

# Klimawandelanpassung von Seehäfen

Bericht zum Vorhaben PortKLIMA



Containerterminal Hafen Bremerhaven

Bremen, 28. Oktober 2021

## Hochschule Bremen

Prof. Dr.-Ing Bärbel Koppe (seit 09/2020 Hochschule Wismar)

Dipl. – Ing. Lena Lankenau

Neustadtswall 30, 28199 Bremen

[baerbel.koppe@hs-wismar.de](mailto:baerbel.koppe@hs-wismar.de)

---

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis .....	III
1 Einführung.....	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	1
1.2 Beteiligte Seehäfen .....	2
2 PIANC-Leitfaden: ‘Anpassung an den Klimawandel – Planung für Häfen und Wasserstraßen’ .....	4
2.1 Stufe 1: Problemstellung und Zielsetzung .....	5
2.2 Stufe 2: Klimainformationen .....	9
2.3 Stufe 3: Verwundbarkeiten und Risiken.....	11
2.4 Stufe 4: Anpassungsoptionen.....	17
3 Bestehende sowie zukünftige Gefährdung und Chancen für Seehäfen in Deutschland infolge des Klimawandels .....	23
4 Relevante Zeithorizonte und deren Bedeutung für Anpassungsmaßnahmen .....	29
5 Regionale Auswirkungen des Klimawandels .....	32
6 Vulnerabilität und Risiko für Seehäfen in Deutschland infolge des Klimawandels.....	39
7 Exkurs: Anlagen, Bemessungsansätze und Schwellenwerte.....	44
7.1 Entwässerungssysteme .....	44
7.2 Windeinwirkungen.....	46
7.3 Wasserstand und Seegang .....	55
8 Anpassung von Seehäfen in Deutschland an den Klimawandel .....	58
9 Seehäfen und Klimaschutz.....	66
10 Fazit .....	73
11 Literaturverzeichnis .....	75
A. Kritische Anlagen, hafengebundene Tätigkeiten und Systeme sowie zugehörige relevante Klimaparameter- und Prozesse .....	82
B. Weiterführende Informationen zum Thema Klimawandel sowie Daten- und Informationsquellen .....	88
C. Verwundbarkeitsanalyse .....	97
D. Weiterführende Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel .....	100

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der im Projekt PortKLIMA beteiligten Seehäfen .....	2
Abbildung 2: Die 4 Stufen des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	4
Abbildung 3: Stufe 1 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	5
Abbildung 4: Stufe 2 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	9
Abbildung 5: Stufe 3 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	12
Abbildung 6: Abfolge einer Verwundbarkeitsanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung)....	13
Abbildung 7: Bewertungsschema - Änderung der Gefährdung (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	14
Abbildung 8: Stufe 4 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	18
Abbildung 9: Klimaparameter und Auswirkungen auf Seehäfen. Die bisher beobachteten Auswirkungen auf deutsche Seehäfen sind durch die Kästen hervorgehoben (Abbildung nach PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	23
Abbildung 10: Beruflicher Hintergrund der Umfrageteilnehmer des Abschlussworkshops im Projekt PortKLIMA.....	27
Abbildung 11: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. den größten zukünftig erwarteten größten direkten Auswirkungen für den Hafen (Multiple-Choice Frage, 22 Teilnehmende).....	28
Abbildung 12: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des außerordentlichen Anpassungsbedarfs .....	31
Abbildung 13: Hochwassergefahrenkarte einer Hafenfläche inklusive eines Anstiegs des Meeresspiegels (Baumgärtner 2020).....	41
Abbildung 14: GIS-gestützte topographische Starkregenanalyse einer Terminalfläche (Baumgärtner 2020) .....	42
Abbildung 15: Links: Exemplarische Bewertung der Auswirkungen einer Klimagefahr (in der Abbildung als Verwundbarkeit bezeichnet) für ein Hafengelände. Bei der Klimagefahr handelt es sich um den Meeresspiegelanstieg. Rechts: Sich aus der Überlagerung von Wahrscheinlichkeit der Gefährdung -abgeleitet aus der Hochwassergefahrenkarte (Abbildung 7) - und der Auswirkung der Klimagefahr ergebendes Risiko. (Baumgärtner 2020).....	43

Abbildung 10: Windzonenkarte für Deutschland (Störfix 2005) .....	47
Abbildung 17: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der aktuellen Berücksichtigung des Themas Klimawandelanpassung in der Unternehmenskultur .....	58
Abbildung 18: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der zukünftigen Einbindung des Themas Klimawandelanpassung im Unternehmen bzw. Aufgabenbereich .....	58
Abbildung 19: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des zur Verfügung stehenden Zeithorizonts zur ausreichenden Integration des Themas Klimawandelanpassung in die Unternehmenskultur .....	59
Abbildung 20: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des Aufwands zur Anpassung des Unternehmens bzw. Aufgabenbereichs an den Klimawandel.....	61
Abbildung 21: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der größten Herausforderungen im Zusammenhang mit der Anpassung an den Klimawandel.....	61
Abbildung 22: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der Berücksichtigung von Klimazusschlägen, unabhängig von aktuellen Empfehlungen in Regelwerken .....	64

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Beispielhaftes Bewertungsschema von Anlage etc. (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	7
Tabelle 2: Relevante Klimaparameter und -prozesse für Port Botany und Port Kembla, Australien (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	9
Tabelle 3: Überblick über die Methoden der Datenanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	11
Tabelle 4: Exemplarisches Ergebnis einer Verwundbarkeitsanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	15
Tabelle 5: Risikomatrix (PIANC 2020, eigene Übersetzung).....	17
Tabelle 6: Allgemeine Anpassungsmaßnahmen, um die Widerstandsfähigkeit von Anlagen etc. zu stärken (PIANC 2020, verändert, eigene Übersetzung).....	19
Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen (PIANC 2020, eigene Übersetzung) .....	20

---

Tabelle 8: Beispiel eines Anpassungspfades (PIANC 2020, verändert, eigene Übersetzung)	22
Tabelle 9: Entwicklung der nach Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU) anzusetzenden charakteristischen Pollerzuglasten in Abhängigkeit der Wasserverdrängung eines Schiffs (Turban 2019)	25
Tabelle 10: Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer von Anlagen in Seehäfen. Tatsächliche Standzeiten einzelner Anlagen hängen von der individuellen Zustandsbewertung sowie Nutzung ab und können somit auch maßgeblich kürzer oder länger als die durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer sein.	29
Tabelle 11: Entscheidungsmatrix zur Bewertung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen (Norpoth et al. 2020)	30
Tabelle 12: Beobachtete und mögliche zukünftige Änderung von meteorologischen Klimaparametern in Norddeutschland	33
Tabelle 13: Beobachtete und vor. zukünftige Änderung von hydrologischen und ozeanographischen Klimaparametern in Norddeutschland. MSA: Meeresspiegelanstieg	34
Tabelle 14: Exemplarisches Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die nahe und ferne Zukunft des Klimaschutz- und Moderaten-Szenarios sowie die nahe Zukunft des Weiter-wie-bisher-Szenarios	40
Tabelle 15: Bewertung der Wahrscheinlichkeit von Klimagefahren für unterschiedliche Klimaszenarien	43
Tabelle 16: Starkniederschlagshöhen aus KOSTRA 2010R (DWD 2020a) und KOSTRA 1997 (Bartels 1997) für die Dauerstufe 15 Minuten und die Jährlichkeit 5 bzw. 100 Jahre für unterschiedliche Küstenstandorte	45
Tabelle 17: Starkniederschlagshöhen nach Reinhold (1940) für die Dauerstufe 15 Minuten und die Jährlichkeit 1, 5 bzw. 100 Jahre sowie unterschiedliche Küstenstandorte bzw. -regionen	45
Tabelle 18: Einfluss der Zunahme der Basiswindgeschwindigkeit um +5% bzw. +10% auf den Böengeschwindigkeitsdruck nach DIN EN 1991. Dargestellt sind die Ergebnisse für zwei verschiedene Windzonen und Geländekategorien	48
Tabelle 19: Vergleich unterschiedlicher Bemessungsansätze nach DIN EN 1991-1-4 und DIN 1055-4:1986-08 für den Böengeschwindigkeitsdruck	49
Tabelle 20: Windlastkomponenten W (t: tangential, l: longitudinal) pro m <sup>2</sup> auf ein vertäutes Schiff in Abhängigkeit der Windrichtung ( $\alpha = 90^\circ, 80^\circ, 30^\circ, 0^\circ$ ) sowie bei einer Änderung der maßgebenden Windgeschwindigkeit ( $v_b$ ) nach Eurocode von +5% und +10%.	

---

Windlastkoeffizienten nach EAU (2020) für ein Schiff über 50.000 dwt. Der Einfluss des vertikalen Geschwindigkeitsprofils wurde vernachlässigt.....	50
Tabelle 21: Tangentiale Windlastkomponenten $W_t$ für Bug ( $W_{tb}$ ) bzw. Heck ( $W_{th}$ ) für die Windrichtung $\alpha = 90^\circ$ und eine Windangriffsfläche von $A = 20.000 \text{ m}^2$ bei einer Änderung der maßgebenden Windgeschwindigkeit nach Eurocode von +5% und +10%. Windlastkoeffizienten nach EAU (2020) für ein Schiff über 50.000 dwt. Der Einfluss des vertikalen Geschwindigkeitsprofils wurde vernachlässigt.....	51
Tabelle 22: Gegenüberstellung von Windgeschwindigkeiten für unterschiedliche Zeitspannen, welche der Berechnung von Windlasten auf Schiffe nach EAU 2004, 2012 und 2020 zugrunde gelegt werden sowie Windgeschwindigkeiten, welche von OCIMF und IACS für die Vertäuung von Schiffen zugrunde gelegt werden.....	52
Tabelle 23: Entwicklung der nach EAU anzusetzenden charakteristischen Werte und der Bemessungswerte für die Pollerzuglast in Abhängigkeit der Wasserverdrängung eines Schiffs (Turban 2019).....	53
Tabelle 24: Kritische Schwellenwerte der Windgeschwindigkeit für den Betrieb von Seehäfen (Gaythwaite 2004, verändert, eigene Übersetzung).....	55
Tabelle 25: Klimaparameter, deren Änderungswahrscheinlichkeit und Empfehlungen zur Anpassung .....	65
Tabelle 26: Recherchierte Klimaschutzmaßnahmen in am Projekt beteiligten Seehäfen sowie weitere Maßnahmen in Seehäfen weltweit (w) .....	70
Tabelle 27: Wirtschaftliche Lebensdauer von Umschlagsgeräten.....	71
Tabelle A- 1: Folgen des Klimawandels auf kritische Anlagen/ Tätigkeiten/ Systeme; MSA: Meeresspiegelanstieg .....	82
Tabelle B- 1: Zusammenstellung weiterführender Informationen zum Thema Klimawandel .	88
Tabelle B- 2: Zusammenstellung von wissenschaftlichen Zusammenfassungen zum aktuellen Wissensstand beobachteter und zukünftiger Änderungen von Klimaparametern und –prozessen.....	89
Tabelle B- 3: Zusammenstellung von Datenquellen für regionale Beobachtungs- und Projektionsdaten von Klimaparametern und-prozessen.....	90
Tabelle B- 4: Zusammenstellung von regionalen Forschungsprojekten, welche Änderungen von Klimaparametern enthalten.....	93
Tabelle C- 1:Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die ferne Zukunft und das Weiter-wie-bisher-Szenario.....	97

---

Tabelle C- 2: Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die nahe Zukunft und das Extrem-Szenario .....	98
Tabelle C- 3: Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die ferne Zukunft und das Extrem-Szenario .....	99
Tabelle D- 1: Zusammenstellung von weiterführenden Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel bzw. spezielle Klimagefahren .....	100

## **1 Einführung**

### **1.1 Problemstellung und Zielsetzung**

Weltweit werden etwa 80 Volumenprozent des Fernhandels über den Seeweg getätigt (OECD/ ITF 2017). Damit nehmen Seehäfen eine wichtige Rolle als Knotenpunkte im Güterumschlag ein und sind in den jeweiligen Regionen ein wichtiger Motor für Wirtschaft und Beschäftigung. Seit Anfang der 1990er Jahre veröffentlicht der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) etwa alle 5 bis 8 Jahre Sachstandsberichte, in denen er auf die Beeinflussung des Klimasystems durch den Menschen aufgrund des seit der Industrialisierung im 18. Jahrhundert erfolgenden Ausstoßes der anthropogenen Treibhausgase (THG) und den daraus zu erwartenden Folgen aufmerksam macht. Durch ihre Lage an der Küste sind die Seehäfen in besonderer Weise vom bevorstehenden Meeresspiegelanstieg aufgrund des Klimawandels betroffen. Ihre Funktionalität ist auch durch weitere Folgen des Klimawandels, wie z.B. die Zunahme von Extremwetterereignissen, bedroht.

Damit Seehäfen auch zukünftig den wirtschaftlichen wie den umweltbedingten Anforderungen gerüstet sind, ist ihre Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel frühzeitig zu analysieren sowie Maßnahmen zur Erhöhung ihrer Resilienz in Hafenmanagement und Hafenplanung sind zu berücksichtigen. Da hier wirtschaftliche und zeitliche Aspekte eine Rolle spielen, ist es wichtig, die Gefahren und Risiken durch die Folgen des Klimawandels zu kennen, um Anpassungsmaßnahmen zu priorisieren.

Das Projekt PortKLIMA 'Entwicklung und pilothafte Umsetzung von Bildungsmodulen zur Einbindung der Anpassung an den Klimawandel in Planung, Bau und Betrieb von Seehäfen in Deutschland' (Projektlaufzeit 2018-2021) wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert und von der bremenports GmbH & Co. KG finanziell unterstützt. Ziel des Projekts PortKLIMA ist es, mögliche zukünftige klimawandelbezogene Gefährdungen von Seehäfen in Deutschland zu identifizieren sowie Maßnahmen und Strategien unter Berücksichtigung der Bandbreite zukünftiger Unsicherheiten zur Anpassung der Seehäfen an die Folgen des Klimawandels aufzuzeigen. Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse, die insbesondere auf einer umfassenden Literaturrecherche, Interviews mit den am Projekt beteiligten Hafenmanagementgesellschaften und Sensitivitätsuntersuchungen beruhen, werden in Form von Informationsmaterialien für die berufliche Fort- und Weiterbildung sowie die studentische

Lehre festgehalten, um so deren Implementierung in die planerische Praxis zu sichern. In diesem Zusammenhang wurden die folgenden fünf Factsheets (1) Grundlagen Klimawandel und Klimamodelle, (2) Auswirkungen des Klimawandels – Gegenwärtige Beobachtungen, (3) Auswirkungen des Klimawandels – Zukünftige Entwicklung, (4) Seehäfen und Klimawandel - Entwicklung einer Anpassungsstrategie sowie (5) Klimaschutz entworfen. Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse des Projekts PortKLIMA hinsichtlich der Bildungsmodule für beruflich Tätige zusammengefasst.

## 1.2 Beteiligte Seehäfen

Die konkrete Zusammenarbeit mit deutschen Seehäfen ermöglichte die direkte Einbindung von Kenntnissen und Erfahrungen der Praxispartner. Ideelle Kooperationspartner im Projekt PortKLIMA sind die Hafenmanagementgesellschaften der folgenden sieben Seehäfen an der deutschen Nord- und Ostseeküste: Brake, Bremen/ Bremerhaven, Cuxhaven, Hamburg, Lübeck, Rostock und Wismar. Die Lage der Häfen ist in Abbildung 1 dargestellt. Die beteiligten Häfen unterscheiden sich vor allem in Größe bzw. Umschlagsvolumen, Art der Umschlagsgüter und den naturräumlichen Bedingungen. Die Häfen werden somit auch von Schiffen unterschiedlicher Art und Abmessungen angelaufen.



Abbildung 1: Lage der im Projekt PortKLIMA beteiligten Seehäfen

Die Seewege der Nordsee sind von besonderer Relevanz für den Überseeverkehr, wohingegen die Seewege der Ostsee stark durch den Verkehr der Ostseeanrainer geprägt sind. Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung der Seewege in Nord- bzw. Ostsee finden sich zwischen den Häfen an Nord- bzw. Ostsee einige Unterschiede hinsichtlich der Umschlagsgüter. So spielt beispielsweise der Containerumschlag, der insbesondere in den

beiden größten deutschen Universalhäfen Hamburg und Bremerhaven eine große Rolle einnimmt, an der deutschen Ostseeküste eine eher untergeordnete Rolle. Die zu den kleineren Häfen an der deutschen Nordseeküste zählenden Häfen in Brake und Cuxhaven sind hingegen stärker auf bestimmte Güter spezialisiert bzw. vom regionalen Hinterland beeinflusst. Für die Häfen an der deutschen Ostseeküste spielt zudem der Fähr- und Roll-on/Roll-off-Verkehr (RoRo-Verkehr) eine wichtige Rolle.

## 2 PIANC-Leitfaden: ‘Anpassung an den Klimawandel – Planung für Häfen und Wasserstraßen’

Die internationale Arbeitsgruppe EnviCom WG178 der World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), ein weltweit tätiger Verband mit dem Ziel der technisch-wissenschaftlichen Zusammenarbeit im Bereich der Binnen- und Seewasserstraßen, der Binnen- und Seehäfen sowie des Küstenschutzes und der Meeresstechnik<sup>1</sup>, hat im Jahr 2020 den Leitfaden ‘Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways’ veröffentlicht (PIANC 2020)<sup>2</sup>.

Der Leitfaden beinhaltet in einem vierstufigen Prozess Empfehlungen für ein mögliches Vorgehen zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Häfen und Wasserstraßen, wobei die jeweils relevanten Interessengruppen mit eingebunden werden (Abbildung 2). Der PIANC-Leitfaden ‘Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways’ ist in seiner Gänze auf deutsche Seehäfen anwendbar und kann als Leitfaden bei der Erstellung eines Anpassungsmaßnahmenplans an die Folgen des Klimawandels angewendet werden.



Abbildung 2: Die 4 Stufen des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

In Stufe 1 werden mögliche vom Klimawandel betroffene kritische Anlagen, hafenbezogene Tätigkeiten und Systeme und Abhängigkeiten identifiziert, deren Gefährdung aufgezeigt und relevante Akteure bestimmt, um anschließend Anpassungsziele festzulegen. Darauf folgend wird in Stufe 2 ermittelt, welche historischen und zukünftigen Klimainformationen zur Einschätzung der potentiellen Betroffenheit benötigt werden und entsprechende Daten

<sup>1</sup> <https://pianc.baw.de/>

<sup>2</sup> <https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178>

zusammengestellt. Dabei kann es notwendig sein, vorliegende Daten zu analysieren oder benötigte Daten zu erheben. Basierend auf den Ergebnissen der ersten beiden Stufen wird in Stufe 3 die Verwundbarkeit der kritischen Anlagen, Tätigkeiten und Systeme gegenüber Auswirkungen des Klimawandels ermittelt und gegebenenfalls eine Bewertung des Risikos durchgeführt. In Stufe 4 werden Anpassungsmaßnahmen anhand eines Portfolios ausgewählt und Möglichkeiten für deren Bewertung und Umsetzung mithilfe eines adaptiven Hafenmanagements vorgestellt.

## 2.1 Stufe 1: Problemstellung und Zielsetzung

In Stufe 1 werden vorbereitende Schritte unternommen, welche relevant sind um zu verstehen welche Anlagen, Vorgänge und Systeme von den Folgen des Klimawandels betroffen sein können, Abhängigkeiten zu identifizieren und relevante Akteure in die Entwicklung einer Anpassungsstrategie einzubeziehen. Dieses Verständnis ermöglicht es, Ziele zur Anpassung an den Klimawandel zu vereinbaren. Das Vorgehen in der ersten Stufe gliedert sich dabei in die in Abbildung 3 dargelegten Schritte.

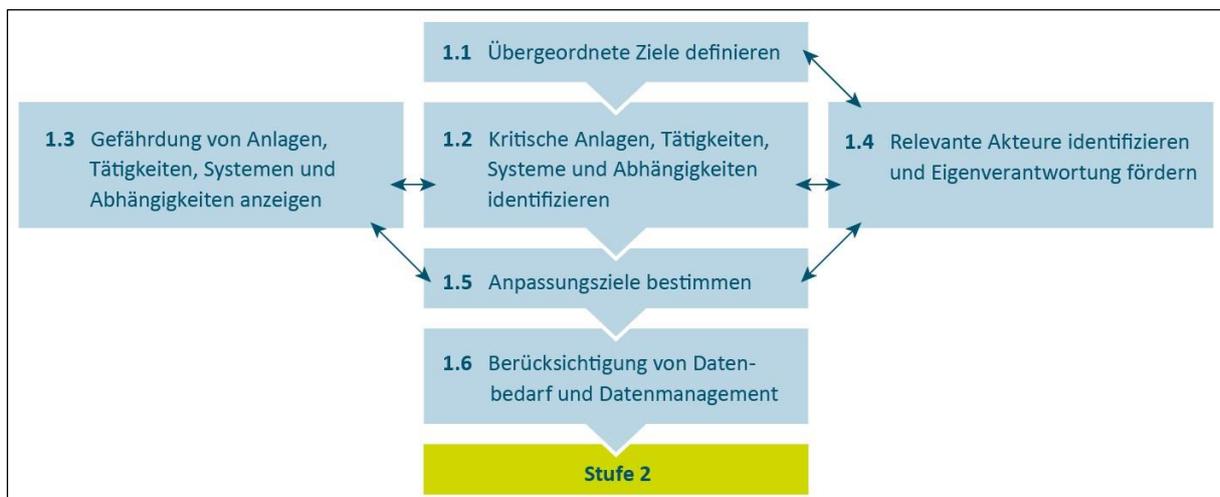


Abbildung 3: Stufe 1 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Die Festlegung der übergeordneten Ziele in Schritt 1.1 definiert das gewünschte Ergebnis des Planungsprozesses. Ein gutes Beispiel ist Rotterdam, dessen Hauptziel es war, bei der Entwicklung einer Anpassungsstrategie u.a. den Hafen bis 2025 vollständig resilient gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu machen und sicherzustellen, dass Rotterdam eine der sichersten Hafenstädte der Welt bleibt (Rotterdam Office for Sustainability and Climate Change 2013). Zielsetzung ist ein iterativer Prozess, so dass die ursprünglichen Ziele im Laufe des Planungsprozesses laufend überprüft und eventuell überarbeitet werden müssen.

