Hafenwirtschaft und Logistik” könnten allerdings stärker vom Klimawandel betroffen sein.

Laut Schuchardt & Wittig (2012) variiert die Anpassungskapazität der Region stark und hängt von der Anpassungsbereitschaft, Erfahrungen, Wissen sowie technischen, personellen und finanziellen Ressourcen, aber auch von der natürlichen Anpassungskapazität der lokalen Ökosysteme ab. “Küstenschutz”, “Wasserwirtschaft” und “Binnenhochwasserschutz” haben eine hohe Anpassungskapazität aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung mit Umweltveränderungen und Extremwetterereignissen. Dies verändere sich jedoch, sobald bestehende Strategien des Küstenschutzes bei stark beschleunigtem Meeresspiegelanstieg nicht mehr ausreichen und neue Strategien notwendig werden. Im Gegensatz dazu haben die “Raumplanung” und der “Bevölkerungsschutz”, aufgrund begrenzter Ressourcen und unzureichender Integration von Klimaanpassung in den Arbeitsalltag, nur eine mittlere Kapazität und eine Beschränkung. Des Weiteren fehle es an einer Berücksichtigung der vielfältigen Klimafolgen neben dem Meeresspiegelanstieg und einer umfangreichen Bürgerbeteiligung.

Die Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung von Schuchardt & Wittig (2012) werden in Abbildung 3 zusammengefasst. Aufgrund der überwiegend geringen bis mittleren potenziellen Auswirkungen und der mittleren bis hohen Anpassungskapazität wird die abschließende Vulnerabilität in den meisten Sektoren als gering bis mittel bewertet.

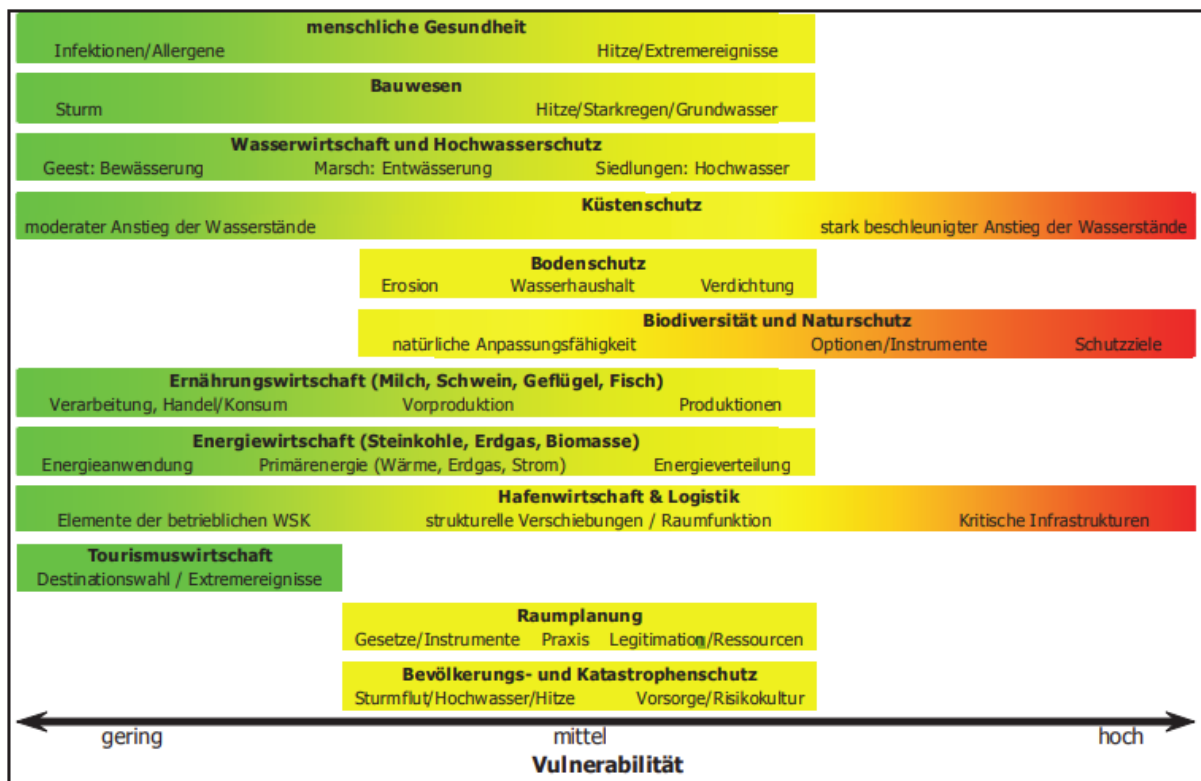


Abbildung 3: Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Rahmen des Projektes "nordwest2050", Quelle: Schuchardt & Wittig, 2012

Die Verwundbarkeit des "Küstenschutzes" wird bei stark beschleunigtem Meeresspiegelanstieg allerdings langfristig als hoch bewertet, da bestehende Anpassungsstrategien an ihre Grenzen stoßen könnten. Im "Naturschutz" ist die Verwundbarkeit aufgrund begrenzter natürlicher Anpassungsfähigkeit, Artverschiebungen und Lebensraumveränderungen mittel bis hoch. Die "Hafenwirtschaft" zeigt mittlere bis hohe Verwundbarkeit, insbesondere bei kritischer Infrastruktur wie Straßen, Eisenbahnen und Wasserstraßen. In der "Energiewirtschaft" besteht besondere Verwundbarkeit in der Biomasseproduktion und der Stromversorgung, insbesondere bei einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien. Die Verwundbarkeit der Wertschöpfungsketten in der "Ernährungswirtschaft" wird als gering bis mittel eingeschätzt. Im Bereich "Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz" ist die Verwundbarkeit in Bezug auf Wassermanagement (Geest und Marsch) und Wasserressourcensicherung gering bis mittel. Für den "Binnenhochwasserschutz" und die "Siedlungswasserwirtschaft" ist die Verwundbarkeit mittel, da Maßnahmen zum technischen Hochwasserschutz gut umsetzbar sind. Hingegen werden Maßnahmen zur Schaffung von Retentionsräumen, nachhaltiger Landnutzung oder Verbesserung der Wasserqualität aufgrund von Widerstand resultierend aus Flächennutzungskonkurrenzen, finanziellen und personellen Engpässen sowie mangelndem politischen Willen als schwieriger umzusetzen bewertet. Die potenziellen Auswirkungen von zunehmenden Starkregenereignissen und höheren Binnenwasserabflüssen sind insbesondere in städtischen Räumen mittel bis hoch (Schuchardt & Wittig, 2012).

## 4. Klimatische Einflüsse

Im Folgenden sollen aktuelle klimatische Einflüsse und Veränderungen in der jüngeren Vergangenheit auf Basis von Messdaten des Deutschen Wetterdienstes sowie der prognostizierten zukünftigen Entwicklungen beschrieben werden.

Geestland liegt in einer Region, die vom gemäßigten maritimen Klima geprägt ist. Die klimatische Charakteristik wird vor allem durch die vorherrschenden Westwinde, relativ geringe Geländehöhe und der Nähe zur Nordsee bestimmt. Die jährlichen Temperaturschwankungen sind gering und die Region erfährt milde Winter und kühle Sommer. Die Niederschläge verteilen sich gleichmäßig über das gesamte Jahr, ohne ausgeprägte Trocken- oder Regenzeiten.

Das Wetter in Geestland ist unbeständig, geprägt von einem häufigen Wechsel von Hoch- und Tiefdruckgebieten aufgrund der geographischen Lage der Region. Die mittleren Windgeschwindigkeiten sind, aufgrund der Nähe zur Nordsee und der offenen Landschaft, vergleichsweise hoch.



Abbildung 4 Blick vom Imsumer Deich, Bild: Nicolas Hübner, 2024

### Wetter und Klima DWD

Quelle:

Das Wetter beschreibt den physikalischen Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt bis hin zu mehreren Tagen.

Das Klima ist definiert als die Synthese der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen ausreichend langen Zeitraum (üblicherweise 30 Jahre) charakterisieren.

### 4.1. Das Klima während der Referenzperiode bis heute

Die Analyse der Klimaparameter für die Region Geestland beginnt mit der Betrachtung der langfristigen Klimaentwicklung. Die historischen und aktuellen Klimadaten schaffen eine Bewertungsgrundlage über einen Referenzzeitraum und quantifizieren den aktuellen Stand der Klimaveränderungen in der Region.

Hierbei wird die Referenzperiode von 1971 bis 2000 mit der aktuellen Lage im Zeitraum von 2000 bis 2024 verglichen. Grundlage dieser Untersuchung sind die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für den Landkreis Cuxhaven. Da Klimamodelle eine begrenzte räumliche Auflösung haben und es keine DWD-Messstation im Gebiet Geestlands gibt, werden die klimatischen Daten des übergeordneten Landkreises Cuxhaven herangezogen. Da großräumige Wetterverhältnisse aufgrund der geringen Geländehöhen und Höhenunterschiede das lokale Klima maßgeblich bestimmen, sind diese Daten als Referenz geeignet, um verlässliche Aussagen für Geestland zu treffen.

### 4.1.1. Lufttemperatur

Geestland liegt in einer maritim geprägten, kühlgemäßigten Klimazone mit milden Wintern und kühlen Sommern. Die Region zeichnet sich durch eine im Vergleich zum Bundesdurchschnitt geringeren Anzahl von Frost- und Eistagen sowie Sommer- und Hitzetagen aus. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,2 °C im Referenzzeitraum 1971-2000 (DWD, 2024b). Diese ist im Vergleich zu anderen Regionen auf diesem Breitengrad erhöht, bedingt durch den Einfluss des Golfstroms und vorherrschenden Westwindes, welcher milde Luft vom Atlantik herbeiführt. Der Verlauf der Jahresmitteltemperatur im Referenzzeitraum sowie deren linearen Trendlinie (blau gepunktet) ist in Abbildung 5 dargestellt. Über die natürlichen bedingten Temperaturschwankungen ist ein statistisch signifikanter Trend zu höheren Jahresmitteltemperaturen ersichtlich.

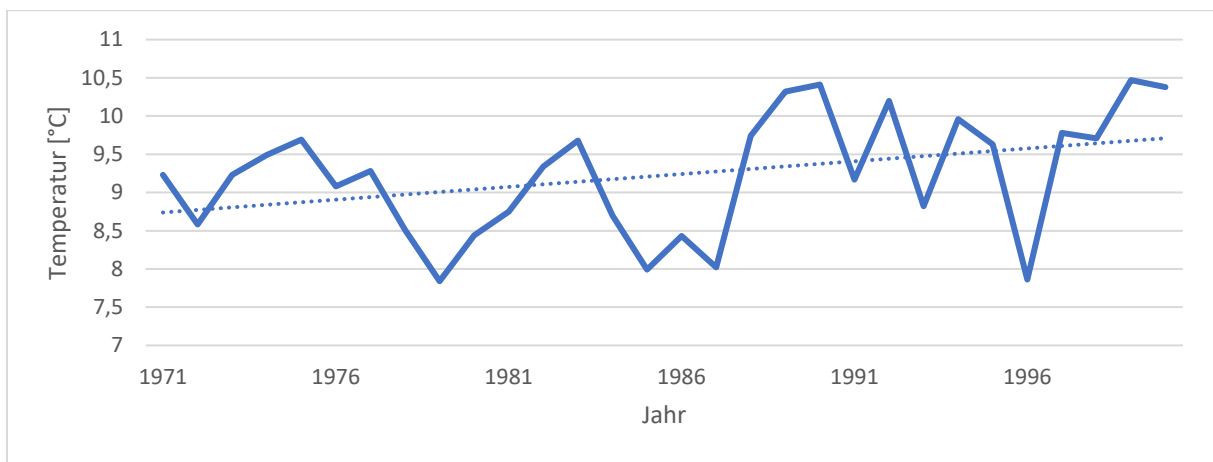


Abbildung 5 Jahresmitteltemperaturen im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b

In der Zeit von 2000 bis 2023 setzte sich die Erwärmung fort, mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,8 °C (1,6 °C über der Referenzperiode) in den letzten 10 Jahren (DWD, 2024b). In den letzten Jahrzehnten ist gegenüber dem Referenzzeitraum eine deutlich zunehmende Geschwindigkeit der Erwärmung festzustellen (DWD & EWK, 2024).

### 4.1.2. Jahresniederschlag

Abbildung 6 stellt den Jahresniederschlag über den Referenzzeitraum dar. Lineare Regression (blau gepunktete Linie) zeigt keine statistisch eindeutige Veränderung über die jährlichen Schwankungen. Die mittlere Jahresniederschlagsmenge im Referenzzeitraum liegt mit 803,9 mm etwa 3 % über dem bundesweiten Durchschnitt (DWD, 2024b). Im gesamten Jahresverlauf gibt es deutliche Niederschläge, mit etwas geringeren Niederschlagsmengen von Februar bis Mai.

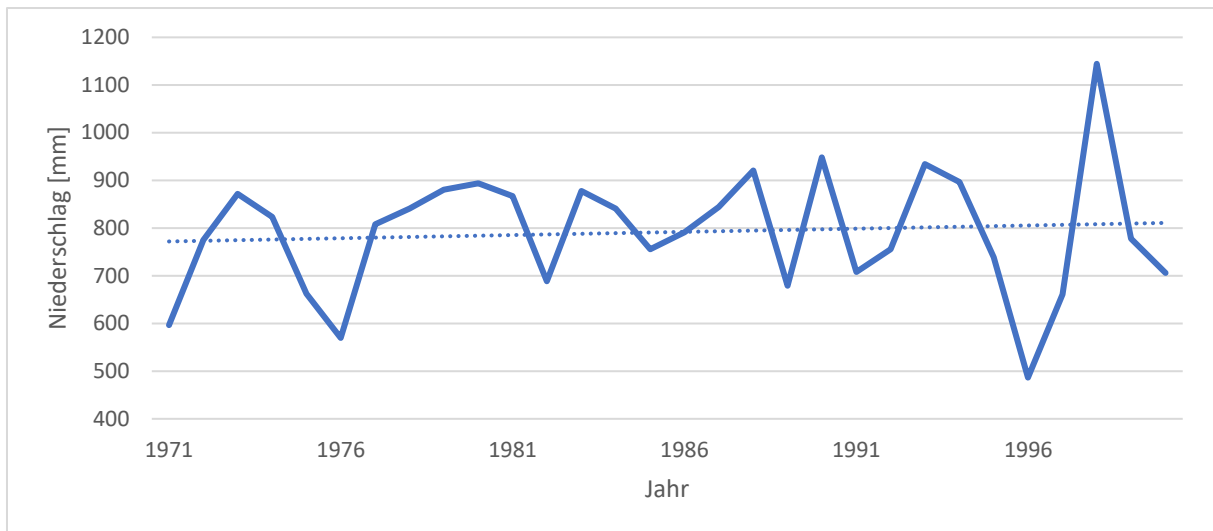


Abbildung 6 Jahresniederschlag im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b

Auch zwischen 2000 bis 2024 ist kein eindeutiger Trend erkennbar. In den letzten zehn Jahren wurde an der Station Cuxhaven ein Mittelwert von 799,9 mm gemessen. Dieser geringfügige Rückgang ist hauptsächlich auf die niedrigen Niederschlagsmengen in den Jahren 2017 bis 2019 zurückzuführen. Insbesondere das Jahr 2017 war mit einer Gesamtniederschlagsmenge von nur 566,4 mm außergewöhnlich trocken und könnte somit zu den darauffolgenden Dürrejahren in den Sommern 2018 und 2019 beigetragen haben (DWD, 2024b).

### 4.1.3. Mittlere Windgeschwindigkeit

Die mittlere Windgeschwindigkeit während der Referenzperiode (vgl. Abbildung 7) zeigt Schwankungen zwischen den Jahren. Derzeit ist kein eindeutiger Trend außerhalb der natürlichen multidekadischen Schwankungen feststellbar. Für die letzten zwei Jahrzehnte seit dem Jahr 2000 deuten die Daten tendenziell auf einen leichten Rückgang der mittleren Windgeschwindigkeiten und der Spitzenböen mit 11 und 12 Beaufort für die Nordsee hin (DWD & EWK, 2024). Im Allgemeinen treten im Jahresverlauf von Oktober bis März, bedingt durch nordatlantische Tiefdruckgebiete, höhere Windgeschwindigkeiten und die überwiegende Zahl der Stürme auf.

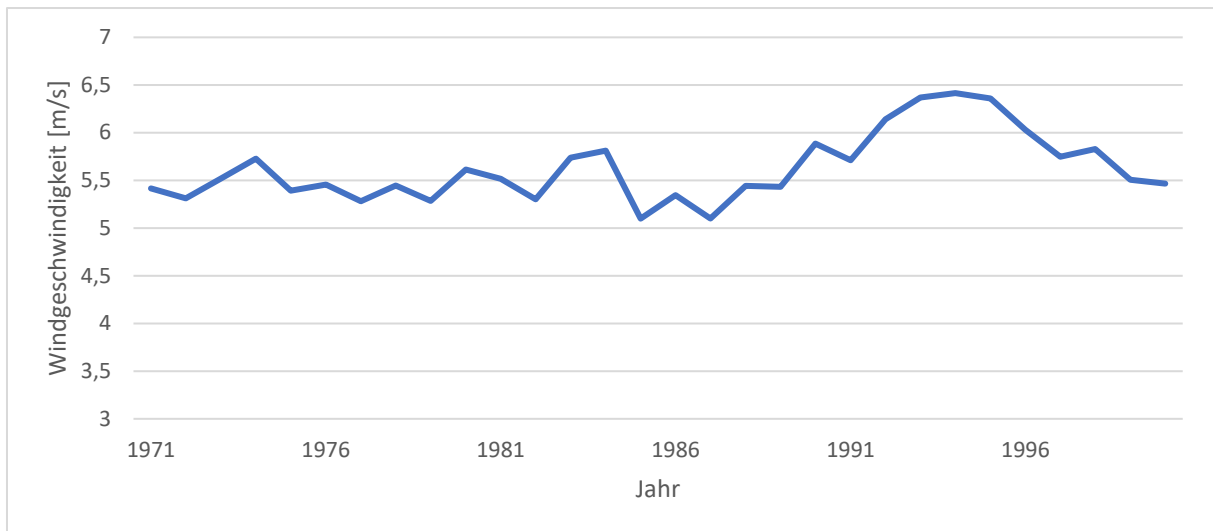


Abbildung 7 Mittlere Windgeschwindigkeit im Referenzzeitraum an der Messstation Cuxhaven, Quelle: DWD, 2024b

#### 4.1.4. Relativer Meeresspiegel und Sturmfluten

In Folge der thermische Ausdehnung des Wassers und des Schmelzens von Gletschern und Eisschilden ist seit Mitte des 19. Jahrhunderts ein globaler Anstieg des mittleren Meeresspiegels von durchschnittlich 1,7 mm pro Jahr zu verzeichnen (IPCC, 2023). Messungen an der Messstation Cuxhaven Steubenhöft, dargestellt in Abbildung 8, zeigen einen kontinuierlichen Anstieg des relativen Meeresspiegels von 2 mm/Jahr seit 1843. Im Verlauf des letzten Jahrhunderts ist der relative Meeresspiegel in der Deutschen Bucht um 20-21 cm und zwischen Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute um etwa 40 cm gestiegen (BSH, 2024; PSML, 2024). Der registrierte Anstieg an der Messstation Cuxhaven liegt damit über dem globalen Mittel und deutlich über dem Anstieg der Ostsee am Pegel Warnemünde, wo seit 1850 ein Anstieg des relativen Meeresspiegels von etwa 20 cm gemessen wurde. Grund dafür sind lokale, nacheiszeitliche Landsenkungen der Nordseeküste und ein geringere postglaziale Landhebung als im Bereich der Ostsee, die zu einem verstärkten relativen Anstieg beitragen (DWD & EWK, 2024).

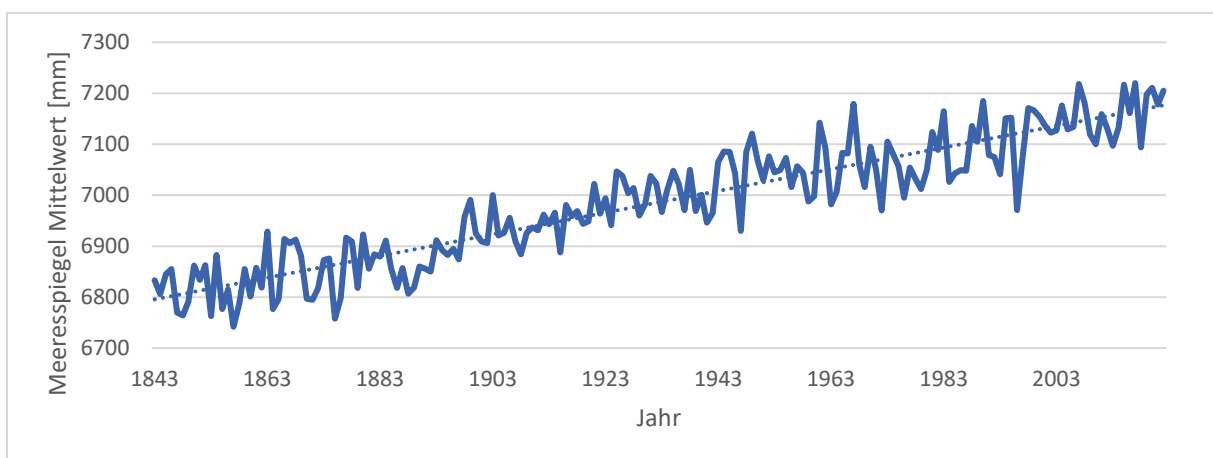


Abbildung 8 Historische Änderung des Meeresspiegels an der Messstation Cuxhaven, Quelle: PSML, 2024

Das Leben an der Küste wird von Sturmfluten und den Küstenschutzmaßnahmen zu deren Bewältigung geprägt. Abbildung 9 zeigt die Sturmflutaktivität am Pegel Norderney über die letzten 100 Jahre. Bisher wird kein eindeutiger Trend bezüglich der Entwicklung der Sturmfluthäufigkeit oder Intensitäten in der Nordsee festgestellt, sofern der Anstieg des Meeresspiegels herausgerechnet wird. Allerdings erhöht der Meeresspiegelanstieg das Ausgangsniveau und somit auch die erreichten maximalen Wasserstände. Zusätzlich sind die Jahresmaxima des Wasserstandes seit 1990 durchschnittlich um 4,4 mm/Jahr und somit deutlich stärker als die Jahresmittelwerte gestiegen und auch für die Gezeiten lässt sich ein stärkerer Anstieg der Tidehoch- als der Tideniedrigwasserstände feststellen (DWD & EWK, 2024). Diese Faktoren stellen eine zusätzliche Herausforderung für die Küstenschutzmaßnahmen dar, da diese auf die maximalen Wasserstände bemessen und ausgelegt werden.

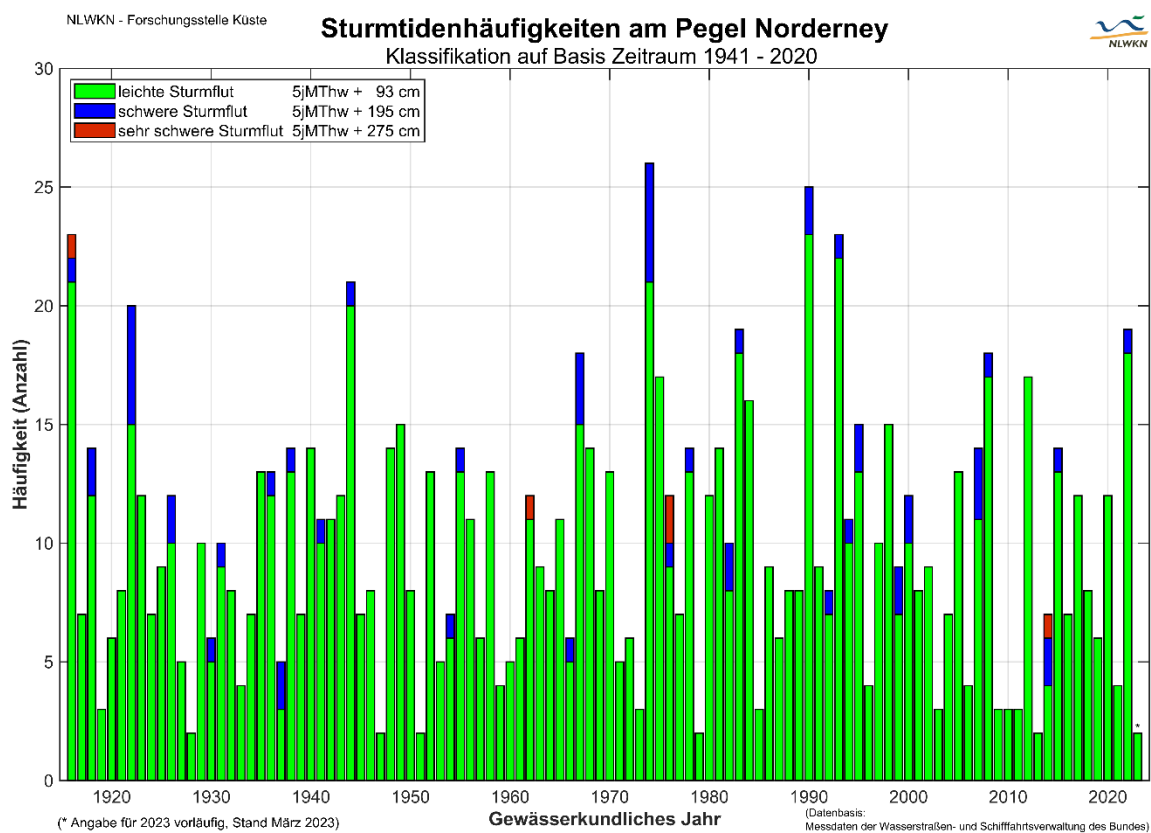


Abbildung 9: Sturmfluthäufigkeit am Pegel Norderney zwischen 1920 und 2020, Quelle: NLWKN

#### 4.1.5. Extremwetterereignisse

Extremwetterereignisse sind meteorologische Phänomene, die durch ihre Intensität und Seltenheit charakterisiert sind und erhebliche Auswirkungen auf Umwelt, Infrastruktur und Gesellschaft haben können. Dadurch prägen sie maßgeblich den Bedarf für die Klimafolgenanpassung. Der Klimawandel hat zu einer Häufung und Intensivierung dieser Ereignisse weltweit und auch in Deutschland beigetragen (DWD & EWK, 2024). Dazu zählen unter anderem Hitzewellen, Starkregen, Überschwemmungen, Stürme und Dürren. Geestland war bereits in der Vergangenheit immer wieder Extremwetter ausgesetzt, eine Auswahl unter medialer Beachtung ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Aufgrund der Nähe zur Nordsee treten in der Region vermehrt Stürme und Starkregenereignisse auf, die durch Tiefdruckgebiete aus dem Nordatlantik verursacht werden. Damit einhergehende Sturmfluten werden durch Windstau und den steigenden Meeresspiegel verstärkt. Geestland hat nur einen sehr kurzen Küstenabschnitt an der Nordsee und ist daher weniger direkt von Sturmfluten betroffen. Allerdings erhöhen diese Wetterphänomene in Kombination mit Starkregen das Risiko von Binnenhochwassern, da das Siel-System durch den erhöhten Wasserstand der Außenweser und verringertem Freigefälle in seiner Funktion beeinträchtigt wird. Anhaltende Regenfälle im Winter 2023 führten zu Staunässe auf landwirtschaftlichen Flächen, die in der Folge nicht mehr mit landwirtschaftlichen Maschinen befahrbar waren und das Wintergetreide gefährdeten. Starkregen im August 2018 schwemmten nährstoffreiche Wassermassen von landwirtschaftlichen Flächen sowie aus Siedlungs- und Gewerbegebieten in die Geeste. Die daraus resultierende Eutrophierung führte zu einer starken Sauerstoffzehrung und darauffolgendem Fischsterben im Gewässer.

*Tabelle 2 Ausgewählte Extremwetterereignisse mit medialer Aufmerksamkeit und lokaler Auswirkung auf Geestland*

Datum	Extremwetterereignis
13.11.1972	Orkan Quimburga
03.01.1976	Capella-Orkan mit Sturmflut
Jan-Feb 1990	Orkanserie mit 3 Sturmfluten
03.12.1999	Orkan Anatol mit Sturmflut
27.-28.10.2002	Orkan Jeanett
31.10.-01.11.2006	Orkan Britta und Sturmflut
18.-19.01.2007	Orkan Kyrill
08.-11.01.2010	Sturmtief Daisy
27.-28.10.2013	Orkan Christian
05.12.2013	Orkan Xaver mit 4 Sturmfluten
31.03.2015	Orkan Niklas
Jun-Sep 2015	Hitzewelle
03.01.2017	Orkan Axel
05.10.2017	Sturmtief Xavier
Aug 2018	Starkregen
2018 und 2019	Sommerdürre
Jul 2019	Hitzewelle
09.-10.02.2020	Orkan Sabine
Jul 2022	Hitzewelle
14.10.2023	Nordsee-Sturmflut

Aufgrund des kühlenden Einflusses der Nordsee, ganzjährig windiger Verhältnisse und fehlender Großstädte, in denen sich urbane Hitzeinseln ausprägen könnten, spielen Hitzewellen in der Referenzperiode bis zum heutigen Zeitpunkt eine noch vergleichsweise untergeordnete Rolle für die menschliche Gesundheit in Geestland. Trotz der maritimen Prägung war Geestland jedoch in der Vergangenheit bereits von Dürre betroffen, wie in den Sommern 2018 und 2019. Ein deutliches Niederschlagsdefizit in den Sommermonaten führte im Zusammenspiel mit anhaltend hohen Temperaturen zu einer monatelangen hydrologischen Dürre (NLWKN, 2020a). Diese Dürre hatte erhebliche Auswirkungen auf die Grundwasserspiegel und die Pegelstände der Gewässer, die zum Teil historische Tiefstwerte unterschritten. Die hatte erhebliche Folgen für die landwirtschaftlichen Erträge, insbesondere in der Grünlandbewirtschaftung, und begünstigte Vegetationsbrände.

## 4.2. Zukünftige Klimaentwicklungen im 21. Jahrhundert

In der vorliegenden Studie werden die Klimaprojektionen auf Basis des RCP8.5-Szenarios des IPCC beschrieben, dass das “weiter-so-wie-bisher” Szenario darstellt. In diesem Szenario wird von einer unveränderten Klimapolitik und anhaltender langfristigen Förderung fossiler

Energieträger ausgegangen, die in einer Temperaturerhöhung von etwa 4,8 °C in 2100 gegenüber dem vorindustriellen Niveau resultiert (IPCC, 2014). Die Wahl dieses Szenario ermöglicht es, Anpassungsstrategien für den pessimistischen Fall zu entwickeln und so Risiken besser abzufangen. Es gewährleistet zudem die Vergleichbarkeit mit einschlägigen Vorarbeiten für die Region, namentlich der KWRA für Deutschland (UBA, 2021) sowie mit dem A1B-Szenario aus dem Vulnerabilitätsbericht des Projekts “nordwest2050” (Schuchardt & Wittig, 2012), das die Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel untersucht.

Für die mittelfristige Klimaentwicklung zur Mitte des Jahrhunderts (2036-2065) und die langfristige Entwicklung zum Ende des Jahrhunderts (2069-2098) wird auf die Klimaprojektionen des Climate Service Center Germany (GERICS) für den Landkreis Cuxhaven zurückgegriffen (Pfeifer et al., 2021). Die Prognosen verwenden Daten aus dem HYRAS-Datensatz des DWD. Dieser enthält hydrometeorologische Rasterdaten mit täglicher Auflösung für Deutschland und angrenzende Flusseinzugsgebiete. Die Klimaprognose für das Szenario RCP8.5 wurde aus Simulationen eines Ensembles von 50 regionalen Klimamodellen erstellt, dabei werden jeweils Minimum, Maximum und Median des Ensembles angegeben.

<b>Globale und Regionale Klimamodelle</b>	<b>Quelle:</b>
<b>DWD</b>	
<p>Klimamodelle ermöglichen das Verhalten des Erdklimas zu simulieren und zukünftige Klimaveränderungen abzuschätzen. Sie basieren auf physikalischen Prinzipien und Gleichungen, die Energie-, Impuls- und Massenerhaltung beschreiben, um die Dynamik von Atmosphäre, Ozeanen und weiteren Komponenten wie der Hydrosphäre, Biosphäre und Kryosphäre zu erfassen.</p>	
<p>Zur Simulation von lokalen Klimaeffekten werden globale Klimamodelle mit relativ grober Auflösung über dynamische oder statische Verfahren regionalisiert und so die Auflösung deutlich erhöht.</p>	
<p>Häufig werden mehrere Modelle und Ensembles von Simulationen mit unterschiedlichen Annahmen oder Anfangsbedingungen genutzt, um eine Bandbreite möglicher Entwicklungen darzustellen und Unsicherheiten zu quantifizieren</p>	

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die Veränderungen der Klimaparameter im Detail. Dabei werden jeweils die spezifischen Veränderungen für Geestland nach Pfeifer et al. (2021) tabellarisch dargestellt. Abgebildet wird jeweils der Median der Daten für das RCP8.5-Szenario. Zusätzlich wird das 50. Perzentil der Klimaprognose für den bundesweiten Durchschnitt auf Grundlage der Studie von Brien et al. (2020) dargestellt, um die lokalen Veränderungen in einen nationalen Kontext zu setzen.