---

Eine Bestandsaufnahme<sup>3</sup> von Anlagen, Tätigkeiten und Systemen sowie Abhängigkeiten (Schritt 1.2) trägt dazu bei, Verständnis für Fragen der Klimawandelanpassung zu entwickeln und Eigenverantwortung der Akteure aufzuzeigen. Relevant können sein:

- Anlagen wie Wellenbrecher, Buhnen, Kaianlagen, Liegeplätze, Schleusen
- Anlagen an Land und im Hinterland wie Terminals, Lagerflächen, Bürogebäude
- Tätigkeiten wie Unterhaltungsbaggerungen, Lotsendienste, Güterumschlag
- Systeme wie Verkehrszentralen (Vessel Traffic Services), Terminal Operating Systems
- Abhängigkeiten von Straßen-, Schienen- oder anderen Verkehrsinfrastrukturen, Energie- und Wasserversorgung, Abwasserentsorgung sowie Lieferketten

Anschließend erfolgt in Schritt 1.2 die Bewertung, ob eine Anlage etc. als kritisch einzustufen ist. Kritisch bezieht sich hierbei nicht nur auf Fragestellungen der Klimawandelanpassung, sondern auf die überhaupt große Bedeutung der Anlagen etc. für beispielsweise die Funktionalität des Hafens, Sicherheit und Gesundheit, regionale/ nationale Wirtschaft, oder bei deren Ausfall mit unannehmbaren sozialen, sozioökonomischen oder ökologischen Auswirkungen zu rechnen wäre. Falls im Unternehmen noch keine eigenen Bewertungsmethoden vorliegen, kann eine einfache Expertenschätzung erfolgen, oder es ist eine Orientierung an dem qualitativen Schema in Tabelle 1 möglich. Es wird empfohlen, Protokoll darüber zu führen, wie und durch wen die jeweilige Einschätzung erfolgte. Grundsätzlich können Umfang und Art der Analyse sowie Definition der geplanten Ziele an verfügbare Ressourcen angepasst werden.

---

<sup>3</sup> Eine Vorlage für eine solche Bestandsaufnahme steht im Anhang des PIANC-Leitfadens zur Verfügung: <https://www.pianc.org/uploads/publications/WG-178/Annex-1A-%E2%80%93-Template-Inventory.xlsx>

Tabelle 1: Beispielhaftes Bewertungsschema von Anlage etc. (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Auswirkung für: Skala der Auswirkung:	Sicherheit	Ökonomie	Umweltverträglichkeit	Kritisch?
Katastrophal	Risiko einer großen Anzahl von schwer Verletzten o. Verlust von Menschenleben	Risiko für die langfristige Rentabilität des Unternehmens, einschließlich des Liefer- oder Vertriebsweges	Nicht wieder gut zu machender Schaden; nachgewiesener Verstoß; Aussicht auf eine Unternehmensstrafe	Ja
Bedeutend	Risiko von vereinzelt Fällen von schwer Verletzten o. Verlust von Menschenleben	Erhebliche Auswirkungen auf das Geschäft, die erhebliche Abhilfemaßnahmen erfordern	Schwere/anhaltende Verluste; erheblicher Verwaltungsaufwand zur Bewältigung des Compliance-Versagens erforderlich	Wahrscheinlich
Mäßig	Risiko einer geringen Anzahl von Verletzten	Managementmaßnahmen zum Schutz der Unternehmenskontinuität notwendig	Geringfügige, reversible Schäden; Handlungsbedarf in Fragen der Compliance	Unwahrscheinlich
Geringfügig oder unbedeutend	Risiko von Beinaheunfällen oder leicht Verletzten	Vereinzelte Schwierigkeiten (z. B. in der Lieferkette, aber es gibt Ersatz oder Alternativen)	Geringfügige Schäden; kleinere Verstöße, leicht behebbar	Nein

In Schritt 1.3 wird eine vorläufige Bewertung der Anfälligkeit (Gefährdung) der in der Bestandsaufnahme ermittelten kritischen Anlagen etc. gegenüber den Folgen des Klimawandels vorgenommen. Die Anfälligkeit einer kritischen Anlage etc. hängt von ihrer Exposition gegenüber einem Risiko (Kombination aus Wahrscheinlichkeit und Gefahr) ab. Probleme können bereits heute auftreten, zukünftig durch den Klimawandel verstärkt werden oder neu hinzukommen. Die Anlagen etc. können dabei beispielsweise den folgenden Einflüssen unterliegen:

- Überschwemmungen durch überlastete Entwässerungssysteme oder hohe Grundwasserstände
- Überschwemmungen durch hohe Fluss-, Tidehoch- oder Sturmflutwasserstände
- Hohe Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne oder Veränderungen des Seegangs (extreme Wellen, Wellenunruhe)

- 
- Niedrige Flusswasserstände, Dürre oder verminderte Wasserversorgung
  - Veränderungen in der Bathymetrie oder im Sedimenttransport
  - Nebel oder andere Sichteinschränkungen, z. B. durch Schneesturm oder Sandstürme
  - Änderungen der Windgeschwindigkeit/ Stärke, Richtung oder Dauer des Windes
  - Extreme Kälte, Eis oder Vereisung
  - Extreme Hitze oder Feuchtigkeit (Größe, Dauer oder Häufigkeit)
  - Veränderungen in der Wasserchemie (Säuregehalt, Salzgehalt)
  - Veränderungen in der Biologie (Wachstumsraten, invasive Arten, Artenmigration)

Es ist wichtig bereits frühzeitig relevante interne und externe Akteure zu identifizieren und diese in den Klimaanpassungs-Planungsprozess mit einzubeziehen (Schritt 1.4). Diese können über relevantes Expertenwissen verfügen und für die Identifizierung von Klimarisiken sowie die Planung bzw. Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen von Bedeutung sein.

In Schritt 1.5 werden zunächst Randbedingungen und mögliche Beschränkungen (Eigentumsverhältnisse, finanzielle, ökologische, politische Hindernisse etc.) identifiziert und der Planungshorizont für den Klimaanpassungs-Planungsprozess festgelegt. Der Planungshorizont sollte in Abhängigkeit der Lebensdauer von Anlagen bzw. Investitionsentscheidungen festgelegt werden. Die Festlegung des Planungshorizonts beeinflusst die im späteren Verlauf benötigten zukünftigen Klimainformationen. Es wird empfohlen, sich auf einen Planungshorizont von < 10 Jahre, > 10 Jahre und < 30 Jahre oder ≥ 30 Jahre zu beziehen (vgl. Kapitel 2.2, Schritt 2.3). Anschließend werden praktikable Anpassungsziele für die Diskussion und Abstimmung mit den relevanten Akteuren erarbeitet. Diese Ziele müssen realistisch sein in Bezug auf die ermittelten Randbedingungen, Beschränkungen, Möglichkeiten und dem vereinbarten Planungshorizont und sollten sich direkt auf die identifizierten kritischen Anlagen etc. beziehen.

Eine effektive und effiziente Anpassung an den Klimawandel hängt von zugänglichen, geeigneten und zweckmäßigen Daten ab. Dabei ist lokales Wissen von unschätzbarem Wert. Die Datenerfassung und genaue Protokollierung spielt eine entscheidende Rolle sowohl beim Verständnis lokal relevanter Trends und damit beim Verständnis über den Zeitpunkt eines Handlungsbedarfs als auch bei der Dokumentation der Häufigkeit und Folgen von Extremereignissen. Ein wichtiger früher Schritt ist daher die Erfassung, Speicherung und Verwaltung relevanter lokaler Daten (Schritt 1.6).

## 2.2 Stufe 2: Klimainformationen

In Stufe 2 werden auf Basis der in Stufe 1 gesetzten Ziele und in Abhängigkeit der ermittelten kritischen Anlagen etc. relevante Klimaparameter und –prozesse und deren zukünftige Änderung identifiziert. Die einzelnen Schritte der Stufe 2 sind in Abbildung 4 dargestellt.

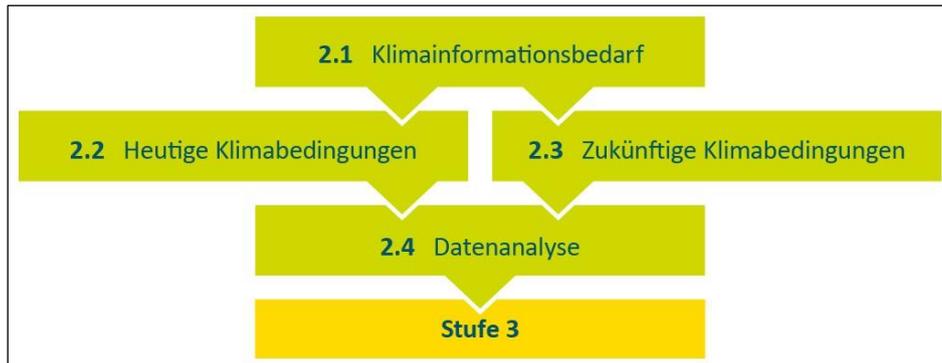


Abbildung 4: Stufe 2 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

In Schritt 2.1 ist die Entscheidung zu fällen, welche Klimadaten benötigt werden und welcher Detailgrad und welche Komplexität erforderlich sind. Dabei ist sicher zu stellen, dass relevante Akteure in den Entscheidungsprozess eingebunden werden. Ein beispielhaftes Ergebnis einer solchen Entscheidung zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Relevante Klimaparameter und -prozesse für Port Botany und Port Kembla, Australien (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder -prozess	Potentielle Auswirkungen
Straßen	Lufttemperatur, Niederschlag	Schädigung der Fahrbahn
Gebäude	Niederschlag	Überflutung
Elektrische Energiesysteme	Lufttemperatur	Schädigung
Kommunikationsinfrastruktur	Lufttemperatur	Schädigung
Marine Infrastruktur	Mittlerer Meeresspiegel, Tide, Sturmflut, Seegang	Schädigung durch Überflutung
Liegeplätze	Wind, Seegang	Betriebsausfallzeiten
Hafenkrane	Wind	Betriebsausfallzeiten
Container-Lagerflächen	Wind	Beschädigung der Container

Die Grundlage der Anpassungsstrategie bilden das Verständnis und die Quantifizierung aktueller klimatischer Bedingungen, deren Zusammenstellung in Schritt 2.2 erfolgt. Die Auswertung aktueller bzw. historischer Daten ermöglicht die Einschätzung, ob bereits Muster oder Trends bestehen, welche mit dem Klimawandel zusammenhängen können und ob sich diese bereits auf kritische Anlagen etc. auswirken. Der Vergleich historischer Werte mit in Schritt 2.3 zu ermittelnden prognostizierten Trends ermöglicht Entscheidungen über

---

geeignete Anpassungspfade zu treffen und Investitionen in Anpassungsmaßnahmen zu planen. Zudem geht es darum zu erkennen, wann ein bestimmter Schwellenwert wahrscheinlich überschritten wird, was wiederum in die strategische Planung der Anpassungsmaßnahmen einfließt. Das Verständnis der Charakteristik historischer Extremereignisse bietet dabei einen weiteren Anhaltspunkt für die Planung von Anpassungsmaßnahmen. Die benötigten Daten können entweder bereits vorliegen oder von verschiedenen regionalen, nationalen oder auch internationalen Quellen, wie Behörden, wissenschaftlichen Organisationen, Wetterdiensten etc., zur Verfügung gestellt werden. Wie bereits in Schritt 1.6 erwähnt kann es vor allem bei ungenügender Datenverfügbarkeit sinnvoll sein, eigene Systeme zur Datenerfassung und –verwaltung zu installieren.

In Schritt 2.3, der Sammlung relevanter zukünftiger Klimainformationen, können bei Planungshorizonten < 10 Jahre relevante Klimainformationen aus dem Trend historischer Daten gewonnen werden. Bei Planungshorizonten > 10 Jahre sollten diese jedoch aus anhand von Klimamodellen ermittelten Klimaprojektionen gewonnen werden, da diese die zukünftigen Änderungen des Klimas besser abbilden können. Die aktuellen RCP-Szenarien zeigen bis zum Jahr 2050 eine relativ geringe Abweichung zueinander. Daher besteht die Empfehlung, bei Planungshorizonten > 10 Jahre und < 30 Jahre die RCP-Szenarien der Einfachheit halber als ein gemeinsames Szenario zu betrachten. Bei Planungshorizonten  $\geq$  30 Jahre ist es jedoch angeraten, die jeweiligen RCP-Szenarien einzeln zu betrachten.

Wurden Rohdaten gewonnen, müssen diese einer entsprechenden Analyse unterzogen werden (vgl. Tabelle 3), um Änderungen relevanter historischer und zukünftiger Klimaparameter und -prozesse zu identifizieren und zu verstehen (Schritt 2.4). Mindestens sollte anhand eines Expertenurteils festgestellt werden, ob ein Klimaparameter oder -prozess über den Zeitraum, für den Daten bzw. Prognosen vorliegen, zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt. Dabei ist es wichtig, die Verlässlichkeit der Daten und ihre Grenzen der Auswertung zu kennen. Grenzen können aus Unsicherheiten, Problemen mit der räumlichen oder zeitlichen Auflösung, Datenlücken oder fehlerhaften Datensätzen herrühren. Außerdem ist es wichtig genau zu wissen, welche Daten gemessen bzw. projiziert wurden.

Tabelle 3: Überblick über die Methoden der Datenanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Ansatz	Relative Komplexität	Methoden der Datenanalyse	Typische Analyse-Ergebnisse
Expertenurteil	Sehr niedrig	Anhand des Expertenurteils wird festgestellt, ob ein Parameter oder Prozess über den Zeithorizont zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt. Es ist eine begrenzte Analyse erforderlich.	Skala o Symbole, die für jeden Parameter entweder angeben: Erhöhung ↑, keine Änderung - oder Verringerung ↓.
Indikatorbasiert	Niedrig	Es wird eine qualitative Bewertung vorgenommen, um festzustellen, ob ein Parameter oder Prozess auf der Grundlage grob aufgelöster Informationen zu- oder abnimmt. Ein Globales Klimamodell kann verwendet werden, um die Information über Ausgangsdaten/ zukünftigen Bedingungen zu liefern, aber es wird keine formale Analyse durchgeführt, um die Ergebnisse auf eine feinere Auflösung herunterzukalieren.	Skala o. Symbole, die auf Veränderungen hinweisen, mit einigen Informationen zur Größenordnung und Zeitachse, z. B. ++, +, 0, -, --.
Formelbasiert	Medium	Empirische Formeln werden verwendet, um Änderungen des Parameters oder Prozesses abzuschätzen. Jede Berechnung ist in der Regel räumlich und zeitlich statisch, so dass eine Reihe von Berechnungen erforderlich sein können, um festzustellen, wie sich ein Parameter in Zeit oder Raum geändert hat oder voraussichtlich ändern wird. Beispielsweise können Überlauformeln aus EurOtop (2018) verwendet werden, um Überschreitungen abzuschätzen.	Für jeden Parameter wird für Schlüsselzeiträume ein Wert berechnet.
Prozessbasierte Modellierung	Hoch	Numerische Modelle werden erstellt, um den physikalischen Prozess mit einer feinen Auflösung sowohl in Raum und Zeit zu modellieren. Die Randbedingungen werden oft durch globale oder regionale Modelle bestimmt; diese können eine Skalierung (downscaling) erfordern. Verschiedene kommerzielle Modelle sind verfügbar, z. B. unter Verwendung von hydrodynamischen, Wellen- oder Sedimenttransportdaten.	Räumlich und zeitlich variierende Werte für jeden Parameter.

### 2.3 Stufe 3: Verwundbarkeiten und Risiken

In der 3. Stufe ‘Verwundbarkeiten und Risiken’ werden die Erkenntnisse aus den ersten beiden Stufen miteinander verknüpft, um mögliche Risiken im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu identifizieren und zu bewerten. Die einzelnen Schritte der 3. Stufe sind in Abbildung 5 dargestellt.

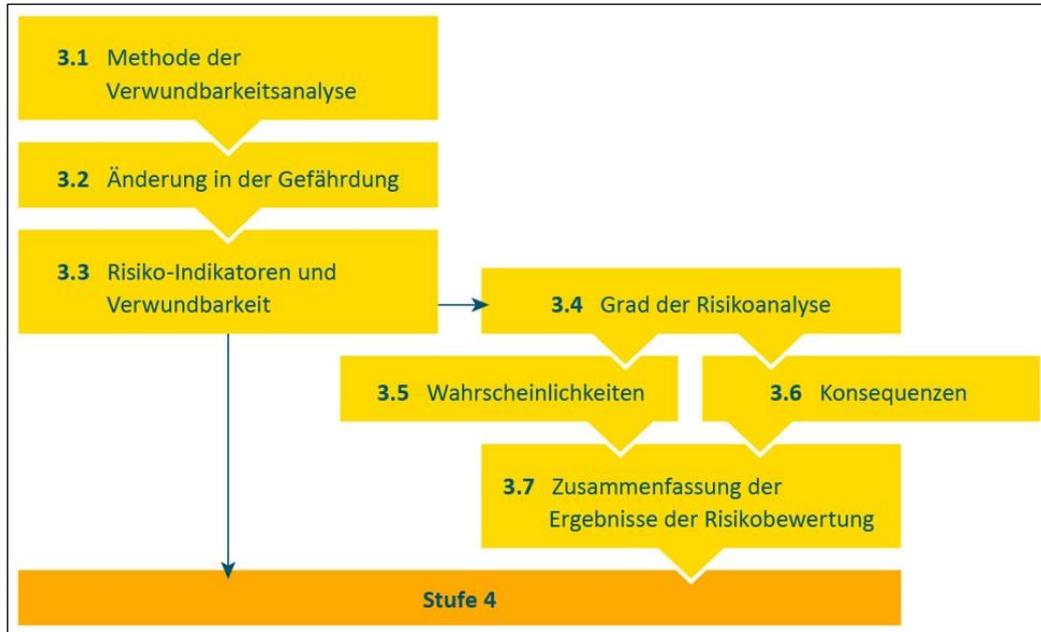


Abbildung 5: Stufe 3 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Anhand der Schritte 3.1 bis 3.3 wird beschrieben wie Klimagefahren, d.h. projizierte Änderungen relevanter Klimaparameter oder –prozesse, die das Potenzial haben einen Schwellenwert zu überschreiten oder anderweitig Schäden oder Störungen oder ähnliche negative Auswirkungen zu verursachen, identifiziert, quantifiziert und mit der heutigen Situation verglichen werden können, um zukünftige Veränderungen in der Verwundbarkeit kritischer Anlagen etc. hervorzuheben. Die Verwundbarkeitsanalyse (Schritte 3.1 – 3.3) kann eine alleinstehende Aufgabe sein oder dazu dienen, den Umfang einer gezielteren Risikoanalyse (Schritte 3.4 – 3.7) zu bestimmen. Innerhalb der Klimawandel-Risikoanalyse wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Klimagefahren sowie Art und relative Akzeptanz der damit verbundenen Folgen (Auswirkungen) beurteilt.

Bei der Verwundbarkeitsanalyse gilt es grundsätzlich festzustellen, ob die Änderung eines relevanten Klimaparameters oder –prozesses Auswirkungen auf die Funktionalität der kritischen Anlagen etc. hat. Können vorhandene Anpassungskapazitäten genutzt werden, kommt es gegebenenfalls zu keiner Änderung der Verwundbarkeit. Die Abfolge einer Verwundbarkeitsanalyse ist in Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Abfolge einer Verwundbarkeitsanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, wie eine Verwundbarkeitsanalyse auf Basis der in Stufe 2 gewonnenen Klimainformationen durchgeführt werden kann, die auf den folgenden allgemeinen Komplexitätsstufen basieren:

- Verwendung von internem Wissen bzw. Expertenurteilen (Komplexitätsniveau: Sehr gering, Datenbedarf: Sehr gering, Ressourcenbedarf: Sehr gering, Restunsicherheit: Hoch)
- Verwendung der Ergebnisse der Stufe 2 als Indikatoren (Komplexitätsniveau: Gering, Datenbedarf: Gering, Ressourcenbedarf: Gering, Restunsicherheit: Mittel - Hoch)
- Anwendung von Klimaparametern und -prozessen in einer quantitativen ingenieurwissenschaftlichen Bewertung, z. B. deterministische oder probabilistische Analyse (Komplexitätsniveau: Mittel, Datenbedarf: Mittel, Ressourcenbedarf: Mittel, Restunsicherheit: Mittel)
- Prozessbasierte Modellierung der projizierten Auswirkungen des Klimawandels auf relevante Klimaparameter und -prozesse, gegebenenfalls im Rahmen standortspezifischer Analysen mit hochauflösenden numerischen Modellen oder möglicherweise physikalischen Modellen (Komplexitätsniveau: Hoch, Datenbedarf: Hoch, Ressourcenbedarf: Hoch, Restunsicherheit: Mittel - Niedrig)

Im Rahmen des Schrittes 3.1 ist eine entsprechend den vorhandenen Daten, Ressourcen und Anpassungszielen passende Komplexitätsstufe zu wählen.

Die Auswirkungen der in Stufe 2 ermittelten Änderungen relevanter Klimaparameter und –prozesse auf die Gefährdung kritischer Anlagen ist in Schritt 3.2 mindestens nach dem Schema in Abbildung 7 zu beurteilen. In Abhängigkeit des gewählten Planungshorizontes hat die Beurteilung gegebenenfalls für eine bestimmte Bandbreite an zukünftigen Änderungen zu

erfolgen. In jedem Fall sollte ein unwahrscheinliches, aber plausibles extremes Klimaszenario in der Verwundbarkeitsanalyse berücksichtigt werden.