Bei der Bewertung der Änderungen ist zu beachten, dass aus Gründen der Übersichtlichkeit nur der Median bzw. das 50. Perzentil des Klimamodellensembles dargestellt wird. Klimaprognosen unterliegen Unsicherheiten und Schwankungen, die durch natürliche Klimavariabilität, Modell- und Szenarienunsicherheiten sowie Datenungenauigkeiten entstehen. Beispielsweise kann der Median eine Zunahme eines Klimaparameters zeigen, während das 15. Perzentil oder das Minimum der Modellprognosen eine Abnahme dieses

Parameters prognostiziert. Die hier dargestellten Veränderungen repräsentieren daher nur den mittleren Trend und sollten nicht als absolute Vorhersage verstanden werden, da sie keine absolute Sicherheit über die tatsächliche zukünftige Entwicklung bieten. Im Einzelfall wird die Belastbarkeit der Prognosen qualitativ im Text beschrieben. In den entsprechenden Originalquellen können die tatsächlichen Spannbreiten der Vorhersagen nachvollzogen werden (Brienen et al., 2020; Pfeifer et al., 2021).


Im Folgenden werden die projizierten Klimaänderungen zum Ende des 21. Jahrhunderts kurz zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der zukünftigen Klimaentwicklungen für Geestland

Die Klimaprojektionen für Geestland bis zum Ende des Jahrhunderts unter dem RCP8.5-Szenario prognostizieren eine Zunahme der Lufttemperatur sowie der Anzahl von Sommertagen, heißen Tagen, schwülen Tagen und Tropennächten, ebenso wie eine Verlängerung von Hitzeperioden. Gleichzeitig ist eine starke Abnahme von Frost- und Eistagen zu erwarten.




 Lufttemperatur


 Sommertage, heiße Tage, schwüle Tage und Tropennächte

 Frost- und Eistage

Der Jahresniederschlag und die klimatische Wasserbilanz zeigen tendenziell eine leichte Zunahme. Insbesondere die Winter werden feuchter. Für niederschlagsintensive Ereignisse, d.h. Tage mit  $\geq 20$  mm Niederschlag, sowie das 95. und 99. Perzentil des Niederschlags, werden Zunahmen prognostiziert.




 Jahresniederschlag, Winterniederschlag und klimatische Wasserbilanz

 Tage mit  $\geq 20$  mm Niederschlag, 95. und 99. Perzentil des Niederschlags

Der mittlere Meeresspiegel wird weiter ansteigen. Dies führt auch zu einer Erhöhung der Sturmflutwasserstände und der damit einhergehenden Gefährdung.



 Anstieg des relativen Meeresspiegels

 Erhöhung der Sturmflutwasserstände

Hinsichtlich der Entwicklung der mittleren Windgeschwindigkeit ist derzeit keine eindeutige Prognose möglich. Abgesicherte, quantifizierte Prognosen zur Entwicklung von Extremwetterereignissen sind aufgrund ihrer langfristigen Unvorhersagbarkeit nicht möglich. Studien deuten auf eine Tendenz zur Häufung und Intensivierung extremer Wetterlagen (Sturmfluten, Dürren und Starkregen) hin.



 unsichere Entwicklung Windgeschwindigkeiten

 Trend zu extremen Wetterbedingungen

### 4.2.1. Lufttemperatur

Tabelle 4 zeigt die Entwicklung temperaturbasierter Klimaparameter unter RCP8.5 für die nahe und ferne Zukunft für den LK Cuxhaven im bundesweiten Vergleich. Die Voraussagen in dieser Kategorie sind als robust einzuschätzen. Bis Mitte des Jahrhunderts wird eine Temperaturzunahme um 1,9 °C erwartet, bis Ende des Jahrhunderts um 3,3 °C. Dieser Trend liegt, ebenso wie die Entwicklung der Sommer- und Wintertemperaturen, nahe an den Prognosen für den bundesweiten Temperaturanstieg.

Die Küstenlage des Landkreises wirkt moderierend auf Temperaturextreme. Dementsprechend treten klimatische Kenntage wie Sommertage, heiße Tage und Tropennächte heute deutlich seltener auf als im bundesweiten Durchschnitt. Gleichzeitig wird eine vergleichsweise geringere absolute Zunahme dieser Kenntage prognostiziert, die im Vergleich zu ihrem derzeitigen Vorkommen dennoch als signifikant einzustufen ist. So könnten sich die Sommertage und heißen Tage bis Ende des Jahrhunderts verdoppeln, und die Zahl der Tropennächte von nahezu null auf fast drei Nächte pro Jahr erhöhen. Die Winter werden voraussichtlich deutlich milder, mit einer prognostizierten Abnahme der Frosttage um 77 % und einem fast vollständigen Rückgang der Eistage zum Ende des Jahrhunderts.

*Tabelle 4: prognostizierte temperaturbasierte Klimakennwerte für Geestland zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts unter RCP8.5 im Vergleich zu Deutschland*

Index für Zeitraum Jahr	LK Cuxhaven (Pfeifer et al., 2021)			Deutschland (Brienen et al., 2020)		
	1971- 2000	2036-2065 RCP8.5	2069-2098 RCP8.5	1971- 2000	2031-2060 RCP 8.5	2071-2100 RCP 8.5
		Median	Median		50. P.	50. P.
	50. P.	Veränderung	Veränderung	50. P.	Veränderung	Veränderung
Temperatur [°C]	9	1,9	3,3	8,6	1,8	3,7
Sommertemperatur [°C]	k.A.	1,6	3,2	14,1	1,8	3,5
Wintertemperatur [°C]	k.A.	2,2	3,6	3	1,8	3,6
Sommertage	18	6,1	15	29	15,3	34,8
heiße Tage	2,3	0,7	2,7	4,6	6,6	18,4
Tropennächte	0,1	0,7	2,7	0,1	1,5	7,7
Frosttage	60,1	-29,3	-46,1	87,6	-27,6	-52
Eistage	15,1	-11	-14,4	21,4	-10,7	-17,4

### 4.2.2. Jahresniederschlag

Tabelle 5 zeigt die Entwicklung niederschlagsbasierter Klimaparameter unter RCP8.5 für die nahe und ferne Zukunft für den LK Cuxhaven im bundesweiten Vergleich. Langfristig wird eine Zunahme der Niederschlagssummen (robust) und tendenziell eine leichte Zunahme der klimatischen Wasserbilanz erwartet. Dabei werden insbesondere die Winterniederschläge deutlich zunehmen (robust), während für die Sommerniederschläge aufgrund der Abweichungen der Modellvorhersagen keine gesicherten Aussagen getroffen werden können. Allerdings wird eine deutliche Zunahme von schwülen Tagen erwartet (robust), die die Thermoregulation des Menschen fordern und daher als besonders unangenehm empfunden werden. Die Prognosen für Trockentage unterliegen großen Schwankungen in beide

Richtungen, sodass keine gesicherten Aussagen getroffen werden können. Für niederschlagsreiche Ereignisse, also Tage mit Niederschlägen  $\geq 20$  mm sowie für das 95. und 99. Perzentil des Niederschlags, werden vor allem langfristig Zunahmen erwartet (robust).

Tabelle 5: prognostizierte niederschlagsbasierte Klimakennwerte für Geestland zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts unter RCP8.5 im Vergleich zu Deutschland

Index für Zeitraum Jahr	LK Cuxhaven (Pfeifer et al., 2021)			Deutschland (Brienen et al., 2020)		
	1971- 2000	2036-2065 RCP8.5	2069-2098 RCP8.5	1971- 2000	2031-2060 RCP 8.5	2071-2100 RCP 8.5
	50. P.	Median Veränderun g	Median Veränderun g	50. P.	50. P. Veränderung	50. P. Veränderung
mittlerer Niederschlag [mm]	803,9	6,40%	10,60%	780,9	5,30%	7,45%
Tage mit Niederschlag $\geq 20$ mm/Tag	3,3	1	2,2	4,2	0,9	1,6
Trockentage	223,3	-0,9	1,3	226,2	1,3	5,1
Sommerniederschla g	k.A.	1%	-2,9%	k.A.	k.A.	k.A.
Winterniederschlag	k.A.	12,1%	20%	k.A.	k.A.	k.A.
Klimatische Wasserbilanz [mm/Tag]	k.A.	0,09	0,14	k.A.	k.A.	k.A.
Schwüle Tage	k.A.	9,4	24,6	k.A.	k.A.	k.A.
95. Perzentil des Niederschlags [mm/Tag]	10,3	1,3	2,5	18,2	k.A.	k.A.
99. Perzentil des Niederschlags [mm/Tag]	19,3	2,3	5	k.A.	k.A.	k.A.

#### 4.2.3. Mittlere Windgeschwindigkeit

Prognosen bezüglich der zukünftigen Windverhältnisse deuten, sowohl für Gesamtdeutschland als auch für die Region, auf keine eindeutige Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit hin. Die Änderungen sind modellabhängig und variieren zwischen einer leichten Zunahme und Abnahme (Brienen et al., 2020; Pfeifer et al., 2021).

Für Starkwindereignisse und Sturmfluten an der Nordseeküste wird eine tendenzielle Zunahme prognostiziert. Da diese schwer zu modellieren sind, selten auftreten und in hohem Maße von lokalen Faktoren abhängen, sind zum Zeitpunkt keine konkreten Aussagen möglich (DWD & EWK, 2021).

#### 4.2.4. Relativer Meeresspiegel und Sturmfluten

Der zukünftige Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels betrifft auch die Deutsche Bucht. Das Ausmaß hängt stark vom Emissionsszenario ab. Während der Meeresspiegel in den vergangenen Jahrzehnten im langjährigen linearen Trend um etwa 1,7 mm pro Jahr gestiegen ist, wird sich dieser Anstieg unabhängig vom Szenario künftig beschleunigen. Unter dem

RCP8.5-Szenario könnte der Meeresspiegel bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur Periode 1986-2005 um 61 bis 110 cm steigen (IPCC, 2019). Dies führt zu einer zunehmenden Gefährdung durch Sturmfluten und einer verstärkten Erosion von Küstenschutzbauwerken und Deichen, da kritische Sturmflutwasserstände aufgrund des höheren Ausgangsniveaus häufiger erreicht werden.

Der Landkreis Cuxhaven an der Deutschen Bucht zählt zu den Regionen in Deutschland, die besonders stark vom Meeresspiegelanstieg betroffen sind. Die bestehenden Deiche in der Region sollten jedoch auch bei einem Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100 weiterhin Schutz bieten, sodass voraussichtlich nur die flachen Bereiche vor den Deichen von Überflutung betroffen wären (NLWKN, 2024). Besonders gefährdet sind daher die Küstenökosysteme im Tidenbereich, wie das Watt und die Salzwiesen, da ihre Verlagerung landeinwärts begrenzt ist und sie bei einem anhaltenden Meeresspiegelanstieg dauerhaft überflutet werden könnten.

Sollten die Küstenschutzanlagen den zusätzlichen Anforderungen jedoch nicht standhalten, wären erhebliche Überflutungen zu erwarten. Abbildung 10 zeigt eine Simulation der voraussichtlich überfluteten Bereiche der deutschen Bucht unter dem RCP8.5-Szenario zum Ende des Jahrhunderts in hellblau, im Vergleich zu einem Szenario ohne Küstenschutz oder bei einem Deichbruch in orange. In diesem Fall wäre für den Landkreis Cuxhaven ein Flächenverlust von 828 km<sup>2</sup> zu erwarten, der auch Geestland betrifft (Schuldt et al., 2020). Damit gehört Geestland zu den am potenziell stärksten betroffenen Regionen in Deutschland. Ein solcher Landverlust hätte weitreichende Folgen für die lokale Bevölkerung, landwirtschaftliche Nutzflächen, Infrastrukturen und natürliche Ökosysteme.

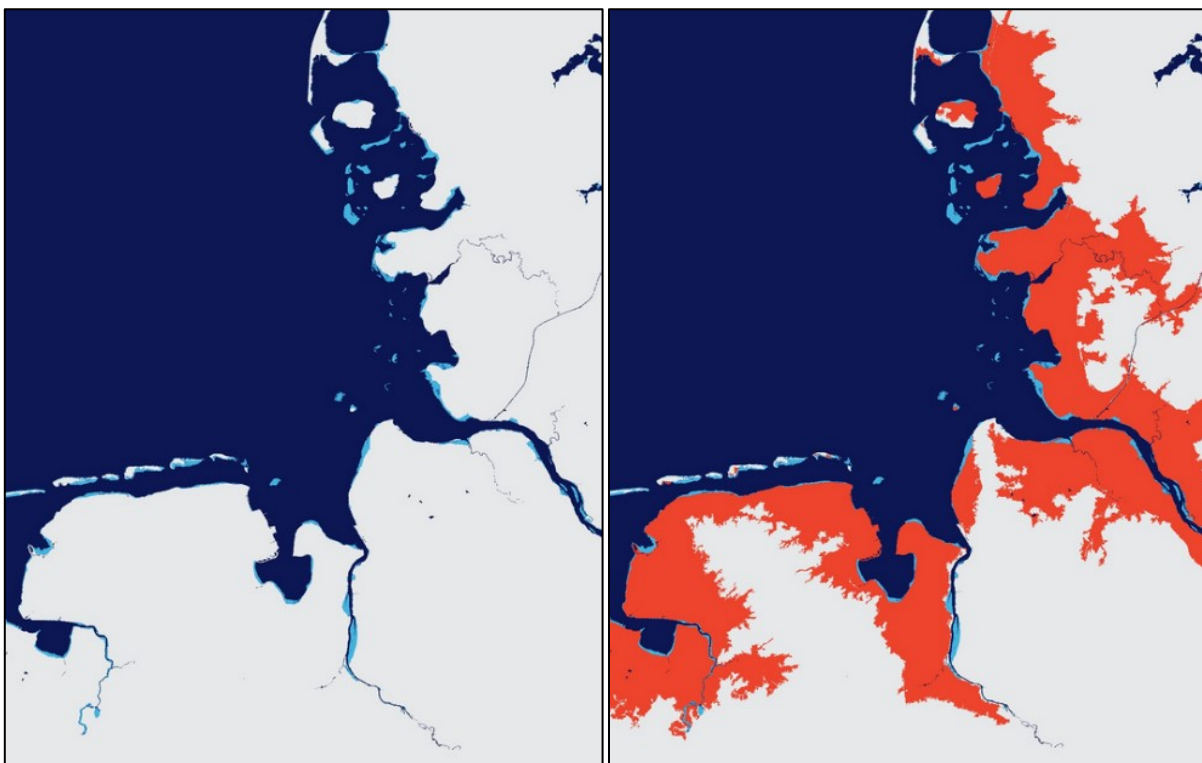


Abbildung 10 Meeresspiegel in der deutschen Bucht unter RCP8.5 in 2100 mit (links - hellblau) und ohne (rechts - orange) bestehende Küstenschutzanlagen, Quelle: Schuldt et al., 2020

#### 4.2.5. Extremwetterereignisse

Genauere Prognosen zur Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen sind aufgrund ihrer generellen Unregelmäßigkeit, Seltenheit und Komplexität der Entstehung nur begrenzt möglich. Für den Nordwesten Deutschlands wird ein genereller Trend hin zu häufigeren und längeren Hitzeperioden und extremen Niederschlagsereignissen prognostiziert. Einerseits werden vermehrte Starkregenereignisse, gleichzeitig aber auch längere Dürreperioden erwartet (DWD & EWK, 2021; UBA, 2021).

Extreme Niederschlagsereignisse werden durch ein grundlegendes physikalisches Gesetz beeinflusst: Nach der Clausius-Clapeyron-Gleichung kann Luft mit jedem Grad Erwärmung etwa 7 % mehr Wasser aufnehmen. Steigende Temperaturen und ein zunehmendes Dampfdruckdefizit der Atmosphäre fördern daher die Entstehung von Dürren. Gleichzeitig führt der erhöhte Wasserdampfgehalt in einer wärmeren Atmosphäre zu intensiveren Niederschlägen. Für den Nordwesten Deutschlands werden insbesondere eine deutliche Zunahme der Niederschläge und auch eine Zunahme der Niederschlagsintensität erwartet. Für den Sommer kann keine eindeutige Aussage hinsichtlich der Niederschlagsmenge getroffen werden, allerdings wird auch hier eine Zunahme der mittleren Niederschlagsintensität prognostiziert.

Diese intensiveren Niederschläge erhöhen die Hochwassergefahr. Insbesondere nach einer längeren Trockenperiode können die Böden das Wasser zunächst nur langsam aufnehmen. In Siedlungsgebieten besteht die Gefahr der Überlastung der Kanalisation. Oberflächlich abfließendes, verschmutztes Wasser aus Siedlungsgebieten und landwirtschaftlichen Flächen fließt dann in großen Mengen in Binnengewässer wie die Geeste und führt dort durch übermäßigen Nährstoffeintrag zur Eutrophierung. Darüber hinaus besteht insbesondere im Winter bei anhaltenden starken Regenfällen das Risiko für Staunässe auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Hinsichtlich der Intensität und Häufigkeit von Stürmen an der Nordseeküste wird von keiner deutlichen Änderung ausgegangen (DWD & EWK, 2021; UBA, 2021).

### 5. Sensitivität

Die Sensitivität gegenüber dem Klimawandel beschreibt, wie stark Ökosysteme, die Bevölkerung oder Infrastrukturen auf klimatische Veränderungen reagieren. Sie kann durch verschiedene Indikatoren erfasst werden, wie etwa demografische Merkmale, wirtschaftliche Struktur, Regierungsführung, ökologische Bedingungen oder die Abhängigkeit von bestimmten Ressourcen, die eine Region besonders anfällig für Klimarisiken machen und ihre Anpassungsfähigkeit einschränken können. So beeinflusst beispielsweise die Altersverteilung der Bevölkerung die Anfälligkeit des Gesundheitssystems und der dort Beschäftigten für klimabedingte Leistungseinschränkungen. Dicht besiedelte Gebiete sind tendenziell anfälliger für Klimarisiken, da sowohl die Anzahl als auch die Empfindlichkeit der betroffenen Infrastruktur und Bevölkerung höher sind. Die Bevölkerung im städtischen Raum ist stark von komplexen, hochtechnologischen Infrastrukturnetzen abhängig. Die Umweltbedingungen sind weit von einem natürlichen Zustand entfernt, wodurch es beispielsweise zur Bildung urbaner Hitzeinseln kommen kann. Hohe Versiegelungsgrade erhöhen darüber hinaus die Gefahr von urbanen Sturzfluten. Aufgrund seiner ländlichen Struktur ist Geestland daher weniger anfällig für diese spezifischen, städtischen Risiken.

Die europäische Kommission hat über den *Risk Data Hub* Indikatoren eingeführt, die eine quantitative Bewertung der systemischen Vulnerabilität gegenüber Katastrophenrisiken ermöglichen soll. Die Indikatoren umfassen fünf Dimensionen: sozial, wirtschaftlich, politisch, ökologisch und physisch. Sie liefern eine einheitliche Grundlage für die Vulnerabilitätsbetrachtung auf europäischer Ebene (EC. JRC, 2023).

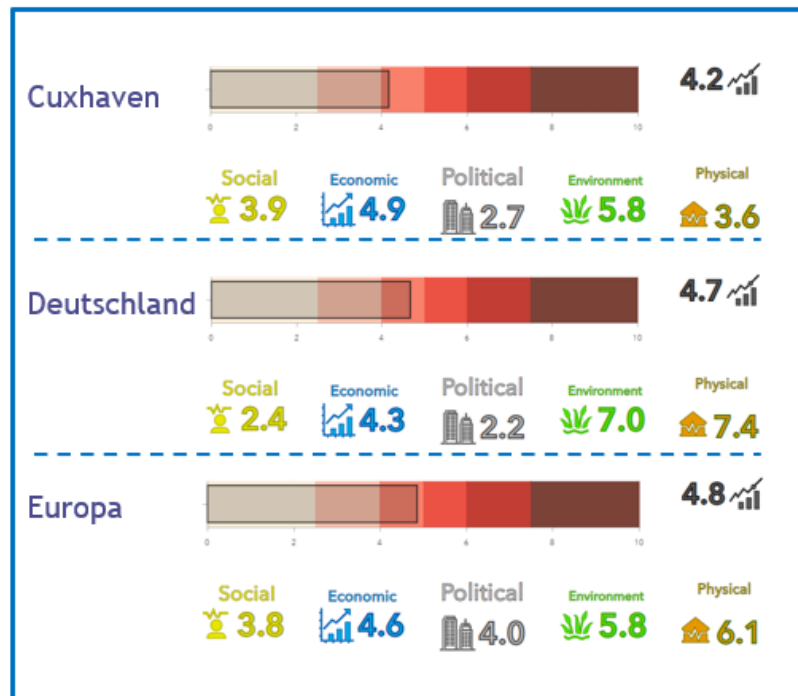


Abbildung 11: DRMKC Vulnerabilitätsindex des Landkreises Cuxhaven im europäischen Vergleich, Quelle: EC. JRC, 2023

Jede dieser Dimensionen nutzt verschiedene Subindikatoren, wie beispielweise das BIP-pro-Kopf, Bevölkerungsdichte oder die Altersabhängigkeit, die aus verschiedenen nationalen und europäischen Datenbanken wie Eurostat zusammengetragen werden. Die Indikatoren werden auf einer Skala von 1-10 normalisiert und gewichtet zu einem multidimensionalen Gesamtindikator aggregiert, um einen Vergleich zwischen Regionen zu ermöglichen.

Obwohl der verwendete Vulnerabilitätsbegriff hier etwas breiter gefasst wird, da er auf die allgemeine Einschätzung von Katastrophenrisiken und nicht speziell auf Klimarisiken abzielt, liefert der Index wertvolle Anhaltspunkte für nachfolgende Analysen. Da der Vulnerabilitätsindex nur bis zur NUTS3-Ebene (Kreise und kreisfreie Städte) aufgelöst wird, wurde für Geestland der Index des LK Cuxhaven verwendet (vgl. Abbildung 11). Dieser liegt mit einem Wert von 4,2 unter dem deutschen und europäischen Durchschnitt und indiziert eine verringerte systemische Vulnerabilität. Allerdings zeigen die sozioökonomischen Dimensionen eine vergleichsweise erhöhte Anfälligkeit für Katastrophen und klimatische Risiken in diesen Bereichen.

Die sozioökonomische Sensitivität wird im Folgenden mit spezifischen sozioökonomischen Daten für Geestlands näher beleuchtet. Zukünftige sozioökonomische Entwicklungen sind von vielen Faktoren abhängig und schwer vorherzusagen. Daher wird in der vorliegenden Studie größtenteils auf aktuelle sozioökonomische Daten für die Bewertung der zukünftigen Klimarisiken Geestlands zurückgegriffen und auf unsichere Prognosen verzichtet.

## 5.1. Sozialstruktur

Mit 31.713 Einwohnerinnen und Einwohnern auf 356 km<sup>2</sup> ist Geestland eine Stadt mit geringer Besiedlungsdichte (88,4 Personen/km<sup>2</sup>). Geestland zählt zu den strukturschwachen Regionen in Deutschland und wird dem ländlichen Raum zugeordnet. Eine vom Landkreis Cuxhaven

beauftragte Bevölkerungsprognose (vgl. Abbildung 12) gibt Aufschluss über mögliche zukünftige demografische Entwicklungen (PTV Transport Consult GmbH, 2016).

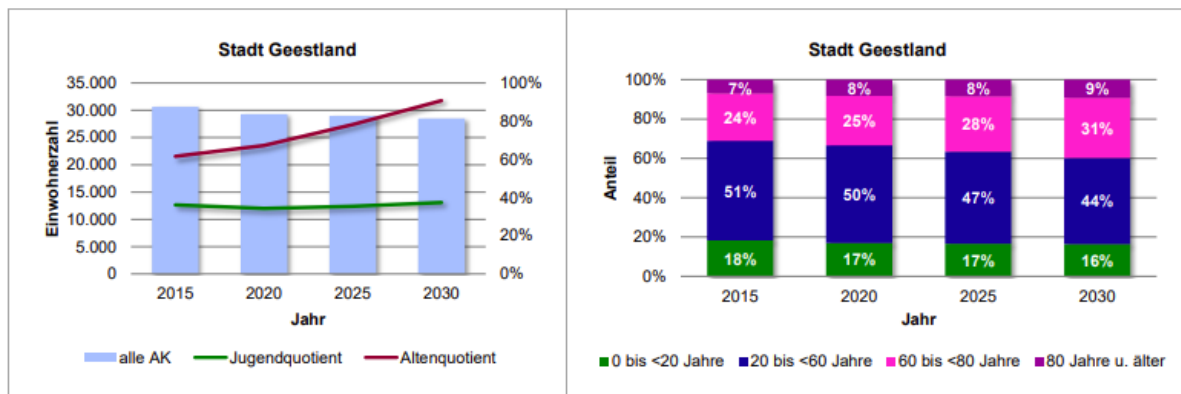


Abbildung 12: Demografische Prognosen für den Landkreis Cuxhaven, Quelle: PTV Transport Consult GmbH, 2016

Demnach wird die Bevölkerung in Geestland bis 2030 im Vergleich zu 2015 insgesamt um 6,9 % trotz leicht positiven Wanderungssaldos abnehmen, da die Zahl der Sterbefälle die Zahl der Geburten übersteigt. Demgegenüber prognostiziert das Landesamt für Statistik Niedersachsen (LSN) einen leichten Anstieg der Bevölkerung von 31.507 im Jahr 2022 auf 32.861 im Jahr 2032 (LSN, 2024a).

Beide Quellen stimmen jedoch in der prognostizierten Entwicklung des demographischen Wandels überein. Besonders auffällig ist die rückläufige Entwicklung der unter 20-Jährigen, während der relative Anteil der über 60-Jährigen stark zunimmt. Der sogenannte Altenquotient (Anteil der Personen über 65 Jahren im Verhältnis zu Personen im erwerbsfähigen Alter von 15-65 Jahren) liegt mit etwa 42% schon jetzt fast 8 % über dem bundesweiten Durchschnitt. Bis 2032 wird dieser voraussichtlich deutlich auf etwa 55 % ansteigen (LSN, 2024a).

Ältere Menschen sind besonders anfällig für Hitzestress und andere gesundheitsbezogene Klimarisiken (McDermott-Levy et al., 2019). Die zunehmende Überalterung führt daher zu einer erhöhten Sensitivität gegenüber der Zunahme von heißen Tagen und Tropennächten (vgl. Tabelle 4). Zudem ist diese Bevölkerungsgruppe stärker auf medizinische Versorgung und soziale Dienstleistungen angewiesen, die bei Extremwetterereignissen ausfallen können, sowie durch eine meist eingeschränkte Mobilität schwieriger in der Lage derartige Stressoren zu vermeiden und zu bewältigen. Gleichzeitig wird das Wirtschaftssystem aufgrund des geringeren Anteils erwerbstätiger Personen anfälliger und weniger anpassungsfähig gegenüber klimatischen Risiken.

## 5.2. Wirtschaftsstruktur und Governance

In der Stadt Geestland sind 6.752 Personen beschäftigt, davon 3.876 Einpendler aus dem Umland, während 9.025 Personen auspendeln (Stand: Juni 2023). Die hohe Zahl an Auspendlern und die Abhängigkeit von Einpendlern erhöht die Anfälligkeit der lokalen Wirtschaft gegenüber Störungen im Verkehrs- und Transportwesen. Die Beschäftigten verteilen sich auf die Wirtschaftsbereiche Dienstleistungen (55 %), Produzierendes Gewerbe (22 %),

Handel, Gastgewerbe und Verkehr (19 %) sowie Land- und Forstwirtschaft (4 %). Die Arbeitslosenquote liegt bei 5,7 % und entspricht damit etwa dem Bundesdurchschnitt.

Das Bruttoinlandsprodukt im Landkreis Cuxhaven betrug 2021 etwa 26.325 € je erwerbstätiger Person, was 61 % des Bundesdurchschnitts entspricht. Die Bruttowertschöpfung in Geestland lag bei 83.838 € pro Kopf im Produzierenden Gewerbe und 56.555 € im Dienstleistungsbereich, was 93 % bzw. 84 % des Landesdurchschnitts ausmacht. Die vergleichsweise niedrigere Bruttowertschöpfung und das unterdurchschnittliche Bruttoinlandsprodukt könnten als Indikator für eine begrenzte Anpassungskapazität der Stadt interpretiert werden, da möglicherweise finanzielle Ressourcen für Anpassungsmaßnahmen und für die Bewältigung der Folgen des Klimawandel fehlen. Nichtsdestotrotz hat sich Geestland durch seine Vorreiterrolle in frühzeitigen und proaktiven Nachhaltigkeitsbestrebungen in der Vergangenheit positiv hervorgetan. Geestlands Nachhaltigkeitsstrategie, die frühzeitige Entsprechenserklärung zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex, Auszeichnungen als energieeffiziente Kommune und mit dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis sowie zahlreiche weitere Klimaschutzprojekte bezeugen das Bewusstsein und den politischen Willen, sich den Herausforderungen des Klimawandels zu stellen.

## 6. Räumliche Exposition

Für die Betrachtung der Exposition Geestlands gegenüber Folgen des Klimawandels sind sowohl Landnutzung als auch die Höhenlage sowie vorhandene Ökosysteme und Böden von Bedeutung. Beispielsweise hat ein hoher Versiegelungsgrad einen verstärkenden Einfluss auf das Hochwasserrisiko, als auch auf die Anfälligkeit gegenüber Hitze. Die Anwesenheit von Großstädten und kritischer Infrastruktur wiederum erhöhen das Schadenspotential bei Überflutungen. In diesem Kapitel werden die allgemeinen raumprägenden Merkmale Geestlands in Bezug auf die Folgen des Klimawandels vorgestellt. Die handlungsfeldspezifische räumliche Exposition wird anschließend jeweils unter 7 in den Abschnitten zu den Klimarisiken in den einzelnen Handlungsfeldern erläutert.

Abbildung 13 zeigt die geografische Lage Geestlands in Norddeutschland, zentral im LK Cuxhaven. Im Süden wird Geestland von Bremerhaven und der Geeste (Fluss) begrenzt. Sie ist aus der Fusion der Stadt Langen mit der Samtgemeinde Bederkesa entstanden und besteht aus insgesamt 16 Ortschaften. Mit rund 356 km<sup>2</sup> Fläche gehört sie zu den flächengrößten Städten in Deutschland. Mit der Ortschaft Imsum, die unmittelbar hinter dem Deich der Außenweser liegt, grenzt die Stadt Geestland im Westen, nördlich von Bremerhaven, direkt an die Nordsee. Hier liegt das Wattenmeer, welches als Teil des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer vom Landkreis Cuxhaven betreut wird. Das Watt zeichnet sich durch gezeitenabhängige Flachwasserzonen mit hoher biologischer Produktivität und Artenvielfalt aus. Es dient als Brut- und Nahrungsgebiet für zahlreiche Vogelarten, darunter auch Zugvögel, die auf das reichhaltige Nahrungsangebot angewiesen sind. Außerdem ist es ein wichtiges Laich- und Aufwuchsgebiet für viele Fischarten, die in diesen Flachwasserzonen optimale Bedingungen vorfinden.

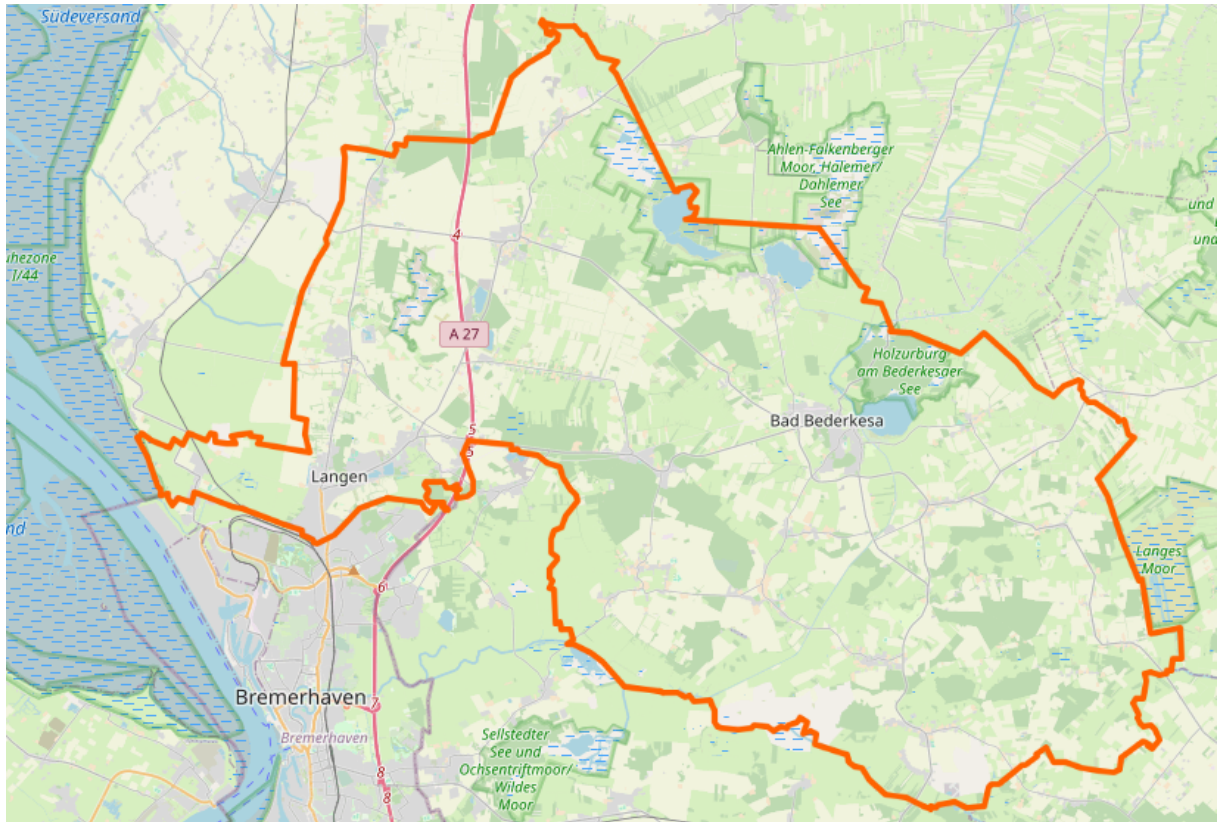


Abbildung 13: Topografische Karte Geestland, © OpenStreetMap Mitwirkende unter ODbL

Abbildung 14 stellt die Landnutzungsverteilung der Kommune dar. Landwirtschaftliche Nutzflächen nimmt etwa 75 % der Fläche ein, davon werden etwas mehr als die Hälfte als Grünland genutzt. Das Landschaftsbild ist ländlich geprägt und es gibt keine Großstädte und eine relativ geringe Waldbedeckung. Die einwohnerstärkste Ortschaft mit etwa 11.000 Einwohnerinnen und Einwohnern ist Langen bei Bremerhaven. In Geestland gibt es 294 landwirtschaftliche Betriebe, die eine Fläche von 25.182 ha mit etwa 474.000 Hühnern, 50.000 Rindern, 8.000 Schweinen und 270 Schafen bewirtschaften. Damit gehört Geestland zu den Regionen in Deutschland mit dem höchsten Rinderbesatz pro Hektar. Die Milchviehwirtschaft spielt eine große Rolle und prägt die Grünlandbewirtschaftung. Das Grundfutter der Kühe (Mais- und Grassilage) wird überwiegend von den Höfen selbst hergestellt. Im Ackerbau wird vor allem Winterweizen, aber auch Roggen und Gerste angebaut.

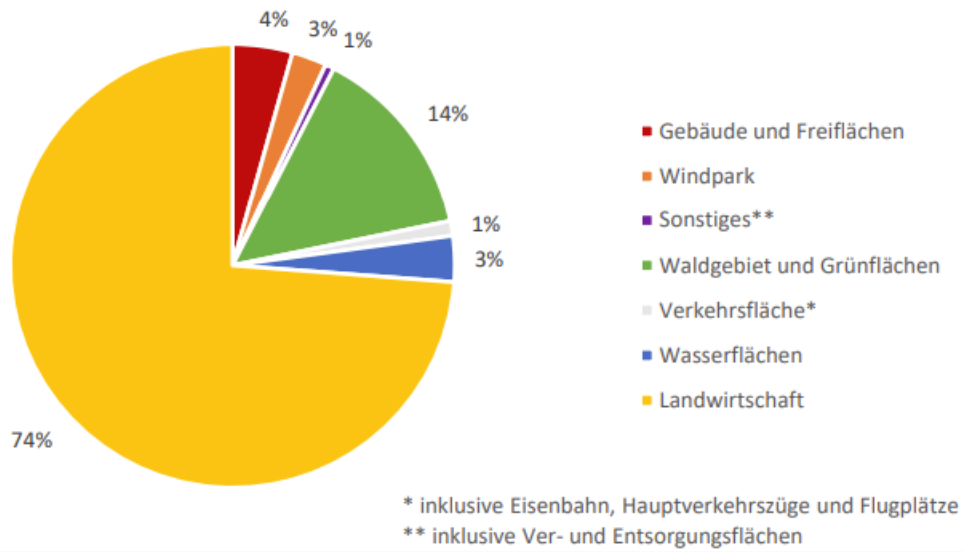


Abbildung 14: Flächennutzung Stadt Geestland, Quelle: Stadt Geestland, 2021

Geestland zeichnet sich durch eine flache Topografie mit Geländehöhen von etwa 1 m unter bis maximal 30 m über Normalhöhennull (NHN) aus. Die Landschaft reicht von flachen Marschgebieten entlang der Nordseeküste bis zu leicht erhöhten Geestgebieten im Binnenland. Drei Bodenlandschaften prägen die Region: Die Geest ist ein typischer Landschaftstyp Norddeutschlands, der aus eiszeitlichen Sandablagerungen entstanden ist. Die lehmig-sandigen Böden der Geest sind weniger fruchtbar. In der Karte des Höhenstufenmodells (Abbildung 15) zeichnet sich klar die Hohe Lieth ab, ein in Nord-Süd-Richtung verlaufender Geestrücken zwischen den Städten Cuxhaven, Langen und Bremerhaven, der die westlich angrenzende Marsch um 20-25 m überragt.

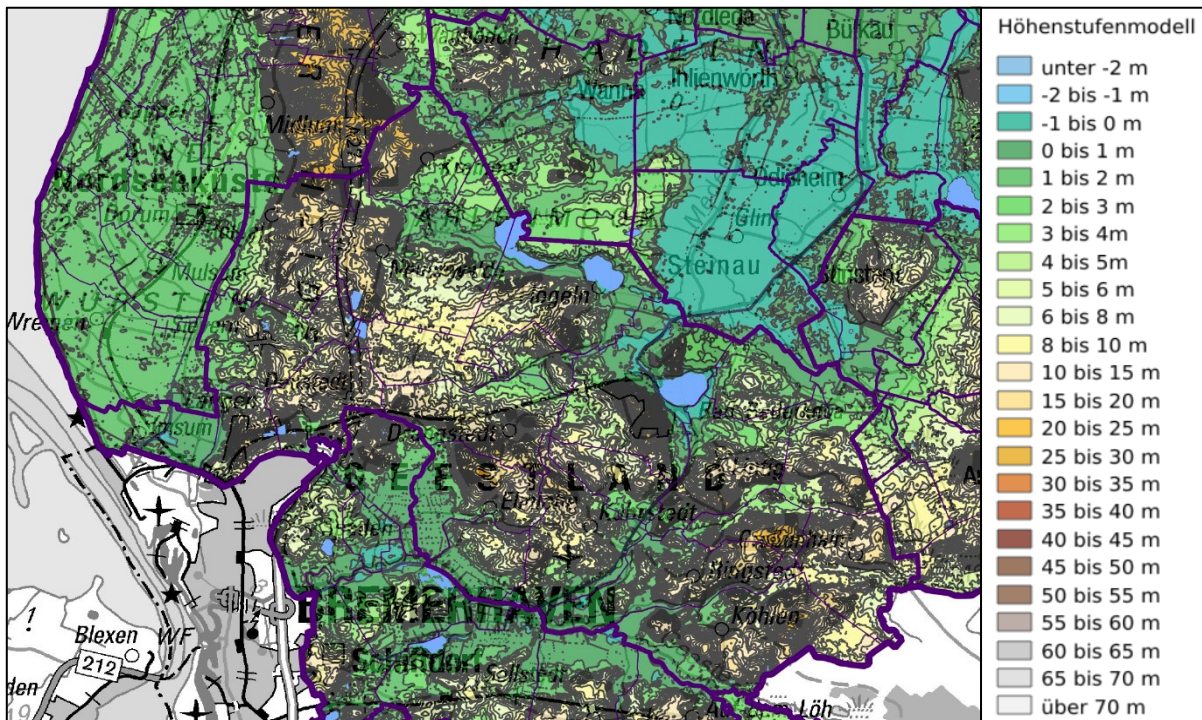


Abbildung 15 Karte der Höhenstufen Geestlands, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Das Landschaftsbild der Geest wird durch Wallhecken geprägt. Diese bepflanzten Erdwälle werden seit über 500 Jahren genutzt und stehen unter dem Schutz des Niedersächsischen Naturschutzgesetzes. Als Biotope bieten sie Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten, verbessern das Kleinklima, verringern Bodenerosion und schützen Weidevieh vor Witterungseinflüssen. Die Marsch bestimmt die küstennahen Regionen und ist durch Sedimentation und Verlandung von Salzwiesen aus dem Watt entstanden. Während die sandigen Geestgebiete vor allem im Winter wichtige Gebiete für die Grundwasserneubildung darstellen, wirken die Marschen ganzjährig grundwasserzehend (Hydor Consult GmbH, 2023).

Ein besonderes Merkmal der Region ist der hohe Anteil an Moorböden, die 37 % der Fläche des gesamten Landkreises Cuxhaven ausmachen und sich, mit Ausnahme der Küstenregionen, über das gesamte Gebiet verteilen. Der überwiegende Teil dieser Moorflächen wurde zur landwirtschaftlichen Nutzung entwässert, sodass heute 74 % als Grünland und 11 % als Ackerland genutzt werden (LBEG & NLWKN, 2024). Quer durch Geestland verbindet der Schifffahrtsweg Elbe-Weser die Elbe im Norden mit der Weser im Westen.

## 7. Klimawirkungen- und Risiken in ausgewählten Handlungsfeldern

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse zu den zukünftigen klimatischen Entwicklungen, zur Sensitivität und zur räumlichen Exposition handlungsfeldspezifisch zusammengeführt und so die Betroffenheit und Vulnerabilität Geestlands gegenüber den Folgen des Klimawandels dargelegt. Die aus der Verschneidung resultierenden Klimawirkungen und -risiken werden für ausgewählte, relevante Handlungsfelder beschrieben. Im Rahmen dieser KWRA wird ein vergleichender Ansatz zur Reduktion der Gesamtkomplexität umgesetzt. Demnach werden die lokalen Besonderheiten Geestlands und entsprechende Abweichungen vom Bundesdurchschnitt herausgearbeitet. So werden die Klimawirkungen identifiziert, von denen Geestland im nationalen Kontext besonders betroffen ist und die daher differenziert betrachtet werden sollten. Für Systeme mit geringen Abweichungen in klimatischen Einflüssen, räumlichen Vorkommen und/oder Sensitivitäten kann hingegen auf die Ergebnisse der bundesweiten KWRA (UBA, 2021) zurückgegriffen werden. Das Screening erfolgt für 37 Klimawirkungen in 9 Handlungsfeldern, nach Empfehlung des UBA (2022) für kommunale KWRA. Darüber hinaus wurde das Handlungsfeld *Landwirtschaft*, obwohl in den UBA-Empfehlungen nicht genannt, aufgrund der geführten Stakeholder-Diskussionen und des hohen Flächenanteils als besonders relevant eingestuft und als zusätzliche Klimawirkung in die Analyse miteinbezogen.

Das Screening basiert auf der Literaturlauswertung und den durchgeführten Expertenbefragungen. Die Bewertung der relativen Betroffenheit Geestlands erfolgt qualitativ in vier Stufen:

- **Gering:** Geestland ist weniger betroffen als der Bundesdurchschnitt; lokale klimatische, räumliche oder sozioökonomische Faktoren mildern die Auswirkungen ab oder betroffene Systeme kommen räumlich gar nicht vor.
- **Niedrig:** Geestland weist eine durchschnittliche Betroffenheit im Vergleich zum Bundesdurchschnitt auf und es gibt keine signifikanten Abweichungen.

- **Mittel:** Geestland ist etwas stärker als der Bundesdurchschnitt betroffen. Lokale Besonderheiten erhöhen die Betroffenheit.
- **Hoch:** Geestlands Betroffenheit ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt signifikant erhöht. Lokale klimatische Einflüsse, besondere Expositionsfaktoren (wie ein besonders hohes Vorkommen der potenziell betroffenen Systeme) oder stark ausgeprägte sozioökonomische Sensitivitäten führen zu einer besonders erhöhten Betroffenheit.

Klimawirkungen werden in diese Analyse einbezogen, wenn die Betroffenheit Geestlands im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt als mindestens *mittel* oder *hoch* eingeschätzt wird. Klimawirkungen, für die die räumlichen Voraussetzungen in diesem Gebiet kaum oder gar nicht vorkommen, wie beispielsweise die Auswirkungen fehlender Schneesicherheit auf den Wintertourismus, erfordern keine weiteren Anpassungsmaßnahmen und werden daher nicht weiter in dieser Arbeit behandelt.

Im Verlauf des Screenings wurden 12 relevante Klimawirkungen in 5 Handlungsfeldern, wie in Tabelle 6 dargestellt, identifiziert. Begründete Erläuterungen zur Einschätzung der relativen Betroffenheit finden sich im Anhang.

Folgende fünf Handlungsfelder werden aufgrund einer relativen Betroffenheit, die als *geringer*, *niedrig* bzw. *niedrig-mittel* im Vergleich zum Bundesschnitt eingeschätzt wurde, nicht weiter detailliert betrachtet: *Boden*, *Wald- und Forstwirtschaft*, *Bauwesen*, *Industrie und Gewerbe* und *Menschliche Gesundheit*. Dabei ist zu beachten, dass der vergleichende Ansatz lediglich die Abweichung von der bundesweiten Betroffenheit betrachtet und keine Aussage über die konkrete Ausprägung des Klimarisikos trifft. Die Bewertung trifft daher keine unmittelbare Aussage über den Handlungsbedarf und welche spezifischen Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind.

Beispielsweise wird das Klimarisiko für *Sturzfluten (Versagen von Entwässerungseinrichtungen und Überflutungsschutzsystemen)* in der KWRA 2021 als *mittel* bis *hoch* eingeschätzt. In Geestland liegen diesbezüglich sowohl Faktoren, die die Vulnerabilität erhöhen, als auch solche, die sie verringern, vor. Zu ersteren zählen die bei Starkregen und gleichzeitig hohem Tidewasserstand eingeschränkte Sielkapazität, die begrenzte Kapazität der Kanalisation in den Siedlungsbereichen sowie eine erhöhte Binnenhochwassergefahr durch Rückstau. Auf der anderen Seite wirken sich flache Topografien ohne starke Gefälle und dadurch geringere Fließgeschwindigkeiten, der geringe Versiegelungsgrad in der ländlich geprägten Region sowie die gut organisierten Unterhaltungs- und Wasser- sowie Bodenverbände mildernd auf die Vulnerabilität aus. Insgesamt wurde der Einfluss dieser Faktoren als ausgleichend bewertet, sodass die lokale Betroffenheit von pluvialen oder fluvialen Sturzfluten im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt weder signifikant erhöht noch verringert ist. Die relative Abweichung der Betroffenheit wurde daher als *niedrig* eingestuft, weshalb diese Klimawirkung nicht weiter für den kommunalen Kontext analysiert wurde. Stattdessen wird hier auf die Ergebnisse der Referenzstudie KWRA 2021 verwiesen.

Tabelle 6: Ergebnisse des Screening-Prozesses zur Identifikation relevanter zu betrachtender Handlungsfelder und Klimawirkungen (Auswahl blau markiert)

Handlungsfeld	Klimawirkung	Eingeschätzte relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt
<b>Biologische Vielfalt</b>	Veränderung der Länge der Vegetationsperiode und Phänologie	Geringer
	Ausbreitung invasiver Arten	Hoch
	Verlust an genetischer Vielfalt	Hoch
	Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände	Hoch
	Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten	Mittel
	Schäden an Wäldern	Geringer - Niedrig
	Ökosystemleistungen	Hoch
<b>Boden</b>	Bodenerosion durch Wasser	Niedrig - Mittel
	Bodenerosion durch Wind	Niedrig - Mittel
<b>Wald- und Forstwirtschaft</b>	Hitze- und Trockenstress	Geringer - Niedrig
	Stress durch Schädlinge/Krankheiten	Geringer - Niedrig
	Waldbrandrisiko	Geringer - Niedrig
	Nutzfunktion: Holztertrag	Geringer - Niedrig
<b>Küsten- und Meeresschutz</b>	Naturräumliche Veränderung an Küsten	Hoch
	Beschädigung oder Zerstörung von Siedlungen und Infrastruktur an der Küste	Niedrig
	Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten	Mittel - Hoch
<b>Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft</b>	Niedrigwasser	Niedrig
	Hochwasser	Mittel - Hoch
	Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen	Mittel
	Sturzfluten (Versagen von Entwässerungseinrichtungen und Überflutungsschutzsystemen)	Niedrig
	Gewässertemperatur und Eisbedeckung und biologische Wasserqualität	Niedrig - Mittel
	Grundwasserstand und Grundwasserqualität	Mittel
	Mangel an Bewässerungswasser	Geringer - Niedrig
<b>Bauwesen</b>	Schäden an Gebäuden aufgrund von Starkregen	Geringer - Niedrig
	Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser	Geringer - Niedrig
	Vegetation in Siedlungen	Geringer - Niedrig
	Stadtklima/Wärmeinseln	Geringer
	Innenraumklima	Geringer - Niedrig
<b>Industrie und Gewerbe</b>	Leistungseinbußen von Beschäftigten	Geringer - Niedrig
<b>Tourismuswirtschaft</b>	Einschränkung touristischer Angebote: Auswirkungen fehlender Schneesicherheit auf den Wintertourismus	Geringer
	Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	Niedrig - Mittel
	Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft	Mittel
<b>Menschliche Gesundheit</b>	Hitzebelastung	Geringer

<b>Handlungsfeld</b>	<b>Klimawirkung</b>	<b>Eingeschätzte relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt</b>
	Allergische Reaktionen durch Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft	Geringer - Niedrig
	UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insb. Hautkrebs)	Niedrig - Mittel
	Atembeschwerden (aufgrund von Luftverunreinigungen)	Geringer
	Auswirkungen auf das Gesundheitssystem	Niedrig - Mittel
<b>Landwirtschaft</b>	Hitzestress bei und Leistung von Nutztieren	Niedrig - Mittel
	Abiotischer Stress (Pflanzen)	Mittel

Im Anschluss an das Screening werden die ausgewählten Klimawirkungen operationalisiert, indem die zugehörigen klimatischen Einflüsse, räumlichen Expositionen und Sensitivitäten identifiziert und miteinander verknüpft werden. Die Ergebnisse stützen sich neben einer umfassenden Literaturrecherche auf subjektivistische Ansätze. Letztere umfassen Experteninterviews, eine Onlineumfrage und Stakeholder-Treffen, die im Rahmen des Projekts “AnExGe” durchgeführt wurden, um subjektive Einschätzungen sowie Erfahrungen zu den Risiken und Chancen des Klimawandels zu erfassen. Diese Kombination aus wissenschaftlicher Analyse und praxisnahen Perspektiven ermöglicht eine fundierte und kontextspezifische Informationsgewinnung.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Kernaussagen der Klimarisikobewertung zusammengefasst. Zudem wird jeweils die entsprechende Bewertung der bundesweiten KWRA 2021 (UBA, 2021) und des Projekts nordwest2050 für die Metropolregion Bremen-Oldenburg (Schuchardt & Wittig, 2012) aufgeführt. Auf eine Einschätzung eines handlungsfeldspezifischen Gesamttrisikos für Geestland wird verzichtet, da nur auf die vorausgewählten Klimawirkungen näher eingegangen wird.

## 7.1.1. Biologische Vielfalt

### **Kernaussagen zum Handlungsfeld *Biologische Vielfalt***

Die empfindlichen Ökosysteme, wie Moore und Wattenmeer, sind stark von spezifischen klimatischen Bedingungen abhängig und erbringen wertvolle Ökosystemleistungen wie Kohlenstoffspeicherung, Wasserregulierung, Küstenschutz und Lebensraumbildung.

- Marine Einfallsvektoren, steigende Wassertemperaturen und mildere Winter stellen ein **hohes** Risiko für die *Ausbreitung invasiver Arten* dar, besonders im bereits betroffenen Wattenmeer.
- Stressfaktoren wie Temperatur- und Meeresspiegelanstieg, maritime Hitzewellen, veränderte Niederschlagsmuster und die *Ausbreitung invasiver Arten* stellen ein mittelfristig **mittleres** und langfristig **hohes** Risiko für den *Verlust genetischer Vielfalt* und die *Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände* dar.
- Es besteht eine **hohe** Klimarisiko für *Schäden an wassergebundenen Habitaten, Feuchtgebieten*: Starkregen (→ Überschwemmungen, Eutrophierung) und Dürren (→ Austrocknung, Degradation, Moorbrände) gefährden Binnengewässer und (insbesondere entwässerte) Moore. Sinkende Grundwasserspiegel können zur Versalzung küstennaher Gewässer beitragen.
- Die *Ökosystemleistungen* des Wattenmeers und der Moore sind infolgedessen einem mittelfristig **mittleren** und langfristig **hohem** Risiko durch klimawandelbedingte Schäden ausgesetzt.

Die *biologische Vielfalt* ist von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren unserer Ökosysteme und damit für die Bereitstellung zahlreicher lebenswichtiger *Ökosystemleistungen*, wie Kohlenstoffspeicherung, Wasserregulierung, Küstenschutz und die Erhaltung von Lebensräumen. In Geestland sind zahlreiche empfindliche Ökosysteme wie das Wattenmeer, Moore und Feuchtgebiete vorhanden, die eine zentrale Rolle für die regionale Umwelt und die Lebensqualität spielen und gleichzeitig als Puffer gegen die Folgen des Klimawandels wirken. Die hier vorkommenden Arten werden bereits durch menschliche Aktivitäten wie Landwirtschaft, Baumaßnahmen, den allgemeinen Flächenverbrauch und Fischerei belastet. Der Klimawandel bedroht diese *biologische Vielfalt* zusätzlich. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und der Meeresspiegelanstieg setzen diese empfindlichen Ökosysteme unter Druck. Diese Veränderungen gefährden die genetische Vielfalt, verschieben Lebensräume und beeinträchtigen so die Stabilität und Funktionsfähigkeit der Ökosysteme. Der Verlust der biologischen Vielfalt verschärft wiederum den Klimawandel, denn geschädigte Ökosysteme wie austrocknende Moore setzen den zuvor über lange Zeit gebunden Kohlenstoff schlagartig wieder frei und können sich von einer CO<sub>2</sub>-Senke zur Quelle entwickeln.

Als Reaktion auf diese Herausforderungen haben Dänemark, Deutschland und die Niederlande zum Schutz des Wattenmeers den Trilateralen Wattenmeerplan beschlossen (CWSS, 2024). Dieser zielt darauf ab, invasive Arten zu kontrollieren, die biologische Vielfalt und Lebensräume zu erhalten und die Ökosystemleistungen des Wattenmeers langfristig zu sichern.

Als besonders relevant lokale Einflussfaktoren wurden im Verlauf der Expertengespräche und Umfragen das Vorkommen empfindlicher Ökosysteme, wie dem Wattenmeer, Marschen,

Mooren und Feuchtgebieten, genannt. Ein wichtiger klimatischer Einfluss ist die Zunahme der Wintertemperaturen und die prognostizierte starke Abnahme der Eis- und Frosttage.

### Bewertung des handlungsfeldspezifischen Klimarisikos in Vorarbeiten

Das Klimarisiko bzw. die Vulnerabilität des Handlungsfeldes wird in den Vorarbeiten als *mittel* bis *hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 7, Tabelle 8).

Tabelle 7: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Biodiversität und Naturschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012)

<b>Biodiversität und Naturschutz</b>		
Bewertung Projekt nordwest2050		
Potenzielle Auswirkungen	Anpassungskapazität	Vulnerabilität
mittel - hoch	mittel	mittel - hoch

Tabelle 8: Klimarisikobewertung des Handlungsfeldes "Biologische Vielfalt" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021)

<b>Biologische Vielfalt</b>				
Bewertung KWRA 2021				
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch
gering	mittel	mittel - hoch	mittel	hoch

Die Bewertung wird damit begründet, dass die vorhandene gesellschaftliche Anpassungskapazität angesichts der mittleren bis hohen Auswirkungen nicht ausreicht, um den derzeitigen Zustand der Ökosysteme und der biologischen Vielfalt zu erhalten. Die Bewertung hänge jedoch stark von den definierten Schutzziele ab, deren Eignung zu überprüfen sei (Schuchardt & Wittig, 2012).

#### 7.1.1.1. Ausbreitung invasiver Arten

Die Region ist durch den maritimen Einfluss von milden Wintern geprägt; das Fehlen von Frost und steigende (Meer-)Wassertemperaturen begünstigen die *Ausbreitung invasiver Arten*. Dies beschreibt die Einführung und Etablierung nicht einheimischer Arten, die Ökosysteme stören, die Biodiversität bedrohen und sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Schäden verursachen können. Heimische Arten, die an das ursprüngliche Klima angepasst sind werden benachteiligt, während mildere Winter die Überlebenschancen gebietsfremder Arten erhöhen, die an Frosttemperaturen nicht gewöhnt sind. Zudem verschiebt sich die Vegetationsperiode im Jahresverlauf nach vorne.

Küstenregionen wie Geestland bieten besonders viele Einfallstore für invasive Arten, die durch den Schiffsverkehr (Transport über Ballastwasser und Bewuchs des Rumpfes), den Import für Aquakulturen sowie durch terrestrische Vektoren wie Gartenbau, Tierhandel oder Entkommen aus botanischen Gärten und Zoos eingeschleppt werden können. Im deutschen Wattenmeer wurden bis 2020 bereits 92 marine gebietsfremde Makrobioota und 11 weitere Mikrobiota registriert, mit durchschnittlich zwei neuen Arten pro Jahr (Büttger et al., 2022). Diese Arten stammen vorwiegend aus dem Pazifik und dem Atlantik. Ein prominentes Beispiel ist die Pazifische Auster (*Magallana gigas*), die von den erhöhten Wassertemperaturen im flachen Wattbereich profitiert.



Abbildung 16: Pazifische Austern neben Miesmuscheln, Quelle: Ocean Summit 2024

Nicht einheimische Arten sind im Wattenmeer zu ständigen Bewohnern geworden und können nicht einfach entfernt werden, ohne Kollateralschäden im Ökosystem zu verursachen. In Anbetracht der zukünftigen Klimaprognosen ist zu erwarten, dass weitere gebietsfremde Arten hinzukommen werden.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für die *Ausbreitung invasiver Arten* ohne Anpassung als *mittel bis hoch* und langfristig als *hoch* bewertet (vgl. Tabelle 9). Aufgrund der höheren relativen Betroffenheit Geestlands durch die vorhandenen empfindlichen Ökosysteme, die Vielzahl mariner Eintragspfade, die bereits gegenwärtige Betroffenheit und die spezifischen klimatischen Bedingungen wird das Klimarisiko sowohl mittel- als auch langfristig als *hoch* eingestuft.

Tabelle 9: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Ausbreitung invasiver Arten" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Ausbreitung invasiver Arten						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch

#### 7.1.1.2. Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten

Geestland ist geprägt von einer Vielzahl empfindlicher wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete, darunter Hoch- und Niedermoore, wie in Abbildung 17 dargestellt. Das Wattenmeer ist ein bedeutender aquatischer Lebensraum und Schädigungen können Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben. Dennoch wird die Klimawirkung *Schäden an Küstenökosystemen* an dieser Stelle nicht explizit diskutiert, da bereits unter Kapitel 7.1.2 *Küsten- und Meeresschutz* näher auf die vergleichbare Klimawirkung *Naturräumlichen Veränderung an Küsten* eingegangen wird.

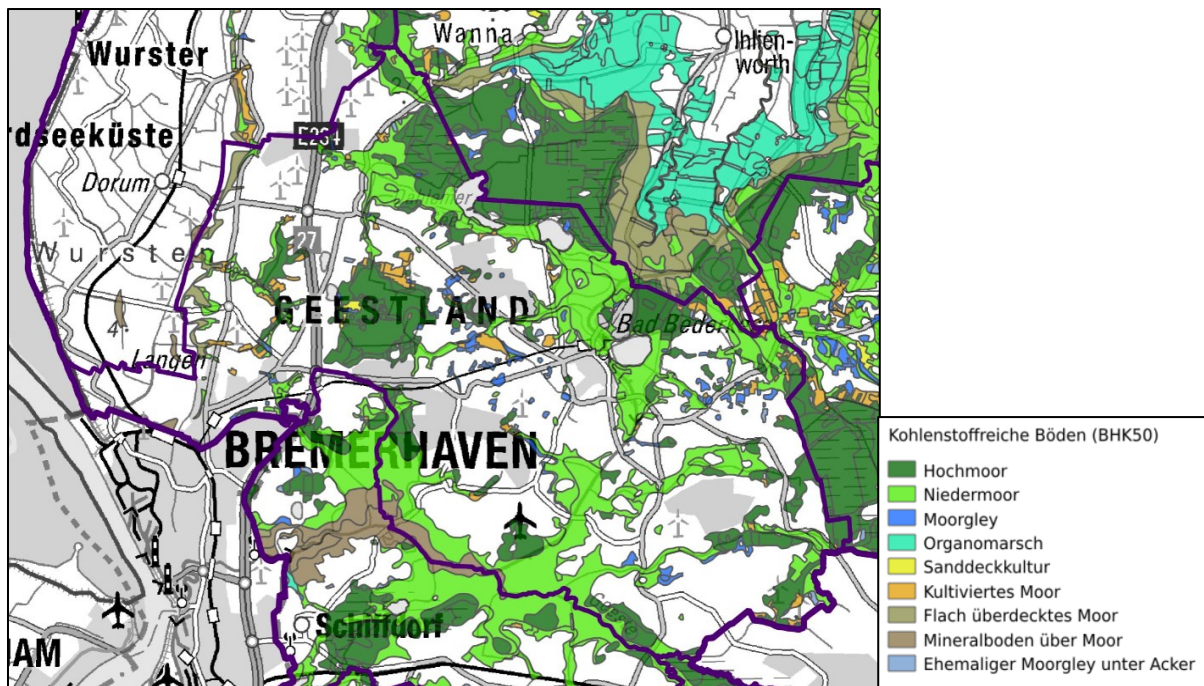


Abbildung 17: Karte der kohlenstoffreichen Böden Geestlands, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Nur rund 11 % der kohlenstoffreichen Böden im Landkreis Cuxhaven sind als ursprüngliche Moorlebensräume erhalten geblieben, während der Großteil zur landwirtschaftlichen Nutzung entwässert wird (LBEG & NLWKN, 2024). Die erhaltenen Moore sind auf einen hohen Wasserstand angewiesen, um ihre charakteristischen Bedingungen und Ökosystemleistungen wie Torfbildung und Lebensraumfunktion zu erhalten.

Auch die entwässerten Moorflächen sind grundsätzlich von Wasser abhängig. Sie sind besonders anfällig gegenüber Extremwetterereignissen: Durch das künstliche Absetzen des Wasserstandes kommt die Torfschicht in Kontakt mit Sauerstoff. Dies führt zu einer mikrobiellen Zersetzung und damit zur Freisetzung des gespeicherten Kohlenstoffs in Form von CO<sub>2</sub>. Die verminderte Wasserregulierungskapazität erhöht das Risiko von Überschwemmung während starker Niederschläge und gleichzeitig von Austrocknung in Dürreperioden. Zusätzlich sind entwässerte Moore anfälliger gegenüber Bodendegradation und für Brände (Turetsky et al., 2015). Moorbrände stellen eine besondere Herausforderung für die ortsansässigen Feuerwehren dar. Oftmals schwelt der Torf unterirdisch und die Fläche ist nur eingeschränkt befahrbar.

Trotz zukünftig zunehmender Winterniederschläge sind Moore in niederschlagsarmen Sommern aufgrund steigender Temperaturen, Verdunstung und veränderter Niederschlagsmuster durch Dürre gefährdet. Die entwässerten Moore könnten zukünftig in heißen Sommern häufiger völlig trockenfallen, wodurch das Risiko für Moorbrände steigt. Eine mögliche Renaturierung und Wiederherstellung ihrer ökologischen Funktion erfordert ein Anheben des Wasserstands. Dies würde erhebliche Investitionen bedingen, einerseits für den zusätzlichen Wasserbedarf und die Rückhaltung von Winterniederschlägen für den Sommer, und andererseits für die Entschädigung der Landwirte.