Abbildung 7: Bewertungsschema - Änderung der Gefährdung (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

In Schritt 3.3 ist zu untersuchen, ob es durch den Klimawandel zu einer Zunahme der Gefährdung kritischer Anlagen etc. kommt und dies zu einer Zunahme der Verwundbarkeit der Anlagen etc. führt. Das ist z. B. der Fall, wenn kritische Schwellenwerte, deren Erreichen zu betrieblichen Einschränkungen oder finanziellen Schäden führen, durch den Einfluss des Klimawandels zukünftig überhaupt oder häufiger erreicht werden. Daher ist es notwendig, kritische Schwellenwerte ggf. zunächst zu definieren und diese zusammenzutragen. Die Definition eines akzeptablen Restrisikos, d.h. beim Überschreiten welcher Schwellenwerte auftretende Ausfallzeiten oder Schäden in Kauf genommen werden, ist in der Diskussion um die kritischen Schwellenwerte zu berücksichtigen. Falls kritische Anlagen etc. über vorhandene Anpassungskapazitäten, wie Ausbaureserven von Hochwasserschutzanlagen, oder Redundanzen verfügen, können diese im Rahmen der Verwundbarkeitsanalyse berücksichtigt werden. Daten beispielsweise über Instandhaltungskosten, Häufigkeit und Ursache betrieblicher Ausfallzeiten, Kosten und Auswirkungen von Extremereignissen können helfen, eine eventuell bereits vorhandene Änderung der Verwundbarkeit abzuschätzen und die Planung von Anpassungsmaßnahmen unterstützen. Bei vorhandenen Trends in den Daten ist die Ursache sorgfältig zu prüfen, um sicherzustellen, dass die Änderungen dem Klimawandel zugeordnet werden können. Tabelle 4 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer Verwundbarkeitsanalyse für einen Seehafen. Es ist notwendig und sinnvoll, die Ergebnisse der Verwundbarkeitsanalyse zu priorisieren, um sicherzustellen, dass sich die nächsten Schritte auf die wichtigsten potentiellen Auswirkungen konzentrieren.

In Fällen, in denen der Planungshorizont relativ kurz, das Vertrauensniveau hoch oder die Anpassungsinitiative breit angelegt ist, kann die Verwundbarkeitsanalyse ausreichend Informationen über potentielle Auswirkungen liefern, um direkt zur Ermittlung potentieller Anpassungsmaßnahmen überzugehen (Stufe 4). Andernfalls ist auf Basis der Verwundbarkeitsanalyse eine detaillierte Risikoanalyse durchzuführen (Schritte 3.4 – 3.7).

Tabelle 4: Exemplarisches Ergebnis einer Verwundbarkeitsanalyse (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

<b>Beispiel-Hafen</b> <b>Bewertung der Klimawandel-Verwundbarkeit</b> <b>Szenario 1 von 3</b>	<b>Im Vergleich zu historischen Daten, <u>wie verändert sich die Gefährdung</u> aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts</b>					<b>Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, <u>wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?</u></b>				
	Extreme Hitze	Meresspiegelanstieg	Windgeschwindigkeit	Seegang	Saisonaler Niederschlag	Extreme Hitze	Meresspiegelanstieg	Windgeschwindigkeit	Seegang	Saisonaler Niederschlag
Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse →  Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓										
Anlegen, Be- und Entladen	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑⇒	⇒	⇒	⇒	↑
Zufahrt zum Liegeplatz (z. B. Fahrrinne)	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	⇒	↓	⇒	⇒	↑
Maritime Strukturen	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	⇒	↑	⇒	⇒	⇒
Kai-Equipment (z. B. Krane, Schiffsbelader)	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	↑
LKWs/ Terminalfahrzeuge	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	↑
Bauwerke an Land	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
Lagerflächen	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	↑
Ausrüstung an Land (z. B. Hafenmobilkrane, Schaufelradbagger, Förderbänder)	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	↑
Elektrische Energiesysteme	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
Entwässerungssysteme	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	⇒	⇒	⇒	⇒	↑↑
Kraftstoffsysteme	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	⇒
Straßen-/ Schienenzugang und internes Netz	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑	⇒	⇒	⇒	↑
Einrichtungen für Mitarbeiter	↑↑	↑	⇒	⇒	↑↑	↑↑	⇒	⇒	⇒	⇒

---

Im Rahmen der Risikoanalyse wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Klimagefahren, d.h. Änderungen von Klimaparametern oder –prozessen, die das Potential haben, Schäden, Störungen oder andere negative Auswirkungen zu verursachen, eintreten sowie das Ausmaß und die Schwere der Folgen, falls diese auftreten, analysiert. In Schritt 3.4 sind zunächst Methode und Detailgrad der Risikoanalyse festzulegen. Dabei kann auf bestehende Methoden und Empfehlungen anderer Bereiche zurückgegriffen werden. Es sollte jedoch eine klimawandelspezifische Risikobetrachtung unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien erfolgen. Falls keine relevanten Richtlinien, Empfehlungen oder vorhandene Methoden im Unternehmen bestehen, kann sich auf öffentliche, klimawandelspezifische Risikoanalysemethoden anderer Bereiche und Organisationen bezogen werden (z. B. EC Directorate-General Climate Action (2011), Standards Australia (AS 5334-2013), Hoagland-Grey (2015), West und Brereton (2013), Committee on Climate Change (2017)). Die Internationale Organisation für Normung hat kürzlich einen entsprechenden Standard zur Anpassung an den Klimawandel mit dem Untertitel: Gefährdung, Auswirkungen, Risikobeurteilung (ISO 14091) veröffentlicht. Im PIANC-Leitfaden wird eine einfache klimawandelspezifische Prozedur für eine Risikoanalyse vorgestellt, an der sich bei Bedarf bzw. bei geringen verfügbaren Ressourcen orientiert werden kann. Wie bei anderen Schritten, sollte bei der Entscheidung über das am besten geeignete Ausmaß der Risikoanalyse die Quantität und Qualität der verfügbaren Daten, die erforderlichen Ressourcen und Fachkenntnisse sowie die gewünschten Ergebnisse berücksichtigt werden.

Den in Stufe 2 gewonnen Klimainformationen liegen verschiedene Unsicherheiten zugrunde. Eine große Unsicherheitsquelle ist dabei die zukünftige Entwicklung der Treibhausgase. Es ist also nicht möglich, sicher zu sein, dass ein bestimmtes Klimawandelszenario realisiert wird. Daher wird im Schritt 3.5 die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Klimagefahr eintritt, bewertet. Die Bewertung kann dabei im einfachsten Fall z. B. nach dem folgenden Schema erfolgen: Sehr wahrscheinlich, wahrscheinlich, möglich, unwahrscheinlich, sehr unwahrscheinlich.

Die Klimagefahren können sich in vielfältiger Weise auf Häfen auswirken. Beispielsweise können physische Schäden oder operationelle, unternehmerische als auch ökologische Folgen auftreten. In Schritt 3.6 geht es darum, die potentiellen Folgen der Klimagefahren abzuschätzen, indem ihre Auswirkungen im einfachsten Fall z. B. nach dem folgenden Schema kategorisiert werden: Katastrophal, bedeutend, mäßig, gering, unbedeutend. Werden die einzelnen Kategorien mit einer Zahlenskala (1-5) bewertet und Wahrscheinlichkeit und Auswirkung miteinander kombiniert, erhält man eine Risikomatrix

(Tabelle 5), aus der sich der Grad des Risikos direkt ablesen lässt und notwendige Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

Tabelle 5: Risikomatrix (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Wahrscheinlichkeit \ Auswirkung	Selten (1)	Unwahrscheinlich (2)	Möglich (3)	Wahrscheinlich (4)	Sehr wahrscheinlich (5)
Katastrophal (5)	5	10	15	20	25
Bedeutend (4)	4	8	12	16	20
Mäßig (3)	3	6	9	12	15
Gering (2)	2	4	6	8	10
Unbedeutend (1)	1	2	3	4	5

Legende:

Risiko	Erforderliche Anpassungsmaßnahmen
Extremes Risiko	Sofortige Anpassungsmaßnahmen erforderlich
Großes Risiko	Anpassungsmaßnahmen mit hoher Priorität erforderlich
Moderates Risiko	Anpassungsmaßnahmen über Tagesgeschäft implementieren
Geringes Risiko	Risiko über routinemäßige interne Verfahren steuern und überwachen

Der Prozess der Risikoanalyse ist zu dokumentieren (Schritt 3.7), dabei sind verwendete Methoden und Werkzeuge sowie Unsicherheiten und mangelndes Vertrauen bzgl. der Datengrundlage festzuhalten. Die Ergebnisse sind anschließend an relevante Akteure zu kommunizieren.

Die Ergebnisse der Analyse werden in Stufe 4 genutzt, um den Anpassungsbedarf zu priorisieren und die Entwicklung von Strategien zur Festlegung von Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen.

## 2.4 Stufe 4: Anpassungsoptionen

Stufe 4 enthält eine Reihe von Schritten zur Identifizierung, Überprüfung und gegebenenfalls Bewertung möglicher Anpassungsoptionen zur Bewältigung der in Stufe 3 identifizierten Risiken (Abbildung 8). Diese Schritte münden in der Entwicklung von Anpassungspfaden. Ein Anpassungspfad beschreibt die Abfolge von Maßnahmen, welche infolge von meteorologischen, hydrographischen oder ozeanographischen Änderungen umgesetzt werden. Das Gesamtkonzept zur Anpassung an den Klimawandel kann dann als

Anpassungsstrategie dargestellt werden. Die Durchführung der Maßnahmen und die anschließende Überprüfung der Zielerreichung werden durch Monitoring überwacht.

In 4. Stufe erfolgt die Identifizierung, Überprüfung und Bewertung möglicher Anpassungsoptionen, woraus eine Anpassungsstrategie abgeleitet und diese anschließend umgesetzt werden kann.



Abbildung 8: Stufe 4 des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

In Schritt 4.1 gilt es zu verstehen, dass die vielen zu berücksichtigenden Unsicherheiten dazu führen können, dass die 'konventionelle Lösung' oder die 'naheliegendste Option' möglicherweise weder technisch noch wirtschaftlich die effektivste ist und vielmehr eine Reihe möglicher (traditioneller oder neuartiger) struktureller, operativer und institutioneller Maßnahmen standortspezifisch zu berücksichtigen sind. Dabei sind Fehlanpassungen zu vermeiden, gegebenenfalls zunächst kurzfristige und temporäre Maßnahmen zu berücksichtigen, bevor langfristige Maßnahmen etabliert werden, Ausbaureserven und Redundanzen vorzusehen sowie Strategien zur Minderung der Folgen bei Versagen zu entwickeln. Durch die vorhandenen Unsicherheiten ist es zudem nicht einfach zu wissen, wann es angeraten ist zu handeln. Hier kann ein entsprechendes Monitoring-System (lokale Trends von klimatischen Parametern, Zustandsbewertungen von kritischen Anlagen etc., monetäre Schäden durch Wetterereignisse) unterstützend wirken.

Der Leitfaden bietet ein nach Klimaparameter und –prozessen gegliedertes Maßnahmen-Portfolio, wobei die enthaltenen Maßnahmen physischer, sozialer und institutioneller Art sind. Tabelle 6 zeigt eine Auswahl allgemeiner Anpassungsmaßnahmen. Weitere nach Auswirkungen – beispielsweise Überflutung – sortierte Maßnahmen sind im Anhang 4 des

Leifadens aufgelistet. Das Portfolio ist als Ideengeber zu verstehen, es handelt sich nicht um eine vollständige Übersicht. In Schritt 4.2 erfolgt schließlich die Auswahl möglicher Anpassungsmaßnahmen anhand des Portfolios für die jeweiligen relevanten Klimaparameter und –prozesse.

Tabelle 6: Allgemeine Anpassungsmaßnahmen, um die Widerstandsfähigkeit von Anlagen etc. zu stärken (PIANC 2020, verändert, eigene Übersetzung)

<b>Physische Maßnahmen</b> Strukturen, Systeme, Technologien	<b>Soziale Maßnahmen</b> Menschen, Verhalten, Vorgänge, Informationen	<b>Institutionelle Maßnahmen</b> Management, Ökonomie, Vorschriften, Politik
<p><b>Instandhaltung</b> priorisieren, um die Widerstandsfähigkeit zu maximieren</p> <p><b>Echt-Zeit Monitoring</b> von Infrastruktur</p> <p><b>Gefährdete Anlagen und Equipment</b> aus Risiko-Gebieten verlagern</p> <p>In <b>Redundanz</b>, temporäre Infrastruktur oder andere physische Sicherungsmaßnahmen für kritische Anlagen (inkl. Strom- und Wasserversorgung) investieren</p> <p>Kritische Anlagen <b>stützen, erhöhen, verstärken</b> oder anderweitig schützen oder modifizieren</p> <p>Neue(s) <b>flexible(s)</b> o. <b>demontierbare(s) Infrastruktur</b> o. Equipment installieren o. entwickeln</p> <p><b>Warnsysteme</b> installieren</p> <p>Ernennung oder Bereitstellung physischer <b>Schutzräume</b></p> <p><b>Lagerkapazitäten</b> erhöhen</p> <p><b>Naturbasierte Lösungen</b>, Working with Nature, Soft Engineering</p> <p>Modifizierung von <b>Material oder Equipment</b>, um es an geänderte Bedingungen anzupassen</p> <p>In <b>SMARTe Technologien</b> investieren</p>	<p>Durchführung von <b>Risikobewertungen</b> zum Klimawandel, Erstellung von <b>Risikokarten</b></p> <p><b>Vorbereitung von bzw. Sensibilisierung</b> für Notfall- und Katastrophenschutzpläne</p> <p>Einführung und regelmäßige Überprüfung von <b>Warnsystemen</b></p> <p><b>Ausbildung</b> von Mitarbeitern, Akteuren und lokaler Bevölkerung</p> <p>Zusammenarbeit und <b>Koordinierung mit Versorgungsunternehmen</b> und anderen Dienstleistern</p> <p>Verbesserung (oder Einleitung) von <b>Monitoring, Datenspeicherung und Datenmanagement</b></p> <p>Durchführung von Trendanalysen und <b>Prognosen</b></p> <p><b>Überarbeitung von Betriebsanweisungen, Änderung von Arbeitspraktiken</b>, wenn Bedingungen sich ändern</p> <p><b>Flexibilität</b> und Reaktionsfähigkeit in der Planung erlauben (<b>Betriebszeiten, Mitarbeiterplanung, Liegezeiten, Schleusenbetrieb</b>, etc.)</p>	<p>Ausarbeitung einer <b>Anpassungsstrategie</b></p> <p>Überprüfung und Überarbeitung relevanter <b>Normen, Richtlinien und Merkblätter</b></p> <p>Überprüfung bzw. Anpassung von <b>Sicherheits- und Gesundheits-</b> Vorschriften</p> <p>Strategien zur <b>Standortverlegung</b> aus Hochrisikogebieten</p> <p>Zusammenarbeit mit <b>Raumordnung</b>, z. B. um <b>Rückzugs- und Pufferzonen</b> einzurichten</p> <p><b>Begrenzung</b> der Entwicklung <b>neuer Infrastruktur</b> in Hochrisikogebieten</p> <p><b>Alternative Transportwege und -arten</b> identifizieren, sichern und koordinieren</p> <p><b>Schutz</b> von gefährdeten Lebensräumen mit Funktion der Risikominderung (z. B. Absorption von Wellenenergie, Erosionsschutz)</p> <p>Gewährung von <b>Zuschüssen oder Anreizen</b>, z. B. für die Entwicklung oder Aufrechterhaltung widerstandsfähiger Infrastruktur</p> <p><b>Erforschung</b> und Entwicklung neuer Instrumente und Methoden</p>

Anschließend werden in Schritt 4.3 die möglichen Maßnahmen nach unterschiedlichen Kriterien geprüft (screening). Die Auswahlkriterien sind in Tabelle 7 dargestellt. Jede Maßnahme sollte für eine jeweilige klimatische Auswirkung anhand jedes der Kriterien bewertet werden. Qualitative oder quantitative Informationen oder eine Kombination aus beidem sollten dabei verwendet werden. Die ausgefüllte Screening-Tabelle zeigt letztendlich eine Übersicht von Maßnahmen, die den ausgewählten Kriterien am besten entsprechen. Es

ist angeraten, den Screening-Prozess nach einiger Zeit zu wiederholen, da durch geänderte Bedingungen Maßnahmen, die zuvor technisch nicht machbar oder unökonomisch waren, zukünftig möglich sein können.

Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen (PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Auswahlkriterien	Umfang, in dem die Maßnahme das Kriterium erfüllt, allein oder in Kombination mit anderen Maßnahmen			
Kompatibel mit den Zielen	Vollständig	Überwiegend	Teilweise	Inkompatibel
Relative Kosten	Kostengünstig	Moderat	Kostspielig	Unerschwinglich
Technische Machbarkeit	Leicht	Moderat	Herausfordernd	Nicht machbar
Grad der Risikominderung	Signifikant	Moderat	Gering	Keine/ birgt neue Risiken
Auswirkungen auf andere Interessengruppen	Positiv	Neutral	Negativ	Untragbar
Auswirkungen auf die physische oder natürliche Umwelt oder das Kulturerbe	Positiv	Neutral	Negativ	Untragbar
Instandhaltungs- oder Managementanforderungen	Gering	Moderat	Erheblich	Untragbar
Risiko einer Fehlanpassung	Gering	Moderat	Signifikant	Untragbar
Umfang positiver Nebeneffekte	Signifikant	Moderat	Keine	-
Repräsentiert eine No- oder Low- Regret Maßnahme	No-Regret	Low-Regret	Neutral	-

In die engere Wahl kommende Maßnahmen müssen einer detaillierteren Bewertung unterzogen werden (Schritt 4.4), wenn z. B.:

- Verschiedene Arten von Maßnahmen sinnvoll erscheinen oder wenn Kompromisse zwischen verschiedenen Anpassungspfaden erforderlich sind
- Kostenüberlegungen, Anforderungen von Finanzierungsorganisationen oder Unternehmensprotokolle erfordern, dass eine wirtschaftliche Analyse und/ oder eine Bewertung von Alternativen durchgeführt wird
- Die Einschätzung eines Experten aus anderen Gründen nicht ausreichend ist

Wenn fundierte Entscheidungen über Kosten und Nutzen verschiedener Maßnahmen getroffen werden müssen, gibt es verschiedene Methoden und Instrumente der wirtschaftlichen Analyse (Kosten-Nutzen/ Wirksamkeits-Analyse, Multikriterielle

---

Entscheidungsanalyse, Realloptionsanalyse, Bayes'sche Netze etc.). Dabei können die folgenden Fragen bei der Wahl der Methode bzw. der Durchführung der Analyse helfen:

- Ist es ratsam, eine Methode zu wählen, die den Vergleich von Szenarien ermöglicht?
- Ist es besser, getrennte Bewertungen für kurz- und langfristige Maßnahmen durchzuführen?
- Welche Auswirkungen hat es, wenn keine Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden?

Die Wahl einer geeigneten Bewertungsmethode wird zudem durch die folgenden Punkte beeinflusst:

- Bedeutung von Genauigkeit und/ oder Transparenz, die eine quantitative Analyse begünstigen kann
- Verfügbarkeit von Ressourcen und detaillierten Daten, um die Auswirkungen quantifizieren zu können
- Einfachheit, mit der verschiedene Komponenten quantifiziert oder monetarisiert werden können
- Ansichten und Prioritäten relevanter Akteure und Miteigentümer

Bei der Planung der Anpassung an den Klimawandel wird ein 'Pfad' einem festen 'Programm' vorgezogen, denn verbleibende Unsicherheiten machen es schwierig oder unmöglich, genau zu wissen, wann eine bestimmte Maßnahme eingeleitet werden muss. Die Entwicklung von Anpassungspfaden für jede erwartete klimawandelbedingte Auswirkung auf kritische Anlagen etc. ermöglicht es, den Unsicherheiten Rechnung zu tragen (Schritt 4.5). Unter den zuvor identifizierten Maßnahmen können einige relativ einfach und kostengünstig umzusetzen sein. Solche Maßnahmen werden als 'low-hanging-fruits' und 'no-regret' bezeichnet. Anfängliche Maßnahmen können mit Gewissheit umgesetzt werden, während der Zeitpunkt und gegebenenfalls Art zukünftiger Maßnahmen offen gehalten wird. Diese Flexibilität kann entscheidend sein, um Fehlanpassungen zu vermeiden. Bei längerfristig umzusetzenden Maßnahmen können die Überwachung der Performance von Anlagen etc. sowie meteorologischer, hydrographische oder ozeanographischer Daten als Frühwarnsysteme bzw. Indikatoren dienen, wann kritische Schwellenwerte erreicht werden. Tabelle 8 zeigt exemplarisch einen solchen Anpassungspfad.

Tabelle 8: Beispiel eines Anpassungspfades (PIANC 2020, verändert, eigene Übersetzung)

<b>Auswirkung</b>	<b>Maßnahme</b>		<b>Bedingungen, die Aktion auslösen</b>
<i>Anstieg des Meeresspiegels führt zu einer immer häufigeren Überschwemmung eines von zwei Liege- und Umschlags-plätzen von Stückgut im Hafen</i>	1	Erstellung eines Ausweichplans für alternative Anlegemöglichkeiten	Sofort (no regret)
	2	Überwachung des Zustands der Anlage einleiten	Gesicherte Finanzierung
	3	Entscheidung über die Erhöhung der Kaje-Suprastruktur versus Ersatzneubau	Überwachung der lokalen Meeresspiegelanstiegsrate und/ oder der Zerstörung der Anlage zeigt an, dass der akzeptable Schwellenwert innerhalb von drei Jahren überschritten wird.

In Schritt 4.6 geht es darum, die bisher umgesetzten Stufen bzw. ihre einzelnen Schritte in einer Anpassungsstrategie zusammenzufassen. Wichtig ist, dass die Strategie die Maßnahmen beschreibt, die gemäß den in Schritt 4.5 identifizierten Anpassungspfaden für jede kritische Anlage etc., die wahrscheinlich vom Klimawandel betroffen ist, umzusetzen sind. Dabei kann es gegebenenfalls erforderlich sein, innerhalb der Strategie Umsetzungsprioritäten festzulegen. Im Rahmen der Anpassungsstrategie sind zudem Rollen und Verantwortlichkeiten anderer Akteure festzuhalten.