Auch die vorhandenen Binnengewässer sind von Dürreperioden und verringerten Wasserständen betroffen. Zur Ermittlung der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit und Dürre

wurde vom Landkreis Cuxhaven ein Gutachten und ein GIS-gestütztes Modell in Auftrag gegeben (Hydor Consult GmbH et al., 2023). Darüber lässt sich eine Dürre-Risikokarte mit wasserabhängigen Biotoptypen aufrufen. Dürre ist im Allgemeinen durch Wassermangel aufgrund von Niederschlagsdefiziten und/oder hohen Verdunstungsraten gekennzeichnet. Die Dürremodellierung des Vulnerabilitätskartendienstes basiert auf monatlich aggregierten Zeitreihen der relativen Bodenfeuchte. Dürre wird hier als das 20. Perzentil (moderate oder agrarische Dürre) des langjährigen Mittels der Referenzperiode 1991-2020 definiert.

Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt der Karte mit dem Dorumer Moor im Westen und dem Hochmoor um die Ortschaft Hymendorf im Osten. Eine vollständige Karte für Geestland lässt sich im Geoportale des LK Cuxhaven aufrufen (Landkreis Cuxhaven, 2024a). Eine Vielzahl wasserabhängiger Biotoptypen wie Hoch- und Niedermoore mit überwiegend mittlerer, zum Teil aber hoher oder sogar sehr hoher Empfindlichkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen sind ersichtlich. Geringe oder keine Empfindlichkeiten werden weiß und Binnengewässer, die im Allgemeinen eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Grundwasserabsenkungen haben, werden dunkelblau dargestellt.

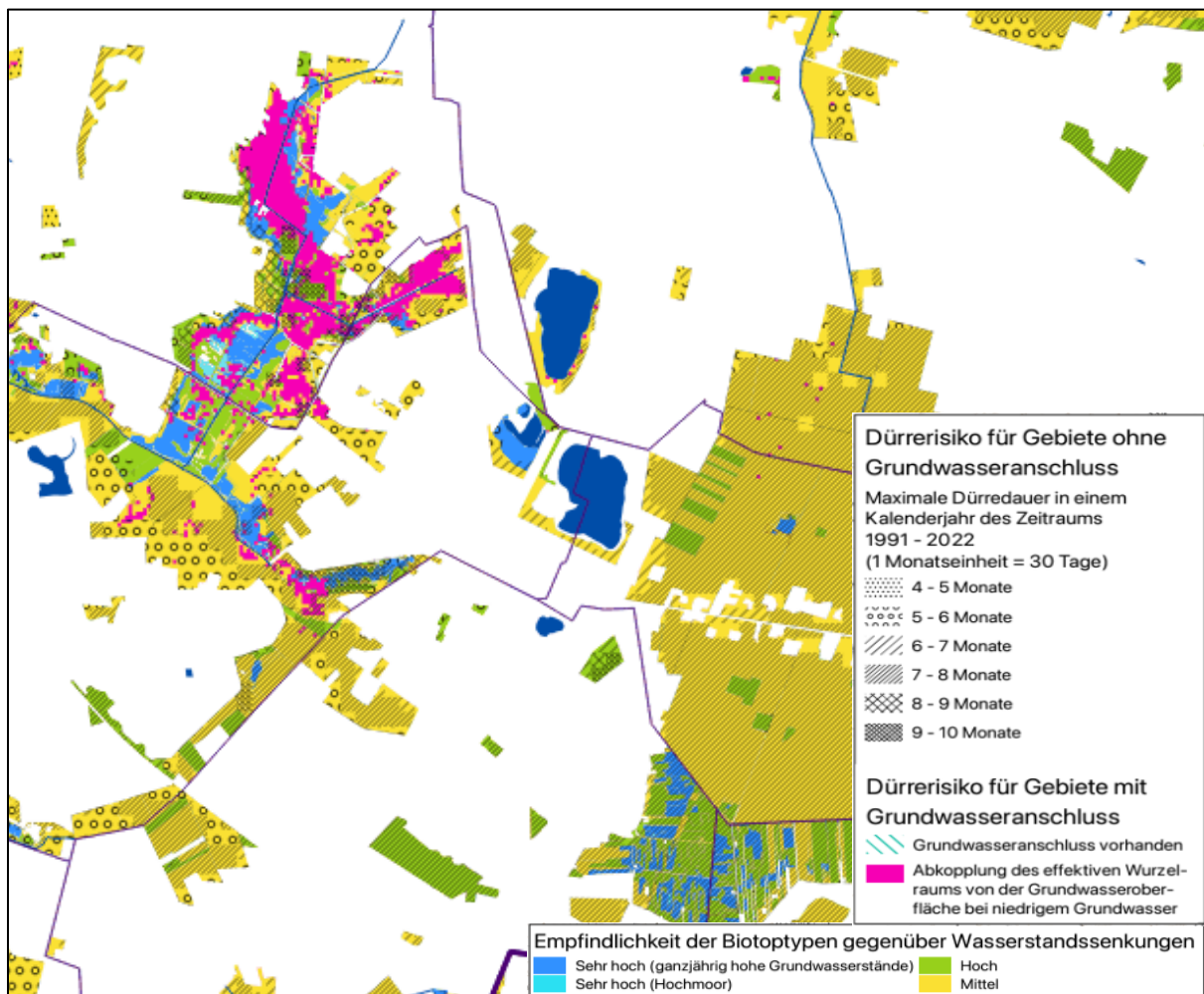


Abbildung 18: Ausschnitt Dürre-Risikokarte mit wasserabhängigen Biotoptypen, Quelle: Hydor Consult GmbH et al., 2023; Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Hohe (grün) und sehr hohe (blau) Empfindlichkeiten betreffen vor allem Moorbereiche mit hoher Torfmächtigkeit und hohem Wasserspeichervermögen, während die großräumigen

Niederungsbereiche überwiegend durch mittlere (gelb) Empfindlichkeiten gekennzeichnet sind. Hohe und sehr hohe Empfindlichkeiten treten vor allem im Dorumer Moor in Bereichen ohne Grundwasseranschluss mit maximalen Dürredauern von 8-9 bzw. 9-10 Monaten in Bereichen ohne Grundwasseranschluss auf. In Gebieten mit Grundwasseranschluss besteht in vielen Bereichen ein hohes Risiko der Abkopplung des effektiven Wurzelraumes vom Grundwasser (rosa). In den Niederungsbereichen des Hochmoores um Hymendorf zeigt sich großflächig eine maximale Dürredauer von 7-8 Monaten. Es überwiegt eine mittlere Empfindlichkeit und in den südlichen Bereichen eine hohe bis sehr hohe Empfindlichkeit (Hydor Consult GmbH et al., 2023). Insbesondere Biotoptypen mit hoher biologischer Vielfalt, wie z.B. Hochmoore, sind also besonders empfindlich und einem erhöhten Dürreerisiko ausgesetzt.

Starkregenereignisse stellen eine zunehmende Bedrohung für die Binnengewässer wie die Geeste, den Grauwallkanal und den Bederkesaer See dar. Durch abfließendes Wasser aus Siedlungen und landwirtschaftlichen Flächen gelangen große Mengen Nährstoffe in die Gewässer, was zu Eutrophierung, verstärktem Algenwachstum und damit verbundener Sauerstoffzehrung führen kann. So kam es bereits nach einem Starkregen im August 2018 zu einem Fischsterben in der Geeste. Aufgrund des Klimawandels ist in Zukunft mit einer Zunahme solcher Starkregenereignisse zu rechnen.

Eine weitere Bedrohung stellt die Versalzung der küstennahen Grundwasser durch Meerwasserintrusion dar. Ein Problem das sich in Zukunft durch verringerte Grundwasserstände in Folge von längeren Dürreperioden und erhöhter Wasserentnahme während Hitzewellen verschärfen könnte.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für *Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten* ohne Anpassung als *mittel bis hoch* eingeschätzt (Tabelle 10). Aufgrund des erhöhten räumlichen Vorkommens und der zusätzlichen Betroffenheit vom Meeresspiegelanstieg wird das Risiko für Geestland sowohl zur Mitte als auch zum Ende des Jahrhunderts als *hoch* eingestuft.

Tabelle 10: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

<b>Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten</b>						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
mittel	mittel	hoch	mittel	hoch	hoch	hoch

### 7.1.1.3. Verlust an genetischer Vielfalt / Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände

Nicht klimatische, anthropogene Einflüsse, wie Umweltverschmutzung, Flächeninanspruchnahme und die großflächige Entwässerung von Mooren zur landwirtschaftlichen Nutzung haben im vergangenen Jahrhundert bereits zu einem beschleunigten Verlust der biologischen Vielfalt in der Region geführt. Der Klimawandel kommt als weitere Herausforderung hinzu.

Geestland zeichnet sich durch vielfältige und empfindliche Lebensräume, wie Moore, Marschen und dem Watt, aus. Diese besonderen Ökosysteme beherbergen zahlreiche spezialisierte, seltene und gefährdete Arten. Gleichzeitig sind sie stark von den spezifischen klimatischen Bedingungen abhängig und reagieren daher sensibel auf zukünftige klimawandelbedingte Veränderungen wie Temperaturanstieg, veränderte Niederschlagsmuster und Meeresspiegelanstieg. Die Region ist bereits jetzt durch milde Winter geprägt, und zukünftig wird eine starke Abnahme von Frost- und Eistagen prognostiziert. Viele heimische Pflanzen- und Tierarten sind jedoch auf das gemäßigte Klima mit saisonalen und regelmäßige Frostperioden angewiesen, um zu überleben und sich gegen Konkurrenz zu behaupten. So könnten milder werdende Winter beispielweise die Winterruhe des Moorfrosches (*Rana arvalis*) stören und seine Fortpflanzung beeinträchtigen. Dieser wird zudem bereits vom fortschreitenden Verlust von Feuchtgebieten bedroht (Blaustein et al., 2010).

In der Deutschen Bucht häufen sich insbesondere seit 1990 marine Hitzewellen mit Wassertemperaturen deutlich oberhalb der üblichen Werte. In 2023 wurde mit einer mittleren Wassertemperatur von 11,9 °C für die Nordsee die höchsten Werte seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1962 gemessen. Diese Ereignisse haben erhebliche Auswirkungen auf die Artenvielfalt und -verteilung, beispielsweise auf das planktonische Nahrungsnetz als Lebensgrundlage vieler Meeresbewohner (AWI, 2024).

In Niedersachsen liegen etwa 73 % der deutschen Hochmoore. Torfmoose (*Sphagnum*) zählen zu den wichtigsten Torfbildnern in Hochmooren, da sie, wie ein Schwamm, das 30-fache ihres Trockengewichtes an Wasser speichern können und saure, sauerstoffarme Bedingungen unter sich schaffen. Denn Torfmoose wachsen beständig weiter, während die unteren Teile in Folge von Lichtmangel absterben und langfristig Torf bilden (LBEG & NLWKN, 2024). Sie profitieren in doppelter Hinsicht von kalten



Abbildung 19: Blick über das Ahlenmoor, Quelle: Nicolas Hübner, 2024

Temperaturen, da diese einerseits den Zersetzungsprozess verlangsamen und die Akkumulation von organischem Material und damit die Moorbildung fördern und andererseits die Torfmoose auch bei kalten Temperaturen weiterwachsen. Die milderen Winter und wärmeren, trockeneren Sommer erhöhen die organische Abbaurate und den Konkurrenzdruck und setzen Moor und Torfmoose zunehmen unter Trockenstress.

Hinzukommen Stressfaktoren wie die oben beschriebenen *Ausbreitung invasiver Arten* sowie *Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten* und der damit einhergehende Verlust von Lebensräumen stellen ein Risiko für den *Verlust genetischer Vielfalt* und *Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände* dar.

Bisher gibt es keine Evidenz dafür, dass gebietsfremde Arten heimische Arten verdrängt oder ihr Aussterben begünstigt haben. Beispielweise haben sich Befürchtungen, die Pazifische Auster könnte die heimische Miesmuschel verdrängen, nicht bewahrheitet (Büttger et al., 2022). So können Miesmuscheln zwischen den neuen Austern Schutz vor Fressfeinden wie der Silbermöwe finden. Allerdings haben gebietsfremde Arten das Potenzial Dominanzstrukturen, Lebensräume und trophische Beziehungen (Nahrungsketten) zu verändern und letztlich zu einer Homogenisierung der lokalen Ökosysteme beizutragen. Beispielsweise kann die Pazifische Auster den weichen Wattboden in einen mit Austern und anderen Muscheln gefüllten Boden verwandeln. Das kann Lebensraum für neue nicht heimische Arten schaffen aber auch die Erholungsfunktion des Watts beeinträchtigen, da sie sehr scharfkantig ist.

In den Siedlungsbereichen werden durch den Bauhof vermehrte Schäden und Absterben des Baumbestands festgestellt. Trocken- und Hitzestress betrifft vor allem die Birken, Buchen und Eschen sowie jüngere Bäume mit weniger tiefen Wurzeln. Bei Neupflanzungen werden daher vermehrt klimaresiliente Silberlinden und ungarische Eichen eingesetzt. Zum Schutz vor Sonnenbrand werden Bäume zudem bereits angestrichen.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für *Verlust genetischer Vielfalt* ohne Anpassung zur Mitte des Jahrhunderts, als *gering bis mittel* und langfristig als *mittel bis hoch* bewertet. Aufgrund der erhöhten räumlichen Exposition und spezifischen Vulnerabilität der hier vorkommenden Ökosysteme, sowie der besonders starken und langfristig nahezu vollständigen Abnahme von Frost- und Eistagen, richtet sich die Risikobewertung nach der pessimistischen Perspektive der bundesweiten Analyse und wird zur Mitte des Jahrhunderts als *mittel* und zum Ende des Jahrhunderts als *hoch* eingestuft (Tabelle 11).

Tabelle 11: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Verlust genetischer Vielfalt” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Verlust genetischer Vielfalt						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
gering	gering	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch

Analog wird die *Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände* eingestuft, wobei die Bewertung ebenfalls auch die besondere räumliche und klimatische Betroffenheit des Geestgebietes berücksichtigt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
gering	mittel	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch

#### 7.1.1.4. Ökosystemleistungen

Geestlands Ökosysteme erbringen zahlreiche *Ökosystemleistungen*. So fungiert das Wattenmeer als wichtige Kohlenstoffsенке, indem es Kohlenstoff in Sedimenten und Pflanzen bindet. Außerdem wirkt es als natürliche Barriere gegen Sturmfluten, absorbiert Wellenenergie und schützt dadurch die Küstenlinie. Darüber hinaus bietet es Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten und dient als Aufzuchtort für viele Nordseefische, die im warmen, flachen Wasser geschützt vor Fressfeinden ihre erste Lebensphase verbringen. Darüber hinaus ist das Wattenmeer ein beliebtes Ziel für den Tourismus.

Moore können den Wasserhaushalt regulieren, da sie wie Schwämme große Wassermengen aufnehmen und langsam wieder abgeben können, und bieten Lebensraum für viele spezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Sie sind besonders produktive und effiziente Kohlenstoffsенке, da abgestorbene Biomasse als Torf konserviert wird, solange sie intakt sind. Trotz eines Flächenanteils von nur etwa 3 % speichern Moore weltweit etwa doppelt so viel Kohlenstoff wie alle Wälder zusammen. Durch künstliche Entwässerung zur landwirtschaftlichen Nutzarmachung und klimawandelbedingten Trockenstress werden erhebliche Mengen des im Torf gespeicherten Kohlendioxids freigesetzt und so der Klimawandel beschleunigt. Im Landkreis Cuxhaven beläuft sich dieser Effekt auf rund 1,99 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente jährlich (LBEG & NLWKN, 2024).

Die zuvor beschriebenen Klimawirkungen, d.h. *Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten, der Verlust der genetischen Vielfalt, die Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände* als auch die *Naturräumlichen Veränderungen an Küsten* (vgl. 7.1.2), gefährden die Funktionen des Wattenmeeres und der Moore erheblich. Die Bewertung des entsprechenden Klimarisikos folgt daher der pessimistischen Perspektive der KWRA 2021 und wird mittelfristig als *mittel* und langfristig als *hoch* bewertet (Tabelle 13).

Tabelle 13: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Ökosystemleistungen" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Ökosystemleistungen						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
gering	gering	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch

## 7.1.2. Küsten- und Meeresschutz

### **Kernaussagen zum Handlungsfeld *Küsten- und Meeresschutz***

Der Anstieg des Meeresspiegels, höhere Sturmflutwasserstände und niederschlagsreichere Winter fordern den *Küsten- und Meeresschutz* zukünftig heraus, der in der Region seit jeher eine große Bedeutung hat. Das Wattenmeer als einzigartiges Ökosystem und natürlicher Schutzschild der Küste wird gleichzeitig durch menschliche Aktivitäten und den zukünftigen klimatischen Veränderungen gefährdet.

Die vorhandenen Küstenschutzanlagen bieten mit den bestehenden Vorsorgemaßen voraussichtlich noch bis zum Ende des Jahrhunderts einen wirksamen Schutz für die Bevölkerung. Zudem befinden sich in Geestland keine Siedlungen oder kritische Infrastruktur in unmittelbar sturmflutgefährdeten Bereichen. Die natürliche Anpassungsfähigkeit des Wattenmeeres und die Entwässerungskapazität des Grauwallkanals in den flachen Küstenniederungsgebieten (Marschen) werden jedoch erheblich unter Druck gesetzt. Daraus resultiert ein:

- ein mittelfristig **mittleres** und langfristig **hohes** Klimarisiko für *Naturräumliche Veränderung an Küsten* und für die *Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten* bei Starkregen und infolge von sturmflutbedingten (Ketten-)tiden geschlossenem Siel.

Geestland ist selbst nicht direkt verantwortlich für den Küstenschutz und die Instandhaltung sowie Sicherung des Deiches. Dennoch kann die Kommune eine Rolle in der Klimaanpassung des Küstenschutzes wahrnehmen, z.B. durch die Umsetzung kleinerer Küstenschutzmaßnahmen, der Sensibilisierung der Bevölkerung oder durch die Zusammenarbeit mit regionalen und überregionalen Akteuren.

Der *Küsten- und Meeresschutz* ist entscheidend für die Sicherung des küstennahen Siedlungs- und Wirtschaftsraumes sowie für die Stabilität und das Funktionieren der Küstenökosysteme, die zahlreiche Ökosystemleistungen erbringen, wie den Schutz vor Sturmfluten und die Erhaltung von Lebensräumen.

Die niedersächsische Küste ist durch Niederungsgebiete und die großen tidebeeinflussten Ströme Ems, Weser und Elbe, die weit in das Hinterland hineinragen, geprägt. Ein Großteil der deichgeschützten Gebiete liegt schon heute unterhalb des mittleren Tidehochwassers. Der Küste vorgelagert liegt das Niedersächsische Wattenmeer. Dieses wirkt als natürliche Barriere und trägt wesentlich zur Verringerung der Wellenenergie und zum Schutz der technischen Küstenschutzanlagen bei, wird aber gleichzeitig von Sturmfluten, Meeresspiegelanstieg und Erosion gefährdet. Der Küstenschutz in Niedersachsen hat daher seit jeher eine große Bedeutung und wird in einem dreiteiligen Generalplan thematisiert. Seit 1955 hat das Land mehr als 2,4 Mrd. € in den Küstenschutz investiert (NLWKN, 2020b).

Die Höhe der Deiche wird nach dem höchsten Tidehochwasser mit zusätzlichem Wellenauflauf berechnet und sind nach Angaben des NLWKN auch gegen schwere Sturmfluten gesichert. Zusätzlich wird ein Vorsorgemaß von 50 cm und zukünftig 100 cm berücksichtigt. Darüber hinaus sind die Sperrwerke, Siele und Deiche für eine Erhöhung um bis zu 1 m ausgelegt, was

dem prognostizierten Meeresspiegelanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts standhält (NLWKN, 2024). Einen absoluten Schutz aufgrund des Bemessungswasserstands gibt es allerdings nicht, sodass ein Restrisiko für das Versagen der Küstenschutzsysteme durch Wellenüberlauf oder Durchbruch verbleibt.

Aufgrund der Trägheit der Prozesse wird der Meeresspiegelanstieg auch bei einem sofortigen Stopp aller Treibhausgasemissionen noch lange weiter steigen (IPCC, 2019). Der Meeresspiegelanstieg des “pessimistischen” RCP8.5-Szenarios um 1 m wird also mit hoher Sicherheit irgendwann erreicht. Um zukünftig Kosten zu sparen, sollten entsprechende “Klimareserven” schon jetzt mitgedacht werden. Um wieviel die Deiche erhöht werden können, hängt jedoch von der Breite der Basis ab und ist daher begrenzt.

Geestland hat nur einen kurzen Küstenabschnitt bei Imsum mit landseitig flachem Marschengelände. Allerdings ist Geestland zusätzlich von den Schutzmaßnahmen und Sturmflutrisiken der angrenzenden Küstenbereiche Bremerhavens im Süden und der Gemeinde Wurster Nordseeküste im Norden abhängig, da die Folgen von Überflutungen über Gemeinde- und Landesgrenzen hinauswirken. Abbildung 20 zeigt die bestehenden Küstenschutzanlagen und geschützten Gebiete (hellgrün) aus dem Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen - Festland (NLWKN, 2007).

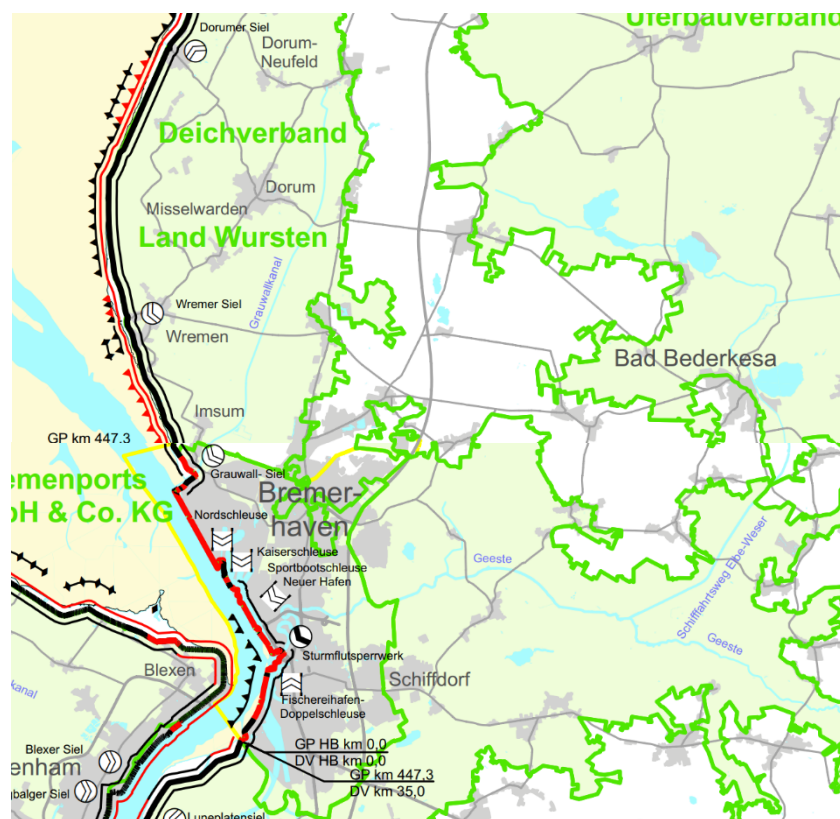


Abbildung 20: Küstenschutzanlagen des Deichverbands Land Wursten und bremenports GmbH & Co. KG, Quelle: NLWKN, 2007

Nördlich der Landesgrenze Bremerhaven vor der Ortschaft Imsum bis ca. 600 m nordöstlich des Landmarschsieles zieht sich der Hauptseedeich (rot-schwarz gekennzeichnet) in nördlicher Richtung entlang der Nordseeküste durch Geestland und das Land Wursten. Als Deichbehörde zuständig sind der Deichverband Land Wursten und der Landkreis Cuxhaven, welche vom

Niedersächsische Landesamt für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) unterstützt werden.

Die tidebeeinflusste Geeste wird in Bremerhaven durch das Geestesperrwerk und die oberhalb liegenden Schutzdeiche mit einer Länge von 2,3 km vor Sturmfluten geschützt (NLWKN, 2020b). Das Sperrwerk verhindert das Eindringen höherer Wasserstände in die Geeste und die Geesteniederung und schützt damit auch die weiter landeinwärts gelegenen Niederungsgebiete von Geestland. Allerdings besteht die Gefahr eines Aufstaus von Binnenhochwasser, wenn das Sperrwerk über mehrere Tidezyklen hinweg geschlossen bleiben muss. In solchen Fällen kann das abfließende Wasser aus dem Landesinneren nicht ausreichend abgeleitet werden. Die flachen Marschgebiete entlang der Küste bei Insum und weiter nördlich im Land Wursten werden durch ein System vieler kleiner miteinander verbundener Gräben über den Grauwallkanal und ein Siel bei Bremerhaven-Weddewarden entwässert. Auch hier besteht das Risiko eines Rückstaus bei geschlossenem Siel. Auf das Binnenhochwasserrisiko wird in Kapitel 7.1.3. eingegangen.

In Geestland selbst befinden sich keine größeren Siedlungen und kritische Infrastruktur in unmittelbarer Nähe zur Küste oder des tidebeeinflussten Bereichs der Geeste. Daher wird das Klimarisiko *Beschädigung oder Zerstörung von Siedlungen und Infrastruktur an der Küste* in der folgenden Analyse nicht weiter betrachtet. Dennoch wird mit fortschreitendem Meeresspiegelanstieg die natürliche Anpassungskapazität des Wattenmeers zunehmend überstiegen. Das Risiko für *naturräumliche Veränderungen an der Küste* sowie *Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten* in den angrenzenden Küstenregionen und der tidebeeinflussten Geeste wird daher als *hoch* eingestuft. Als besonders relevante, lokale Einflussfaktoren wurden im Verlauf der Expertengespräche und Umfragen die geringen Geländehöhen der Marschen und Niederungsgebiete sowie die Empfindlichkeit des Wattenmeers genannt. Als wichtige klimatische Einflüsse wurden der fortschreitende Meeresspiegelanstieg, zunehmende Sturmflutwasserstände und die Zunahme der Winterniederschläge identifiziert.

### **Bewertung des handlungsfeldspezifischen Klimarisikos in Vorarbeiten**

Das Klimarisiko bzw. die Vulnerabilität des Handlungsfeldes wird in den Vorarbeiten als *gering* bis *hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 14, Tabelle 15).

*Tabelle 14: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Küstenschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012)*

<b>Küstenschutz</b>		
<b>Bewertung Projekt nordwest2050</b>		
Potenzielle Auswirkungen	Anpassungskapazität	Vulnerabilität
gering - hoch	gering - hoch	gering - hoch

Tabelle 15: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds "Küsten- und Meeresschutz" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021)

<b>Küsten- und Meeresschutz</b>				
Bewertung KWRA 2021				
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch
mittel	mittel	hoch	hoch	hoch

Die hohe Spannweite der Bewertung im Rahmen des Projektes nordwest2050 (vgl. Tabelle 14) basiert auf der Tatsache, dass Niedersachsen über ein etabliertes und leistungsfähiges Küstenschutzsystem verfügt, das in der Vergangenheit Überflutungen durch Sturmfluten wirksam verhindern konnte und dies aufgrund ausreichender Klimazuschläge in den Generalplänen Küstenschutz auch bis zur Mitte des Jahrhunderts perspektivisch leisten kann. Langfristig ergibt sich bei einem moderaten zukünftigen Meeresspiegelanstieg aufgrund der geringen potenziellen Auswirkungen und der hohen natürlichen und gesellschaftlichen Anpassungskapazität eine geringe Vulnerabilität. Anders stellt sich die Situation bei einem stark beschleunigten Meeresspiegelanstieg dar: In diesem Fall reichen die bestehenden Küstenschutzanlagen und -strategien nicht mehr aus und es müssen neue Systeme etabliert werden. Auf dieser Grundlage ergibt sich eine hohe Vulnerabilität bei hohen potenziellen Auswirkungen (wie bei einem Versagen der Küstenschutzsysteme und Deichbruch) und geringerer Anpassungskapazität aufgrund fehlender Erfahrungen und Kenntnisse im Umgang mit diesen neuen Herausforderungen. Die Vulnerabilität hängt somit stark von der großen Bandbreite des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs und den damit verbundenen Sturmflutwasserständen sowie möglicherweise länger anhaltendem Windstau ab (Schuchardt & Wittig, 2012).

#### 7.1.2.1. *Naturräumliche Veränderungen an Küsten*

*Naturräumliche Veränderungen an Küsten* bezeichnen die Umgestaltung der Küstenlandschaft durch Erosion, Landgewinnung, Klimawandel und menschliche Aktivitäten, die Habitatsverluste und Veränderungen im Wattenmeer bewirken.

Als einzigartiges Ökosystem spielt das Wattenmeer eine zentrale Rolle in der Region. Es beherbergt zahlreiche Tier- und Pflanzenarten und dient als natürlicher Schutzschild gegen Küstenerosion und Überflutung. Dieses empfindliche Küsten- und Meeresökosystem wird bereits durch menschliche Aktivitäten wie Küstenbebauung und starrer Küstenschutz, Schiffsverkehr und Fischerei belastet. Der Klimawandel verstärkt diese Bedrohungen weiter: Meeresspiegelanstieg, höhere Sturmfluten bei möglicherweise längerem Windstau sowie zunehmende Wassertemperaturen setzen die Küstenökosysteme unter Druck. Diese Faktoren gefährden die Schutzfunktion der Küste, führen zu Habitatsverlusten und beeinträchtigen so die langfristige Widerstandsfähigkeit und Funktionsfähigkeit dieser lebenswichtigen Ökosysteme.

Der fortlaufende Anstieg des Meeresspiegels führt zu einer abnehmenden Trockenfalldauer des Wattenmeers und beschleunigt dessen Abbau (Cazenave & Cozannet, 2014). Der Meeresspiegelanstieg ist ein langsamer, schleichender Prozess und das Wattenmeer kann sich zum Teil auf natürliche Weise durch Mitwachsen anpassen. Allerdings ist eine Verlagerung

landeinwärts durch die Hochwasserschutzanlagen begrenzt und harte Küstenschutzmaßnahmen aus Beton können die natürliche Sedimentation beeinträchtigen. Eine natürliche Anpassung ist daher langfristig bei steigendem Meeresspiegel nur in Kombination mit künstlichen Maßnahmen, wie einem Rückbau der Deiche oder Aufspülen von Sedimenten, möglich.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für die *Naturräumliche Veränderungen an Küsten* ohne Anpassung als *mittel bis hoch* und langfristig als *hoch* bewertet (vgl. Tabelle 16). In dieser Studie wird das Risiko mittelfristig als *mittel* eingestuft, da das Wattenmeer bei einem moderaten Meeresspiegelanstieg durch erhöhte Sedimentation eine gewisse Anpassungsfähigkeit zeigt. Langfristig wird jedoch ein *hohes* Klimarisiko festgestellt, da die natürliche Anpassungsfähigkeit bei einem fortgeschrittenen, beschleunigten Meeresspiegelanstieg eingeschränkt ist und das Wattenmeer landseitig durch Küstenschutzmaßnahmen begrenzt wird. Die Küstenerosion wird zusätzlich dadurch verstärkt, dass der relative Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht durch postglaziale Landhebungs- und Senkungseffekte deutlich stärker ausgeprägt ist als an der deutschen Ostseeküste und die Nordsee durch atlantische Tiefdruckgebiete und Westwinde ebenfalls häufiger von Sturmfluten betroffen ist (DWD & EWK, 2024).

*Tabelle 16: Klimarisikobewertung der Klimawirkung "Naturräumliche Veränderungen an Küsten" ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)*

<b>Naturräumliche Veränderungen an Küsten</b>						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
mittel	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch

#### 7.1.2.2. *Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten*

Die Klimawirkung *Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten* im Handlungsfeld *Küsten- und Meeresschutz* bezieht sich vorwiegend auf die Überlastung von Entwässerungssystemen in Küstenregionen durch steigenden Meeresspiegel und Sturmfluten. Aufgrund der nur sehr kurzen Küstenlinie und der bereits sehr umfangreichen Küstenschutzmaßnahmen ist Geestland weniger von Meeresüberflutungen direkt betroffen. Allerdings kann diese Klimawirkung in den küstennahen, entwässerten Marschgebieten des Grauwallgebiets auch auf Binnenhochwasser angewendet werden, welche sowohl von Meeresüberflutungen als auch von Überlastungen der Entwässerungssysteme durch Starkregen betroffen sein können. Die Gefahr besteht hier in der Kombination von Binnenhochwasser und Meeresspiegelanstieg, wodurch die Entwässerungssysteme überfordert werden und landseitige Überflutungen nicht mehr effizient im freien Siefgefälle in Richtung Außenweser abgeführt werden können.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für die *Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten* ohne Anpassung als *mittel bis hoch* und langfristig als *hoch* bewertet (vgl. Tabelle 17Tabelle 16). Für Geestland wird das Risiko mittelfristig als *mittel* und langfristig als *hoch* eingestuft. Zur Vermeidung von Dopplungen wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet und auf das

nachfolgende Kapitel 7.1.3. und die Erläuterungen zu den Klimawirkungen *Hochwasser und Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen* verwiesen.