Nachdem die Anpassungsstrategie festgelegt wurde, wird sie in Schritt 4.7 umgesetzt. Während sich Umfang und Komplexität der sich aus der Anpassungsstrategie ergebenden Aktivitäten, unterscheiden, können die folgenden typischen Umsetzungsschritte identifiziert werden:

- Einrichten eines oder mehrerer Projektteams
- Einbeziehen anderer interessierter und maßgeblicher Akteure
- Ausbilden und aufbauen von Kompetenzen
- Sicherstellen der Finanzierung

### 3 Bestehende sowie zukünftige Gefährdung und Chancen für Seehäfen in Deutschland infolge des Klimawandels

Die Verwundbarkeit von Seehäfen gegenüber dem Klimawandel ist vielfältig. Abbildung 9 zeigt eine Übersicht identifizierter Klimaparameter und deren Auswirkungen auf die verschiedenen Bereiche eines Seehafens.

Im Rahmen des Projekts PortKLIMA wurden Interviews mit den am Projekt beteiligten Hafenmanagementgesellschaften geführt, um die aktuelle Betroffenheit der beteiligten Seehäfen von extremen Wetterereignissen zu erfassen. Terminalbetreiber, Logistiker und hafenaffine Betriebe wurden nicht umfassend interviewt, daher können auf Basis der Interviews nur in Teilen Aussagen über die aktuelle Betroffenheit der beteiligten Häfen abgeleitet werden. Die eingerahmten Begriffe in Abbildung 9 geben die Ergebnisse der Interviews mit Praxispartnern im Projekt PortKLIMA wieder, d.h. die bereits heute in den beteiligten Seehäfen zu beobachtenden Auswirkungen.

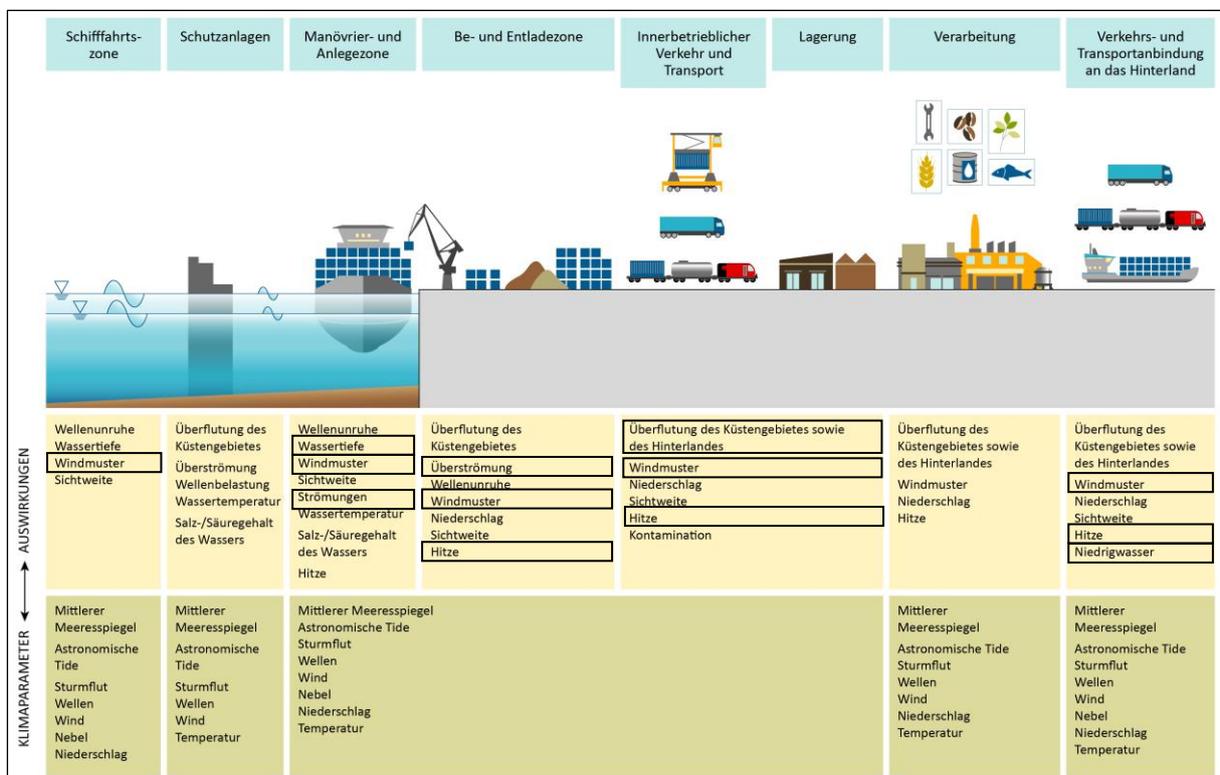


Abbildung 9: Klimaparameter und Auswirkungen auf Seehäfen. Die bisher beobachteten Auswirkungen auf deutsche Seehäfen sind durch die Kästen hervorgehoben (Abbildung nach PIANC 2020, eigene Übersetzung)

Es ist davon auszugehen, dass bereits heute bei extremen Wetterereignissen zu beobachtende Probleme durch den Klimawandel zukünftig häufiger und auch verstärkt

auftreten werden. Nichtsdestotrotz ist es wichtig, die Ursache nicht nur im Klimasystem zu suchen, da ebenso menschliche Eingriffe, wie beispielsweise Fahrwasservertiefungen, Wasserentnahmen oder ein Zuwachs der Schiffgrößen, Ursachen für zunehmende Herausforderungen sein können. Treten wetterbedingte Schäden auf, kann zudem Materialermüdung oder mangelnde Wartung und nicht das unmittelbare Extremwetterereignis die Ursache für Schäden sein. Da häufig Extremwetterereignisse und wetterbedingte Schäden nicht systematisch erfasst werden, sind keine quantifizierbaren Aussagen über die aktuelle Betroffenheit möglich. Dennoch zeigen die Erfahrungswerte Problembereiche auf. Es ist allerdings davon auszugehen, dass mit dem Klimawandel auch neue Problemfelder, beispielsweise in Zusammenhang mit dem Anstieg des mittleren Meeresspiegels, entstehen werden.

Durch ihre Lage sind Seehäfen insbesondere den Auswirkungen von hohen Wasserständen und starken Winden infolge von Sturm ausgesetzt. Der Umschlag im Hafen kann nur bei bestimmten Windstärken erfolgen. Bei zu großen Windgeschwindigkeiten muss der Betrieb des Hafens weitgehend bzw. komplett eingestellt werden. Schäden infolge von Sturmereignissen, wie beispielsweise beschädigte Dächer, sind nicht ungewöhnlich. Vereinzelt kam es in der Vergangenheit auch zu umgestürzten Leercontainern. Hohe Wasserstände werden bereits heute für die Häfen zum Problem, bei denen die Kaianlagen nur geringfügig über dem mittleren (Tide-) Hochwasserstand liegen wie z. B. in Brake oder in Hamburg am Burchardkai. Solche Kaianlagen werden bereits heute teilweise durch auf den Kaianlagen platzierten Hochwasserschutzwänden vor Überflutung geschützt.

Durch die Zunahme von Schiffgrößen hat sich die Windangriffsfläche der Schiffe vergrößert. Dieser Umstand ist über die Jahre in den einschlägigen Bemessungsansätzen, wie den Empfehlungen des Ausschusses Ufereinfassungen, in geänderten Bemessungswerten, beispielsweise für Festmacheinrichtungen, berücksichtigt worden (Tabelle 9). Die im Zusammenhang mit Starkwind und Schiffgrößen zu nennenden Herausforderungen sind das Festmachen von Schiffen mit teilweise erhöhtem Schleppereinsatz, Kolk Schäden durch Bugstrahleinsatz und vereinzelt losgerissene Schiffe sowie, bei begrenztem Platzangebot, das sichere Manövrieren von Schiffen, welche in Extremfällen bei engen Hafeneinfahrten den Hafen nicht mehr anlaufen können.

In wenigen Fällen wurden ungewöhnliche Starkwind- bzw. Sturmereignisse beobachtet. Hierzu zählen langanhaltende Starkwindereignisse im Sommer und Sturmereignisse aus untypischer Richtung. Schäden infolge von Sturm bzw. Sturmfluten können mit zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen minimiert, Betriebsausfälle jedoch nicht verhindert werden.

Tabelle 9: Entwicklung der nach Empfehlungen des Arbeitsausschusses Uferbefestigungen (EAU) anzusetzenden charakteristischen Pollerzuglasten in Abhängigkeit der Wasserverdrängung eines Schiffs (Turban 2019)

Wasserverdrängung G [t]	Pollerzuglast [kN]			
	EAU Auflage			
	1.	2.	5./ 9./ 10.	11.
2.000	100	100	100	-
10.000	300	300	300	300
20.000	600	600	600	600
50.000	800	800	800	800
100.000	-	1.000	1.000	1.000
200.000	-	-	1.500	2.000
250.000	-	-	2.000	2.500
>250.000	-	-	-	>2.500

Das Auftreten von Hitzeperioden hat unterschiedliche Auswirkungen auf Seehäfen. Vor allem für in nicht klimatisierten Räumen bzw. Bereichen beschäftigten Mitarbeitern sind hohe Lufttemperaturen problematisch, so dass hier zusätzliche Arbeitsschutzmaßnahmen getroffen werden müssen und auch bereits getroffen wurden. Insbesondere für ältere Arbeitnehmer waren die hohen Temperaturen in den Sommern 2018 und 2019 eine große Herausforderung. Auch kam es aufgrund der großen Auslastung vereinzelt zu Ausfällen von Klimaanlage in Fahrzeugen, welchen jedoch mit Ruhephasen, d.h. Abschalten der Klimaanlage während der Nacht, entgegengewirkt werden konnte. Generell ist das Thema Klimatisierung von zunehmender Relevanz. In manchen Häfen kommt es durch hohe Temperaturen zu Beschädigungen an Belägen (Asphalt) und an Gleisanlagen (bei langen Gleisstrecken) bzw. Stahlbrücken. Manche Arbeiten können bei hohen Temperaturen nicht ausgeführt werden, weil z. B. die Materialien wie Farbe nicht verarbeitet werden können.

Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitäten (Starkniederschläge) oder hohen Niederschlagsmengen verursachen, mit wenigen Ausnahmen, in den Häfen bisher kaum Probleme. Allerdings ist der Umschlag nässeempfindlicher Güter bei Niederschlag eingeschränkt. Das Niederschlagswasser kann häufig gut über die Terminalentwässerung bzw. die Kaikante abfließen. Bisher ist es nur lokal und kurzzeitig zu Überschwemmungen gekommen. Geschotterte Flächen müssen jedoch zur Minderung der Pfützenbildung ggf. häufiger hergerichtet werden.

Der zukünftige Umgang mit der Einleitung des Niederschlagswassers von den Terminalflächen, um bei steigenden Wassertemperaturen und dadurch geringeren Sauerstoffkonzentrationen eine übermäßige Belastung der Vorfluter zu vermeiden, ist zu diskutieren. Zudem steigt die Gefahr des Rückstaus infolge sinkender Aufnahmekapazitäten der Vorfluter aufgrund eines steigenden Meeresspiegels.

---

Fehlender Niederschlag wirkte sich in der Vergangenheit in unterschiedlicher Art und Weise auf die Häfen aus. Durch die daraus entstehenden Niedrigwasserstände auf dem Rhein konnte eine Verlagerung der Güterströme auf die Bahn beobachtet werden, was zu einer Verknappung von Eisenbahnwaggons, aber auch zu einer Umlagerung von Gütern in andere Hafenstandorte geführt hat. Zu niedrige Wasserstände bergen zudem die Gefahr, dass die Bemessungswasserstände an den Kaianlagen unterschritten werden, so dass die betroffenen Kaianlagen für den Umschlag gesperrt werden müssen. Durch niedrige Binnenwasserstände kann die Hinterlandverbindung per Schiff eingeschränkt sein; dies betrifft vor allem nicht staugeregelte Flussabschnitte.

Die Hinterlandverbindungen per Schiff, Bahn oder LKW sind zur Aufrechterhaltung der Güterströme essentiell. Werden diese durch Niedrigwasserstände, Ausfälle der Bahnstrecken aufgrund von Sturmschäden oder Böschungsbränden oder durch die Sperrung von Straßen gestört, kommt es zu erheblichen Beeinträchtigungen der Logistik. Insbesondere durch die Sperrung infrastruktureller Nadelöhre, wie beispielsweise Brücken oder eingleisigen Bahnstrecken, kann der Hinterlandverkehr massiv gestört werden.

Grundsätzlich wirkt sich der Oberwasserzufluss auf den Sedimenttransport und somit das Sedimentmanagement in den weiter im Binnenland gelegenen Seehäfen aus. Von betroffenen Häfen wurden sowohl positive als auch negative Auswirkungen, d.h. fallende bzw. steigende Aufwendungen für das Sedimentmanagement beobachtet, die genauen Gründe sind jedoch nicht eindeutig zu benennen. Steigende Wassertemperaturen und geringe Sauerstoffkonzentrationen können die Tage, an denen Maßnahmen zum Sedimentmanagement wie Baggern und Wasserinjektionsmaßnahmen erlaubt sind, zukünftig gegebenenfalls beschränken.

Lokal in einem der Partnerhäfen trat in der jüngsten Vergangenheit innerhalb von zwei Jahren hintereinander Salznebel, d.h. Luft mit einem hohen Salz- und Feuchtigkeitsgehalt, auf. In dessen Folge ist es in der betroffenen Region zu Problemen mit der Stromversorgung und zum Ausfall von Oberleitungen an Gleisstrecken gekommen. Das Ereignis gilt eigentlich als selten auftretend; eine Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem Klimawandel ist möglich.

In einigen Häfen konnte eine Änderung von Güterströmen infolge von Extremwetterereignissen beobachtet werden. Neben einer Umleitung von Gütern infolge Niedrigwasser zählen hierzu verstärkte Holzimporte infolge von Sturmschäden sowie verringerte Getreideexporte bzw. erhöhte Futtermittelimporte infolge extremer Dürre. Die

Änderungen der Güterströme waren für die Häfen bisher überwiegend nicht negativ, aber auch nicht unbedingt positiv. Eine Änderung von Güterströmen ist grundsätzlich Teil der Hafenenwicklung, in der Regel bedingt durch eine Änderung wirtschaftlicher oder politischer Bedingungen und Entscheidungen. Zukünftig gilt es, die Folgen des Klimawandels in die strategischen Entscheidungen der Hafenenwicklung mit einzubeziehen und ggf. auch betroffene Mieter von Hafenflächen rechtzeitig auf mögliche Folgen hinzuweisen.

Insgesamt ist die aktuelle Betroffenheit der beteiligten Häfen infolge Extremwetterereignissen im Vergleich zu historischen Bedingungen als nicht außergewöhnlich einzustufen. Erste Änderungen der klimatischen Bedingungen zeichnen sich jedoch ab. Damit zukünftige Entscheidungen auf objektiven Werten basieren können, ist zu empfehlen, in den Häfen Monitoringprogramme der eigenen Betroffenheit aufzubauen.

Im Rahmen des Abschlussworkshops des Projekts PortKLIMA wurden die Teilnehmenden, aus unterschiedlichen Aufgabenbereichen (siehe Abbildung 10), nachdem zukünftig zu erwartende regionale klimatische Änderungen vorgestellt wurden, nach ihrer persönlichen Einschätzung der größten zukünftigen direkten Betroffenheit des jeweiligen Hafens befragt (Abbildung 11). Demnach ist als größte direkte Auswirkung die Höhe der Sturmflutwasserstände zu sehen, gefolgt vom Anstieg des mittleren Meeresspiegels, der Zunahme von Starkregen- und Unwetterereignissen, extremen Hitzeperioden sowie Stürmen.

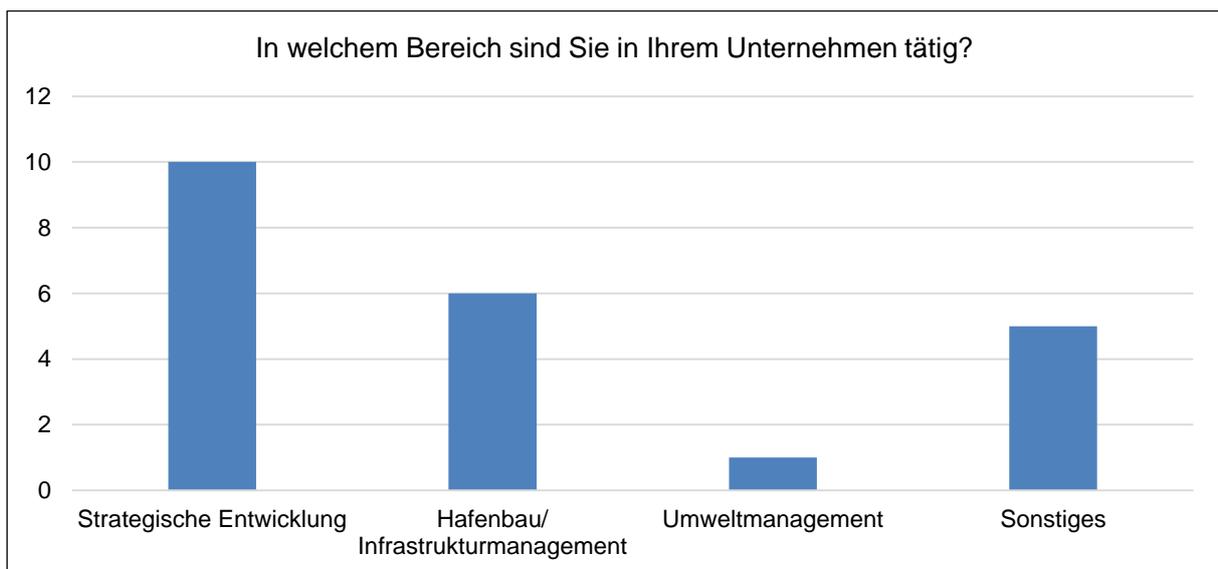


Abbildung 10: Beruflicher Hintergrund der Umfrageteilnehmer des Abschlussworkshops im Projekt PortKLIMA

Auch wenn die negativen Folgen es Klimawandels überwiegen, wird der Klimawandel positive Auswirkungen haben. So ist beispielsweise damit zu rechnen, dass aufgrund der

gestiegenen mittleren Lufttemperaturen im Winter seltener Eis und Schnee auftritt. Mit steigendem Meeresspiegel erhöhen sich zudem die Wassertiefen in den Wasserstraßen und Häfen. Ein möglicher Wettbewerbsvorteil kann sich zudem daraus ergeben, dass ein Hafen besser als andere Standorte auf die Herausforderungen infolge des Klimawandels eingestellt ist. Möglicherweise ergeben sich auch Chancen aus klimawandelbedingten Änderungen der Güterströme.

Anhang A enthält eine Übersicht an potentiellen Klimawandelfolgen für die einzelnen Bereiche eines Seehafens.

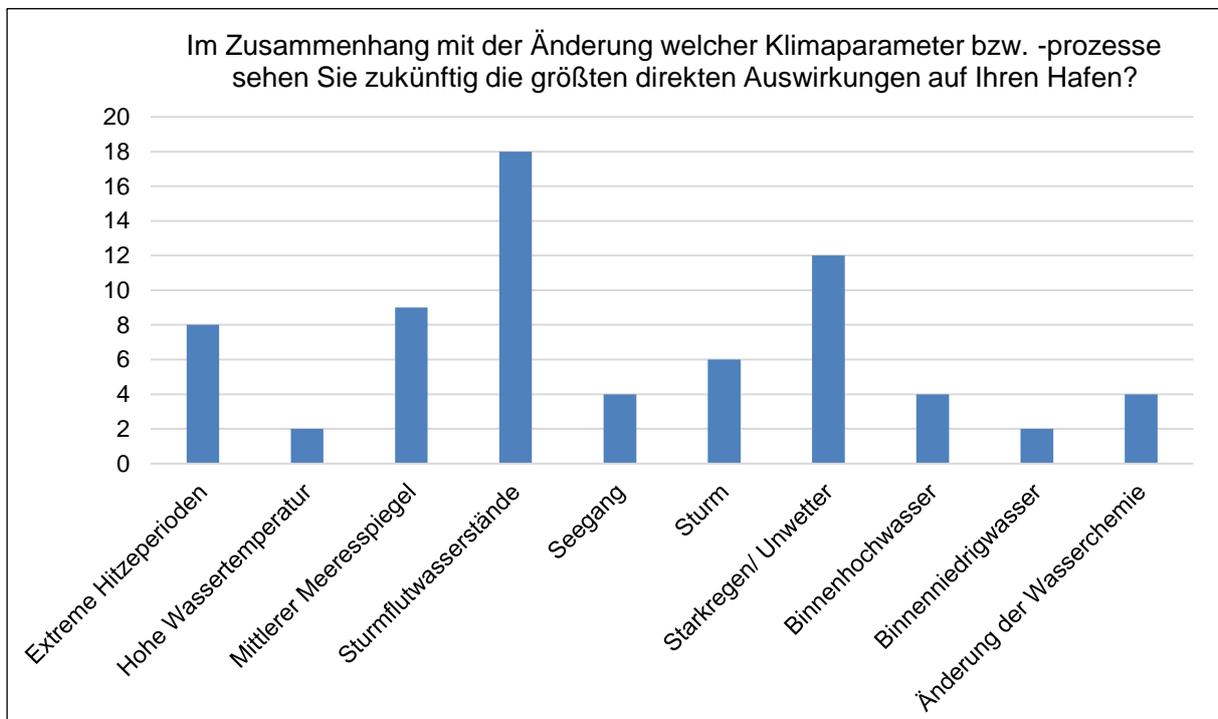


Abbildung 11: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. den größten zukünftig erwarteten größten direkten Auswirkungen für den Hafen (Multiple-Choice Frage, 22 Teilnehmende)

#### 4 Relevante Zeithorizonte und deren Bedeutung für Anpassungsmaßnahmen

Die Anpassung an den Klimawandel erfordert es, langfristige Zeithorizonte in Planungsprozessen zu berücksichtigen. Planungshorizonte in Häfen decken bisher jedoch häufig vergleichsweise kurze Zeithorizonte ab. In einer weltweit durchgeführten Befragung von 84 Häfen gaben 41% der Befragten Planungshorizonte von 5 Jahren, etwa 25% der Befragten von 10 Jahren und knapp 30% der Befragten von 15 Jahren und mehr an (Becker et al. 2012). Bei der Entwicklung eines Maßnahmenplans zur Anpassung an den Klimawandel sind entsprechend des PIANC-Leitfadens (PIANC 2020) bei der Festlegung des Planungshorizonts die Standzeiten von Anlagen zu berücksichtigen und das Ausmaß der Änderung relevanter Klimaparameter und -prozesse in Relation zu den Standzeiten der Anlagen zugrunde zu legen. Als gleichbedeutend zu kurzen bzw. langen Standzeiten ist eine erforderliche Planungs- bzw. Reaktionszeit für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu sehen.