Tabelle 17: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten				
Bewertung KWRA 2021			Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts optimistisch	Ende des Jahrhunderts pessimistisch	Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
mittel	mittel	hoch	hoch	hoch

### 7.1.3. Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft

#### Kernaussagen zum Handlungsfeld *Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft*

Die *Wasserwirtschaft* in Geestland spielt schon immer eine große Rolle und ist zukünftig großen Herausforderungen ausgesetzt. Die zunehmende Frequenz und Intensität von Starkregenereignissen werden ohne Anpassung eine Zunahme von lokalen Binnenhochwassern in der gesamten Kommune bewirken. Die Folge sind vollgelaufene Keller, nicht befahrbare Straßen, Vernässung landwirtschaftlicher Nutzflächen, Nährstoffeintrag in Oberflächengewässer und im schlimmsten Fall Gefährdung von Menschen und kritischer Infrastruktur. Gleichzeitig werden die Grundwasserspiegel im Jahresverlauf stärker schwanken und Niedrigwasserereignisse zunehmen.

- Zunehmenden Winterniederschläge und Starkregenereignisse stellen ein mittelfristig **mittleres** und langfristig **hohes** Risiko für die *Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen* und für *Hochwasser*, insbesondere in den Küstenniederungsgebieten rund um den Grauwallkanal, dar. Aufgrund des Anstiegs der Tideniedrigwasserstände wird der freie Sielzug und die Entwässerung in die Außengewässer zunehmend eingeschränkt, wodurch zunehmend gepumpt werden muss. Das bestehende Rückstauvolumen könnte bei sturmflutbedingten Kettentiden zukünftig nicht mehr ausreichen.
- Das Klimarisiko *Grundwasserstand und -qualität* wird mittel- und langfristig als **mittel** eingestuft: Es werden stärkere Schwankungen des Grundwasserspiegels im Jahresverlauf erwartet. Dies bedeutet Herausforderungen für die Ent- und Bewässerung in den Niederungsgebieten im Umgang mit Vernässung und Wasserknappheit. Zunehmende Tidewasserstände erhöhen das Risiko für Salzwasserintrusion. Insgesamt ist allerdings eine positive Entwicklung der Jahresbilanz der Grundwasserneubildung zu erwarten.

Geestland hängt stark von Wasserressourcen und deren Management ab. Zu den Aufgaben der Wasserwirtschaft zählen der Binnenhochwasserschutz, die Siedlungswasserwirtschaft

(Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung), das Wassermengenmanagement der Küstenniederungen und der Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser.

Geestland umfasst flache Marschlandschaften, Moorgebiete und eine Vielzahl von Binnengewässern, die sowohl für die Landwirtschaft als auch für die Erhaltung wertvoller Ökosysteme wichtig sind. Der Klimawandel stellt die Wasserwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen: Veränderte Niederschlagsmuster können das Risiko von Überschwemmungen und Wasserknappheit erhöhen. Zudem können der Meeresspiegelanstieg und die daraus resultierenden Sturmfluten und Kettentiden in Kombination mit hohen Binnenwasserabflüssen in Folge von Starkregen zu einer zunehmenden Belastung der Entwässerungssysteme führen.

Die empfindlichen, wasserabhängigen Biotope, wie ursprüngliche Hochmoore und Marschen, werden durch die veränderte sommerliche Wasserbilanz einem hohen Dürreerisiko ausgesetzt (Hydor Consult GmbH et al., 2023). Aufgrund der maritimen Prägung sind die Niederschläge jedoch ganzjährig gleichmäßiger verteilt als in anderen Regionen Deutschlands, und es wird ein positiver Trend für die jährliche Wasserbilanz aufgrund feuchterer Winter erwartet. Zudem ist der Beregnungsbedarf in der Landwirtschaft bisher noch gering und größeren Binnenschiffahrtswege sind nicht vorhanden. Daher wird das Klimarisiko für *Niedrigwasser* eher als *gering* eingeschätzt.

Für das Risiko von *Hochwasser und die Belastung der Entwässerungs- und Hochwasserschutzsysteme* wird mittelfristig ein *mittleres* und langfristig ein *hohes* Risiko festgestellt, bedingt durch zukünftig zunehmende Binnenwasserabflüsse nach Starkregenereignissen und den steigenden Meeresspiegel. Zudem wird erwartet, dass der Grundwasserspiegel in Zukunft stärkeren Schwankungen unterliegt, was das Risiko einer Salzwasserintrusion aus der Nordsee erhöht, hier kann allerdings kein eindeutiger Trend abgeschätzt werden.

Als besonders relevante lokale Einflussfaktoren wurden im Verlauf der Expertengespräche und Umfragen die geringen Geländehöhen der Marschen, die deutlich zunehmenden Winterniederschläge und der steigende Meeresspiegel und die damit einhergehende zunehmende Gefahr des Rückstaus von Binnenwasserabflüssen bei hohen Außenwasserständen der Außenweser/Nordsee festgestellt.

### **Bewertung des handlungsfeldspezifischen Klimarisikos in Vorarbeiten**

Das Klimarisiko bzw. die Vulnerabilität des Handlungsfeldes wird in den Vorarbeiten zwischen *gering* bis *hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 18, Tabelle 19).

*Tabelle 18: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012)*

<b>Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz</b>		
Bewertung Projekt nordwest2050		
Potenzielle Auswirkungen	Anpassungskapazität	Vulnerabilität
mittel	mittel - hoch	gering - mittel

Tabelle 19: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds "Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021)

<b>Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft</b>				
Bewertung KWRA 2021				
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch
mittel	mittel	hoch	hoch	hoch

Die Vulnerabilität des Handlungsfeldes *Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz* wurde im Rahmen des Projektes nordwest2050 insgesamt als *gering bis mittel* eingeschätzt. Die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld werden insgesamt als *mittel* eingeschätzt, allerdings für verschiedene Konsequenzen differenziert: Die Auswirkungen für die Entwässerung der Küstenniederungen und der Siedlungen sowie für den Eintrag von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer und Grundwasser, aufgrund der voraussichtlich deutlich zunehmenden Winterniederschläge und Starkregenereignisse, werden als *mittel bis hoch* bewertet. Die Folgen der Abnahme der sommerlichen klimatischen Wasserbilanz durch Niedrigwasser werden als *gering bis mittel* bewertet. Die Auswirkungen des steigenden Meeresspiegels auf den freien Sielzug und die Binnenentwässerung sowie auf den Eintrag von Salzwasser in Marschengewässer und Grundwasser werden je nach zukünftigem Anstieg als *gering bis hoch* bewertet. Die Auswirkungen der Erwärmung der Gewässer wird als *mittel* eingestuft. Die Anpassungskapazität wird aufgrund des hohen Erfahrungswissen, umfangreichen Forschungsprojekten, der Vielzahl von wasserwirtschaftlichen Anpassungsoptionen und der generellen Anpassungsbereitschaft insgesamt als *mittel bis hoch* bewertet (Schuchardt & Wittig, 2012).

#### 7.1.3.1. *Hochwasser und Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen*

Aufgrund ihrer gegenseitigen Abhängigkeit werden die Klimawirkungen *Hochwasser* und *Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen* im Folgenden gemeinsam beschrieben.

Wesentliche Arbeit für die Binnenhochwasservorsorge leisten die Wasser- und Bodenverbände sowie die Unterhaltungsverbände der Region. Sie sind zuständig für die Unterhaltung und Pflege der Gewässer II. Ordnung (z.B. Geeste und Grauwallkanal) und III. Ordnung (d.h. kleinere Gewässer und Gräben, die die Gewässer II. Ordnung speisen). Ursprünglich fokussierten sich die Verbände auf die Be- und Entwässerung der landwirtschaftlichen Flächen, aber mit der Zeit haben auch die Entwässerung von Siedlungsgebieten, das ökologische Gleichgewicht der Gewässer und der Naturschutz an Bedeutung zugenommen. So sollen die Verbände die Gewässer schützen, zur Hochwasservorsorge beitragen und die Wasserversorgung- und -qualität in der Region sichern.

Von zentraler Bedeutung für das Wassermengenmanagement der Küstenniederungen in Geestland und dem angrenzenden Land Wursten ist der Grauwallkanal, ein künstlich angelegter Entwässerungskanal, der in nordwestlicher Richtung durch die flachen Marschgebiete mit sehr geringen Höhenlagen, dem sogenannten Sietland, in der Nähe der Ortschaften Langen und

Sievern verläuft. Er verbindet eine Vielzahl kleinerer Entwässerungsgräben und entwässert ein Einzugsgebiet von 12.640 Hektar. Überflüssige Wassermengen werden über ein Siel in Bremerhaven-Weddewarden bei niedrigem Tidewasserstand in die Weser abgeleitet. Der Kanal reguliert so den Wasserstand in den Marschgebieten und schützt diese vor abfließendem Wasser aus der Geest, insbesondere bei Starkregenereignissen. Bei hohen Außenwasserständen und Sturmfluten schließt sich das Siel und verhindert so das Eindringen des Meerwassers. Treten hoher Außenwasserstände in der Weser und Starkregen gemeinsam auf, kann das zulaufende Wasser aus dem Inland nicht mehr in die Weser abgepumpt werden, da das Weddewarder Siel noch nicht mit Spitzenschöpfwerkspumpen ausgestattet ist.

Das Grauwallsystem wurde Anfang der 1960 Jahre gebaut und auf Grundlage der bis dahin längsten gemessenen Sturmflutfolge mit drei Tiden in Folge als Rückstausystem bemessen. Die prognostizierte starke Zunahme der Winterniederschläge und der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen erhöht die zukünftig zu entwässernden Wassermengen voraussichtlich deutlich. Nach längerer Trockenzeit ist die Versickerungsfähigkeit der Böden zudem stark eingeschränkt und es kommt zu erhöhtem Oberflächenabfluss direkt in die Vorfluter. Die zukünftige Veränderung der Niederschlagsmuster zu längeren Dürreperioden und intensiveren Niederschlagsereignissen begünstigt solche Situationen. Für solche Extremlagen ist das System nicht ausgelegt, wie Ereignisse bereits 2018 und 2019 belegt haben, bei denen das vorhandene Rückstauvolumen an seine Grenzen kam, und auch in den Gesprächen mit lokalen Stakeholdern wurde mehrfach auf den nicht ausreichenden Retentionsraum hingewiesen. Zusätzlich verringert der steigende Meeresspiegel das Gefälle zur Nordsee und somit den freien Sielzug. In Kombination führt dies zu einer Erhöhung des Binnenhochwasserrisikos. Gleichzeitig muss das System die Wasserversorgung der landwirtschaftlichen Flächen in zunehmend längeren Dürreperioden und erhöhtem Wasserbedarf im Sommer sicherstellen und einen ausreichenden Wasserrückhalt gewährleisten. In Reaktion darauf wird momentan ein neues Wassermengenmanagementkonzept erarbeitet, das sowohl die Herausforderungen des Hochwasserschutzes als auch des sommerlichen Wasserrückhalts berücksichtigen soll (Landkreis Cuxhaven, 2024b).

Der LK Cuxhaven hat eine GIS-basierte Risikoanalyse für Starkregen und infolge einer Sturmflut-Serie geschlossener Siele zur Ermittlung von Überschwemmungsflächen und -tiefen ausgewählter Landnutzungs- und Biotoptypen sowie zur Befahrbarkeit von Verkehrswegen in Auftrag gegeben. Die entsprechenden Starkregengefahrenkarten sind über das Geoportal abrufbar und liefern Information über vulnerable Bereiche (Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH, 2024). Im Rahmen des Gutachtens werden verschiedene Regenszenarien analysiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse für das Szenario 3 kurz zusammengefasst und dargestellt. Szenario 3 beschreibt ein zeitlich-dynamisches Euler-2-Regenereignis mit einem Niederschlag von 36,6 mm/h mit 12 h Trockennachlaufzeit, angelehnt an das Starkregenereignis im Juni 2008 im Landkreis Cuxhaven. Die zeitlich-dynamische Berechnung in 5-Minuten-Schritten, mit einem Maximum von 18,1 mm zwischen Minute 15 und 20, und Berücksichtigung eines lokal gemessenen Stundenmaximums, ermöglicht eine genauere, lokal spezifische Analyse.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei den Starkregenereignissen des Szenarios 3 ein Großteil des Niederschlagswassers in der Fläche (53,0 %) oder in Gewässern (18,8 %) ansammelt. Aber auch die Versickerung in den Boden nimmt erhebliche Wassermengen auf (27,1%), was die Relevanz eines geringen Versiegelungsgrades für die Anpassung an solche Extremereignisse unterstreicht, während nur etwa 1,1 % verdunstet. Tabelle 20 führt die maximal erreichten

Wasserstände im Landkreis Cuxhaven für verschiedene Flächenarten auf und zeigt damit besonders betroffene Nutzungstypen. Insbesondere in den Küstenniederungsgebieten kommt es der Analyse nach zu hohen Überflutungshöhen durch den Rückstau an den geschlossenen Sielen (TAUW GmbH et al., 2024).

*Tabelle 20: Anzahl, Größe und maximal erreichte Wassertiefe (Überflutungshöhe) der betroffenen Nutzungstypflächen im Landkreis Cuxhaven für ein zeitlich dynamisches Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3), basierend auf TAUW GmbH et al. (2024)*

<b>Max. Wassertiefe (m)</b>	<b>0,1 - 0,5</b>	<b>0,5 - 1</b>	<b>&gt;1</b>
<b>Biotope</b>	8.405 / 277,21 km <sup>2</sup>	2.824 / 30,25 km <sup>2</sup>	1.064 / 12,35 km <sup>2</sup>
<b>Wohngebiete</b>	3.136 / 6,36 km <sup>2</sup>	1.747 / 0,37 km <sup>2</sup>	593 / 0,08 km <sup>2</sup>
<b>Industrie/Gewerbegebiete</b>	192 / 1,38 km <sup>2</sup>	155 / 0,07 km <sup>2</sup>	103 / 0,01 km <sup>2</sup>
<b>Camping/Ferienwohnanlagen</b>	97 / 0,52 km <sup>2</sup>	68 / 0,03 km <sup>2</sup>	34 / 0,02 km <sup>2</sup>
<b>Sicherheit/Verwaltung/Gesundheit</b>	26 / 0,17 km <sup>2</sup>	13 / 0,01 km <sup>2</sup>	6 / 0,001 km <sup>2</sup>

Je größer die maximal erreichte Wassertiefe, desto größer ist in der Regel das Gefährdungspotenzial, da eine größere hydrostatische Druckwirkung, z.B. auf angrenzende Gebäude, Infrastruktur oder Biotope ausgeübt wird. Darüber hinaus erhöht sich in der Regel auch die Einwirkungsdauer und das Wasservolumen, das z.B. in Gebäudekeller eindringen kann. Im Verkehrsraum steigt die Gefährdung ab einer Wassertiefe von 30 bis 50 cm deutlich an, da dann die Wassertiefen für Fußgänger überschritten werden und Fahrzeuge durch Motorschaden/Elektronikschäden manövrierunfähig werden. Aber auch geringere Wasserhöhen können in tiefer gelegenen Bereichen wie Kellern erhebliche Schäden verursachen. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) hat mit dem Merkblatt DWA-M 119 Gefahrenklassen für Wasserstände bei Starkregen vorgeschlagen. Demnach wird die Überflutungsgefahr bei Wasserständen < 10 cm als gering, zwischen 10-30 cm als mäßig, zwischen 30-50 cm als hoch und > 50 cm als sehr hoch eingestuft (DWA, 2015).

Tabelle 20 zeigt geringe Flächenanteile, die bei Starkregen im Szenario 3 von Wasserständen der sehr hohen Gefahrenklasse 4 (> 50cm) betroffen sind, dennoch können auch dabei erhebliche Auswirkungen entstehen. Besonders in Wohn- und Gewerbegebieten sowie in Ferienwohnanlagen, auf Campingplätzen und in Bereichen der Nutzungskategorie Sicherheit/Verwaltung/Gesundheit können diese Wassertiefen zu einer Gefährdung für die Bevölkerung und zu Schäden an Infrastrukturen führen. Auch die Wassertiefen von 0,1-0,5 m können erhebliche Auswirkungen haben, da die Gefährlichkeit der Überflutung nicht nur von der Höhe des Wasserstands, sondern auch von der Art betroffener Flächen und Infrastrukturen, der Überflutungsdauer sowie der Wassergeschwindigkeit und Fließrichtung abhängt. Es ist zu berücksichtigen, dass sich die Risikomodellierung primär auf den ländlichen Raum konzentriert und die Entwässerung über die Kanalisation in Siedlungsgebieten nicht berücksichtigt wurde,

da bei einem Starkregenereignis von einem vollständigen Ausfall der Kanalisation ausgegangen wird und somit die maximalen Wassertiefen in diesen Bereichen tendenziell überschätzt werden (TAUW GmbH et al., 2024).

Laut den Wasserverbänden ist die Kanalisation in Geestland überwiegend als Trennsystem ausgeführt, übrige Gebiete mit Mischkanalisation werden aktuell dahingehend umgeplant. Dies entlastet die Kläranlagen und verringert den Eintrag von Schmutzwasser in die Gewässer. In Geestland wurde bisher ein 3-jähriges Regenereignis als Bemessungsgrundlage für das Regenwassermanagement angesetzt. Damit ist die Überlastungsreserve relativ gering und die Kapazität des Entwässerungssystems wird bei Starkregen schnell überlastet. Weiterhin gibt es auch im Trennsystem bei Starkregen einen hohen Fremdwasseranteil im Schmutzwasserkanal, beispielsweise durch eindringendes Regenwasser in die Belüftungsöffnungen. Zum Rückhalt von Regenwasser gibt es in der Ortschaft Langen ein großes, naturnah gestaltetes Regenrückhaltebecken (RRB) mit Pumpensteuerung. Zur Entlastung der Kanalisation wird der lokale Rückhalt oder die Nutzung des Regenwassers auf den Grundstücken durch Gründächer, begrünte Carports oder den Einsatz von Zisternen angestrebt und im Neubau durch Vorschriften geregelt. Allerdings wird nicht immer den Vorgaben der Bebauungspläne entsprochen. In der Praxis stellen jedoch die Überprüfung der Einhaltung der Bebauungspläne, insbesondere im Hinblick auf die Versiegelung von Flächen sowie Schottergärten, eine Herausforderung dar. Maßnahmen zur Sicherstellung der flächendeckenden Einhaltung und Kontrolle der Vorgaben erfordern entsprechende personelle Ressourcen.

Für Biotope können die ermittelten maximalen Wassertiefen, die überwiegend zwischen 0,1-0,5 m, aber zum Teil auch zwischen 0,5-1 m oder sogar > 1 m liegen, eine beschleunigte Erosion und Nährstoffauswaschung, Beeinträchtigung von (bodenbewohnenden) Tierarten und anaeroben Stress für oder gar Absterben von Pflanzen bedeuten.

Abbildung 21 zeigt den maximal erreichten Wasserstand bis 12 h nach dem definierten Starkregen nach Szenario 3 im Bereich des Marschgebiets bei Insum. Für diesen Kartenausschnitt wurde eine lange Trockennachlaufzeit von 12 h ausgewählt, um der flachen Topografie und langsamen Akkumulation des Niederschlagswassers zu berücksichtigen. Es treten lokal begrenzt Überflutungen auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen auf. Das gesamte Entwässerungsgebiet erstreckt sich von der Küste im Westen bis zur Stadt Langen im Osten. Die Polder enden nur wenige Meter westlich des Langener Rathauses und der umliegenden Wohngebiete.

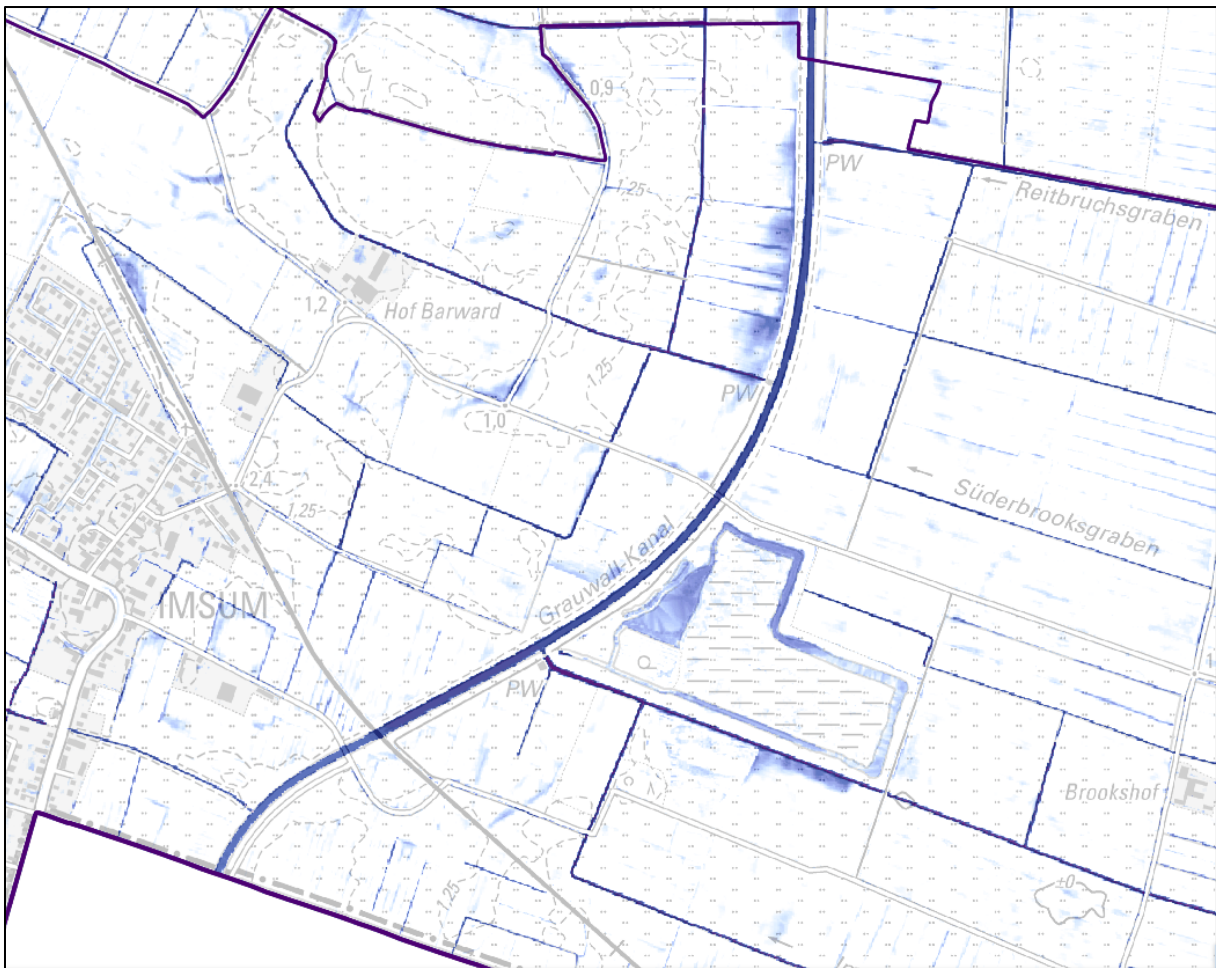


Abbildung 21: Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 12 h nach einem dynamischen Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) im Marschgebiet Geestlands entlang des Grauwallkanals, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Auch in der Stadt Langen selbst kommt es zu zahlreichen lokalen Überflutungen, insbesondere im Senkenbereich der versiegelten (Verkehrs-)Flächen, wie beispielsweise um die Gebäude des Wasserwerks, mit deutlich über 1 m und bis zu 2 m maximal erreichter Wassertiefe bis 1 h nach dem Ereignis (vgl. Abbildung 22 obere rechte Ecke). Für den Siedlungsbereich werden die Wassertiefen bis maximal 1 h nach dem Regen dargestellt, um die Verfälschung durch Nicht-Berücksichtigung der Kanalisation zu minimieren, die nach mehreren Stunden ohne Niederschlag wohl wieder zumindest teilweise funktionsfähig wäre.

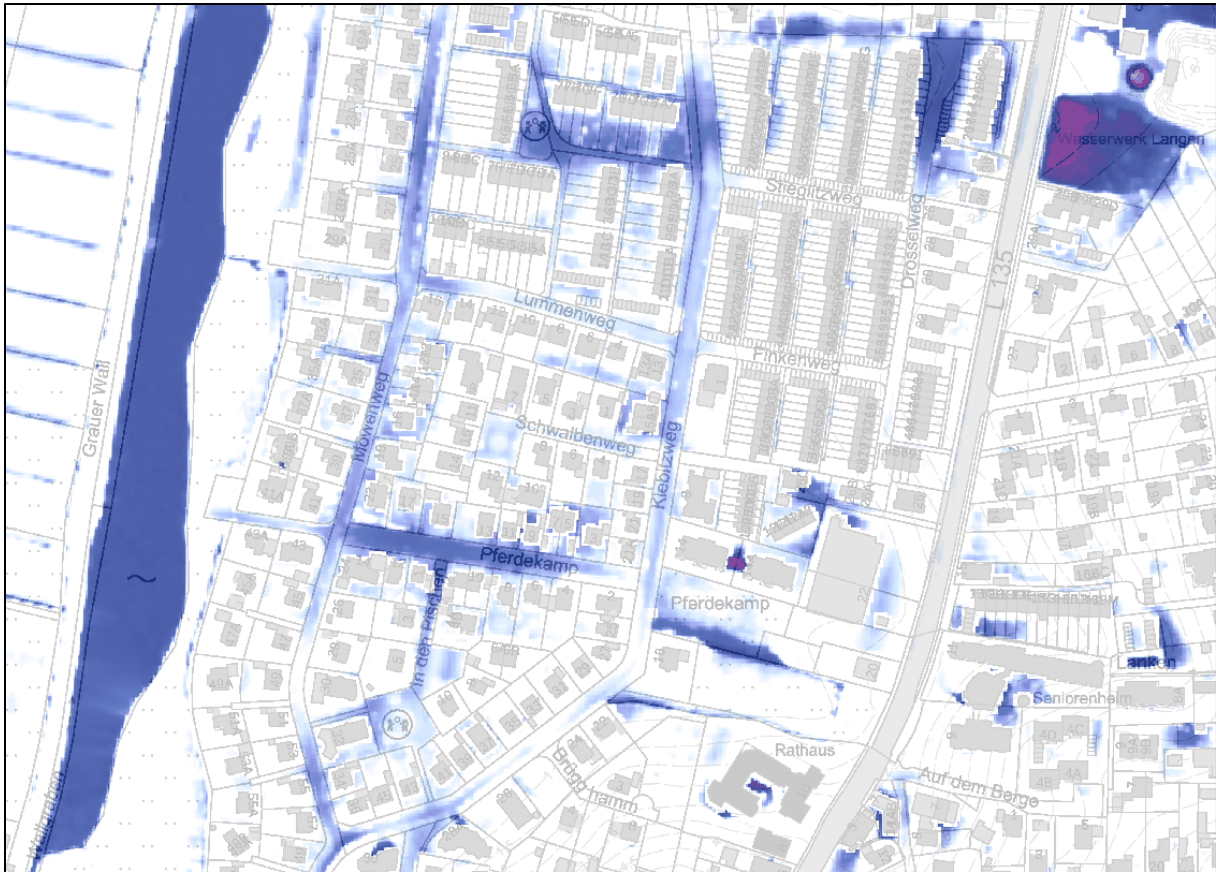


Abbildung 22: Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 1 h nach einem dynamischen Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) im Stadtgebiet Langen, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Am linken (westlichen) Rand der Karte klar zu erkennen ist das RRB Pferdekamp (“Marschensee”). Mit einer Länge von 700 m und einer maximalen Breite von bis zu 50 m nimmt es das von den befestigten Flächen abfließende Regenwasser auf und gibt es verzögert an die nachfolgenden Gräben ab. In der vorliegenden Analyse wird eine maximale Wassertiefe von 70-85 cm unter Annahme des vollständigen Ausfalls der Kanalisation erreicht. Tatsächlich wird das Becken zusätzlich wohl aber zumindest einen Teil der Wassermengen des angrenzenden Siedlungsbereichs in Langen über den Regenwasserkanal aufnehmen und somit einen höheren Wasserstand erreichen.

Im Wohngebiet südlich angrenzend an das Grauwallgebiet in Langen, im Bereich Ruschkampsweg/Ecke Auf dem Priel, befindet sich ein Straßenabschnitt, der in der Vergangenheit wiederholt bei starken Regenfällen Probleme verursacht hat. Diese Erfahrungen decken sich mit der Starkregengefahrenkarte, die für den Kreuzungsbereich einen maximalen Wasserstand von bis zu 85 cm zeigt. Ein

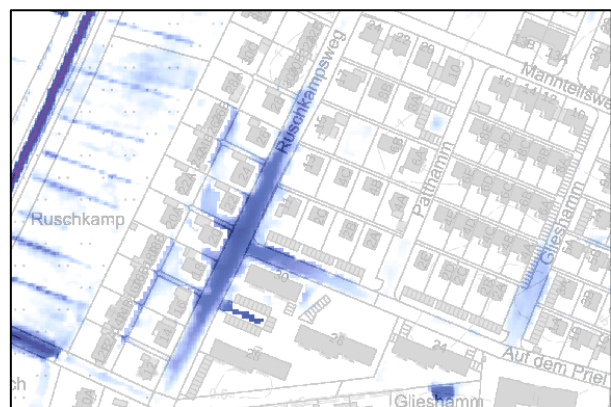


Abbildung 23 Karte des maximal erreichten Wasserstands bis 1 h nach Szenario 3 im Ruschkampsweg, Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a; TAUW GmbH et al., 2024 © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

solcher Wasserstand würde die Befahrbarkeit der Straße vollständig ausschließen und gleichzeitig Gefahren für Anwohner, Verkehrsteilnehmer und die umliegenden Wohngebäude und tieferliegenden Garagen mit sich bringen.

Auch in den anderen Ortschaften Geestlands und den ländlichen Gebieten kommt es zu Oberflächenabflüssen und Wasseransammlungen. Neben den Einschränkungen der Befahrbarkeit und dem Risiko der Vernässung landwirtschaftlicher Flächen stellt dies eine Gefährdung für die Wasserqualität der Oberflächengewässer wie der Geeste, des Bederkesa-Geeste-Kanals sowie des Bederkesaer, Dahlemer und Flögeler Sees dar. Insbesondere bei hohen Wassertemperaturen, nach anhaltender Dürre mit niedrigen Wasserständen in den Gewässern und gleichzeitig ausgetrockneten, dichten Böden, kann es zu erheblichen Nährstoffeinträgen aus ungeklärtem Schmutzwasser von Straßen oder landwirtschaftlichen Flächen kommen. Diese organischen Frachten führen durch ihre eutrophierende Wirkung zu verstärktem Algenwachstum und erhöhtem Sauerstoffverbrauch, was verheerende Folgen für Fische und andere aquatische Lebewesen haben kann. So geschehen im August 2018, als nach anhaltender Trockenheit heftige Regenfälle ein Fischsterben in der Geeste auslösten.

In der deutschlandweiten KWRA 2021 wird das Klimarisiko für *Hochwasser* und die *Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen* ohne Anpassung sowohl zur Mitte als auch zum Ende des Jahrhunderts als *mittel bis hoch* eingestuft (vgl. Tabelle 21). Für Geestland wird das Risiko aufgrund der gut organisierten Wasser- und Bodenverbände und Unterhaltungsverbände sowie der vorhandenen Entwässerungssysteme trotz der erhöhten Gefährdung durch die geringen Geländehöhen mittelfristig ebenfalls als *mittel* eingestuft. Langfristig wird jedoch ein *hohes* Klimarisiko gesehen, da bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg die Entwässerung von Niederschlagswasser im Binnenland in die Außenweser erheblich eingeschränkt wird und ein umfangreiches Wassermengenmanagement für die Küstenniederungsgebiete erfordert.

Tabelle 21: Klimarisikobewertung der Klimawirkungen “Hochwasser” und “Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

<b>Hochwasser und Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen</b>							
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe		
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch			
	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch

Das Risiko für Sturzfluten wird eher geringer eingeschätzt: Zwar sind die Kanalisationen in den Siedlungsgebieten nicht auf extreme Starkregenereignisse ausgelegt, jedoch reduzieren der ländlich geprägte Charakter der Region, der geringere Versiegelungsgrad, die flache Topografie und das Fehlen großer Gefälle das Risiko für hohe Fließgeschwindigkeiten, wie sie beispielsweise in eng bebauten Flusstälern in Bergregionen auftreten können.

#### 7.1.3.2. Grundwasserstand und -qualität

In Geestland könnten Veränderungen im Niederschlagsmuster, längere Trockenperioden und ein verstärkter Meeresspiegelanstieg die Grundwasserstände beeinflussen und es besteht das Risiko der Versalzung des Grundwassers durch eindringendes Salzwasser aus der Nordsee.