Tabelle 10 zeigt eine Übersicht durchschnittlicher wirtschaftlicher Lebensdauern von Anlagen in Seehäfen. Anlagen wie Kaimauern, Hochwasserschutzanlagen und Wellenbrecher erfordern es, Planungshorizonte von bis zu 100 Jahre zugrunde zu legen. Aufgrund langfristiger natürlicher Klimaänderungen war oder ist es bereits heute üblich bei Hochwasserschutzanlagen Klimazuschläge bzw. Ausbaureserven vorzusehen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich der Meeresspiegelanstieg aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels beschleunigt und auch weitere klimatische Änderungen verstärkt auftreten werden (IPCC 2021). Insofern reichen die zugrunde gelegten Annahmen ggf. nicht mehr aus und es können auch Anlagen mit kürzeren Standzeiten ohne Anpassungsmaßnahmen innerhalb ihrer Lebensdauer von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein.

Tabelle 10: Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer von Anlagen in Seehäfen. Tatsächliche Standzeiten einzelner Anlagen hängen von der individuellen Zustandsbewertung sowie Nutzung ab und können somit auch maßgeblich kürzer oder länger als die durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer sein.

Anlage und Ausrüstung	Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer (Jahre)
Terminal- und Hafensuprastruktur	Containerbrücke: 20 <sup>1</sup> , 15 <sup>2</sup> Mobilkran: 15 <sup>1</sup> Portalhubwagen: 6 <sup>3</sup> , 5-10 <sup>1</sup> RoRo-Rampen: 15 <sup>3</sup> Lager und Hallen: 25 <sup>3</sup> , 40 <sup>1</sup> ; Beton: 25 <sup>2</sup> ; Leichtbauweise: 10 <sup>2</sup>
Beläge	Asphalt: 10-15 <sup>1</sup> ; Beton: 20 <sup>1</sup> ; Straßen/ Flächenbefestigungen: 15 <sup>2</sup>
Gleisanlagen	Nach gesetzlichen Vorschriften: 25 <sup>2</sup> ; sonstige: 12 <sup>2</sup>

Anlage und Ausrüstung	Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer (Jahre)
Entwässerung	Drainagen: 33 <sup>2</sup>
Kaimauern	Beton: 40 <sup>3</sup> ; Stahl: 25 <sup>3</sup> Spundwände: 50 <sup>1</sup> , 20 <sup>2</sup> ; überbaute Böschung: 50-100 <sup>1</sup> , Gummifender: 10 <sup>3</sup> , 10-20 <sup>1</sup>
Hochwasserschutzanlagen	>100 <sup>1</sup>
Wellenbrecher	50 <sup>3</sup> , 100 <sup>1</sup>
Dalben	20 <sup>2</sup>
Pontons	Beton: 30 <sup>2</sup> ; Metall/ Stahl: 30 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> Thoresen (2010) <sup>2</sup> Bundesfinanzministerium (2020) <sup>3</sup> United Nations Conference on Trade and Development (1985)	

Bei Anlagen mit kurzen Standzeiten bzw. Maßnahmen mit kurzen Reaktionszeiten ist es generell einfacher, die Auswirkungen des Klimawandels in der Planung zu berücksichtigen. Maßnahmen können dann umgesetzt werden, wenn sich ein deutlicher Trend abzeichnet und Anlagen bzw. Ausrüstung unabhängig vom Klimawandel zu erneuern sind. Allerdings können bereits heute wetterbedingte Ausfälle und Schäden infolge von extremer Hitze, Unwetter, Starkregen und Sturm auftreten. Daher können bei hohem potentiellen Schaden auch bei Anlagen mit kurzen Standzeiten bzw. Maßnahmen mit kurzer Reaktionszeit bereits heute Anpassungsmaßnahmen an wetterbedingte Extremereignisse sinnvoll sein. Terminals für spezielle Industrien haben darüber hinaus den Vorteil, dass sie oft über kurze Standzeiten von bis zu 30 Jahren verfügen, da die Anlagen häufiger geänderten wirtschaftlich-technischen Anforderungen anzupassen sind. Insbesondere bei Anlagen mit langen Standzeiten oder langen Reaktionszeiten müssen die Auswirkungen des Klimawandels jedoch frühzeitig berücksichtigt werden. Ist der potentielle Schaden gering, können Risiken gegebenenfalls hingenommen werden. Eine mögliche Entscheidungsmatrix zur Bewertung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen ist in Tabelle 11 dargestellt. Zum derzeitigen Zeitpunkt werden umfangreiche Investitionen allein zum Zweck der Anpassung an den Klimawandel aus wirtschaftlichen Gründen jedoch i.d.R. nicht getätigt.

Tabelle 11: Entscheidungsmatrix zur Bewertung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen (Norpoth et al. 2020)

Potentieller Schaden \ Stand-/ Reaktionszeit	Gering	Hoch
Kurz	Ad-hoc-Maßnahmen	Fortlaufend Untersuchen
Lang	Risiken hinnehmen	Frühzeitig präventiv handeln

Als kritische Anlagen sind Anlagen, die über wenig oder keine Pufferkapazität bzw. Redundanz verfügen und deren Ausfall die Störung der Logistikkette zur Folge hätte, zu

nennen. Neben der seeseitigen Zufahrt sowie der Hinterlandanbindung - vor allem wenn keine Ausweichstrecken zur Verfügung stehen - sind dies Schleusen, die Energieversorgung, Umschlaggeräte, RoRo-Rampen und spezielle Lagerkapazitäten. Zudem zählen hierzu auch Hochwasserschutzsysteme, deren Versagen großflächige Beeinträchtigungen zur Folge hätte.

Die Teilnehmenden des Abschlussworkshops des Projekts PortKLIMA wurden nach ihrer persönlichen Einschätzung zu einem außerordentlichen Anpassungsbedarfs ihres Unternehmens/ Aufgabenbereichs befragt (Abbildung 12). Dabei sieht in etwa jeweils die Hälfte der Teilnehmenden einen bzw. keinen außerordentlichen Bedarf zur Anpassung.

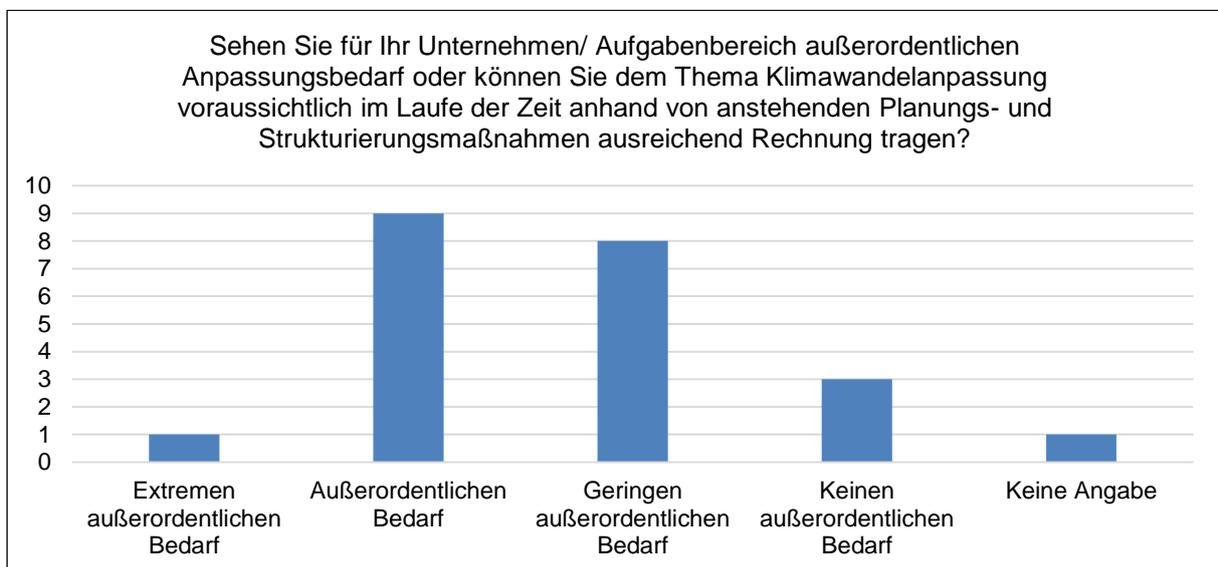


Abbildung 12: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des außerordentlichen Anpassungsbedarfs

## 5 Regionale Auswirkungen des Klimawandels

Nach Identifizierung relevanter Anlagen, hafenbezogener Tätigkeiten oder Systeme und damit in Zusammenhang stehender Zeithorizonte sowie relevanter Klimaparameter und Klimaprozesse erfolgt die Identifizierung von klimatischen Änderungen sowohl für die jüngere Vergangenheit als auch für die Zukunft. Eine solche Übersicht an klimatischen Änderungen ist untenstehend für die norddeutsche Küste, getrennt in meteorologische Parameter (Tabelle 12) sowie ozeanographische Parameter (Tabelle 13), dargestellt. In Anhang B sind zudem Übersichten zu weiterführenden Informationen zum Thema Klimawandel sowie Daten- und Informationsquellen genannt.

Basierend auf den Änderungen relevanter Klimaparameter und Klimaprozesse kann die Beurteilung der Gefährdung bzw. Verwundbarkeit von Anlagen etc. entsprechend der Stufe 3 des PIANC-Leitfadens im Rahmen des Klimawandels erfolgen. In Anbetracht von relevanten Lebensdauern von Anlagen und bestehenden Unsicherheiten in den Klimaprojektionen ist eine Betrachtung maximal bis zum Ende dieses Jahrhunderts aus derzeitiger Sicht angemessen. Es ist allerdings bekannt, dass der Meeresspiegelanstieg auch über das Jahr 2100 hinaus andauern wird (IPCC 2019).

Tabelle 12: Beobachtete und mögliche zukünftige Änderung von meteorologischen Klimaparametern in Norddeutschland

Klimaparameter	Historische Änderung	Zukünftige Änderung
Mittlere Lufttemperatur	+0,8°C (Jahr), signifikante Änderung <sup>1</sup>	+1,0 bis +5,1°C (Jahr) <sup>2</sup>
Heiße Tage ( $T_{\max} \geq 30$ °C)	+2 Tage (Jahr), keine signifikante Änderung <sup>1</sup>	+0 bis +30 Tage (Jahr) <sup>2</sup>
Eistage ( $T_{\max} < 0$ °C)	-7 bis -5 Tage (Jahr), keine signifikante Änderung <sup>1</sup>	-37 bis -3 Tage (Jahr) <sup>2</sup> Trotz Abnahme steigt Potential für kalte Winter <sup>3</sup>
Mittlerer Niederschlag	+8% (Winter/ Sommer), keine signifikante Änderung <sup>1</sup>	-46 bis +56% (Sommer), +3 bis +42% (Winter) <sup>2</sup>
Starkregentage ( $P \geq 20$ mm)	Keine Änderung <sup>1</sup>	0 bis +5 Tage (Jahr) <sup>2</sup>
Starkregenintensität	Aufgrund vorhandener Datenlage keine Aussage möglich <sup>4</sup>	+7% pro °C als grobe Näherung <sup>5</sup>
Mittlere Windgeschwindigkeit	+2% (Jahr), +6% (Winter), signifikante Änderung <sup>1</sup> zeigt dekadische Variabilität	Mitte d. Jh.: -3 bis +4% (Jahr), -5 bis +7% (Winter) <sup>6</sup> Ende d. Jh.: -4 bis +7% (Jahr), -8 bis +14% (Winter) <sup>2</sup>
Sturmintensität $v_{\max}$ in 10 m Höhe über Gelände	+1% (Jahr), +5% (Winter), keine signifikante Änderung <sup>1</sup> zeigt dekadische Variabilität	Mitte d. Jahrhunderts: -2 bis +5% (Jahr), -4 bis +11% (Winter) <sup>6</sup> Ende d. Jahrhunderts: -4 bis +4% (Jahr), -8 bis +10% (Winter) <sup>2</sup>
Sturmtage ( $v_{\max} > 62$ km/h)	+3 Tage (Jahr), +3 Tage (Winter), keine signifikante Änderung <sup>1</sup> zeigt dekadische Variabilität	Mitte d. Jh.: -7 bis +13 Tage (Jahr), -4 bis +7 Tage (Winter) <sup>6</sup> Ende d. Jh.: -8 bis +14 Tage (Jahr), -8 bis +10 Tage (Winter) <sup>2</sup>
Windrichtung	k. A.	Häufigere Winde aus westlichen Richtungen möglich <sup>7</sup>
Unwettergefahr	Aufgrund vorhandener Datenlage keine Aussage möglich <sup>8</sup>	Keine signifikante Änderung für die norddeutsche Küste <sup>9</sup>

<sup>1</sup> 1986-2015 relativ zu 1961-1990 für die Region Norddeutschland Helmholtz-Zentrum Hereon (2021b)  
<sup>2</sup> 2071-2100 relativ zu 1961-1990 für die Region Norddeutschland Helmholtz-Zentrum Hereon (2021a)  
<sup>3</sup> Dethloff et al. (2018)  
<sup>4</sup> Becker et al. (2016); <sup>5</sup> Lehmann et al. (2015)  
<sup>6</sup> 2036-2065 relativ zu 1961-1990 für die Region Norddeutschland Helmholtz-Zentrum Hereon (2021a)  
<sup>7</sup> de Winter et al. (2013), Gaslikova et al. (2013), Dreier et al. (2015), Ganske (2019)  
<sup>8</sup> Kunz et al. (2017); <sup>9</sup> Púčik et al. (2017)

Tabelle 13: Beobachtete und vor. zukünftige Änderung von hydrologischen und ozeanographischen Klimaparametern in Norddeutschland. MSA: Meeresspiegelanstieg

Klimaparameter	Historische Änderung	Zukünftige Änderung
Mittlerer Meeresspiegel	Entspricht in etwa globalem MSA (1900-2015): <sup>1</sup> 1,7 mm/a Deutsche Nordsee 1 bis 1,7 mm/a Deutsche Ostsee	Entspricht in etwa globalem MSA <sup>1</sup> Mitte d. Jh. (2046-2065): Ca. 0,25 bis 0,30 m <sup>2</sup> Ende d. Jh. (2100): Ca. 0,40 bis 0,85 m <sup>2</sup> / 1,1 m <sup>3</sup> Extrem-Szenario: 1,74 m <sup>4</sup>
Tidekennwerte	Tidehochwasser ist in den letzten 100 Jahren stärker gestiegen als Tideniedrigwasser - Tidehub hat sich erhöht <sup>5</sup> In Ästuaren stärkste Änderungen (menschlicher Eingriff) <sup>6</sup> Dennoch zeichnet sich ein globaler Einfluss ab <sup>7</sup> Ursachen des Anstiegs sind nicht abschließend geklärt <sup>8</sup>	Lokal unterschiedlich; In der Regel ist der Einfluss des MSA voraussichtlich vernachlässigbar <sup>9</sup>
Sturmfluten	Je nach Pegel: Zunahme der Häufigkeit leichter Sturmfluten aufgrund des MSA oder keine Änderung <sup>10</sup>	Der MSA wird die größten Auswirkungen auf die Sturmflutwasserstände haben; Ein zusätzlicher Anstieg des Windstaus infolge des MSA wirkt sich vor allem in mittleren/ oberen Bereichen der Ästuar sowie Binnenrevieren d. Ostsee aus <sup>11,12</sup> Steigende Sturmintensitäten haben einen Anstieg d. Windstaus voraussichtlich im Bereich von wenigen Dezimetern zur Folge (bis zu 0,1 bis 0,2 m entlang der Küste und 0,3 m im mittleren/ oberen Bereich der Ästuar) <sup>11,12</sup>
Jährlichkeit	k. A.	100-jährl. Ereignis wird am Ende des 21. Jh. etwa alle 10-20 Jahre auftreten <sup>13</sup>
Seegang	Korreliert mit der Entwicklung des Windes <sup>14</sup>	Bei großen Wassertiefen, wie sie in Seehäfen vorzufinden sind, spielt vor allem die Änderung der Windgeschwindigkeit eine Rolle <sup>15</sup> Korreliert mit der Entwicklung des Windes <sup>14</sup> Als grobe Näherung für die Wellenhöhe: Änderung in etwa in der gleichen proz. Größenordnung (unausgereifter Seegang) bzw. in der doppelten proz. Größenordnung (voll ausgereifter Seegang) wie Änderung d. Sturmintensität
Binnenniedrigwasser	k. A.	Für Seeschiffahrtsstraßen bzw. das untere Ästuar wenig relevant Deutliche Zunahme der Betroffenheit der Schifffahrt am Ende des 21. Jh. für das RCP8.5 Szenario (Rhein, Elbe, Ems und Donau) <sup>16</sup>
Binnenhochwasser	k. A.	Für Seeschiffahrtsstraßen bzw. das untere Ästuar wenig relevant Zunahme ab Mitte des 20. Jh. v.a. für das RCP8.5 Szenario (Winter) zu erwarten, allerdings mit nur wenigen Tagen an denen die Schifffahrt eingeschränkt wird <sup>16</sup>
Wassertemperatur	k. A.	+1-3°C (deutsche Nordsee), +3-4°C (deutsche Ostsee) <sup>17</sup> Zunahme der Häufigkeit von für Gewässergüte kritische Schwellenwerte (T >25°) <sup>18</sup>
Salzgehalt	k. A.	Bis zu -1‰ deutsche Nordseeküste <sup>19</sup> , bis zu -2‰ deutsche Ostseeküste <sup>20</sup> Verschiebung der Brackwasserzone Flussaufwärts <sup>11</sup>
pH-Wert (global)	-0,1 <sup>21</sup>	Bis zu -0,3 (RCP8.5) <sup>13</sup>

- 
- <sup>1</sup> Deutsches Klima Konsortium und Konsortium Deutsche Meeresforschung e.V. (2019); <sup>2</sup> 50. Perzentil des RCP2.6 bis RCP8.5 Szenarios relativ zu 1986-2005; <sup>3</sup> 83. Perzentil des RCP8.5 Szenarios relativ zu 1986-2005; <sup>4</sup> Schade et al. (2020), berücksichtigt Unsicherheit der arktischen/ antarktischen Eisschilde
- <sup>5</sup> BMVI (2015); <sup>6</sup> Winterwerp und Wang (2013); <sup>7</sup> Jensen und Mudersbach (2004); <sup>8</sup> Mawdsley et al. (2015); <sup>9</sup> Rasquin et al. (2020)
- <sup>10</sup> Helmholtz-Zentrum Hereon (2021c); <sup>11</sup> Seiffert et al. (2014); <sup>12</sup> Gräwe und Burchard (2012)
- <sup>13</sup> IPCC (2019)
- <sup>14</sup> Weiße und Meinke (2017); <sup>15</sup> vgl. z.B. Mai und Zimmermann (2004)
- <sup>16</sup> Nilson et al. (2020)
- <sup>17</sup> Klein et al. (2018); <sup>18</sup> beispielsweise bis zu 35 Tage für das RCP8.5 Szenario in Elbe und Rhein (Nilson et al. 2020); Es ist mit einer Zunahme von Keimzahlen bzw. humanpathogenen Keimen zu rechnen (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2010)
- <sup>19</sup> Schrum et al. (2016); <sup>20</sup> Meier (2015)
- <sup>21</sup> European Environment Agency (2017)

---

Für die Bemessung von Anlagen und Einschränkungen im Betrieb sind besonders extreme Zustände von Interesse. Dabei werden in der Planung häufig Jährlichkeiten bzw. Wiederkehrintervalle angewendet, welche anhand von Wahrscheinlichkeits- bzw. Verteilungsfunktionen und aus Ganglinien ermittelter Extremwerte, i.d.R. Jahresmaxima, bestimmt werden. Im Gegensatz dazu werden mittels Klimamodellen häufig die Änderung bestimmter Schwellenwerte, z.B. jährliches 98. Perzentil, für klimatisch relevante Zeithorizonte untersucht, ohne dabei die Auswirkungen auf die Jährlichkeit zu berücksichtigen. Hierbei ist zu beachten, dass verlässliche Aussagen über die Änderung von Jährlichkeiten besonders seltener Extremereignisse umfangreiche Ensembles benötigen und deren Änderungen auch im Rahmen des Klimawandels nicht pauschal aus Änderungssignalen weniger seltener Extremereignisse abgeleitet werden können (Lang und Mikolajewicz 2020). Neben den Unsicherheiten in den Klimaprojektionen besteht also noch eine weitere Unsicherheitsquelle infolge der erforderlichen Übertragung der Ergebnisse von Klimaprojektionen auf relevante Bemessungsparameter und betriebliche Schwellenwerte.