Diese Faktoren gefährden die Grundwasserqualität, die für die Trinkwasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung von zentraler Bedeutung ist.

Geestland weist eine heterogene hydrogeologische Struktur auf. Die sandigen Geestflächen fungieren als wichtige Grundwasserneubildungsgebiete, mit einer durchschnittlichen Neubildungsrate von über 300 mm pro Jahr, vor allem in den Monaten Oktober bis März. Der Großteil der Marschgebiete und Niedermoore zeigen eine grundwasserzehrende Wirkung mit höchstens geringfügiger Grundwasserneubildung im Winter (Hydor Consult GmbH et al., 2023). Dies ist auf die geringeren Flurabstände, die zur schnelleren Füllung der Grundwasserleiter im Winter beitragen, und die künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels für landwirtschaftliche Zwecke zurückzuführen.

Zukünftig ist eine insgesamt positive Jahresbilanz der Grundwasserneubildung möglich, allerdings ist von deutlich stärkeren Schwankungen des Grundwasserspiegels im Jahresverlauf auszugehen. Aufgrund der zunehmenden Winterniederschläge, der Abnahme der Frosttage und der damit gesteigerten Versickerung werden vermehrt hohe Grundwasserstände und Vernässung im Bereich von Böden mit Grundwasseranschluss erwartet, sofern nicht über Schöpfwerksbetrieb künstlich entwässert wird. Um Nutzungseinschränkungen wie eingeschränkte Befahr- und Bearbeitbarkeit von Ackerböden für die Landwirtschaft und Schäden an Winterkulturen zu verhindern, muss zukünftig zur Einhaltung der Grundwasserflurabstände voraussichtlich mehr Wasser in die Außenweser entwässert werden. Die steigenden Tideniedrigwasserstände schränken zusätzlich den freien Sielbetrieb zunehmend ein, sodass mehr gepumpt werden muss.

Andererseits wird in Geestland eine Zunahme von Trockenperioden und Hitzetagen im Sommer sowie eine Verlängerung der Vegetationsperiode erwartet. Diese klimatischen Veränderungen führen zu einer erhöhten Verdunstung sowie einem erhöhten Wasserbedarf der Vegetation und für die menschliche Nutzung. Für die lokale Landwirtschaft, die vor allem durch den hohen Wasserbedarf der Kühe bereits heute etwa ein Drittel des Trinkwasserbedarfs ausmacht, kann sich zukünftig ein erhöhter Wasserbedarf, z.B. für möglicherweise notwendige Beregnung, ergeben. All diese Faktoren begünstigen eine Häufung niedriger Grundwasserstände und können lokal und temporär zu Wasserknappheit führen. Zu Hochversorgungszeiten wie zuletzt im Juni 2023 wurden bereits sinkende Grundwasserstände verzeichnet, und die Wasserwerke arbeiteten teils unter Volllast, insbesondere in den Abendstunden. In den extremen Dürre Jahren 2018 und 2019 wurden an vielen Messstellen in Niedersachsen historische Grundwassertiefststände registriert. In beiden Jahren wurden 9 Monate Grundwasserdürre, definiert als Unterschreitung des mittleren jährlichen Tiefststandes, dokumentiert, was einer deutlichen Abweichung gegenüber durchschnittlich 2 Monaten Grundwasserdürre zwischen 2000 bis 2010 entspricht (NLWKN, 2023).

Während der Vegetationsperiode muss auf landwirtschaftlichen Nutzflächen bei Dürre zukünftig vermehrt zugewässert werden. Wasserabhängige Ökosysteme wie Niedermoore, die auf hohe Grundwasserstände angewiesen sind, können bei anhaltender Trockenheit von einer Grundwasserabkopplung betroffen sein, die zu einer Schädigung der Vegetation und des Bodens führen kann. Insbesondere im Bereich des Dorumer Moores besteht hierfür ein erhöhtes Risiko, wie in der Dürre-Risikokarte wasserabhängiger Biotoptypen gezeigt (vgl. Abbildung 18).

Darüber hinaus ist in den Küstenniederungen infolge steigender Tidewasserstände mit einem verstärkten Austausch von Süß- und Salzwasser zu rechnen. Der erhöhte Salzeintrag durch die Meerwasserintrusion wirkt sich negativ auf die Grundwasserqualität aus. In Trockenzeiten und bei niedrigen Grundwasserständen können sich Chloride, aber auch Schadstoffe im Grundwasser aufkonzentrieren. Dies könnte insbesondere in Hochlastfällen auch Folgen für die Trinkwasserversorgung und -qualität haben, da die Wasserwerke nicht mit einer Entsalzungsanlage ausgestattet sind.

Durch das UBA wird das Risiko für *Grundwasserstand und -qualität* in Deutschland ohne Anpassung sowohl für die Mitte als auch das Ende des Jahrhunderts als *gering bis hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 22). Für Geestland wird das Risiko in beiden Zeiträumen als *mittel* bewertet.

Tabelle 22: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Grundwasserstand und -qualität” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Grundwasserstand und -qualität						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
gering	gering	hoch	gering	hoch	mittel	mittel

In Geestland gibt es viele sensible Ökosysteme, die auf einen hohen Grundwasserstand und eine hohe Grundwasserqualität angewiesen sind und auch die landwirtschaftliche Nutzung auf Niederungsgebieten ist bereits aktuell durch Vernässung und Trockenheit gefährdet. Zudem ist die Grundwasserqualität aufgrund der Küstennähe zusätzlich insbesondere im Sommer durch Versalzung gefährdet. Insgesamt wird jedoch eine Zunahme der klimatischen Jahreswasserbilanz prognostiziert, so dass niedrige Grundwasserstände infolge sommerlicher Trockenperioden voraussichtlich durch höhere Winterniederschläge ausgeglichen werden können. Dafür spricht auch der geringe Versiegelungsgrad der ländlich geprägten Gemeinde. Das zukünftige Klimarisiko hängt entscheidend davon ab, wie den stärkeren Grundwasserschwankungen im Jahresverlauf durch ein geeignetes Wassermengenmanagement, vor allem in den Niederungsgebieten, begegnet wird.

## 7.1.4. Tourismuswirtschaft

### Kernaussagen zum Handlungsfeld *Tourismuswirtschaft*

Als Küstenregion mit Badeseen und vielfältigen Landschaften spielt der Sommertourismus eine große Rolle in Geestland, insbesondere in der Ortschaft Bad Bederkesa. Der Klimawandel wirkt sich direkt und indirekt auf das touristische Angebot und die Nachfrage aus.

- Zur Mitte des Jahrhunderts wird für *Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft* ein **geringes** Risiko erwartet. Wärmere Luft- und Wassertemperaturen und eine verlängerte Sommersaison steigern die Attraktivität der Region. Langfristig werden allerdings erhebliche Schäden an touristischer Infrastruktur und Naherholungsgebieten wie dem Wattenmeer in Folge des steigenden Meeresspiegels, höheren Sturmflutwasserständen und häufigeren und intensiveren Extremwetterereignissen prognostiziert, sodass das Risiko zum Ende des Jahrhunderts trotz der sich bietenden Chancen als **mittel** bewertet wird.

Geestland liegt in der als “Cuxland” beworbenen Region und ist aufgrund seiner vielfältigen Landschaft zwischen Marsch, Geest, Moor und Wattenmeer ein beliebtes Touristenziel. Der Fokus liegt vor allem auf den landschaftlichen Besonderheiten und Aktivitäten im Freien. Besonders der Stadtteil Bad Bederkesa, mit seiner Zertifizierung als Heilbad, bietet Erholung und Wellness - von der Moor-Therme und dem Kurpark bis zur Burg und dem Bederkesaer See. Darüber hinaus gibt es einen Golfplatz, ein ausgeschildertes Rad- und Wanderwegenetz, Naturschutzgebiete und einen Moorlehrpfad, zahlreiche Bade- und Angelmöglichkeiten sowie Kultur- und Sportangebote.



Abbildung 24: Blick auf die Burg Bederkesa, Quelle: Nicolas Hübner, 2024

Im Jahr 2023 verzeichnete Geestland mehr als 59.000 Gästeübernachtungen in 12 Beherbergungsbetrieben, wobei die Mehrheit der Gäste aus Deutschland stammte, durchschnittlich 2,6 Tage verbrachte und in den Sommermonaten anreiste (LSN, 2024b). Ein Erhalt der touristischen Attraktivität ist somit wirtschaftlich relevant. Das Klima, die Witterung und das Wetter in Geestland sind sowohl Bestandteil des touristischen Angebots als auch entscheidend für die touristische Nachfrage. Daher ist die Tourismuswirtschaft direkt und indirekt vom Klimawandel betroffen.

### **Bewertung des handlungsfeldspezifischen Klimarisikos in Vorarbeiten**

Das Klimarisiko bzw. die Vulnerabilität des Handlungsfeldes wird im Rahmen des Projektes nordwest2050 als eher *gering* und im Rahmen der bundesweiten KWRA 2021 als *gering* bis *hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 23, Tabelle 24).

Tabelle 23: Vulnerabilitätsbewertung des Handlungsfeldes "Tourismuswirtschaft" für die Metropolregion Bremen-Oldenburg nach Schuchardt & Wittig (2012)

Tourismuswirtschaft		
Bewertung Projekt nordwest2050		
Potenzielle Auswirkungen	Anpassungskapazität	Vulnerabilität
gering - mittel	mittel - hoch	gering

Tabelle 24: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds "Tourismuswirtschaft" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021)

Tourismuswirtschaft				
Bewertung KWRA 2021				
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch
gering	gering	mittel	mittel	hoch

Die höhere Bewertung und Spannweite in der KWRA 2021 begründet sich in unterschiedlichen räumlichen Betroffenheiten: Während einige Reiseregionen von milderen Temperaturen oder längere Saisonzeiten profitieren, verringern Extremwetterereignisse die Attraktivität anderer Reiseziele oder führen potenziell zu erheblichen Schäden an touristischer Infrastruktur.

Schuchardt & Wittig (2012) sehen potenziellen Auswirkungen auf die Tourismuswirtschaft für die Region NordWest vor allem im Zusammenhang mit der Zunahme von Hitzeperioden, Starkregen und Sturmflutwasserständen, schätzen diese aber als höchstens *gering* bis *mittel* ein. Gleichzeitig werden positive Auswirkungen hervorgehoben, beispielweise durch die Abnahme von Kältestress und nebeligen Tagen und durch die Zunahme von Sonnentagen und eine Verlängerung der Sommersaison. Im Vergleich zu den Auswirkungen zukünftiger sozioökonomischen Veränderungen werden die Klimafolgen für den Tourismus allerdings eher gering bewertet. Aufgrund der *mittleren* bis *hohen* Anpassungsfähigkeit wird die Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg daher als *gering* eingestuft.

#### 7.1.4.1. Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft

Der Klimawandel kann sich auf verschiedene Aspekte des touristischen Angebots auswirken. Er kann das Angebot direkt über das Wetter verändern oder indirekt über Schäden an der touristischen Infrastruktur oder an Naturlandschaften wie dem Watt. Aber auch sozioökonomische Klimafolgen, z.B. vermehrtes Indoor-Angebot als Reaktion auf schlechte Witterung, können sich auf die Nachfrage auswirken (Lohmann & Matzarakis, 2023).

Geestland, mit seinem vielfältigen Angebot an Aktivitäten im Freien, könnte zukünftig von einer verlängerten touristischen Sommersaison profitieren. Als Küstenregion mit Badeseen könnte insbesondere der prognostizierte Anstieg der Sommertemperaturen und die Verlängerung der Badesaison eine Chance darstellen. Für die deutschen Küstenregionen werden daher mittelfristig eher Vor- als Nachteile und ein Nachfrageanstieg erwartet (Lohmann & Matzarakis, 2023). Wärmere Gewässertemperaturen könnten sich allerdings auch negativ auf die Badewasserqualität auswirken, beispielsweise durch stärkere Vermehrung von Bakterien

oder starkes Algenwachstum. Zunehmende Extremwetterereignisse und der Anstieg des Meeresspiegels können zu Schäden an Naherholungsräumen wie dem Wattenmeer und Mooren führen (vgl. Kap. 7.1.1) und gleichzeitig die Aufrechterhaltung des touristischen Angebots erschweren, was wiederum zu Attraktivitätsverlusten und Kostensteigerungen führen könnte.

Die Folgen des Klimawandels für die touristische Nachfrage sind aufgrund der vielen Möglichkeiten die Touristen haben (z.B. bzgl. Wahl des Reiseziels und -Zeitpunktes), nur schwer vorherzusehen (Lohmann & Matzarakis, 2023). Möglicherweise könnten die zunehmend heißeren Temperaturen im Mittelmeerraum und ein gestiegenes Nachhaltigkeitsbewusstsein zu einer Zunahme der Attraktivität Geestlands als innerdeutsche Küstenregion mit gemäßigten Sommertemperaturen zunehmen. Im Vergleich zu sozioökonomischen Faktoren und Entwicklungen, wie dem demografischen Wandel, wird der Einfluss des Klimawandels auf den Tourismus aber voraussichtlich eine untergeordnete Rolle spielen.

In der KWRA 2021 werden *Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft* in Deutschland mittelfristig als *mittel* und langfristig als *hoch* eingestuft (vgl. Tabelle 25). In der Bewertung wird aber insbesondere auch die Folgen für den Wintertourismus, beispielsweise durch die fehlende Schneesicherheit, eingegangen, welcher für Geestland kaum eine Rolle spielt. Zur Mitte des Jahrhunderts wird das Klimarisiko daher davon abweichend nur als *gering* eingestuft. Möglicherweise überwiegen sogar die Chancen des Klimawandels für den Tourismus, wie eine erhöhte touristische Nachfrage in Folge steigender Luft- und Wassertemperaturen und einer Verlängerung der Sommer- und Badesaison. Bis zum Ende des Jahrhunderts sind jedoch bei einem stark beschleunigten Meeresspiegelanstieg, zunehmenden Extremwetterereignissen, Sturmfluten und Küstenerosion Schäden an touristischer Infrastruktur und Naherholungsgebieten wie dem Wattenmeer und touristisch erschlossenen Moorgebieten zu erwarten, sodass trotz der sich bietenden Chancen ein *mittleres* Risiko prognostiziert wird.

Tabelle 25: Klimarisikobewertung der Klimawirkung *“Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft”* ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

<b>Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft</b>						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
mittel	mittel	mittel	hoch	hoch	gering	mittel

## 7.1.5. Landwirtschaft

### **Kernaussagen zum Handlungsfeld *Landwirtschaft***

Die lokale *Landwirtschaft*, geprägt durch die Grünlandbewirtschaftung, Milchviehhaltung und den Anbau von Silo- und Grünmais, steht unter dem zunehmenden Einfluss klimabedingter Veränderungen wie veränderten Niederschlagsmustern. Während sich die Verlängerung der Vegetationsperiode und der CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt positiv auf die Erträge auswirken könnten, erhöhen insbesondere Extremwetterereignisse das Risiko lokaler Ertragsausfälle und Lieferkettenengpässe. Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich aus notwendigen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen, die bestehende Flächenkonkurrenzen zukünftig weiter verschärfen könnten.

- Zunehmende Starkregenereignisse und Niederschlagssummen im Herbst- und Winter erhöhen das Risiko für die Vernässung landwirtschaftlich genutzter Marsch- und Moorböden, die bereits heute auf künstliche Entwässerung angewiesen sind. In Verbindung mit langfristig zunehmendem Hitze- und Trockenstress in der Vegetationsperiode stellt dies mittelfristig ein **mittleres** und langfristig ein **hohes** Klimarisiko für *Abiotischen Stress (Pflanzen)* dar. Pflanzenwachstum und -gesundheit werden beeinträchtigt und die Anfälligkeit für biotische Stressoren wie Krankheiten, Pilze und Unkräuter erhöht. Dadurch werden die landwirtschaftlichen Erträge und in direkter Konsequenz die Milchviehwirtschaft gefährdet, die von der lokalen Futtermittelproduktion abhängig ist.

Der ländliche Raum spielt eine zentrale Rolle in der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte. Die Landwirtschaft ist dabei aufgrund ihrer naturgegeben sehr engen Verbindung mit den klimatischen Verhältnissen in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen. Das Klima ist entscheidend dafür, welche Pflanzen in einer bestimmten Region angebaut werden können. Das Wetter und die Witterung sind ausschlaggebend für die Größe und Qualität des Ertrags und das Wohlergehen der Tiere. Landwirtschaftliche Flächen konkurrieren heute mit anderen Nutzungen, etwa Klima- und Naturschutz sowie der Sicherung der Ressourcen Boden und Wasser. Diese Flächenkonkurrenz wird sich durch den Klimawandel und die notwendigen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen weiter verschärfen, was neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels zusätzliche indirekte Herausforderungen für die Landwirtschaft mit sich bringt. Die Landwirtschaft ist oft nicht Teil kommunaler Klimarisikoanalysen (UBA, 2022), aufgrund ihrer hohen Relevanz in Geestland wird sie hier gesondert betrachtet.

Von besonderer Bedeutung in Geestland ist die Milchviehwirtschaft. Im Jahr 2020 wurden von 219 Betrieben mehr als 50.000 Rinder gehalten (vgl. Tabelle 26). Damit leistet Geestland einen wichtigen Beitrag zur deutschen Milchproduktion. Die Milchviehwirtschaft prägt indirekt das Landschaftsbild durch Grünlandbewirtschaftung für die Futterproduktion, überwiegend auf den entwässerten Moor- und Marschgebieten. Das Grundfutter der Kühe, das z.B. aus Mais- oder Grassilage besteht, wird meist von den Höfen selbst angebaut und hergestellt. Sowohl die Anzahl der Betriebe als auch der Tiere ist seit 2010 allerdings rückläufig (LSN, 2024b).

Tabelle 26: Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Viehbestand in Geestland 2020, angelehnt an LSN (2024b)

Rinder		Schweine		Hühner		Schafe		Ziegen		Einhufer	
Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere
219	50.868	13	8.156	40	473.339	14	270	10	-	69	436

Tabelle 27 bis Tabelle 29 zeigen die Zusammensetzung der Landwirtschaft nach Nutzungs- und Kulturart. Die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) in Geestland beträgt 134.812 Hektar (ha), davon werden etwa 55 % als Dauergrünland, vor allem als Weiden, genutzt. Die Grünlandbewirtschaftung findet überwiegend auf den Marschen und kohlenstoffreichen Böden (Hoch- und Niedermooren) statt. Auf der Geest überwiegt der Ackerbau.

Tabelle 27: Zusammensetzung der landwirtschaftlichen Betriebe und Nutzflächen in Geestland in 2020, angepasst von LSN (2024b)

Landwirtschaftlich genutzte Fläche gesamt		davon							
		Ackerland gesamt				Dauergrünland gesamt			
		Wiesen		Weiden		Wiesen		Weiden	
Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha
294	25.182	245	11.210	276	13.945	69	1.327	275	11.778

Im Ackerbau werden auf 8.767 ha hauptsächlich Pflanzen zur Grünernte, vor allem Silo- und Grünmais für die Biogasproduktion und Viehfuttererzeugung, angebaut.

Tabelle 28: Zusammensetzung der Kulturarten im Ackerbau: Pflanzen zur Grünernte in Geestland in 2020, angepasst von LSN (2024b)

Pflanzen zur Grünernte gesamt		davon			
		Silomais/Grünmais		Feldgras/Grasanbau auf dem Ackerland	
Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha
236	8.767	227	7.654	125	900

Der Anbau von Getreide, hauptsächlich Roggen, Weizen und Gerste, spielt mit insgesamt 1.623 ha eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 29: Zusammensetzung der Kulturarten im Ackerbau: Getreideanbau in Geestland in 2020, angepasst von

Getreideanbau zur Körnergewinnung gesamt		davon						davon			
		Weizen gesamt		davon				Roggen und Wintermenggetreide		Gerste	
				Winterweizen		Sommerweizen					
Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha	Anzahl Betriebe	ha
128	1.623	36	391	31	338	8	52	83	713	53	307

LSN (2024b)

Bei der Sichtung der zu betrachtenden Klimawirkungen stand die lokale Betroffenheit und Relevanz für Geestland im Mittelpunkt. Auf Grundlage der durchgeführten Experteninterviews konnten sinnvolle Schwerpunkte aus der Vielzahl der handlungsfeldspezifischen Klimawirkungen der vorliegenden Analyse gesetzt werden.

*Frost und Bodenerosion* wurden aufgrund des geringen räumlichen Vorkommens nicht weiter betrachtet. Die hydraulische Gefährdungsanalyse für den Landkreis Cuxhaven zeigt für ein dynamisches Starkregenereignis von 36,6 mm/h (Szenario 3) trotz einer sehr hohen Spitzenintensität von 18,1 mm zwischen der 20. und 25. Minute für die meisten landwirtschaftlichen Flächen keine (1.072,95 km<sup>2</sup>) oder geringe (291,40 km<sup>2</sup>) Erosionsgefährdung, während nur für 11,01 km<sup>2</sup> ein mäßiges, für 3,08 km<sup>2</sup> ein hohes und für 0,31 km<sup>2</sup> ein sehr hohes Erosionsrisiko modelliert wurde (TAUW GmbH et al., 2024). Der Grund für die niedrige Erosionsgefährdung ist das überwiegend flache Relief, wobei lediglich für wenige Regionen mit stärker ausgeprägtem Relief höhere Abflussgeschwindigkeiten erreicht und hohe oder sehr hohe Erosionsgefährdungen festgestellt werden.

Des Weiteren wurden Klimawirkungen wie die *Verschiebung von Anbaugebieten* oder die *Beeinflussung der agrophänologischen Phasen*, die aus kontinuierlich verlaufenden klimatischen Veränderungen resultieren, für eine nähere Betrachtung ausgeschlossen, da nach Tenor der Interviews ein Umgang mit graduellen Änderungen des Klimas bereits Teil der landwirtschaftlichen Praxis ist und die akute Handlungserfordernis weniger bestimmen als die Entwicklung der Extremwetterereignisse.

Die Klimaprojektionen zeigen eine zukünftige Zunahme der Tage mit Hitzestress für das Nutzvieh. Das Wohlbefinden und die Milchleistung von Kühen nehmen bereits bei geringem Hitzestress ab, denn außerhalb der artspezifischen, sogenannten thermoneutralen Zone (TNZ), muss das Tier zusätzliche Energie aufwenden, um die Körpertemperatur konstant zu halten. Milchrinder sind dabei sehr tolerant gegenüber Kälte, reagieren allerdings sensibel auf höhere Temperaturen. Zudem sinkt mit steigender Milchleistung der Kühe die obere kritische Temperatur der TNZ. Hochleistungsrassen mit einer Leistung von 40 kg Milch pro Tag verlassen bereits ab ca. 8 °C Stalltemperatur den optimalen Temperaturbereich, sodass darüber hinaus mit Kühlung begonnen werden sollte (LFULG, 2020). Die Milchviehwirtschaft spielt in

Geestland eine große Rolle und die Rinder sind den Temperaturen auf dem Freiland und in offenen Boxenlaufställen direkt ausgesetzt, wobei Tiere aktuell vermehrt im Stall gehalten werden, auch aufgrund der Verbreitung des Wolfs in Niedersachsen. Zudem gehören die meisten Milchnutzungsrinder der Hochleistungsrasse Holstein-Schwarzbunt an und technische Anlagen zur Kühlung sind in den Ställen noch nicht weit verbreitet. In Folge des Klimawandels werden die Tiere zukünftig deutlich häufiger Temperaturen oberhalb ihrer TNZ ausgesetzt sein. Der Hitzestress wird für Rinder häufig über den Temperature-Humidity-Index (THI) als Kombination aus Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit beschrieben. Ein THI von 70-80 gilt als starker Hitzestress. Messungen ermittelten eine Abnahme der Milchleistung von 0,303 kg/h bei einem THI von 71 (LFULG, 2020). Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte die Anzahl der Tage mit starkem Hitzestress unter dem RCP8.5-Szenario in der Region um 10 bis 30 Tage zunehmen, während entsprechende Tage im Bezugszeitraum 1971-2000 nahezu gar nicht auftraten (UBA, 2021). Das stellt die Milchviehwirtschaft der Region damit vor eine bisher unbekannte, neue Herausforderung. Aber auch bei anderen Nutztierarten, wie Schweinen und Hühnern, kann sich Hitzestress negativ auf das Tierwohl, das Immunsystem und die Quantität und Qualität der erzeugten tierischen Produkte auswirken. Dennoch wird aufgrund der gegenwärtig kühleren Sommer und geringeren Zunahme an Hitzeentagen (heiße Tage, schwüle Tage, Sommertage, Tropennächte) im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt eine vergleichsweise geringere Betroffenheit Geestlands von der Klimawirkung *Hitzestress bei und Leistung von Nutztieren* prognostiziert.

Die Landwirtschaft in Geestland ist zukünftig grundsätzlich erhöhtem *biotischen Stress* durch Schädlinge und Krankheiten, insbesondere aufgrund des stark abnehmenden Winterfrosts, der Zunahme der Jahresmitteltemperatur und längeren Trockenperioden, ausgesetzt. Der *biotische Stress* steht dabei im Zusammenhang mit abiotischen Stressfaktoren, die die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen schwächen. So sind Pflanzen unter Trockenstress anfälliger gegenüber Schädlingsbefall, während Vernässung Pilzbefall fördern kann. Gleichzeitig fördern die höheren Temperaturen die Zuwanderung neuer Unkraut- und Schädlingsarten und deren Konkurrenzfähigkeit. So hat beispielweise der wärmeliebenden Maiszünslers (Kleinschmetterling) mittlerweile auch die Maisanbaugebiete in Norddeutschland erreicht. Dessen Fraßschäden am Mais können einen Ertragsverlust von bis zu 30 % bewirken (Kliem & George, 2017). Nach der Dürre im Jahr 2018 wurde im Landkreis Cuxhaven auf dem Grünland eine erhebliche Mausekalamität festgestellt, in deren Folge es teilweise zur Zerstörung der Grasnarbe und Ertragseinbußen kam. Für eine detaillierte Einschätzung der Klimawirkung *Biotischer Stress* liegen allerdings zum Zeitpunkt der Analyse zu wenige spezifische Daten für die Region vor.

Indirekte Herausforderungen des Klimawandels ergeben sich durch gesellschaftliche und politische Reaktionen auf den Klimawandel, die voraussichtlich die Flächenkonkurrenzen verschärfen werden. Besonders zu nennen sind dabei Küstenschutz- und Hochwasserschutzmaßnahmen, da für den Rückhalt von Niederschlagszunahmen voraussichtlich zusätzliche Flächen für Gräben, Polder und Überflutungsgebiete benötigt werden. Ebenso gewinnt die Wiedervernässung der Moore, von denen im Landkreis Cuxhaven etwa 89 % zur landwirtschaftlichen Nutzung entwässert wurden, zunehmend an Bedeutung. Diese Maßnahmen folgen unter anderem dem EU-Renaturierungsgesetz (EU, 2024) und dem deutschen Klimaschutzgesetz (Deutscher Bundestag, 2021). In der Vergangenheit wurden die Moore zur Ernährungssicherung trockengelegt und vorwiegend als Grünland bewirtschaftet. Entwässerte Moore emittieren je nach Nutzung allerdings bis zu 40 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente

pro Hektar und Jahr, was deutschlandweit etwa 53 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und damit 7,5 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen ausmacht (LBEG & NLWKN, 2024). Durch Wiedervernässung kann die torfzersetzungsbedingte CO<sub>2</sub>-Emission deutlich reduziert werden, wodurch sich Einsparungen von 10 bis 35 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr und Hektar erzielen lassen (Jansen-Minßen et al., 2022). Es gibt verschiedene Optionen zur Anhebung des Wasserstands, die unterschiedliche Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Nutzung erlauben. Eine vollständige Wiedervernässung bis zur Geländeoberkante würde die Grünlandbewirtschaftung, die in Geestland eine wichtige Rolle spielt, ausschließen und erfordert alternative Bewirtschaftungsformen. Der sogenannte moorschonende Einstau beschreibt ein Anheben des Wasserstands auf 20 cm unter der Oberfläche und erlaubt eine zeitweilige Absenkung des Wasserstands auf 40 cm unter Flur. So wird Torfzersetzung reduziert und eine eingeschränkte Bewirtschaftung ermöglicht (Jansen-Minßen et al., 2022). Für die Wiedervernässung der Moore werden erhebliche Investitions- und zusätzliche Wasserbedarfe erwartet. Für den Rückhalt winterlicher Niederschläge wären beispielsweise entsprechende Rückhalteflächen notwendig.

Neben Herausforderungen kann der Klimawandel auch Chancen für die Landwirtschaft in Geestland bieten. So könnten sich die Anbaugelände von Nutzpflanzen aus dem Süden in Richtung Norden nach Geestland verschieben und es verlängert sich die Vegetationsperiode. Für die regionale Milchviehwirtschaft und Futtermittelproduktion könnten relative Wettbewerbsvorteile im Markt im Vergleich zu Erzeugern aus Regionen mit stärkerer Betroffenheit vom globalen Klimawandel entstehen. Des Weiteren regt die erhöhte Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre insbesondere bei C3 Pflanzen wie Weizen und Gras die Photosynthese an. Dieser CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt wird vom Nährstoffangebot des Bodens limitiert. Gleichzeitig führt er zu einem verringerten Nährstoffgehalt, insbesondere Proteingehalt, der Körner. Die positiven Auswirkungen des CO<sub>2</sub>-Düngeeffekts auf die Erträge wurden in der Vergangenheit oft überschätzt und wird von negativen Klimafolgen wie zunehmendem Hitze- und Trockenstress umgekehrt (Helmholtz-Klima-Initiative, 2024). Außerdem erfolgt die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft durch Durchmischung in der Atmosphäre global, sodass hier keine spezielle Betroffenheit Geestlands festgestellt wird. Daher wird der CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt hier nur anekdotisch für die wichtigsten Kulturarten eingeschätzt. Ein Großteil der landwirtschaftlichen Fläche in Geestland wird als Grünland zu Futterproduktion für die Rindviehwirtschaft bewirtschaftet. Ertragssteigerungen in Folge des CO<sub>2</sub>-Düngeeffekts erhöhen die Produktivität, gehen allerdings mit einem verringerten Energiegehalt einher, weshalb die Tiere größere Mengen an Gras zu sich nehmen müssen. Die gesteigerte Nahrungsaufnahme und Verdauung können dann wiederum durch die enterische Fermentation in den Kuhmägen zu einer höheren Produktion des klimaschädlichen Gases Methan führen. Der Ackerbau in Geestland wird insbesondere von Mais geprägt, welcher als C4-Pflanze mit bereits hoher Photosyntheserate und Wassernutzungseffizienz wiederum nur geringfügig vom CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt beeinflusst wird (HLNUG, 2019).

### **Bewertung des handlungsfeldspezifischen Klimarisikos in Vorarbeiten**

Das Klimarisiko bzw. die Vulnerabilität des Handlungsfeldes wird in der KWRA 2021 als *mittel* bis *hoch* eingeschätzt (vgl. Tabelle 30). Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass Regionen in Deutschland, die heute von eher kühlen oder feuchten Bedingungen gekennzeichnet sind, von den steigenden Temperaturen profitieren könnten, während Regionen, die eher zu Trockenheit und Hitze neigen, voraussichtlich eine Verstärkung der negativen Effekte erfahren werden. Die steigenden Temperaturen können zu einer Verschiebung der Anbaugelände von

Nutzpflanzen in Richtung Norden führen. Zudem verschiebt sich der Beginn des phänologischen Frühlings im Jahr nach vorne und verlängert die Vegetationsperiode. Davon können vor allem satzweise angebaute Kulturen und Dauerkulturen profitieren. Gleichzeitig steigt jedoch das Spätfrostisiko (UBA, 2021). Als Folge der milderer Winter und der höheren Temperaturen im Sommer wird von erhöhtem biotischem Stress durch erhöhten Schädlingsdruck von heimischen und nicht-heimischen Arten aus dem Süden und vektorübertragenen Krankheiten für Pflanzen und Nutztiere ausgegangen. Im Sommer wird eine Zunahme abiotische Stressfaktoren wie Hitze und Trockenheit prognostiziert. Insbesondere die zunehmenden Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Stürme und Starkregen können bundesweit lokal zu erheblichen Ertragsverlusten führen (UBA, 2021).

Tabelle 30: Klimarisikobewertung des Handlungsfelds "Landwirtschaft" ohne Anpassung für Deutschland nach UBA (2021)

<b>Landwirtschaft</b>				
Bewertung KWRA 2021				
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch
mittel	mittel	hoch	mittel	hoch

Im Rahmen des Projektes nordwest2050 erfolgte keine Gesamtbewertung für das Handlungsfeld Landwirtschaft. Stattdessen wurden Klimarisiken für die Ernährungswirtschaft auf der Ebene von verschiedenen Wertschöpfungsketten der Milch-, Schweinefleisch-, Geflügel und Fischwirtschaft bewertet. Die Vulnerabilität der Milchviehwirtschaft wird dabei gegenüber der Fleisch- und Fischwirtschaft als höher eingeschätzt, da sie in hohem Maße von der lokalen Futtermittelproduktion in der Region abhängig ist und die Tiere auf den Weiden klimatischen Einflüssen direkt ausgesetzt sind.

Zukünftige sozioökonomische Faktoren und Herausforderungen, wie der Strukturwandel, Flächenkonkurrenzen, und die zunehmende Ausrichtung auf weniger robuste Hochleistungsrassen, werden als wesentlich bestimmendere Faktoren für die Entwicklungen in der Ernährungswirtschaft gesehen, als die relativ moderaten Klimaänderungen. Die Auswirkungen des Klimawandels sind dabei äußerst komplex und oft erst indirekt über Folgeeffekte in zweiter oder dritter Ordnung auf die Akteure der Wertschöpfungsketten wirksam. Allen Wertschöpfungsketten der Ernährungswirtschaft gemein ist, dass vermehrt Lieferverzögerungen und -unterbrechungen aufgrund von Extremwetter und Kostensteigerungen in Folge des Klimawandels erwartet werden.

#### 7.1.5.1. Abiotischer Stress (Pflanzen)

Die Klimawirkung *Abiotischer Stress für Pflanzen* bezieht sich auf negative Umwelteinflüsse des Klimawandels, beispielsweise Hitze- und Trockenstress, verringerte Nährstoffverfügbarkeit oder die Vernässung landwirtschaftlicher Böden.

Pflanzen sind vom Wasser abhängig. Sowohl ein Mangel als auch ein Übermaß an Wasser kann landwirtschaftliche Kulturen negativ beeinflussen. Im Boden enthaltene Nährstoffe können

Pflanzen nur in gelöster Form mit ihren Wurzeln aufnehmen. Außerdem sind die Transportprozesse und Photosynthese vom Vorhandensein Wassers abhängig.

Für die zukünftige Entwicklung der Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode wird keine eindeutige Veränderung erwartet. Allerdings ist von einer veränderten Niederschlagsverteilung auszugehen, mit häufigeren und intensiveren Starkregenereignissen sowie längeren Dürreperioden. Steigende Temperaturen werden zudem zu einer Zunahme von Trockenheit während der Vegetationsperiode führen. Auch wenn Geestland noch vergleichsweise gering betroffen ist, werden Hitze und Trockenstress für Pflanzen zukünftig zunehmen.

Bei Wassermangel schließen sich die Spaltöffnungen der Blätter und schränken so die Photosynthese und damit den Aufbau von Biomasse ein. Bei langanhaltender Trockenheit, besonders in Verbindung mit Hitze, drohen erhebliche Ertragsverluste oder das Absterben der Pflanzen. Trockenheitsgestresste Pflanzen sind zudem anfälliger für Schädlinge und Krankheiten. Bei starker Hitze kann es zur Sterilisation von Weizenpollen kommen. Trockene Böden sind zudem anfälliger für Erosion durch Wind und Wasser.

Entscheidend für die Pflanzenentwicklung ist die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden, angegeben durch die nutzbare Feldkapazität (nFK). Fällt der Wassergehalt im Boden unter den Welkepunkt, ist für die Pflanzen kein nutzbares Wasser mehr vorhanden. Bei einer Bodenfeuchte unter 50 % der nFK beginnt Trockenstress, sinkt sie unter 30 % spricht man von starkem Trockenstress mit Ertragsverlusten. Die nFK des effektiven Wurzelraums hängt von der Bodenbeschaffenheit und Porengröße ab und variiert daher stark zwischen Geest-, Marsch- und Moorböden. Die sandigen und lehmigen Geestböden können weniger Wasser speichern und trocknen schneller aus. Eine höherer Humusgehalt in der oberen Bodenschicht erhöht dabei die Wasserspeicherfähigkeit. Die Marschböden aus schluffigem Ton können viel Wasser speichern (hohe nFK), das macht sie jedoch anfälliger für Vernässung. Das Graben- und Sielsystem zur Entwässerung der Marschgebiete dient gleichzeitig der Zuwässerung während sommerlichen Trockenzeiten in der Vegetationsperiode und als Tränke für das Weidevieh. Die torfreichen Moorböden haben eine sehr hohe nFK, hier wird der Wasserstand vielerorts künstlich abgesenkt, um eine Bewirtschaftung zu ermöglichen. Diese organische Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung sind besonders von Dürre betroffen (Hydor Consult GmbH et al., 2023) und bei Austrocknen anfällig für Mineralisation, die langfristig die Fruchtbarkeit verringern kann.

Über das Geoportal des Landkreises Cuxhaven lässt sich im Kartendienst "Vulnerabilität - Gefahren durch Trockenheit und Dürre" die Dürrierisikokarte mit betroffenen Landnutzungsgruppen aufrufen (Hydor Consult GmbH et al., 2023; Landkreis Cuxhaven, 2024a). Abbildung 25 zeigt die maximale Dürredauer, definiert als 20. Perzentil der Zeitreihe der relativen Bodenfeuchte (agrarische Dürre), in einem Kalenderjahr des Zeitraums 1991-2022 für einen Ausschnitt zwischen Langen, Sievern und dem Dorumer Moor. Für Ackerland und Grünland zeigt sich in dem Ausschnitt eine überwiegend moderate maximale Dürredauer von 5-6 Monaten, vereinzelt aber auch 6-7 oder 7-8 Monate. Der Median der maximalen Dürredauer liegt für Acker und Grünland im Landkreis bei etwa 220 Tagen ( $\approx$  7 Monate).

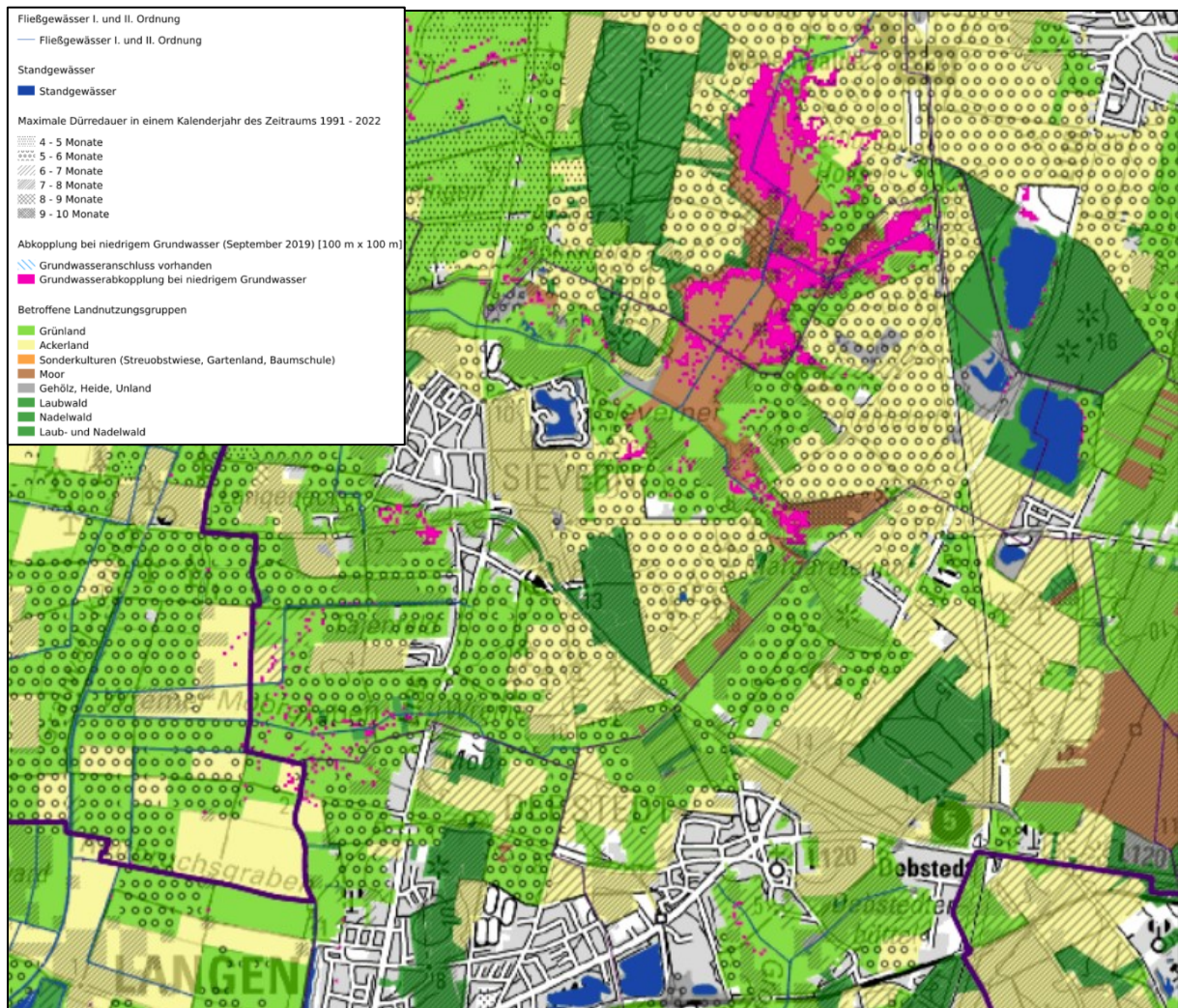


Abbildung 25: Dürrierisiko mit betroffenen Landnutzungsgruppen - Ausschnitt zwischen Langen, Sievern und dem Dorumer Moor; Quelle: Landkreis Cuxhaven, 2024a © GIS-Service Landkreis Cuxhaven | © GeoBasis-DE / BKG dl-de/by-2-0 | © GeoBasis-DE / LGLN | © OpenStreetMap contributors

Die Anbaukulturen und Entwicklungsstadien der Pflanzen unterscheiden sich stark in ihrer Anfälligkeit gegenüber Hitze und Trockenstress. Langanhaltende Dürreperioden, wie in den Sommern 2018 und 2019, können im Grünland die Grasnarbe erheblich beschädigen. Besonders flachwurzeln Pflanzen sind anfällig für Trockenheit, und die entstehenden Lücken bieten Unkräutern Raum zum Einwandern. Mais als wichtigste Ackerbaukultur in der Region weist als subtropische C4-Pflanze eine hohe Wassernutzungseffizienz auf und ist sehr hitzetolerant. Dennoch kann Mais sein volles Ertragspotenzial nur bei ausreichender Wasserversorgung ausschöpfen, wobei die empfindlichste Phase zwischen Blüte und Kornfüllung liegt. Winterweizen hingegen hat eine geringere Wassernutzungseffizienz als Mais und ist besonders anfällig während der Entwicklungsphasen des Schossens sowie zwischen Blüte und Kornfüllung.

In der Vergangenheit spielte Wassermangel in der Region eine eher untergeordnete Rolle, während die Landwirtschaft vor allem von einem Überangebot an Wasser geprägt war. Dies betrifft die niedrig gelegenen Marschgebiete und die Moorböden, die für die landwirtschaftliche Nutzung künstlich entwässert wurden. Zur Vernässung (Staunässe) auf den Feldern kommt es in Folge von langanhaltenden, hohen Niederschlägen und/oder nicht ausreichender Entwässerung, wenn der Boden über längere Zeit gesättigt ist und kein weiteres Wasser

aufnehmen kann. Dies beeinträchtigt die Durchlüftung des Bodens und damit die Sauerstoffversorgung der Pflanzenwurzeln, aber auch die Befahr- und Bearbeitbarkeit der Böden mit landwirtschaftlichen Maschinen. Außerdem kann das überschüssige Wasser zur Nährstoffauswaschung führen und die Bodenstruktur und damit beispielsweise die Wasseraufnahme langfristig verändern.

Marschböden und entwässerte Moorböden sind aufgrund ihrer hohen Wasserspeicherkapazität besonders anfällig für Vernässung. Damit erreichen sie bei einem Starkregenereignis schnell den Sättigungszustand und bleiben ohne Entwässerung lange vernässt. Um das zu verhindern, wurde ein Netz aus Entwässerungsgräben angelegt, um überschüssiges Wasser abzuleiten. Die landwirtschaftlichen Flächen auf den Marschböden im Sietland sind durch ihre niedrigere Lage einem besonders hohen Risiko der Vernässung ausgesetzt, insbesondere wenn bei gleichzeitigem Auftreten von Starkregen und hohen Tidewasserständen das freie Sielen nicht möglich ist. Die Geest besteht überwiegend aus sandigem Boden, in dem das Wasser relativ schnell abfließen kann. Daher ist das Risiko für Staunässe hier geringer.

Für das Risiko der Vernässung während der Vegetationsperiode kann auf Grundlage der Klimaprojektionen für die Region keine eindeutige Aussage getroffen werden. Der Anstieg der mittleren Lufttemperaturen und die Zunahme von Sonnentagen und Hitzeereignissen steigern die potentielle Evapotranspiration. Dem gegenüber steht eine veränderte Niederschlagsverteilung zum Extremen. Für den Herbst und Winter ist jedoch mit einer klaren Zunahme vernässender Niederschlagsereignisse zu rechnen, da intensivere und häufigere Regenfälle in diesen Jahreszeiten prognostiziert werden. Dies hätte insbesondere Konsequenzen für die Winterkulturen im Ackerbau die im Herbst gesät werden, wie dem Roggen und Wintermenggetreide (713 ha), Winterweizen (338 ha) und der Wintergerste (231 ha) (LSN, 2024b). Mögliche Folgen sind eine verzögerte Aussaat, schlechtere Keimung, erhöhte Verbreitung von Bodenkrankheiten wie Wurzelfäule und Pilzen oder das "Ertrinken" der Pflanzen bei andauernder Staunässe. All diese Faktoren können zu Ertragsverlusten führen. Auch die Grünlandbewirtschaftung ist von zunehmender winterlicher Vernässung betroffen, welche zu Schäden an der Grasnarbe, Bodenverdichtung, Nährstoffauswaschung oder eingeschränkter Befahrbarkeit für Pflegearbeiten führt.

In der KWRA 2021 wird das Risiko *Abiotischer Stress (Pflanzen)* als *mittel bis hoch* bewertet (vgl. Tabelle 31). Hitze und Trockenstress werden in Geestland zukünftig eine größere Rolle spielen und zu einem Beregnungsbedarf führen. Aufgrund der maritimen Prägung, speicherfähiger Moor- und Marschböden, Robustheit der Hauptkulturpflanzen (Mais) und ganzjährig relativ gleichmäßiger Niederschlagsverteilung ist Geestland im bundesweiten Vergleich eher geringer betroffen als beispielsweise niederschlagsärmere Regionen in kontinentaler Lage oder Regionen mit überwiegend sandigen, leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität. In Bezug auf die Vernässung landwirtschaftlicher Böden ist Geestland einem besonders hohen Risiko ausgesetzt. Schon jetzt werden viele landwirtschaftlichen Flächen auf den Marsch und Moorgebieten künstlich entwässert. Die geringeren Versickerungsraten und hohen Wasserspeicherkapazitäten dieser Böden, als auch die zukünftig stark zunehmenden Winterniederschläge und Starkregenereignisse erhöhen das Risiko der Vernässung und belasten das Wassermengenmanagement. Zunehmende Wassermengen müssen trotz gleichzeitig steigenden Wasserständen in der Außenweser abgeführt und überschüssiges Wasser aus dem Winter idealerweise für die Zuwässerung im Sommer zurückgehalten werden.

Die Kombination aus geringerer und erhöhter Betroffenheit führt zu einer mittelfristig *mittleren* und langfristig *hohen* Gesamtbewertung des Risikos *Abiotischer Stress (Pflanzen)* für Geestland.

Tabelle 31: Klimarisikobewertung der Klimawirkung “Abiotischer Stress (Pflanzen)” ohne Anpassung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung nach UBA (2021)

Abiotischer Stress (Pflanzen)						
Bewertung KWRA 2021					Bewertung AnExGe	
aktuell	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Mitte des Jahrhunderts	Ende des Jahrhunderts
	optimistisch	pessimistisch	optimistisch	pessimistisch		
mittel	mittel	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch

## 8. Unsicherheiten und Grenzen der Analyse

Eine besondere Herausforderung bei der Erstellung kommunaler KWRAs liegt in der generellen Gesamtkomplexität, die durch die Vielzahl an potenziellen Klimawirkungen und deren Wechselwirkungen entsteht. Um dieser Komplexität zu begegnen, wurde in dieser Arbeit ein vergleichender Ansatz gewählt, der sich an den Ergebnissen der deutschlandweiten KWRA 2021 (UBA, 2021) und der Vulnerabilitätsstudie für die Metropolregion Bremen-Oldenburg (Schuchardt & Wittig, 2012) orientiert. Durch das Herausstellen erhöhter räumlicher, klimatischer oder sozioökonomischer Betroffenheit Geestlands im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt konnten relevante Klimawirkungen für die nähere Betrachtung vorausgewählt werden. Im Anschluss wurden diese auf Basis der lokalen, spezifischen Bedingungen Geestlands operationalisiert und mit den oben genannten Studien vergleichend eingeschätzt. Dieser Ansatz hat jedoch seine Grenzen. Er übernimmt die Unsicherheiten und potenziellen Fehler der zugrundeliegenden KWRA 2021. Zudem erlaubt er weder quantifizierbaren Aussagen über die absolute Höhe der Klimarisiken noch Vergleiche zwischen Handlungsfeldern oder Regionen außerhalb Deutschlands. Die Operationalisierung basiert auf einer Kombination aus Literaturrecherche und subjektivem Ansatz, wie Stakeholder-Gesprächen und Umfragen. In die Bewertung fließen also zum Teil subjektive Einschätzungen, Erfahrungen und Werthaltungen ein. Andererseits bieten gerade diese subjektiven Einschätzungen wertvolle Einblicke in wahrgenommene Risiken, Ängste und Bedarfe für die kommunale KWRA.

Neben den methodischen Einschränkungen ergeben sich zusätzliche Herausforderungen aus der generellen Unsicherheit von Klimaprognosen. Die Wahl des Szenarios und der verwendeten Modelle beeinflusst die Ergebnisse erheblich, wie die breite Spanne der Niederschlagsprognosen für den Landkreis unter dem RCP 8.5 Szenario bis Mitte des Jahrhunderts zeigt (vgl. Pfeifer et al., 2021). Weitere Unsicherheiten ergeben sich aus zukünftigen gesellschaftlichen Trends, welche die Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels in hohem Maße beeinflussen können. Sozioökonomischen Prognosen sind sehr unsicher und können nur kurzfristige gesellschaftliche Entwicklungen mit einiger Sicherheit abbilden. Die Analyse stützt sich daher im Wesentlichen auf aktuelle sozioökonomische Daten. Um möglichst präzise Risikoabschätzungen treffen und geeignete Anpassungsmaßnahmen

entwickeln zu können, ist es unerlässlich, den klimatischen und sozialen Wandel kontinuierlich zu überwachen und Prognosen an den aktuellen Erkenntnisstand anzupassen.

Die Ergebnisse der Studie liefern also keine absoluten quantifizierten Aussagen zu den erwartbaren Klimarisiken. Allerdings ermöglichte das methodische Vorgehen die Identifikation und Priorisierung der drängendsten Klimarisiken von denen Geestland mittel- und langfristig potenziell besonders betroffen sein wird. Dort, wo die potenziellen Klimarisiken als hoch eingestuft wurden, wurde ein erhöhter Handlungsbedarf festgestellt und Maßnahmen der Klimafolgenanpassung sollten priorisiert geplant und umgesetzt werden.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) für Geestland hat zum Ziel, prioritäre Handlungsbedarfe für die Klimaanpassung zu identifizieren und somit eine fundierte Grundlage für die Planung von Maßnahmen zu schaffen. Im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt zeigen sich für Geestland insgesamt eher moderate Klimaänderungen. Mit einigen Ausnahmen weist die Region in vielen Handlungsfeldern, wie Bauwesen, Forstwirtschaft und menschlicher Gesundheit, vergleichsweise geringere Betroffenheit auf. Bis 2050 erscheinen die Auswirkungen des Klimawandels in Geestland größtenteils beherrschbar. Langfristig ändert sich dieses Bild jedoch bei einem stark beschleunigten Meeresspiegelanstieg, veränderten Niederschlagsmustern und steigenden Temperaturen. In ausgewählten Handlungsfeldern, wie Küsten- und Meeresschutz, Wasserwirtschaft und biologischer Vielfalt, ergeben sich erhebliche Herausforderungen. Besonders bei der biologischen Vielfalt könnten die Auswirkungen die natürliche Anpassungskapazität der Ökosysteme übersteigen. In diesen Punkten deckt sich die KWRA weitgehend mit den Ergebnissen der Vulnerabilitätsstudie für die Metropolregion Bremen-Oldenburg von Schuchardt & Wittig (2012). Die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Studie werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

### **Klimatische Einflüsse**

Geestland ist durch ein gemäßigtes maritimes Klima geprägt, was durch die Nähe zur Nordsee, die geringe Geländehöhe und vorherrschende Westwinde bestimmt ist. Die jährlichen Temperaturschwankungen sind gering, mit milden Wintern und kühlen Sommern, und die Niederschläge verteilen sich gleichmäßig über das Jahr. Die Klimaprojektionen nach dem RCP8.5-Szenario sagen bis zum Ende des Jahrhunderts eine Zunahme der Temperaturen, mehr heiße Tage und Tropennächte sowie längere Hitzeperioden voraus, während Frost- und Eistage deutlich abnehmen. Der Winterniederschlag und die Häufigkeit von Starkregenereignissen werden tendenziell zunehmen. Auch die maximalen Sturmflut- und Tidewasserstände werden in Folge des Meeresspiegelanstiegs zunehmen, während für die Entwicklung der Windgeschwindigkeiten keine eindeutige Aussage getroffen werden kann.

### **Räumliche Exposition**

Geestland liegt zentral im Landkreis Cuxhaven und ist geprägt von einer abwechslungsreichen Landschaft mit flacher Topographie. Die Stadt umfasst sowohl tiefliegende Marschgebiete an der Nordseeküste, überwiegend entwässerte Moorgebiete, als auch leicht erhöhte Geestgebiete im Binnenland. Die direkte Küstennähe und die niedrige Geländehöhe (von -1 m bis maximal 30 m über NHN) machen Geestland anfällig für klimawandelbedingte Effekte wie dem Meeresspiegelanstieg. Besonders die Marschen sind von Überschwemmungen bedroht, da sie

zur Entwässerung auf künstliche Systeme angewiesen sind, die durch steigende Wasserstände in der Nordsee zunehmend in ihrer Funktion belastet werden.

### Sozioökonomische Sensitivität

Geestland ist mit 31.713 Einwohnerinnen und Einwohnern auf 356 km<sup>2</sup> eine dünn besiedelte Stadt und zählt zu den strukturschwachen, ländlichen Regionen Deutschlands. Aufgrund der ländlichen Struktur ist Geestland weniger anfällig gegenüber überwiegend städtischen Risiken wie urbanen Sturzfluten und Hitzeinseln, die aus einer hohen Besiedlungsdichte, Infrastrukturabhängigkeit und hohem Versiegelungsgrad resultieren. Geestlands Altenquotient ist vergleichsweise hoch und die Überalterung wird in den nächsten Jahren weiter ansteigen. Der Anstieg vulnerabler Bevölkerungsgruppen macht die Stadt anfälliger für Hitzestress und andere gesundheitsbezogene Klimarisiken. Wirtschaftlich weist Geestland mit einer hohen Zahl an Auspendlern und einer vergleichsweise niedrigen Bruttowertschöpfung strukturelle Schwächen auf, die die Anpassungskapazität an den Klimawandel einschränken. Gleichzeitig zeigt die Stadt durch ihre Vorreiterrolle in Nachhaltigkeitsmaßnahmen wie dem Gewinn des Deutschen Nachhaltigkeitspreises, dass sie sich der Herausforderungen bewusst ist und aktiv Maßnahmen ergreift, um diesen zu begegnen.

### Klimarisiken

Tabelle 32 fasst die Ergebnisse der Bewertung für die betrachteten Handlungsfelder und Klimarisiken zusammen. Lediglich für die zuvor ausgewählten (blau hinterlegten) Klimawirkungen mit erhöhter relativen Betroffenheit Geestlands erfolgte eine Bewertung des Klimarisikos qualitativ als gering, mittel oder hoch. Für die übrigen Klimawirkungen aus den Handlungsempfehlungen des UBA für kommunale KWRA (UBA, 2022) werden die Ergebnisse der bundesweiten KWRA 2021 für Deutschland (pessimistisch - optimistisch) aufgeführt. Die im Rahmen des Screenings-Prozesses getroffene Einschätzung der relativen Betroffenheit Geestlands im Vergleich zum Bundesdurchschnitt wird für diese Klimawirkungen zusätzlich symbolisch dargestellt: *Geringer* (↓), *Geringer - Niedrig* (↘), *Niedrig* (▢), *Niedrig - Mittel* (↗).

Tabelle 32: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse für die betrachteten Handlungsfelder und Klimarisiken, ausgewählte Klimawirkungen und ihre Bewertung farblich hinterlegt, Bewertung nicht näher betrachteter Klimawirkungen (weiß hinterlegt) basiert auf der KWRA 2021 nach UBA (2021), für diese wird die eingeschätzte relative Betroffenheit Geestland im Vergleich zum Bundesdurchschnitt symbolisch dargestellt

Handlungsfeld	Klimawirkung	Klimarisiko	
		Mitte des Jahrhunderts (2036-2065)	Ende des Jahrhunderts (2071-2100)
Biologische Vielfalt	Veränderung der Länge der Vegetationsperiode und Phänologie	mittel - hoch ↓	mittel - hoch ↓
	Ausbreitung invasiver Arten	hoch	hoch
	Verlust an genetischer Vielfalt	mittel	hoch
	Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände	mittel	hoch
	Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten	hoch	hoch
	Schäden an Wäldern	mittel - hoch ↘	mittel - hoch ↘
	Ökosystemleistungen	mittel	hoch
Boden	Bodenerosion durch Wasser	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗

Handlungsfeld	Klimawirkung	Klimarisiko	
		Mitte des Jahrhunderts (2036-2065)	Ende des Jahrhunderts (2071-2100)
Wald- und Forstwirtschaft	Bodenerosion durch Wind	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Hitze- und Trockenstress	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Stress durch Schädlinge/Krankheiten	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Waldbrandrisiko	gering - mittel ↗	mittel - hoch ↗
	Nutzfunktion: Holztrag	gering - mittel ↗	gering - mittel ↗
Küsten- und Meeresschutz	Naturräumliche Veränderung an Küsten	mittel	hoch
	Beschädigung oder Zerstörung von Siedlungen und Infrastruktur an der Küste	gering - mittel =	mittel - hoch =
	Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten	mittel	hoch
Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft	Niedrigwasser	mittel - hoch =	mittel - hoch =
	Hochwasser	mittel	hoch
	Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen	mittel	hoch
	Sturzfluten (Versagen von Entwässerungseinrichtungen und Überflutungsschutzsystemen)	mittel - hoch =	mittel - hoch =
	Gewässertemperatur und Eisbedeckung und biologische Wasserqualität	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Grundwasserstand und Grundwasserqualität	mittel	mittel
	Mangel an Bewässerungswasser	gering - mittel ↗	mittel - hoch ↗
Bauwesen	Schäden an Gebäuden aufgrund von Starkregen	mittel ↗	mittel ↗
	Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Vegetation in Siedlungen	mittel ↗	mittel - hoch ↗
	Stadtklima/Wärmeinseln	mittel - hoch ↓	mittel - hoch ↓
	Innenraumklima	mittel - hoch ↓	mittel - hoch ↓
Industrie und Gewerbe	Leistungseinbußen von Beschäftigten	gering - mittel ↗	mittel - hoch ↗
Tourismuswirtschaft	Einschränkung touristischer Angebote: Auswirkungen fehlender Schneesicherheit auf den Wintertourismus	mittel ↓	hoch ↓
	Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	mittel ↗	mittel - hoch ↗
	Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft	gering	mittel
Menschliche Gesundheit	Allergische Reaktionen durch Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗

Handlungsfeld	Klimawirkung	Klimarisiko	
		Mitte des Jahrhunderts (2036-2065)	Ende des Jahrhunderts (2071-2100)
	UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insb. Hautkrebs)	mittel - hoch ↗	mittel - hoch ↗
	Atembeschwerden (aufgrund von Luftverunreinigungen)	mittel ↓	mittel - hoch ↓
	Auswirkungen auf das Gesundheitssystem	mittel ↗	mittel - hoch ↗
Landwirtschaft	Hitzestress bei und Leistung von Nutztieren	gering - mittel ↗	mittel - hoch ↗
	Abiotischer Stress (Pflanzen)	mittel	hoch

Insgesamt machen die Kombination aus landwirtschaftlicher Nutzung, tiefliegenden Gebieten, die Vielzahl wassergebundener Habitats und der Nähe zur Küste die Region besonders anfällig für wasserbezogene Klimarisiken. Die Klimaanpassungsbedarfe in Geestland werden daher vor allem von Risiken in Folge von Starkregen, Überschwemmungen, und Meeresspiegelanstieg bestimmt. Andererseits haben die maritime Prägung und der geringe Versiegelungsgrad eine dämpfende Wirkung auf den Temperaturanstieg und Hitzefolgen.

Besonders hoch werden die Klimarisiken für die *Biologische Vielfalt* eingeschätzt. Die empfindlichen Ökosysteme Geestlands, wie Moore, Feuchtgebiete und das Wattenmeer werden stark von den prognostizierten klimatischen Veränderungen beeinflusst. Starkregen, Dürren, zunehmende Schwankungen des Grundwasserspiegels, marine Hitzewellen und invasive Arten bedrohen insbesondere die wassergebundenen Habitats sowie ihre wertvollen Ökosystemleistungen und damit auch die Lebensbedingungen der an das aktuelle Klima angepassten Arten. Gesunde Ökosysteme binden CO<sub>2</sub> und dienen gleichzeitig als Puffer für die Folgen des Klimawandels, zum Beispiel durch die Regulierung des Wasserhaushalts oder der Funktion als natürliches Küstenschutzelement. Durch Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt können also die negativen Folgen des Klimawandels für die wertvollen Ökosysteme verringert und somit gleichzeitig den Zielen der Klimaanpassung und des Klimaschutzes Rechnung getragen werden. Zusätzlich können die Lebensqualität und Attraktivität der Region gesichert und wirtschaftliche Vorteile etwa durch den Erhalt landwirtschaftlicher Flächen und des Tourismus erzielt werden (Win-Win-Win-Maßnahmen).

Im Bereich *Küsten- und Meeresschutz* wird vor allem das langfristige Risiko für *Naturräumliche Veränderungen der Küste* bei fortschreitendem, beschleunigtem Meeresspiegelanstieg als hoch eingeschätzt, welcher die Trockenfalldauer des Watts verkürzt. Zudem ist die natürliche Anpassungsfähigkeit des Watts aufgrund der landseitigen Begrenzung durch den Küstenschutz stark eingeschränkt. Der Küstenschutz in der deutschen Bucht profitiert von langjährigen Erfahrungen und den umfangreichen historischen und aktuellen Schutzmaßnahmen, welche mit hoher Sicherheit bis zum Ende des Jahrhunderts auch bei höherer Belastung weiter ihr Schutzniveau halten können. Bei langfristig fortschreitendem, stark beschleunigtem Meeresspiegelanstieg besteht jedoch die Gefahr, dass der traditionelle Küstenschutz nicht mehr ausreicht und neue Maßnahmen erforderlich werden, für die bisher wenig Erfahrung besteht.

In Folge des Meeresspiegelanstiegs und steigender Winterniederschläge entsteht für das Handlungsfeld *Wasserwirtschaft* ein erhöhtes Risiko für Binnenhochwasser - mit dringlichem

Handlungsbedarf. Die Entwässerung der niedrig gelegenen Marschgebiete im Grauwallgebiet wird durch steigende Wasserstände in der Außenweser eingeschränkt. Bei gleichzeitig auftretendem Starkregen und sturmflutbedingten Kettentiden könnte das vorhandene Rückstauvolumen im Grauwallgebiet nicht mehr ausreichen, was das Risiko von Überschwemmungen deutlich erhöht. Steigende Tidewasserstände erhöhen auch das Risiko der Salzwasserintrusion in das Grundwasser, dessen Pegelstand aufgrund veränderter Niederschlagsmuster zukünftig deutlich stärker schwanken wird.

Für die *Tourismuswirtschaft* könnten sich mittelfristig sogar wirtschaftliche Chancen durch den Klimawandel ergeben, z.B. durch die Verlängerung der Sommersaison oder sinkende Attraktivität anderer Reiseziele. Langfristig werden aber auch hier die Risiken des Klimawandels durch Schäden an touristischer Infrastruktur und Naherholungsgebieten überwiegen.

Die *Landwirtschaft* ist vor allem einem erhöhten Risiko der Vernässung landwirtschaftlich genutzter Flächen ausgesetzt, was zu Ertragseinbußen führen kann. Gleichzeitig werden sich die Flächenkonkurrenz zum Hochwasserschutz sowie Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen verschärfen.