Langfristig werden Seehäfen vor allem durch den Einfluss des Meeresspiegelanstiegs auf die Häufigkeit extremer Wasserstandsereignisse beeinträchtigt werden. Das Ausmaß der Beeinträchtigung hängt neben den zukünftigen Treibhausgas-Emissionen, d.h. dem relevanten Klimaszenario, auch von der Höhenlage der Hafенflächen ab. Je nach Szenario ist mit einem mittleren Meeresspiegelanstieg von mindestens 0,4 m zu rechnen, welche bei extremen Änderungen jedoch auch rund 1,0 m und mehr bis zum Ende des Jahrhunderts betragen kann (siehe Tabelle 13). Über das Jahr 2100 hinaus ist selbst bei starkem Klimaschutz ein Meeresspiegelanstieg von etwa 1,0 m zu erwarten (IPCC 2019). Den Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Tidedynamik unterliegen Unsicherheiten aufgrund der im Zusammenhang mit dem Meeresspiegelanstieg stehenden zukünftigen Entwicklung der Bathymetrie (Winkel et al. 2020). Insgesamt wird der Einfluss auf die Charakteristik von Tidehoch- und Niedrigwasserständen, basierend auf einer aktuellen Studie der Bundesanstalt für Wasserbau, in den beteiligten Seehäfen als gering eingeschätzt (vgl. Rasquin et al. 2020). Gleiches gilt für den Einfluss des mittleren Meeresspiegelanstiegs auf den Windstau (vgl. Seiffert et al. 2014, Arns et al. 2017, Gräwe und Burchard 2012) und Wellenparameter (vgl. Groll et al. 2014, Mai und Zimmermann 2004). Dennoch kann eine bezüglich der absoluten Höhe, auch aufgrund der bestehenden Unsicherheiten, eher geringe und vernachlässigbare Zunahme einen durchaus starken Einfluss auf das Wiederkehrintervall eines extremen Wasserstandsereignisses haben, so dass

---

gegebenenfalls der Einfluss der Tide und des Windstaus im Zusammenhang mit der Änderung der Jährlichkeit berücksichtigt werden sollte.

Darüber hinaus ist mit zunehmenden mittleren und extremen Lufttemperaturen und damit in Zusammenhang stehenden Ereignissen wie langanhaltenden Hitze- und Dürreperioden, extremen Niederschlagsereignissen und steigenden Wassertemperaturen zu rechnen (IPCC 2021). Es ist davon auszugehen, dass die jährliche maximale Lufttemperatur stärker ansteigt als die mittlere Lufttemperatur (IPCC 2021). Belastbare Aussagen für die Änderung von Niederschlagswerten des Bemessungsniederschlags auf Basis der koordinierten Starkniederschlags-Regionalisierungsauswertung (KOSTRA) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sind aufgrund der großen erforderlichen Modellauflösung schwierig (Rauthe et al. 2020). Die Clausius-Clapeyron-Beziehung kann ein guter Maßstab sein, um die Änderung zukünftiger extremer Niederschläge abzuschätzen, allerdings spielen auch weitere dynamische Faktoren, wie beispielsweise Zugbahnen von extratropischen Stürmen eine Rolle (Lehmann et al. 2015). Anhand der Clausius-Clapeyron-Beziehung lässt sich die Zunahme des maximalen Wasserdampfgehalts der Luft bei einer Erhöhung der Lufttemperatur ableiten. Außerdem gibt es Hinweise auf eine im Vergleich zur Clausius-Clapeyron-Beziehung überproportionale Zunahme konvektiver Starkniederschläge, welche sich allerdings mit zunehmender Lufttemperatur (ab etwa 20° C) abschwächt (Berg et al. 2013) und daher für die sommerlichen Starkniederschläge mit dem Potential zu besonders hohen Niederschlagsintensitäten weniger relevant ist. Alternativ zur Clausius-Clapeyron-Beziehung kann eine Orientierung an den Toleranzbereichen nach KOSTRA (Junghänel et al. 2017), d.h. in Abhängigkeit der Jährlichkeit +10% ( $T \leq 5a$ ), +15% ( $T \leq 50a$ ) bzw. +20% ( $T \leq 100a$ ), zur Berücksichtigung von mit dem Klimawandel eventuell sich erhöhenden Starkniederschlagsintensitäten empfohlen werden.

Die zukünftigen Änderungen des mittleren Meeresspiegels und der Lufttemperatur zeigen robuste Änderungssignale mit einer mehr oder weniger starken Zunahme je nach Klimaszenario, unterliegen also vor allem einer Szenariounsicherheit. Zukünftige Änderungen des Sturmklimas und der mittleren Niederschlagscharakteristik zeigen weniger robuste Änderungssignale. Sie sind durch eine Modellunsicherheit, d.h. einen Einfluss des antreibenden Klimamodells, geprägt und unterliegen einer stärkeren natürlichen Variabilität, d.h. deren Klimaänderungssignale zeichnen sich häufig nicht so deutlich von der natürlichen Hintergrundvariabilität ab (DWD 2020b, Helmholtz-Zentrum Hereon 2021a, de Winter et al. 2013, Ganske 2019). Die Unsicherheiten im zukünftigen Windklima wirken sich zwangsläufig auf Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Windstau und Seegang aus. Bei

möglicherweise zukünftig häufigeren Westwindlagen sind die östlich gelegenen Bereiche der Deutschen Bucht potentiell stärker von einer Zunahme des Windstaus (Lang und Mikolajewicz 2020) sowie der Wellenhöhe (Grabemann et al. 2015) betroffen und Westwind exponierte Küstenabschnitte der Ostsee stärker von einer Zunahme der Wellenhöhe (Groll et al. 2017).

## **6 Vulnerabilität und Risiko für Seehäfen in Deutschland infolge des Klimawandels**

Basierend auf den an der deutschen Küste zu erwartenden Änderungen relevanter Klimaparameter und Klimaprozesse wurde eine allgemeine Bewertung der Gefährdung bzw. Verwundbarkeit für unterschiedliche Anlagen und Tätigkeiten in deutschen Seehäfen für ein Szenario mit starkem Klimaschutz (etwa RCP2.6), ein moderates Treibhausgas-Szenario (etwa RCP4.5) sowie ein 'Weiter-wie-bisher'-Szenario (etwa RCP8.5) durchgeführt. Dabei muss das RCP4.5-Szenario derzeit als realistisches Szenario angesehen werden (Hausfather und Peters 2020). Die Bewertung der Gefährdung bzw. Verwundbarkeit erfolgt in Anlehnung an den PIANC-Leitfaden (PIANC 2020) qualitativ anhand der Kategorien signifikante Abnahme, Abnahme, keine Änderung, Zunahme, signifikante Zunahme. Die Einordnung in die qualitativen Kategorien erlaubt allerdings teilweise keine differenzierte Unterscheidung zwischen den einzelnen Klimaszenarien, da die zu erwartenden Änderungen zu nah beieinander liegen. Tabelle 14 zeigt exemplarisch das Ergebnis der übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an Stufe 3 des PIANC-Leitfadens.

Das Ergebnis der Analyse ähnelt sich für die Szenarien 'Klimaschutz' und 'Moderat' in der nahen und fernen Zukunft sowie das Szenario 'Weiter-wie-bisher' in der nahen Zukunft, aufgrund der zuvor erwähnten geringen Differenzierung der qualitativen Kategorien. Die Aussagen sind in Teilen von den individuellen Gegebenheiten vor Ort abhängig (Freibord, signifikante Wellenhöhe, geographische Ausrichtung der Landeanlagen). Die Verwundbarkeitsanalysen für weitere Klimaszenarien sind in Anhang C dargestellt. Aus der Analyse geht hervor, dass für die entsprechenden Szenarien vor allem der Anstieg von Lufttemperatur und mittlerem Meeresspiegel sowie Starkregen eine Zunahme der Verwundbarkeit von Seehäfen in Deutschland zur Folge haben wird. Der wesentliche Unterschied zu der fernen Zukunft des Weiter-wie bisher-Szenarios bzw. dem Extrem-Szenario ist neben der Stärke der Zunahme von Lufttemperatur, Meeresspiegelanstieg und Starkregenintensität, dass zusätzlich die Gefährdung durch die Sturmintensität zunimmt, wobei diese Aussage jedoch als unsicher zu bewerten ist. Grundsätzlich kann empfohlen werden, die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse für eine visuelle Übersicht in einer kartographischen Darstellung zusammenzufassen (siehe Chhetri 2013).

Tabelle 14: Exemplarisches Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die nahe und ferne Zukunft des Klimaschutz- und Moderaten-Szenarios sowie die nahe Zukunft des Weiter-wie-bisher-Szenarios

Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse → Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓	Im Vergleich zu historischen Daten, wie verändert sich die Gefährdung aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts					Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?				
	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen
Zufahrt zum Liegeplatz - Fahrrinne	↑	↑	→	→	↑	→	→/↓ <sup>1</sup>	→	→	→
Schleusen	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→
Kaianlagen	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→
Sonstige Landeanlagen	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>3</sup>	→	→	→
Vertäu- und Festmacheinrichtungen	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→
Anlegen, Be- und Entladen	↑	↑	→	→	↑	↑	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	↑
Umschlaggeräte	↑	↑	→	→	↑	↑	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→
Hochwasserschutzanlagen	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→
Lagerflächen	↑	↑	→	→	↑	→/↑ <sup>4</sup>	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→/↑ <sup>2</sup>
Lagerhallen	↑	↑	→	→	↑	↑	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→/↑ <sup>2</sup>
Straßen	↑	↑	→	→	↑	→/↑ <sup>4</sup>	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→/↑ <sup>2</sup>
Gleisanlagen	↑	↑	→	→	↑	↑	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→/↑ <sup>2</sup>
Entwässerungssysteme	↑	↑	→	→	↑	→	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	↑
Gebäude	↑	↑	→	→	↑	↑	→/↑ <sup>2</sup>	→	→	→/↑ <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Je nach Entwicklung des Sedimenttransports  
<sup>2</sup> In Abhängigkeit des vorhandenen Freibords/ der Höhenlage/ der Topographie  
<sup>3</sup> Je nach Anlage und Lebensdauer  
<sup>4</sup> Je nach Belag (Asphalt, Beton, Pflaster) und Lebensdauer

Schröder et al. (2013) haben zehn Häfen an der Ostseeküste dazu befragt, wann ein Meeresspiegelanstieg für den jeweiligen Hafen problematische Auswirkungen haben würde. 20% der Befragten gaben einen Meeresspiegelanstieg von 40-59 cm und 90% einen Anstieg von 80-99 cm als problematisch an. In einer von Becker et al. (2012) weltweit durchgeführten Umfrage mit 89 teilnehmenden Häfen, wobei allerdings etwa die Hälfte der Teilnehmenden aus Nordamerika stammte, gaben 12% der Befragten einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 0,5 m und 39% einen Anstieg von 0,5-1,0 m als problematisch an. Überträgt man die

Ergebnisse der beiden Studien auf die gesamte deutsche Küste, wäre ein Großteil der Häfen erst von einem Meeresspiegelanstieg, wie er im Rahmen des 'Weiter-wie-bisher' Szenarios am Ende dieses Jahrhunderts zu erwarten ist, maßgeblich betroffen. Zur Einschätzung der tatsächlichen Beurteilung der Betroffenheit der deutschen Häfen durch den Meeresspiegel sind jedoch die Höhenlagen der Kai- und Hochwasserschutzanlagen im Detail zu betrachten.

Beim Einfluss extrem hoher Temperaturen ist neben der Belastung der Mitarbeitenden in nicht-klimatisierten Räumen eine erhöhte Verwundbarkeit der bzw. ein erhöhter Bedarf an Klimatisierung zu nennen. Darüber hinaus können auch Materialien von den extremen Temperaturen betroffen sein. Hier sind neben Asphaltbelägen, welche jedoch je nach Lebensdauer ggf. bei Neubau angepasst werden können, vor allem sonnenexponierte Bauteile aus Stahl und elektronische Schaltelemente zu nennen. Starkregen belastet vor allem Entwässerungssysteme bzw. bei deren Überlastung von Überflutung betroffene Flächen sowie Gebäude und führt bei Umschlagstätigkeiten zu Beeinträchtigungen.

Es bietet sich an, Hochwasser- und Starkregengefahrenkarten zu erstellen, um durch Überflutung bedrohte Gebiete zu identifizieren und so vulnerable Bereiche zu erkennen (Abbildung 13, Abbildung 14). In einfachster Form, jedoch in grober Abschätzung, können diese Informationen auch aus topographischen Karten abgeleitet werden. Insbesondere für Starkregenanalysen gibt es unterschiedliche Methoden, welche unterschiedliche Anforderungen an Aufwand und Datenbedarf stellen und entsprechend differenziertere Aussagen bezüglich der Ergebnisse erlauben (siehe LAWA (2018), DWA (2013)) Abbildung 14 zeigt das Ergebnis einer mit einem Geoinformationssystem (GIS) durchgeführten topographischen Starkregenanalyse. Anhand einer solchen Analyse können beispielsweise Fließwege und Senken identifiziert werden. Für spezifische Aussagen über Fließtiefen ist eine hydraulische Analyse erforderlich.

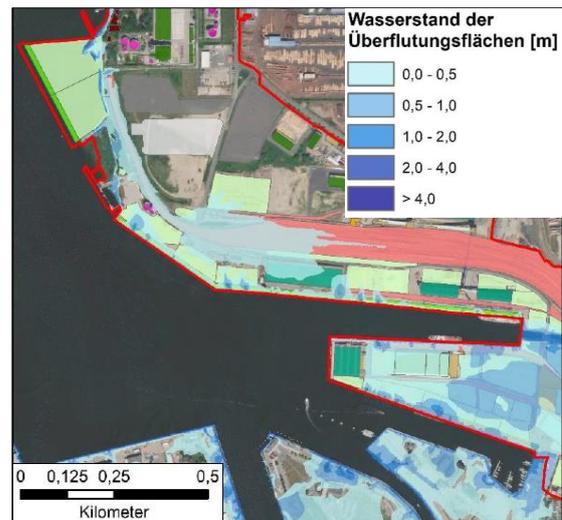


Abbildung 13: Hochwassergefahrenkarte einer Hafenfläche inklusive eines Anstiegs des Meeresspiegels (Baumgärtner 2020)

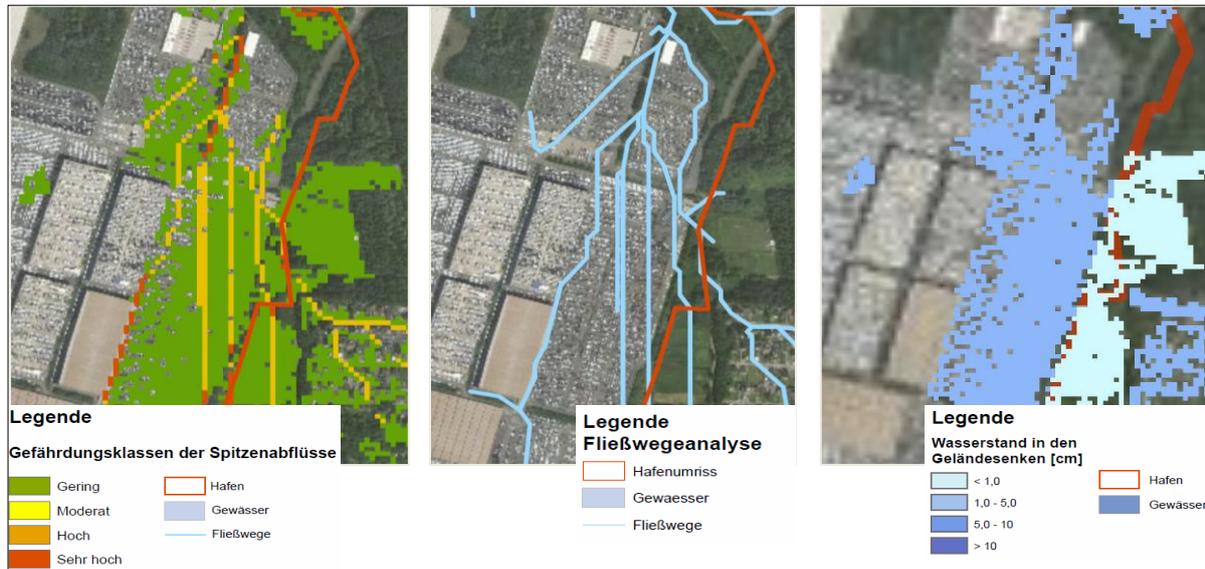


Abbildung 14: GIS-gestützte topographische Starkregenanalyse einer Terminalfläche (Baumgärtner 2020)

Im Rahmen der Entwicklung einer Anpassungsstrategie ist die Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit und der Grad des Risikos für den Hafen abzuschätzen. Hier liegt im Vergleich zur Identifizierung relevanter Klimaparameter und Klimaprozesse nach Storch et al. (2018) das größere Unsicherheitspotential bzgl. der Auswirkungen des Klimawandels auf Seehäfen. Dieses Unsicherheitspotential ist jedoch aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf die zukünftigen Treibhausgas-Emissionen aus derzeitiger Sicht nicht wesentlich reduzierbar.

Die im Zusammenhang mit dem Klimaschutz-Szenario (RCP2.6) stehenden Änderungen relevanter Klimaparameter und Klimaprozesse, d.h. potentielle Klimagefahren, werden als sehr wahrscheinlich bewertet. Sehr wahrscheinlich bedeutet in diesem Fall, dass die ermittelten Änderungen unter dem Ansatz des Klimaszenarios sehr wahrscheinlich eintreffen werden, bewertet aber nicht die Eintrittswahrscheinlichkeit des Klimaszenarios selbst. Die Klimagefahren des Moderaten-Szenarios (RCP4.5) werden als wahrscheinlich bewertet, wobei das Szenario nach heutigem Kenntnisstand als das am wahrscheinlichsten eintreffende gewertet wird. Da aktuell davon ausgegangen wird, dass das Weiter-wie-bisher-Szenario und das Extrem-Szenario wahrscheinlich nicht eintreten werden, werden auch die diesbezüglichen Klimagefahren als unwahrscheinlich bzw. sehr unwahrscheinlich kategorisiert. Die Bewertung der Wahrscheinlichkeit der im Zusammenhang mit den verschiedenen Klimaszenarien stehenden Klimagefahren ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Bewertung der Wahrscheinlichkeit von Klimagefahren für unterschiedliche Klimaszenarien

Klimaszenario	Wahrscheinlichkeit	Klassifizierung
'Klimaschutz'	Sehr wahrscheinlich	4
'Moderat'	Wahrscheinlich	3
'Weiter wie bisher'	Unwahrscheinlich	2
'Extrem'	Sehr unwahrscheinlich	1

Im nächsten Schritt lassen sich Anpassungsmaßnahmen möglicherweise bereits direkt aus der Vulnerabilitätsanalyse ableiten. Detailliertere Risikobetrachtungen sind jedoch ebenfalls möglich. Bei der Risikoanalyse werden die Auswirkungen einer potentiellen Klimagefahr und die Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens bzw. ihrer Klassifizierung berücksichtigt. Abbildung 15 zeigt das Ergebnis einer solch exemplarischen Bewertung für die Folgen des Meeresspiegelanstiegs. Letztlich unterliegen nur von der Überflutung betroffene Flächen, deren Überflutung eine mindestens moderate Bedeutung für die Funktionalität des Hafens hat, einem hohen Risiko für die entsprechende Klimagefahr bzw. das entsprechende Klimaszenario.

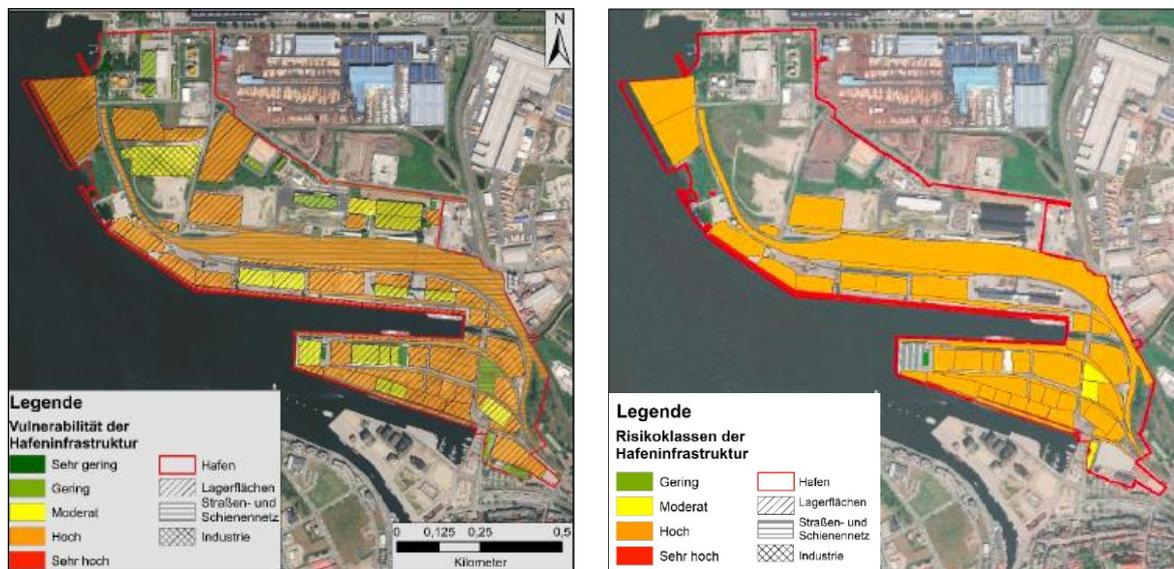


Abbildung 15: Links: Exemplarische Bewertung der Auswirkungen einer Klimagefahr (in der Abbildung als Verwundbarkeit bezeichnet) für ein Hafengelände. Bei der Klimagefahr handelt es sich um den Meeresspiegelanstieg. Rechts: Sich aus der Überlagerung von Wahrscheinlichkeit der Gefährdung -abgeleitet aus der Hochwassergefahrenkarte (Abbildung 13) - und der Auswirkung der Klimagefahr ergebendes Risiko. (Baumgärtner 2020).