Aufgrund des vergleichenden Ansatzes wurden einige Klimawirkungen und Handlungsfelder nicht näher betrachtet. Dies lag entweder daran, dass sie in der Vorauswahl der 36 Klimawirkungen in den Handlungsempfehlungen für kommunale KWRA durch das UBA (UBA, 2022) nicht enthalten waren oder dass für Geestland keine erhöhte Betroffenheit im Vergleich zum Bundesdurchschnitt festgestellt wurde. Dies bedeutet jedoch nicht, dass in diesen Bereichen kein Handlungsbedarf besteht, insbesondere für Klimawirkungen die in der deutschlandweiten KWRA 2021 als hoch bewertet werden. Beispielsweise besteht für das nicht näher betrachtete Handlungsfeld *Menschliche Gesundheit* durchaus Handlungsbedarf, um den Folgen des Klimawandels für die menschliche Gesundheit angemessen zu begegnen, wengleich aufgrund der spezifischen klimatischen und räumlichen Bedingungen eine geringere Betroffenheit als im Bundesdurchschnitt zu erwarten ist.

Das Handlungsfelder *Bevölkerungsschutz/Katastrophenschutz* wird in einigen Analysen als eigenständiges Handlungsfeld angeführt (Schuchardt & Wittig, 2012), hier jedoch nach KWRA 2021 (UBA, 2021) nicht isoliert betrachtet sondern als übergreifende, querschnittsbezogene Aufgabe verstanden, die in andere Handlungsfelder integriert ist (z.B. *Küstenschutz* und *Wasserwirtschaft*) und von deren jeweiligen Klimarisiken (z.B. Sturmfluten oder Hochwasser) abhängt. Die örtliche Feuerwehr Geestland, bestehend aus 20 Ortsfeuerwehren und 900 Feuerwehrleuten, hat in den letzten Jahren eine rapide Änderung der Klimabedingungen und damit einhergehenden Herausforderungen festgestellt. Während es im Winter kaum noch schneit, kommt es zu deutlich schnellerem Wechsel zwischen kalten und warmen Tagen und zu vermehrten Dürren und Starkregen. Zwar sei die Zahl der Einsätze relativ konstant geblieben, dafür habe sich das Einsatzspektrum deutlich erweitert, z.B. wurde ein erhöhter Bedarf an Hilfeleistungen bei vollgelaufenen Kellern oder umgestürzten Bäumen festgestellt. Daraus ergibt sich ein erhöhter Ausbildungsbedarf. Die Einsatzkräfte sind den Wetterbedingungen häufig direkt ausgesetzt- So wurde nach vermehrten Sonnenbränden der Feuerwehrleute während Einsätzen inzwischen ein Hautschutzbeauftragter bestimmt. Als größte Herausforderung sieht der Stadtbrandmeister das Binnenhochwasser, das sehr schnell kommt und der Feuerwehr wenige Handlungsoptionen lässt. Wald, Vegetations- und Flächenbrände sind aufgrund ihrer schnellen Ausbreitung durch den vorherrschenden Wind ebenfalls kritisch.

Weiterhin werden Sturmfluten genannt, welche durch Vorhersagen zwar deutlich absehbarer als Binnenhochwasser sind, aber eine gesonderte Ausbildung für die Deichverteidigung erfordern. Zudem sei eine bessere Verzahnung von Katastrophenschutz, Technischem Hilfswerk und Feuerwehr sowie eine überregionale Infrastruktur bei Großeinsätzen erforderlich. Bei trockenheitsbedingten Vegetationsbränden sei man auf die Landwirte angewiesen, um ausreichend Wasser zur Verfügung gestellt zu bekommen, und für die schwierige Bekämpfung von Moorbränden seien spezielle geländegängige Tanklöschfahrzeuge erforderlich. Darüber hinaus sind aktuelle meteorologische Vorhersagen über Wind und Wassermengen, insbesondere Niederschläge, für die Hochwasserbekämpfung notwendig. Nicht zuletzt bedarf es aber vor allem der Sensibilisierung und Information der Bürgerinnen und Bürger zur Gefahrenabwehr.

Auch wenn derzeit in einigen Handlungsfeldern wie dem Bauwesen kein akuter Handlungsbedarf besteht, ist aufgrund der langen Planungszeiträume und der Lebensdauer von Infrastrukturen eine proaktive, frühzeitige Anpassung essenziell. Maßnahmen, die heute ergriffen werden, tragen langfristig dazu bei, künftige Risiken zu mindern. Besonders im Bereich des Ökosystemschutzes und des Wassermengenmanagements im Grauwallgebiet sollte frühzeitig gehandelt werden, um den Folgen des Klimawandels wirksam zu begegnen.

Klimaanpassung ist ein Querschnittsthema, denn sowohl die Folgen des Klimawandels als auch die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen betreffen eine Vielzahl kommunaler Handlungsfelder. Die Ergebnisse der Analyse sollten abteilungs- und ressortübergreifend kommuniziert und in die Maßnahmenplanung integriert werden. Dabei sollte auch die Zivilgesellschaft miteinbezogen werden. Einige Verantwortlichkeiten für in dieser Studie identifizierte Risiken mit hohem Handlungsbedarf, wie etwa im Bereich des Küstenschutzes, liegen nicht auf kommunaler Ebene. Gleichzeitig wirken die Folgen des Klimawandels über Gemeindegrenzen hinweg. Daher ist eine enge Abstimmung mit überregionalen Akteuren, wie dem Landkreis, Deichverbänden, Unterhaltungsverbänden, Trägern öffentlicher Belange und Fachämtern, Voraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung.

Die vorliegende KWRA zeigt abschließend, dass insbesondere wasserbezogene Risiken sowie der Schutz der empfindlichen Ökosysteme im Fokus der Anpassungsmaßnahmen stehen sollten. Die Region muss sich auf die zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels vorbereiten. Eine frühzeitige, beteiligende, ressortübergreifende und koordinierte Umsetzung von Maßnahmen unter Berücksichtigung von möglichen Zielkonflikten und Zusatznutzen in anderen Bereichen der Nachhaltigkeit ist hierbei von zentraler Bedeutung. Eine erfolgreiche Anpassung Geestlands kann nicht nur zukünftige Risiken und Schäden minimieren, sondern auch zur Erreichung anderer Ziele beitragen, wie etwa dem Klimaschutz, der Förderung sozialer Aspekte, der Erhöhung der Lebensqualität oder der Schaffung wirtschaftlicher Vorteile.

# Anhang

Annex I: Ergebnisse und Begründung des Screening Prozesses zur Identifikation relevanter Klimawirkungen

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringernde Einflussfaktoren der Betroffenheit
<b>Biologische Vielfalt</b>	Veränderung der Länge der Vegetationsperiode und Phänologie	Geringer	-	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg und verringern die Auswirkungen auf die Länge der Vegetationsperiode im Vergleich zu Binnenregionen; Grünland- und Moorökosysteme reagieren weniger empfindlich auf phänologische Verschiebungen als Ökosysteme mit Arten, die stark von saisonalen Faktoren abhängig sind (z. B. alpine und Waldökosysteme in Süddeutschland)
	Ausbreitung invasiver Arten	Hoch	Vielzahl empfindlicher Ökosysteme (Wattenmeer, Marsch, Moore), Küstengebiete bieten viele Einfallsvektoren (z.B. Schiffe) für invasive Spezies	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg
	Verlust an genetischer Vielfalt	Hoch	Vielzahl empfindlicher Ökosysteme (Wattenmeer, Marsch, Moore), Gefährdung der Verdrängung durch invasive Spezies	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg
	Verschiebung von Arealen und Rückgang der Bestände	Hoch	Vielzahl empfindlicher Ökosysteme (Wattenmeer, Marsch, Moore), Gefährdung der Verdrängung durch für invasive Spezies, natürliche Anpassungsfähigkeit des Wattenmeers durch Küstenschutzanlagen eingeschränkt	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg
	Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten	Mittel	Vielzahl an Feuchtgebieten, Mooren, Küstenhabitaten, die von veränderten Niederschlagsmustern abhängen oder direkt/indirekt vom Meeresspiegelanstieg betroffen sind	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg, prognostizierte Zunahmen des Jahresniederschlags und klimatischer Wasserbilanz bei geringerer Zunahme heißer Tage
	Schäden an Wäldern	Geringer - Niedrig	-	Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg, ganzjährig gleichmäßige

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringende Einflussfaktoren der Betroffenheit
	Ökosystemleistungen	Hoch	Vielzahl empfindlicher Ökosysteme (Wattenmeer, Marsch, Moore), natürliche Anpassungsfähigkeit des Wattenmeers durch Küstenschutzanlagen eingeschränkt	Niederschlagsverteilung, geringes Vorkommen von Waldökosystemen Küstenlage und maritimer Charakter mildern den Temperaturanstieg
Boden	Bodenerosion durch Wasser	Niedrig - Mittel	erhöhte Gefahr von Binnenhochwasser, Marschgebiete sind bei unzureichender Entwässerung durch Wassererosion gefährdet	geringe Gefälle
	Bodenerosion durch Wind	Niedrig - Mittel	Höhere Windgeschwindigkeiten durch maritimen Einfluss, nordwestliche Windströmungen und flache, offene Landschaft; landwirtschaftliche Nutzung auf entwässerten Moorböden und auf sandigen, höher gelegene Geestgebiete aufgrund leichter Körnung nach der Ernte oder schützende Vegetation stärker von Winderosion betroffen	weniger Trockenheit durch gleichmäßige Niederschlagsverteilung, Wallhecken als Strukturelemente in der Feldflur
Wald- und Forstwirtschaft	Hitze- und Trockenstress	Geringer - Niedrig	-	Geringes Waldvorkommen und geringere Zahl und Zunahme heißer Tage und Trockentage aufgrund maritimer Prägung
	Stress durch Schädlinge/Krankheiten	Geringer - Niedrig	-	Geringes Waldvorkommen und geringere Zahl und Zunahme heißer Tage und Trockentage aufgrund maritimer Prägung
	Waldbrandrisiko	Geringer - Niedrig	-	Geringes Waldvorkommen und geringere Zahl und Zunahme heißer Tage und Trockentage aufgrund maritimer Prägung
	Nutzfunktion: Holzertrag	Geringer - Niedrig	-	Geringes Waldvorkommen und geringere Zahl und Zunahme heißer Tage und Trockentage aufgrund maritimer Prägung
Küsten- und Meeresschutz	Naturräumliche Veränderung an Küsten	Hoch	Weniger ausgeprägter postglazialer isostatischer Rebound (Landhebung) in der Nordsee im Vergleich zur Ostsee und höherer relativer	-

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringernde Einflussfaktoren der Betroffenheit
			Meeresspiegelanstieg, Nordsee ist anfälliger für Sturmfluten aufgrund von Westwinden und Tiefdruckgebieten aus dem Atlantik, Wanderung des Watts landeinwärts wird landseitig durch Deich gehindert	
	Beschädigung oder Zerstörung von Siedlungen und Infrastruktur an der Küste	Niedrig	Weniger ausgeprägter postglazialer isostatischer Rebound (Landhebung) in der Nordsee im Vergleich zur Ostsee und höherer relativer Meeresspiegelanstieg, Nordsee ist anfälliger für Sturmfluten aufgrund von Westwinden und Tiefdruckgebieten aus dem Atlantik	keine Siedlungen, Häfen oder kritische Infrastruktur in unmittelbarer Küstennähe, bestehender Deich mit ausreichendem Vorsorgemaß, kurze Küstenlinie
	Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten	Mittel - Hoch	Küstenlage und Vorkommen von Flüssen und Feuchtgebieten, Verringerung des Sielzuges bei Anstieg des Meeresspiegels	geplanter Ausbau von Schöpfwerken und Erstellung eines Wassermengenmanagementkonzept für das Grauwallgebiet, geringer Versiegelungsgrad
<b>Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft</b>	Niedrigwasser	Niedrig	Vielzahl wassergebundener Habitate (Moore und Feuchtgebiete)	maritime Prägung und prognostizierte Winterniederschlagszunahme, keine größeren Schifffahrtswege für größere Schiffe mit großem Tiefgang
	Hochwasser	Mittel - Hoch	Geringe Geländehöhen, Küstenlage und Vorkommen von Flüssen und Feuchtgebieten, Verringerung des Sielzuges bei Anstieg des Meeresspiegels und steigende Gefahr von Binnenhochwasser	geplanter Ausbau von Schöpfwerken und Erstellung eines Wassermengenmanagementkonzept für das Grauwallgebiet, gut organisierte Wasser- und Bodenverbände und Unterhaltungsverbände, geringer Versiegelungsgrad
	Belastung oder Versagen von Hochwasserschutzsystemen	Mittel	Geringe Geländehöhen, Verringerung des Sielzuges bei Anstieg des Meeresspiegels	geringer Versiegelungsgrad, ausreichendes Vorsorgemaß des Deiches
	Sturzfluten (Versagen von Entwässerungseinrichtungen und	Niedrig	bei Starkregen und gleichzeitig hohem Tidewasserständen eingeschränkte Sielkapazität, begrenzte Kapazität der Kanalisation in den	flache Topografie ohne starke Gefälle und dadurch geringere Fließgeschwindigkeiten, ländlich geprägter Raum und geringerer Versiegelungsgrad,

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringernde Einflussfaktoren der Betroffenheit
	Überflutungsschutzsystemen)		Siedlungsbereichen, erhöhte Binnenhochwassergefahr durch Rückstau	gut organisierte Unterhaltungsverbände und Wasser- und Bodenverbände
	Gewässertemperatur und Eisbedeckung und biologische Wasserqualität	Niedrig - Mittel	Steigende Temperaturen in der Nordsee und zunehmende maritime Hitzewellen, Vielzahl wassergebundener Habitats, Abfluss von landwirtschaftlichen Flächen kann zur Eutrophierung führen	maritimer Einfluss wirkt moderierend auf Temperaturen von Flüssen und Binnengewässern
	Grundwasserstand und Grundwasserqualität	Mittel	Gefahr der Versalzung durch eindringendes Meerwasser, Grundwasserabhängige Ökosysteme, Landwirtschaftliche Nutzung auf Niederungsgebieten	Zunahme Jahresniederschläge bei geringerer Zunahme Lufttemperaturen im Vergleich zum deutschen Durchschnitt
	Mangel an Bewässerungswasser	Geringer - Niedrig	unsichere Entwicklung der Niederschläge in der Vegetationsperiode	bisher ganzjährlich hohe Niederschläge und Beregnung in der Landwirtschaft nicht üblich, geringe Anzahl heißer Tage und kühle Sommer durch maritime Prägung
<b>Bauwesen</b>	Schäden an Gebäuden aufgrund von Starkregen	Geringer - Niedrig	Kanalisation nicht für Starkregen ausgelegt	Ländlich geprägter Raum mit geringem Versiegelungsgrad und geringer Siedlungs- und Bebauungsdichte, geringer Gefälle-Effekt (verlangsamte Abflussgeschwindigkeiten)
	Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser	Geringer - Niedrig	Ortschaft Bad Bederkesa liegt am Bederkesa-Geeste-Kanal, Gefahr von Rückstau bei Starkregen bei gleichzeitiger Überlastung der Entwässerungssysteme	geringere Gefahr schnell ansteigenden Flusshochwassers aufgrund niedrigem Fließtempo, keine größeren, stark abfließende Flüsse vorhanden; keine flussnahen, urbanen Gebiete
	Vegetation in Siedlungen	Geringer - Niedrig	verringerte Stadtbaumgesundheit bereits beobachtbar	Maritime Prägung und geringere Zunahme heiße Tage und Trockentage, ganzjährig relativ hohe Niederschläge
	Stadtklima/Wärmeinseln	Geringer	-	Keine Großstädte, maritime Prägung (dauerhaft Wind, weniger heiße Tage und Tropennächte)
	Innenraumklima	Geringer	-	Maritime Prägung (geringere Sommertemperaturen, Tropennächte und heiße Tage)

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringernde Einflussfaktoren der Betroffenheit
<b>Industrie und Gewerbe</b>	Leistungseinbußen von Beschäftigten	Geringer - Niedrig	-	Maritime Prägung und geringere Zunahme heiße Tage und Tropennächte
<b>Tourismuswirtschaft</b>	Einschränkung touristischer Angebote: Auswirkungen fehlender Schneesicherheit auf den Wintertourismus	Geringer	-	Kein Vorkommen in der Region
	Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	Niedrig - Mittel	Auf Sommertourismus angewiesen, Deich, Wander- und Radwege sowie Hotels sind potenziell von Sturmfluten und Starkregen betroffen	Moderierender Effekt der maritimen Prägung
	Wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Tourismuswirtschaft	Mittel	Ausgeprägter Sommertourismus, zukünftig häufigere Extremwetterereignisse können touristischen Betrieb einschränken	Verlängerung der touristischen Saison, steigende Temperaturen im Inland und Mittelmeerraum steigern die Attraktivität der Nordseeküste
<b>Menschliche Gesundheit</b>	Hitzebelastung	Geringer	-	Maritime Prägung, ländlich geprägter Raum, Windchill-Effekt, geringeres aktuelles Aufkommen und geringere absolute Zunahme heißer Tage und Tropennächte
	Allergische Reaktionen durch Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft	Geringer - Niedrig	-	Belastung durch Aeroallergene geringer als in kontinental geprägten Regionen
	UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insb. Hautkrebs)	Niedrig - Mittel	Vermehrter Aufenthalt im Freien durch Outdoor-Tourismus, Temperaturmaskierung durch Windchill	häufigere Bewölkung durch maritime Lage
	Atembeschwerden (aufgrund von Luftverunreinigungen)	Geringer	-	Ländliche Lage, geringe Verkehrsdichte, Fehlen größerer Industrieanlagen und maritime Prägung, gute Durchlüftung durch Küstennähe
	Auswirkungen auf das Gesundheitssystem	Niedrig - Mittel	Höherer Altenanteil und zunehmende Überalterung (ältere Menschen sind besonders sensitiv gegenüber Zunahme von Extremereignissen)	kühlere Sommer durch maritime Prägung, geringere Zunahme heißer Tage und Tropennächte, sowie geringere Betroffenheit von Hitzeinseln und Luftverunreinigungen durch ländliche Lage

Handlungsfeld	Klimawirkung	Relative Betroffenheit im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt	Erhöhende Einflussfaktoren der Betroffenheit	Verringende Einflussfaktoren der Betroffenheit
Landwirtschaft	Hitzestress bei und Leistung von Nutztieren	Geringer - Niedrig	Intensiv betriebene Milchviehwirtschaft und hoher Rinderbesatz, Milchleistung der Rinder auf der Weide oder in offenen Boxenlaufställen stark abhängig von der Außentemperatur	maritime Prägung und geringere absolute Zunahme von Hitzestress (heißen Tagen, Sommertagen, schwülen Tagen und Tropennächten)
	Abiotischer Stress (Pflanzen)	Mittel	Hohes Risiko der Vernässung landwirtschaftlicher Flächen insbesondere auf den entwässerten Moor- und Marschflächen durch starke Zunahme der Winterniederschläge, hohe Abhängigkeit der Milchviehbetriebe von lokalen Grünlanderträgen, unsichere Entwicklung Sommerniederschläge	geringere absolute Zunahme heißer Tage

# Literatur

- AWI. (2024). *Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung: Temperaturrekord in der Nordsee: Auch die Deutsche Bucht ist so warm wie noch nie*. <https://www.awi.de/ueber-uns/service/presse/presse-detailansicht/temperaturrekord-in-der-nordsee-auch-die-deutsche-bucht-ist-so-warm-wie-noch-nie.html>
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. (2010). Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations. *Diversity*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/d2020281>
- S. Brienens, A. Walter, C. Brendel, C. Fleischer, A. Ganske, M. Haller, M. Helms, S. Höpp, C. Jensen, K. Jochumsen, J. Möller, S. Krähenmann, E. Nilson, M. Rauthe, C. Razafimaharo, E. Rudolph, H. Rybka, N. Schade, K. Stanley (2020). *Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks* [PDF]. <https://doi.org/10.5675/EXPNBS2020.2020.02>
- BSH. (2024). *Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Relativer Meeresspiegel—Zeitreihe des monatlichen Wasserstandes am Pegel Cuxhaven Steubenhöft*. [https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Klima/Relativer\\_Meeresspiegel/relativer-meeresspiegel\\_node.html](https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Klima/Relativer_Meeresspiegel/relativer-meeresspiegel_node.html)
- Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG), BGBl. 2023 I Nr. 393 (2024). <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/393/VO.html>
- Büttger, H., Christoph, S., Buschbaum, C., Gittenberger, A., Jensen, K., Kabuta, S., & Lackschewitz, D. (2022). *Alien Species | Wadden Sea Quality Status Report*. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/species>

- Cazenave, A., & Cozannet, G. L. (2014). Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2(2), 15-34. <https://doi.org/10.1002/2013EF000188>
- CWSS. (2024). *Schutz und Management | Wadden Sea*. <https://www.waddensea-worldheritage.org/de/schutz-und-management>
- Deutscher Bundestag. (2021, Mai 12). *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), BGBl. 2024 I Nr. 235*. [bmuv.de](https://www.bmuv.de). <https://www.bmuv.de/GE838>
- DIN. (2021). *DIN EN ISO 14091:2021-07, Anpassung an den Klimawandel - Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung (ISO 14091:2021); Deutsche Fassung EN ISO 14091:2021*. DIN Media GmbH. <https://doi.org/10.31030/3215272>
- DWA. (2015). *Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge: Analyse von Überflutungsgefährdungen und Schadenspotenzialen zur Bewertung von Überflutungsrisiken* (Entwurf Juli 2015, Frist zur Stellungnahme: 30. September 2015). DWA, Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWD. (2024a). *Klimawandel - ein Überblick*. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html)
- DWD. (2024b). *Wetter und Klima—Deutscher Wetterdienst—CDC (Climate Data Center)*. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html)
- DWD & EWK. (2021). *Was wir heute über das Extremwetter in Deutschland wissen—Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland*. DWD. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle\\_meldungen/210922/Faktenpapier-Extremwetterkongress.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210922/Faktenpapier-Extremwetterkongress.html)
- DWD & EWK. (2024). *Was wir 2024 über das Extremwetter in Deutschland wissen—Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland*. <https://extremwetterkongress.org/wp->

content/uploads/2024/09/Faktenpapier\_Extremwetter\_DWD\_EWK2024\_09.pdf#:~:te  
xt=Was%20wir%202024%20%20%20C3%BCber%20das%20Extremwetter%20in

EC. JRC. (2023). *Towards a European wide vulnerability framework: A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators*. Publications Office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2760/353889>

EU. (2024). *REGULATION (EU) 2024/1991 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj>

Helmholtz-Klima-Initiative. (2024, März 25). *Behauptung: "CO2 ist ein Pflanzendünger und kein Schadstoff"*. <https://www.helmholtz-klima.de/klimafakten/behauptung-co2-ist-ein-pflanzenduenger-und-kein-schadstoff>

Hinkers, L. (2024). *Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Landkreises Cuxhaven*.

Technische Universität Berlin.

HLNUG. (2019). *FACE-Experimente: Freiland-CO2-Anreicherung in Grünland, Weinberg und Gemüsebau*. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie.

Hydor Consult GmbH, Strom, A., Kröcher, J., Wolke, P., & Hannappel, Dr. S. (2023).

*Vulnerabilitätskartendienst—Modellierung der Gefahren durch Trockenheit und*

*Dürre im Landkreis Cuxhaven*. <https://cuxland-gis.landkreis->

[cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet\\_trockenheit\\_duerre/HYDOR-](https://cuxland-gis.landkreis-cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet_trockenheit_duerre/HYDOR-)

[Consult\\_Vulnerabilitaet-Trockenheit-Duerre\\_Landkreis-](https://cuxland-gis.landkreis-cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet_trockenheit_duerre/HYDOR-Consult_Vulnerabilitaet-Trockenheit-Duerre_Landkreis-)

[Cuxhaven\\_Abschlussbericht\\_2023\\_09\\_19](https://cuxland-gis.landkreis-cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet_trockenheit_duerre/HYDOR-Consult_Vulnerabilitaet-Trockenheit-Duerre_Landkreis-Cuxhaven_Abschlussbericht_2023_09_19)

IPCC. (2014). *Fifth Assessment Report—IPCC*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

IPCC. (2019). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1. Aufl.). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/9781009157964>

IPCC. (2023). *Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Jansen-Minßen, F., Klinck, L., Krause, A., & Grünlandzentrum Niedersachsen/Bremen e.v. (2022). *Zukunft der Moorstandorte in Niedersachsen*. [https://www.gruenlandzentrum.org/wp-content/uploads/2022/10/Faktencheck\\_digital.pdf](https://www.gruenlandzentrum.org/wp-content/uploads/2022/10/Faktencheck_digital.pdf)

Kliem, L., & George, K. (2017). *Von Starkregen bis Trockenheit - Anpassungsstrategien für die deutsche Landwirtschaft*. IÖW. [https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/2017/Kliem\\_George\\_Von\\_Starkregen\\_bis\\_Trockenheit\\_%E2%80%93\\_Anpassungsstrategien\\_f%C3%BCr\\_die\\_deutsche\\_Landwirtschaft.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2017/Kliem_George_Von_Starkregen_bis_Trockenheit_%E2%80%93_Anpassungsstrategien_f%C3%BCr_die_deutsche_Landwirtschaft.pdf)[https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/2017/Kliem\\_George\\_Von\\_Starkregen\\_bis\\_Trockenheit\\_%E2%80%93\\_Anpassungsstrategien\\_f%C3%BCr\\_die\\_deutsche\\_Landwirtschaft.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2017/Kliem_George_Von_Starkregen_bis_Trockenheit_%E2%80%93_Anpassungsstrategien_f%C3%BCr_die_deutsche_Landwirtschaft.pdf)

Kotz, M., Levermann, A., & Wenz, L. (2024). The economic commitment of climate change. *Nature*, 628(8008), 551-557. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0>

Landkreis Cuxhaven. (2024a). *Geoportal (GIS)—Landkreis Cuxhaven*. Geoportal. <https://www.landkreis-cuxhaven.de/Wir-für-Sie/Geoportal-GIS-/?La=1&NavID=1779.140>

Landkreis Cuxhaven. (2024b). *Wassermengenmanagement im Grauwallgebiet*. Landkreis Cuxhaven. <https://www.landkreis-cuxhaven.de/Verwaltungs-Veröffentlichungen/Gefährdete-Projekte-beim-LK->

- Cux/Wassermengenmanagement-im-Grauwallgebiet.php?ModID=7&FID=3189.4732.1&object=tx%2C2736.6.1&NavID=3189.79
- LBEG, & NLWKN. (2024). *MoorIS - Ein Moorinformationssystem für Niedersachsen*.  
<https://www.mooris-niedersachsen.de/?pgId=1387>
- LFULG. (2020). *Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung 2020—Publikationen—Sachsen.de*. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/>
- Lohmann, M., & Matzarakis, A. (2023). Klimawandel und Tourismus. In G. P. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven* (S. 289-296). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_22)
- LSN. (2024a). *Landesamt für Statistik Niedersachsen: Kleinräumige Bevölkerungsvorausberechnung—Tabellen*.  
<https://www.statistik.niedersachsen.de/startseite/themen/bevoelkerung/bevoelkerungsvorausberechnungen-niedersachsen/themenbereich-bevoelkerung-bevoelkerungsvorausberechnungen-90671.html>
- LSN. (2024b). *Landesamt Für Statistik Niedersachsen: LSN-Online, die größte regionalstatistische Datenbank Deutschlands*.  
<https://www1.nls.niedersachsen.de/Statistik/default.asp>
- Lühr, I. (2024). *Ökonomische und ökologische Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft im Landkreis Cuxhaven*. Technische Universität Berlin.
- McDermott-Levy, R., Kolanowski, A. M., Fick, D. M., & Mann, M. E. (2019). Addressing the Health Risks of Climate Change in Older Adults. *Journal of Gerontological Nursing*, 45(11), 21-29. <https://doi.org/10.3928/00989134-20191011-04>
- NLWKN. (2020a). *Grundwasserbericht Niedersachsen Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019*.

[https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/156169/NLWKN\\_2020\\_Grundwasserbericht\\_Niedersachsen\\_Sonderausgabe\\_zur\\_Grundwasserstandssituation\\_in\\_den\\_Trockenjahren\\_2018\\_und\\_2019\\_Band\\_41\\_.pdf](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/156169/NLWKN_2020_Grundwasserbericht_Niedersachsen_Sonderausgabe_zur_Grundwasserstandssituation_in_den_Trockenjahren_2018_und_2019_Band_41_.pdf)

NLWKN. (2020b). *Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: Generalpläne für Insel- und Küstenschutz.*

[https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/hochwasser\\_kustenschutz/kustenschutz/generalplane\\_fur\\_insel\\_und\\_kustenschutz/generalplan-kuestenschutz-45183.html](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/hochwasser_kustenschutz/kustenschutz/generalplane_fur_insel_und_kustenschutz/generalplan-kuestenschutz-45183.html)

NLWKN. (2023). *Grundwasserbericht Niedersachsen—Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentwicklung im Jahr 2022.*

[https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/201809/Grundwasserbericht\\_Niedersachsen\\_Sonderausgabe\\_zur\\_Grundwasserstandsentwicklung\\_im\\_Jahr\\_2022.pdf](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/201809/Grundwasserbericht_Niedersachsen_Sonderausgabe_zur_Grundwasserstandsentwicklung_im_Jahr_2022.pdf)

NLWKN. (2024). *Küstenschutz und Deichbau in Niedersachsen: Antworten auf häufig gestellte Fragen | Nds. Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz.*

[https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/hochwasser\\_kustenschutz/kustenschutz/antworten\\_auf\\_haufig\\_gestellte\\_fragen/kuestenschutz-und-deichbau-in-niedersachsen-45182.html](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/hochwasser_kustenschutz/kustenschutz/antworten_auf_haufig_gestellte_fragen/kuestenschutz-und-deichbau-in-niedersachsen-45182.html)

Pfeifer, S., Bathiany, S., & Rechid, D. (2021). *Klimaausblick—Landkreis Cuxhaven*. Climate Service Center Germany (GERICS), eine Einrichtung der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH. <https://www.gerics.de/klimaausblick-landkreise>

PSML. (2024). *Permanent Service for Mean Sea Level: Data and Station Information for CUXHAVEN 2*. <https://psmsl.org/data/obtaining/stations/7.php>

PTV Transport Consult GmbH. (2016). *KLEINRÄUMIGE BEVÖLKERUNGSPROGNOSE BIS 2030 FÜR DEN LANDKREIS CUXHAVEN*.

Schuchardt, B., & Wittig, S. (2012). *Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel (Synthesebericht)*. Projektkonsortium “nordwest2050”.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen>

anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/nordwest2050-perspektiven-fuer-  
klimaangepasste

Schuldt, C., Schiewe, J., & Kröger, J. (2020). Sea-Level Rise in Northern Germany: A GIS-  
Based Simulation and Visualization. *KN - Journal of Cartography and Geographic  
Information*, 70(4), 145-154. <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00059-8>

Stadt Geestland. (2019). *Nachhaltigkeitsstrategie der Stadt Geestland*.

<https://www.geestland.eu/Nachhaltigkeit/17-SDGs-Plus/AGENDA-2030.htm?#>

Stadt Geestland. (2021). *Integriertes Klimaschutzkonzept- Stadt Geestland*.

[https://www.geestland.eu/Nachhaltigkeit/Energie-und-  
Klimaschutz/Klimaschutzkonzept.htm?](https://www.geestland.eu/Nachhaltigkeit/Energie-und-Klimaschutz/Klimaschutzkonzept.htm?)

TAUW GmbH, Julia Bauer, & Pia Ferenci. (2024). *Starkregenmodellierung und*

*Risikoanalyse Landkreis Cuxhaven*. [https://cuxland-gis.landkreis-  
cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet\\_starkregen\\_ueberschwemmungen/TAUW\\_Vulner-  
abilitaet\\_Starkregen\\_Ueberschwemmungen\\_Landkreis-  
Cuxhaven\\_Abschlussbericht\\_2024\\_02\\_16](https://cuxland-gis.landkreis-cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet_starkregen_ueberschwemmungen/TAUW_Vulnerabilitaet_Starkregen_Ueberschwemmungen_Landkreis-Cuxhaven_Abschlussbericht_2024_02_16)

Turetsky, M. R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G. R., & Watts, A. (2015).

Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 8(1), 11-  
14. <https://doi.org/10.1038/ngeo2325>

UBA. (2021). *Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland*.

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-  
06-10\\_cc\\_26-2021\\_kwra2021\\_kurzfassung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_26-2021_kwra2021_kurzfassung.pdf)

UBA. (2022). *Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene—Handlungsempfehlungen zur  
Umsetzung der ISO 14091*.

[https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klimarisikoanalysen-auf-  
kommunaler-ebene](https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klimarisikoanalysen-auf-kommunaler-ebene)