## 7 Exkurs: Anlagen, Bemessungsansätze und Schwellenwerte

In der Vergangenheit können sich Bemessungsansätze bzw. in die Bemessung einfließende anzusetzende Belastungsgrößen geändert haben, so dass Anlagen älteren Datums gegenüber Anlagen jüngerer Datums andere kritische Schwellenwerte aufweisen können. Zudem kann die Änderung eines Klimaparameters bzw. Klimaprozesses je nach physikalischem Zusammenhang unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Änderung der Einwirkungen haben. Diskussionswürdig ist in diesem Zusammenhang, bis zu welchem Maß geringfügige Änderungen der Einwirkungen unter Berücksichtigung der in der Ingenieurspraxis verwendeten Sicherheiten zugelassen werden können.

### 7.1 Entwässerungssysteme

Für die Bemessung von Entwässerungssystemen wird häufig das Zeitbeiwertverfahren verwendet, in dem eine Bemessungsregenspende der Dauerstufe  $D$  und der Jährlichkeit  $n$  berücksichtigt wird (DWA-Arbeitsblatt 118). Früher wurde die Regenspende nach Reinhold angesetzt (Reinhold 1940); seit 1987 wird diese durch die koordinierten Starkniederschlags-Regionalisierungsauswertung (KOSTRA) des DWD ersetzt (Malitz 2005). Die KOSTRA-Daten wurden in den Jahren 1990, 2000 sowie 2010 aktualisiert (Malitz und Ertel 2015) und liegen aktuell in der revidierten Version aus dem Jahr 2010 vor (Junghänel et al. 2017). Je nach Geländeneigung, Befestigungsgrad und Überflutungsprüfung (Prüfung, ob das betroffene Grundstück eine Überflutung schadlos überstehen würde) des Systems kommen bei der Bemessung von Entwässerungssystemen Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Jährlichkeit und Dauer in Betracht. Ohne Überflutungsprüfung kann für Industriegebiete beispielsweise eine Jährlichkeit von 1 mal in 5 Jahren (DIN EN 752) und eine Dauerstufe von 10 Minuten (Befestigungsgrad  $>50\%$ , mittlere Geländeneigung  $1\%$ ) für die Bemessung von Entwässerungssystemen angesetzt werden (DWA-Arbeitsblatt 118). Der Ansatz nach DWA-A118 ist laut DIN EN 1986-100 – Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – auch für Grundleitungen außerhalb von Gebäuden anzusetzen.

Der Vergleich zweier KOSTRA Bezugszeiträume mit der Regenspende nach Reinhold für ausgewählte Standorte zeigt zumindest für geringere Jährlichkeiten, wie sie bei der Bemessung von Entwässerungssystemen verwendet werden, keine wesentlichen Änderungen (siehe Tabelle 16 und Tabelle 17). Für seltenere Ereignisse sind die Abweichungen zwischen den KOSTRA-Daten und der Regenspende nach Reinhold allerdings erheblich. Für diese seltenen Niederschlagsereignisse werden

Entwässerungssysteme aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel jedoch ohnehin nicht ausgelegt.

Tabelle 16: Starkniederschlagshöhen aus KOSTRA 2010R (DWD 2020a) und KOSTRA 1997 (Bartels 1997) für die Dauerstufe 15 Minuten und die Jährlichkeit 5 bzw. 100 Jahre für unterschiedliche Küstenstandorte

Ort	KOSTRA 2010R (Basiszeitraum 1951-2010)		KOSTRA 1997 (Basiszeitraum 1951-1981)	
	D = 15 min n = 5 a	D = 15 min n = 100 a	D = 15 min n = 5 a	D = 15 min n = 100 a
Bremerhaven	14,3 mm	24,1 mm	13-14 mm	22-24 mm
Hamburg	15,2 mm	26,1 mm	14-16 mm	24-26 mm 26-28 mm*
Brake	14,0 mm	23,3 mm	13-14 mm	21-22 mm
Lübeck	15,0 mm	25,8 mm	13-14 mm	21-22 mm 22-24 mm*
Wismar	13,7 mm	22,4 mm	13-14 mm	21-22 mm
Rostock	13,6 mm	22,3 mm	12-13 mm	21-22 mm
* Je nach Standort				

Tabelle 17: Starkniederschlagshöhen nach Reinhold (1940) für die Dauerstufe 15 Minuten und die Jährlichkeit 1, 5 bzw. 100 Jahre sowie unterschiedliche Küstenstandorte bzw. -regionen

Ort	Reinhold		
	D = 15 min, n = 1 a	D = 15 min, n = 5 a	D = 15 min, n = 100 a
Bremen	7,0 mm	12,5 mm	34,6 mm
Hamburg	8,7 mm	14,0 mm	31,0 mm
Lübeck	8,1 mm	14,4 mm	35,8 mm
Nordwestdeutschland	7,7 mm	13,6 mm	33,8 mm
Nordostdeutschland	8,5 mm	15,2 mm	37,6 mm

Bei der Dimensionierung werden Entwässerungssysteme nicht auf Vollfüllung ausgelegt. Nach DWA-Arbeitsblatt 118 sollte das System einen maximalen Auslastungsgrad von 90% aufweisen. Bei diesem Auslastungsgrad tritt unter Freispiegelabfluss die größte Abflusskapazität auf, welche infolge eines zunehmenden Einflusses der Wandreibung bei Vollfüllung gegenüber einer 90%-igen Füllung abnimmt (DWA 2009). Das zulässige Verhältnis von Wasserstand zu Durchmesser (h/d) für Grundleitungen wird in der DIN EN 1986-100 mit 0,7 angegeben. Wird zudem der Durchmesser der Entwässerungsleitungen großzügig gewählt, können durchaus ausreichende Reserven vorhanden sein. Gleichzeitig muss mit der Zeit jedoch mit Ablagerungen im System gerechnet werden, wodurch die Reserven aufgebraucht werden können, so dass diese faktisch nicht mehr oder nicht mehr vollumfänglich zur Verfügung stehen. Spezifische Aussagen über gegebenenfalls vorhandene Überkapazitäten eines Entwässerungssystems erfordern eine individuelle Betrachtung des Gesamtsystems. Zudem spielt die Kapazität bzw. Höhe des Vorfluters eine Rolle, welche ebenfalls durch den Klimawandel bzw. Meeresspiegelanstieg maßgeblich beeinträchtigt werden kann. Belastbare allgemeine Aussagen können somit nicht getroffen

werden. Darüber hinaus erscheint es unwirtschaftlich, ein bestehendes Entwässerungssystem vor Erreichen seiner Lebensdauer anzupassen, zumal die Systeme ohnehin nicht auf sehr seltene und somit schadensträchtiger Ereignisse ausgelegt werden. Gegebenenfalls auftretende kurzfristige Einschränkungen der Umschlagstätigkeit infolge Überstaus des Entwässerungssystems können durchaus hinnehmbar sein. Bei sehr großzügig dimensionierten Entwässerungssystemen bzw. unterdurchschnittlichen Regenmengen erfordert außerdem das Thema der Feststoffablagerung im System erhöhte Aufmerksamkeit bzw. Vorsorge.

## 7.2 Windeinwirkungen

Einwirkungen aus Wind spielen in Häfen bei vielerlei Anlagen und hafenbezogenen Tätigkeiten eine Rolle. Einwirkungen aus Windlasten auf Gebäude und ingenieurtechnische Bauwerke regelt die DIN EN 1991-1-4 (Eurocode 1-4). Die Nutzung des Vorläufers, die DIN 1055-4, wurde mit verbindlicher Einführung der Eurocodes am 01.07.2012 hinfällig<sup>4</sup>. Damit stellt der Teil 4 des Eurocode 1 das maßgebende Bemessungsregelwerk hinsichtlich der Einwirkungen aus Wind dar. Darüber hinaus existieren operative Schwellenwerte, bei denen die hafenbezogenen Tätigkeiten eingeschränkt sind bzw. eingestellt werden müssen (Tabelle 24).

Ausgangspunkt der Windeinwirkungen nach Eurocode 1 ist der 'Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit' ( $v_{b,0}$ ) - das 10-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit gemäß der Geländekategorie II, welches unabhängig von der Windrichtung statistisch gesehen 1-mal in 50 Jahren auftritt. Aus dem Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit wird die Basiswindgeschwindigkeit ( $v_b$ ) abgeleitet, diese berücksichtigt die tatsächlich anzusetzende Geländekategorie sowie einen Erhöhungsfaktor für hohe Lagen über Meereshöhe, wobei letzterer Faktor bei Seehäfen nicht anzusetzen ist. Der Geschwindigkeitsdruck, d.h. der infolge des Windes wirkende Staudruck, enthält neben dem konstanten Anteil einen veränderlichen Anteil (Turbulenz). Anhand der Basiswindgeschwindigkeit kann die Turbulenzintensität, d. h. der veränderliche Anteil des Geschwindigkeitsdrucks infolge der Windeinwirkung abgeschätzt werden. Der Basisgeschwindigkeitsdruck fließt ebenfalls in die Bestimmung von mittleren und kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen - dem Böengeschwindigkeitsdruck, welcher letztlich bei der Bemessung von Tragwerken zu berücksichtigen ist - ein.

---

<sup>4</sup> <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/beuth-verlag-gmbh/Bauaufsichtliche-Einfuehrung-der-Eurocodes-zum-1-Juli-2012-Beuth-Verlag-bietet-Fachliteratur-und-Online-Dienst-an/boxid/518709>

Basisgeschwindigkeitsdruck (Gl. 1) sowie Böengeschwindigkeitsdruck für die Geländekategorie I (z.B. Küstennähe) (Gl. 2) bzw. Geländekategorie III (z.B. Gewerbegebiete) (Gl. 3) berechnen sich nach dem nationalen Anhang der DIN EN 1991-1-4 wie folgt:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad \text{Gl. 1}$$

$$q_p = 2,6 \cdot q_b \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19} \quad \text{für } z > 2 \text{ m} \quad \text{Gl. 2}$$

$$q_p = 1,6 \cdot q_b \left(\frac{z}{10}\right)^{0,31} \quad \text{für } z > 2 \text{ m} \quad \text{Gl. 3}$$

$q_b$	Basisgeschwindigkeitsdruck [kN/m <sup>2</sup> ]
$q_p$	Böengeschwindigkeitsdruck [kN/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	Dichte der Luft [kg/m <sup>3</sup> ], empfohlen: 1,25 kg/m <sup>3</sup>
$v_b$	Basiswindgeschwindigkeit je nach Windzone [m/s]
$z$	Höhe über Gelände [m]



Abbildung 16: Windzonenkarte für Deutschland (Störfix 2005)

Die Gl. 2 und Gl. 3 des nationalen Anhangs weichen von den allgemeinen Empfehlungen der DIN EN 1991-1-4 ab. Die Böengeschwindigkeit wird in Deutschland in Abhängigkeit der Geländekategorie (I-IV) berechnet. Die Bereiche in Küstennähe können aufgrund ihrer flachen Topographie auf der sicheren Seite liegend in die höchste Geländekategorie (I) eingeordnet werden. Da der Zusammenhang zwischen Basisgeschwindigkeitsdruck und Windgeschwindigkeit quadratisch ist, hat eine Zunahme der Windgeschwindigkeit eine überproportionale Zunahme des Geschwindigkeitsdrucks zur Folge. Im Nationalen Anhang des Eurocodes 1 ist eine Windzonenkarte

(Abbildung 10) enthalten, welche die aktuell gültigen Basiswindgeschwindigkeiten für Deutschland enthält. Die in der Windzonenkarte angegebenen Werte sind unabhängig von der Windrichtung und gelten für die Geländekategorie II. Wenn entsprechende, statistisch belastbare Informationen vorliegen, darf der Einfluss der Windrichtung berücksichtigt werden. Lasten können allerdings auch aus Originalmessungen bestimmt werden. Für Zunahmen der Windgeschwindigkeit, wie sie im Rahmen des Klimawandels zu erwarten sind, führt eine Zunahme der Windgeschwindigkeit aufgrund des quadratischen

Zusammenhangs zu einer etwa doppelt so großen Zunahme des Geschwindigkeitsdrucks. Für Gebäudehöhen bis zu 25 m kann nach Eurocode ein vereinfachter Ansatz basierend auf Tabellenwerten für den Böengeschwindigkeitsdruck als konstant über die gesamte Gebäudehöhe angesetzt werden. Wird dieser Ansatz gewählt, zeigen sich je nach Geländekategorie erhebliche Unterschiede zu dem Berechnungsansatz nach Gl. 2 bzw. Gl. 3 für den Böengeschwindigkeitsdruck. Die Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung für den Einfluss der Windgeschwindigkeit und die Wahl des Berechnungsansatzes nach Eurocode sind in Tabelle 18 bzw. Tabelle 19 dargestellt.

Die Windzonenkarte wurde erst im Zusammenhang mit der Überarbeitung der DIN 1055-4 im Jahr 2005 eingeführt. Davor galten in Abhängigkeit der Höhe über Gelände einheitliche Böengeschwindigkeitsdrücke (in der Norm noch als Staudruck bezeichnet) für ganz Deutschland, wobei für besonders exponierte Gebäude ein Staudruck von mindestens 1,1 kN/m<sup>2</sup> anzusetzen war (DIN 1055-4:1986). Durch die Änderung der Bemessungsvorschrift hat sich vor allem in der Windzone 4 eine deutliche Erhöhung des anzusetzenden Böengeschwindigkeitsdrucks ergeben (Tabelle 19). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei Gebäuden und ingenieurtechnischen Bauwerken im Küstenbereich, die noch nach der DIN 1055-4:1986 bemessen wurden, geringere Einwirkungen aus Wind berücksichtigt wurden, als sie nach der derzeit gültigen Norm anzusetzen sind. Es bedeutet ebenfalls, dass es bereits in der Vergangenheit deutliche Zuschläge bei den Einwirkungen auf Tragwerken, wie sie auch aufgrund der Folgen des Klimawandels auftreten können, gegeben hat.

Tabelle 18: Einfluss der Zunahme der Basiswindgeschwindigkeit um +5% bzw. +10% auf den Böengeschwindigkeitsdruck nach DIN EN 1991. Dargestellt sind die Ergebnisse für zwei verschiedene Windzonen und Geländekategorien.

	WZ IV	WZ III	WZ IV	WZ III	WZ IV	WZ III
	GK I	GK III	GK I	GK III	GK I	GK III
	Eurocode nat. Anhang		+5%		+10%	
Basiswindgeschwindigkeit* $v_b$ [m/s]	30,00	27,50	31,50	28,88	33,00	30,25
Basisgeschwindigkeitsdruck $q_b$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,56	0,47	0,57	0,48	0,68	0,57
Böengeschwindigkeitsdruck $q_p$ in 10 m Höhe [kN/m <sup>2</sup> ]	1,46	0,76	1,61	0,83	1,77	0,92
Änderung des Böengeschwindigkeitsdrucks $q_p$ [%]	-	-	10,30	10,30	21,00	21,00

WZ: Windzone, GK: Geländekategorie, I: offene See, III: Gewerbegebiet; Übergangsbereiche zwischen den Geländekategorien (Mischprofile der Geländekategorien) wurden in der Betrachtung vernachlässigt.  
 \* Richtungsfaktor und Jahreszeitenbeiwert = 1, so dass der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit der Basiswindgeschwindigkeit entspricht

Tabelle 19: Vergleich unterschiedlicher Bemessungsansätze nach DIN EN 1991-1-4 und DIN 1055-4:1986-08 für den Böengeschwindigkeitsdruck

	WZ IV GK I	WZ III GK III	WZ IV GK III	WZ III GK I
Basiswindgeschwindigkeit* $v_b$ [m/s]	30,0	27,5	30,0	27,5
Basisgeschwindigkeitsdruck $q_b$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,56	0,47	0,56	0,47
Böengeschwindigkeitsdruck $q_p$ in 10 m Höhe ( $q_p = f(z)$ ) nach DIN EN 1991 [kN/m <sup>2</sup> ]	1,46	0,76	0,90	1,23
Konstanter Böengeschwindigkeitsdruck** $q_{p,k}$ für eine Gebäudehöhe $\leq 10$ m nach DIN EN 1991 [kN/m <sup>2</sup> ]	1,25	1,05	1,25	1,05
Abweichung ( $q_{p,k} - q_p = f(z)$ ) [%]	-14,5	+38,8	+38,9	-14,6
Böengeschwindigkeitsdruck $q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ] nach DIN 1055 für $8 < z < 20$ m	1,1	0,80	0,80	1,1
Abweichung (DIN EN 1991 - DIN 1055) [%]	+33,0	-5,5	+12,5	+11,7
WZ: Windzone, GK: Geländekategorie, I: offene See, III: Gewerbegebiet. Übergangsbereiche zwischen den Geländekategorien (Mischprofile der Geländekategorien) wurden in der Betrachtung vernachlässigt. * Richtungsfaktor und Jahreszeitenbeiwert = 1, so dass der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit der Basiswindgeschwindigkeit entspricht ** Tabelle NA.B.3 – Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe - $q_p$ ist als konstant über Bauwerkshöhe anzusetzen				

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass neben der Wahl des Bemessungsansatzes auch geringe Änderungen der Windgeschwindigkeit einen deutlichen Einfluss auf die Bemessung von Tragwerken haben können. Gleichzeitig sind die nach Eurocode ermittelten Einwirkungen charakteristische Werte (DIN EN 1991-1-4), die noch mit Teilsicherheitsbeiwerten zu multiplizieren sind. Bei veränderlichen ungünstigen Einwirkungen kann für Tragwerke ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 angenommen werden (DIN EN 1990/NA/A1).

Windlasten auf Schiffe, welche beispielsweise für die Navigation und die Vertäuerung von Schiffen von Interesse sind, können nach EAU (2020) anhand Gl. 4 bzw. Gl. 5 berechnet werden:

$$W_t = (1 + 3,1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot A_W \cdot v^2 \cdot \varphi \quad \text{Gl. 4}$$

$$W_l = (1 + 3,1 \sin \alpha) \cdot k_l \cdot A_W \cdot v^2 \cdot \varphi \quad \text{Gl. 5}$$

$A_W$	Windangriffsfläche [m <sup>2</sup> ]
$v$	Maßgebende Windgeschwindigkeit [m/s]
$W_t, W_l$	Windlastkomponenten [kN], t: tangential, l: longitudinal
$k_t, k_l$	Windlastkoeffizienten [kN s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> ], t: tangential, l: longitudinal
$\alpha$	Winkel zwischen Windrichtung und Längsachse des Schiffes
$\varphi$	Faktor für dynamische und andere, nicht erfassbare Einflüsse [-], im Allgemeinen: $\varphi = 1,25$

Maßgebliche Eingangsgröße ist neben der Windgeschwindigkeit die Richtung des Windes. Der quadratische Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck ist ebenfalls bei der Berechnung der Windlast auf Schiffe enthalten, d.h. eine Änderung der Windgeschwindigkeit von bis zu 10% hat eine etwa doppelt so große Änderung der Windlast zur Folge. Aufgrund der Trägheit des Schiffes wird nach EAU (2020) das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit angesetzt. Für die maßgebende Windgeschwindigkeit können die Werte nach Eurocode 1-4 verwendet werden, falls keine örtlichen Messwerte vorliegen (EAU 2020).

In Tabelle 20 ist das Ergebnis einer Sensitivitätsanalyse dargestellt, in deren Rahmen Windlasten für eine Änderung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtungen berechnet wurden. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass bei Winkeln  $\alpha$  mit einer Windrichtung mehr oder weniger rechtwinklig zur Längsachse des Schiffes die Änderung der Windgeschwindigkeit den größeren Einfluss hat. Bei maßgeblichen Windrichtungen, welche in etwa in Richtung der Längsachse des Schiffes wirken, spielt eine Änderung der vorhandenen Windrichtung die größere Rolle. Je nach Ausrichtung der Kaianlage und maßgeblicher Windrichtung ist also nicht nur die Zunahme der Windgeschwindigkeit, sondern gegebenenfalls auch die Änderung der Windrichtung als maßgebend für die auf das Schiff wirkende Windlast anzusehen. Eine solche Betrachtung ist allerdings nur zielführend, wenn die Untersuchung der Windlastkomponenten differenziert nach Windrichtungen erfolgt. Andernfalls wird die größte Windlast immer durch Winde quer zur Längsachse des Schiffes generiert.

Tabelle 20: Windlastkomponenten  $W$  (t: tangential, l: longitudinal) pro  $m^2$  auf ein vertäutes Schiff in Abhängigkeit der Windrichtung ( $\alpha = 90^\circ, 80^\circ, 30^\circ, 0^\circ$ ) sowie bei einer Änderung der maßgebenden Windgeschwindigkeit ( $v_b$ ) nach Eurocode von +5% und +10%. Windlastkoeffizienten nach EAU (2020) für ein Schiff über 50.000 dwt. Der Einfluss des vertikalen Geschwindigkeitsprofils wurde vernachlässigt.

	<b>Eurocode (EC) WZ IV</b>	<b>EC WZ IV +5%</b>	<b>EC WZ IV +10%</b>
$v_b$ (z = 10 m) [m/s]	30,00	31,50	33,00
$\alpha = 90^\circ$			
$W_t$ [N/m <sup>2</sup> ]	742,61	818,73	898,56
Änderung [%]-	-	+10	+21
$W_l$ [N/m <sup>2</sup> ]	0	0	0
Änderung [%]-	-	-	-
$\alpha = 80^\circ$			
$W_t$ [N/m <sup>2</sup> ]	703,69	775,81	851,46
Änderung [%]	-	+10	+21
$W_l$ [N/m <sup>2</sup> ]	0,03	0,03	0,04
Änderung [%]	-	+10	+21

	<b>Eurocode (EC) WZ IV</b>	<b>EC WZ IV +5%</b>	<b>EC WZ IV +10%</b>
$v_b (z = 10 \text{ m})$ [m/s]	30,00	31,50	33,00
$\alpha = 30^\circ$			
$W_t$ [N/m <sup>2</sup> ]	318,43	351,07	385,30
Änderung [%]	-	+10	+21
$W_l$ [N/m <sup>2</sup> ]	86,06	94,88	104,14
Änderung [%]	-	+10	+21
$\alpha = 0^\circ$			
$W_t$ [N/m <sup>2</sup> ]	0	0	0
Änderung [%]-	-	-	-
$W_l$ [N/m <sup>2</sup> ]	102,38	112,87	123,87
Änderung [%]	-	+10	+21

Eine weitere maßgebliche Rolle bei der Bestimmung der auftretenden Windlasten spielt die Windangriffsfläche eines Schiffes. Bei einem Winkel  $\alpha = 90^\circ$  ergibt sich für ein Ultra Large Container Ship (ULCS) der neuesten Generation bei einer maßgebenden Windgeschwindigkeit von 30 m/s und einer geschätzten Windangriffsfläche  $A_w = 20.000 \text{ m}^2$  eine jeweils an Bug und Heck von dem Vertäuungssystem aufzunehmende Windlast von rund 7.500 kN, welche infolge der Zunahme der Windgeschwindigkeit von 10% auf etwa 9.000 kN zunehmen würde. Bei einer maximalen Arbeitslast von rund 1.000 kN pro Leine bzw. Bremshaltekraft der Winde von rund 1.500 kN wären, bei zuvor voller Auslastung des Vertäusystems und einer vertikalen Neigung der Leinen von  $25^\circ$  sowie einer mittleren horizontalen Neigung von  $35^\circ$ , etwa zwei weitere Leinen am Bug bzw. Heck notwendig (Tabelle 21).

Tabelle 21: Tangentiale Windlastkomponenten  $W_t$  für Bug ( $W_{tb}$ ) bzw. Heck ( $W_{th}$ ) für die Windrichtung  $\alpha = 90^\circ$  und eine Windangriffsfläche von  $A = 20.000 \text{ m}^2$  bei einer Änderung der maßgebenden Windgeschwindigkeit nach Eurocode von +5% und +10%. Windlastkoeffizienten nach EAU (2020) für ein Schiff über 50.000 dwt. Der Einfluss des vertikalen Geschwindigkeitsprofils wurde vernachlässigt.

	<b>Eurocode (EC) WZ IV</b>	<b>EC WZ IV +5%</b>	<b>EC WZ IV +10%</b>
$v_b (z = 10 \text{ m})$ [m/s]	30,00	31,50	33,00
$W_t$ [kN]	14.852,3	16.374,6	17.971,2
$W_{tb}, W_{th}$ [kN]	7.426,1	8.187,3	8.985,6
$W_{tb}^*, W_{th}^*$ [kN]	8.193,8	9.033,7	9.914,5
$W_{tb}^{**}, W_{th}^{**}$ [kN]	10.002,8	11.028,1	12.103,4

\* Unter Berücksichtigung eines vertikalen Winkels der Leine von  $25^\circ$

\*\* Unter Berücksichtigung eines mittleren horizontalen Winkels der Leinen von  $35^\circ$

Vor der Überarbeitung der Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU) im Jahr 2020 wurde in der EAU empfohlen, für Schiffe bis 50.000 dwt das Mittel der Windgeschwindigkeit aus 30 Sekunden und für Schiffe größer als 50.000 dwt das Mittel aus einer Minute anzusetzen (EAU 2004; EAU 2012). Weitere für die Vertäuung von Schiffen

relevante Richtlinien der OCIMF (2009) und der IACS (2020) nehmen ebenfalls eine Winddauer von 30 Sekunden an. Die OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) empfiehlt eine Windgeschwindigkeit von 60 kn (31 m/s) und die IACS (International Association of Classification Societies) berücksichtigt Windgeschwindigkeiten je nach Schiffstyp von bis zu 25 m/s - jeweils in der üblichen Höhe von 10 m. Eine Übersicht der Empfehlungen ist in Tabelle 22 dargestellt. Für die Umrechnung der Windgeschwindigkeiten in ein 10-Minuten Mittel kann ein Faktor von 1,21 (30-Sekunden) bzw. 1,15 (1 Minute) angesetzt werden (EAU 2020). D.h. infolge der aktuellen Überarbeitung der EAU wurden die in dem Berechnungsansatz verwendeten Bemessungswerte je nach Schiffsgröße um etwa 15% bis 20% verringert. Damit entspricht die aktuelle Empfehlung in der EAU jedoch wiederum den Empfehlungen der EAU aus dem Jahr 2004, welche die DIN 1055-4: 1986 zugrunde gelegt hat und somit die Norm vor Einführung der Windzonenkarte und basierend auf dem Böenstaudruck. Die Empfehlung in der EAU 2020 entspricht damit in etwa der Windgeschwindigkeit, wie sie von der IACS verwendet wird, aus deren Richtlinie sich für ein bestimmtes Schiff, in Abhängigkeit der Windangriffsfläche sowie der Ausrüstungsnummer (Equipment Number EN), die Anzahl und Art der zu verwendenden Leinen ergibt.

Tabelle 22: Gegenüberstellung von Windgeschwindigkeiten für unterschiedliche Zeitspannen, welche der Berechnung von Windlasten auf Schiffe nach EAU 2004, 2012 und 2020 zugrunde gelegt werden, falls keine örtlichen Messungen vorliegen sowie Windgeschwindigkeiten, welche von OCIMF und IACS für die Vertäuerung von Schiffen zugrunde gelegt werden. Die fett gedruckten Werte sind die Angaben, welche der jeweiligen Richtlinie entsprechen. Die für die Umrechnung zugrunde gelegten Umrechnungsfaktoren basieren auf Thoresen (2018).

Richtlinie		10-Min. Mittel [m/s]	30-Sek. Mittel [m/s]	3-Sek. Mittel [m/s]
EAU 2004	DIN 1055-4:1986, Höhe über Gelände 20-100 m (extrem exponiert)	31,1	37,6	<b>42,0</b>
	DIN 1055-4:1986, Höhe über Gelände 8-20 m	26,5	32,1	<b>35,8</b>
EAU 2012	DIN 1055-4:2005, Windzone 4	24,8	<b>30</b>	49,0
	DIN 1055-4:2005, Windzone 3	22,7	<b>27,5</b>	44,9
EAU 2020	DIN EN 1991-1-4, Windzone 4	<b>30</b>	36,3	40,5
	DIN EN 1991-1-4, Windzone 3	<b>27,5</b>	33,3	37,1
OCIMF 2009		25,6	<b>31</b>	50,6
IACS 2018		20,7	<b>25</b>	40,8

Die Pollerzuglasten werden nach EAU allerdings üblicherweise ohne Berücksichtigung der Windlasten dimensioniert. Neben den Pollern sind nämlich zwei weitere Stellschrauben im Vertäusystem vorhanden – die Winde an Bord des Schiffes sowie die Festmacherleine. Der Poller versagt im Optimalfall als letztes, nach der Bremse der Winde und der Festmacherleine (EAU 2020). Die Windlasten spiegeln sich in dem erforderlichen Vertäusystem wider, welches neben den technischen und materiellen Eigenschaften der

Schiffsausrüstung von der Anzahl der zu vertäuenden Leinen abhängt. Die Verantwortung für das Vertäusystem liegt beim Kapitän des Schiffs (PIANC 1995) und ist daher sozusagen wasserseitig vorgegeben. Bis zur 11. Auflage der EAU wurde die Pollerzugkraft anhand von Tabellenwerten in Abhängigkeit der Schiffsgröße festgelegt (siehe Tabelle 23). Aufgrund geänderter Teilsicherheiten unterscheiden sich zudem charakteristische Werte und Bemessungswerte. Durch die Pollerzugkraft war somit die zulässige Trossenkraft bzw. die Anzahl der aufzulegenden Trossen festgelegt. Seit der 12. Auflage der EAU aus dem Jahr 2020 wird die Pollerzugkraft aus den maximal durch das Vertäusystem eingetragenen Kräften errechnet, d.h. durch die Bremshaltekraft der Winde und die Anzahl sowie der Bruch- bzw. Arbeitslast der verwendeten Leinen. Eine differenzierte Betrachtung der örtlich vorhandenen Windgeschwindigkeiten unterteilt nach Windrichtung ist i.d.R. nur dann sinnvoll, wenn sich dadurch bei einer Anpassung an vergrößerte Schiffsgrößen die Anforderungen an die Poller verringern lassen.

Tabelle 23: Entwicklung der nach EAU anzusetzenden charakteristischen Werte und der Bemessungswerte für die Pollerzuglast in Abhängigkeit der Wasserverdrängung eines Schiffs (Turban 2019)

Wasserverdrängung [t]	Pollerzuglast [kN] Charakteristischer Wert					Pollerzuglast [kN] Bemessungswert				
	EAU Auflage					EAU Auflage				
	1.	2.	5./ 9./ 10.	11.	1.	2.	5.	9.	10.	11.
	2.000	100	100	100	-	100	100	100	130	143
10.000	300	300	300	300	300	300	300	390	429	429
20.000	600	600	600	600	600	600	600	780	858	858
50.000	800	800	800	800	800	800	800	1.040	1.144	1.144
100.000	-	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.300	1.430	1.430
200.000	-	-	1.500	2.000	-	-	1.500	1.950	2.145	2.860
250.000	-	-	2.000	2.500	-	-	2.000	2.600	2.860	3.575
>250.000	-	-	-	>2.500	-	-	-	-	-	>3.575

Das Vertäusystem ist von einer Vielzahl weiterer Einflüsse geprägt, zu denen neben den zuvor genannten auch Seegang, die Vorbeifahrt eines Schiffes sowie gegebenenfalls die Strömung im Fließgewässer zählt. Es wird daher empfohlen, individuell zu prüfen, ob Vertäukonzepte gegebenenfalls durch eine Erhöhung der Anzahl der Leinen anzupassen sind und ob Anzahl und Pollerzugkraft vorhandener Poller ausreichen, um die benötigten Leinen entsprechend an Land zu vertäuen. Besonders relevant kann eine solche Untersuchung für Kaianlagen sein, bei denen Sturmereignisse ablandigen Wind an der Kaianlage zur Folge haben. Vertäusysteme an Kaianlagen mit eher auflandigen Sturmereignissen sind hingegen nicht negativ von einer potentiellen Zunahme der Windgeschwindigkeit betroffen. Bei auflandigem Wind sind allerdings die Lagerkräfte des Fendersystems infolge einer Zunahme der Windlast negativ betroffen. Zudem bleibt

---

abzuwarten, wie sich das Schiffsgrößenwachstum und die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Vertäuung entwickeln.

Allerdings werden bezüglich der Möglichkeit, das Vertäusystem an zunehmende Windstärken anzupassen, praktische Herausforderungen gesehen, da das Vertäusystem wie bereits erwähnt unterschiedliche Stellschrauben - Poller, Winde, Festmacherleine - sowohl schiffs- als auch landseitig enthält, welche alle aufeinander abgestimmt sein müssen.

Neben den technischen Anforderungen, welche sich aus den Einwirkungen aus Wind ergeben, ist das operative Geschehen in den Häfen durch Windeinwirkungen geprägt. Tabelle 24 zeigt operative Schwellenwerte im Zusammenhang mit Umschlags- und Anlegevorgängen, ab denen der Betrieb in Seehäfen beeinflusst wird. Grundsätzlich ist etwa ab Windstärke 6 mit Einschränkungen im Hafенbetrieb zu rechnen. Dabei müssen nicht alle Anlagen gleich stark betroffen sein. Zum Beispiel weisen unterschiedliche Containerumschlagsgeräte bis zu einem gewissen Grad verschiedene Empfindlichkeiten gegenüber hohen Windgeschwindigkeiten auf, bei der auch die Richtung des Windes eine Rolle spielen kann (van den Bos 2005). Letztlich müssten für eine gesteigerte Anpassung daher sowohl das Vertäusystems als auch die Möglichkeiten der Umschlagstätigkeit angepasst werden. Davon abgesehen ist aus Gründen der Sicherheit angeraten, Aufenthalt und Tätigkeiten im Hafen ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit einzustellen. Es ist somit anzunehmen, dass operative Schwellenwerte für Windgeschwindigkeiten aufgrund technischer Maßnahmen nicht wesentlich erhöht werden, sondern Tätigkeiten, wie bisher auch, bei bestimmten Windgeschwindigkeiten eingestellt werden müssen. Somit beschränken sich die Anpassungsmaßnahmen darauf, das Ausmaß von sturmbedingten Schäden bzw. Risiken für Unfälle zu minimieren.

Im Norddeutschen Klimamonitor (Helmholtz-Zentrum Hereon 2021b) werden für die Norddeutsche Küste im Zeitraum 1961-1990 im Schnitt etwa 40 Sturmtage pro Jahr angegeben, d.h. 40 Tage an denen die maximale Windgeschwindigkeit mindestens Windstärke 8 erreicht. An solch einem Sturmtag ist mit Verzögerungen bis hin zur Unterbrechung der Umschlagstätigkeiten zu rechnen. Klimaprojektionen zeigen je nach Modelllauf für das 21. Jahrhundert sowohl eine mögliche Zu- als auch Abnahme der Anzahl der Sturmtage von +14 bis -8 im Vergleich zu 1961-1990 (Helmholtz-Zentrum Hereon 2021a). Demnach ist eine Zunahme der Häufigkeit von windbedingten operativen Einschränkungen in Seehäfen in Deutschland zukünftig nicht zwingend zu erwarten.

Tabelle 24: Kritische Schwellenwerte der Windgeschwindigkeit für den Betrieb von Seehäfen (Gaythwaite 2004, verändert, eigene Übersetzung)

Beaufort Skala/ Bezeichnung der Windstärke	Windgeschwindigkeit [m/s]*	Effekt auf Betrieb**	
		Schiffe	Anlagen
0 Windstille	0,0 – 0,5		
1 Leiser Zug	0,5 – 1,5		
2 Leichte Brise	2,0 – 3,0		
3 Schwacher Wind	3,5 – 5,0		
4 Mäßiger Wind	5,5 – 8,0		
5 Frischer Wind	8,5 – 11,0		
6 Starker Wind	11,5 – 14,0	Anlegemanöver einstellen	Kranbetrieb einstellen
7 Steifer Wind	14,5 – 17,0	Schlepperdienst einstellen	
8 Stürmischer Wind	17,5 – 20,5	Fährtätigkeit einstellen	Verladearme abkoppeln
9 Sturm	21,0 – 24,0	Sturmleinen festmachen	
10 Schwerer Sturm	24,5 – 28,5	Große Schiffe verlassen den Hafen	Anlagen sichern, Krane laschen etc.
11 Orkanartiger Sturm	29,0 – 32,5		
12 Orkan	≥ 33,0		
* Auf 0,5 m/s gerundet			
** Infolge Wind, in exponierten Lagen kann Seegang zu größeren Einschränkungen führen			

### 7.3 Wasserstand und Seegang

Wasserstand und Seegang sind bedeutende Parameter für Anlagen außerhalb abgeschleuster Bereiche (Dockhäfen). Dockhäfen befinden sich aufgrund des vorhandenen Tideinflusses nur an Seehäfen entlang der deutschen Nordseeküste, wie z.B. die Kaiserhäfen und der Fischereihafen in Bremerhaven. Die Wasserstände in Dockhäfen werden technisch durch Schleusen und gegebenenfalls vorhandene Pumpwerke reguliert. Traditionell wurde für Schleusen als Teil des Hochwasserschutzsystems ein säkularer Meeresspiegelanstieg von 0,25 m in 100 Jahren zuzüglich einer Ausbaureserve berücksichtigt. Sollte dieses Sicherheitsmaß innerhalb der restlichen Bauwerksstandzeit nicht ausreichen, muss ein Neubau erfolgen. Wasserverluste durch Schleusungen sind insbesondere bei Niedrigwassersituationen groß und können sich negativ auf den Hafenbetrieb auswirken – bei steigendem Meeresspiegel können sich daher tendenziell die Wasserverluste durch Schleusungen verringern. Es hängt von der Exposition des Hafens ab, ob sich zunehmende Westwinde in Zukunft günstig auf die Häufigkeit extremer Niedrigwassersituationen auswirken. Die Bedeutung des Seegangs hängt ebenfalls von der Exposition und der sich daraus ergebenden Windwirklänge (Fetchlänge) ab. Die Lage von Seehäfen ist in der Regel so gewählt, dass der Einfluss des Seegangs gering ist, allerdings

---

existieren vor allem an der deutschen Nordseeküste auch recht exponierte Seehäfen, wie z.B. der Jade-Weser Port oder die Häfen in Bremerhaven und Cuxhaven. Für Dockhäfen ist Seegang aufgrund der geringen Fetchlänge als unwesentlich anzusehen. Der bedeutendste Einfluss für Seehäfen an der deutschen Küste wird wasserseitig daher in der Regel die Änderung des mittleren Meeresspiegels sein. Der Anstieg des mittleren Meeresspiegels muss sich dabei nicht zwingend negativ auf die Anlagen bzw. den Betrieb von Häfen auswirken. Für manche Anlagen bzw. Betriebsanforderungen ist der Niedrigwasserstand maßgebend, hierzu zählen der landseitige Wasserüberdruck an Kaianlage sowie der zuvor genannte Wasserbedarf bei Schleusungen. Diese Fälle werden durch den Meeresspiegelanstieg positiv beeinflusst. Es sei denn, der Tidehochwasserstand nimmt im Gegensatz zum Tideniedrigwasserstand durch den Meeresspiegelanstieg überproportional zu, so dass sich insgesamt der Tidehub erhöht, was voraussichtlich, wenn überhaupt, nur lokal und bei einem Meeresspiegelanstieg von etwa 0,8 m relevant werden könnte (vgl. Rasquin et al. 2020).

Durch den Meeresspiegelanstieg negativ beeinflusst wird das Freibord diverser Anlagen (Betriebsfläche des Hafens, Hochwasserschutzsysteme, Fähr-/ Anlegebrücken), wodurch je nach Anlage und örtlichen Gegebenheiten im Zusammenspiel mit der Wellenhöhe bzw. dem Wellenauflauf Überflutungen, Betriebseinschränkungen und/ oder zunehmende vertikale Wellenlasten von Bedeutung sein können. Insbesondere die Höhe der Betriebsfläche des Hafens bietet wenig Flexibilität bei der Anpassung. Die Höhe der Betriebsfläche sollte jedoch hochwasserfrei sein, bei Stückgut- und Containerumschlag können in besonderen Fällen Ausnahmen möglich sein (EAU 2020). Hochwasserschutzsysteme werden, wie bereits erwähnt, traditionell mit Sicherheitsreserven vorgesehen, welche jedoch bereits heute in Anspruch genommen sein können und zukünftig nicht mehr ausreichen können. Fähr- und Anlegebrücken können aufgrund der im Verhältnis zu Kaianlagen und Hochwasserschutzsystemen geringerer wirtschaftlicher Lebensdauern (siehe Tabelle 10) gegebenenfalls bei Bedarf angepasst werden.

Der steigende Meeresspiegel wirkt sich zudem auf das vorhandene Vertäusystem aus. Durch den steigenden Wasserstand und den sich daraus ergebenden größeren Winkel zwischen der Leine und der Horizontalen vergrößert sich die erforderliche Trossenzugkraft, um ein Schiff bei gleichbleibender horizontaler Windlast zu vertäuen (Clark 2009). Je niedriger das Deck eines Schiffs über der Wasserlinie liegt, desto mehr wirkt sich eine Zunahme des Meeresspiegelanstiegs aus. Angriffspunkte von Schiffsstoß und Eisdruck beispielsweise an Dalben werden ebenfalls von einem steigenden Meeresspiegelanstieg

---

beeinflusst, der Einfluss ist jedoch als gering einzuschätzen, zumal der Meeresspiegelanstieg innerhalb der Lebensdauer von Dalben (Tabelle 10) voraussichtlich nicht gravierend sein wird. Insgesamt wird der Einfluss eines steigenden Meeresspiegels auf die statischen Systeme aufgrund der im Vergleich zu den in Seehäfen vorhandenen Wassertiefen relativ geringen Änderung, vorhandener Sicherheiten und relevanter wirtschaftlicher Lebensdauern bei Bestandsbauten als vernachlässigbar abgeschätzt.

An Böschungen oder geschütteten Wellenbrechern kann die Belastungsgröße brechende Wellen gegebenenfalls durch den Meeresspiegelanstieg positiv beeinflusst werden, wenn die Wellen aufgrund der größeren Wassertiefe nicht mehr am Bauwerksfuß, sondern erst auf der Böschung brechen. Darüber hinaus ist durch den Meeresspiegelanstieg eine Zunahme der Wellengröße möglich, wodurch sich dieser Effekt wieder relativieren kann. Allerdings ist die Annahme, dass die Belastungsgröße brechende Welle positiv durch den Meeresspiegelanstieg beeinflusst werden kann nur dann gültig, wenn weiterhin keine starken Seegangereignisse bei geringeren Wasserständen vorkommen, da dann die Kombination aus geringer Wassertiefe und starkem Seegang maßgeblich für die Bemessung sein kann. Gleichzeitig führt ein steigender Meeresspiegel zu einer Zunahme des Wellenaufbaus bzw. –überlaufs, da die Wellen ein höheres Ausgangsniveau vorfinden. Eine Zunahme der Wellenhöhe steigert diese Zunahme. Das heißt, dass durch den Anstieg des Meeresspiegels bzw. durch eine Zunahme der Wellenhöhe die Funktionalität und Standsicherheit des Wellenbrechers gefährdet sein kann.

Aufgrund der vielzähligen Einflussfaktoren wird eine individuelle Prüfung empfohlen. Besonders verwundbar sind Anlagen mit einer langen Reststanddauer sowie Anlagen, welche über einen hohen Auslastungsgrad bzw. wenige Sicherheiten verfügen. Bei der Neuplanung sind Projektionen des Meeresspiegels und etwaige Änderungen des Seegangs im Rahmen von Sensitivitätsstudien für die zu erwartende Lebensdauer der Anlage zu berücksichtigen.

## 8 Anpassung von Seehäfen in Deutschland an den Klimawandel

Die Anpassung an den Klimawandel wird bisher unterschiedlich, von sehr stark bis sehr gering, in den beteiligten Hafenmanagementgesellschaften berücksichtigt (Abbildung 17). Gleichzeitig wird aus den Umfrageergebnissen des Abschlussworkshops des Projekts PortKLIMA ersichtlich, dass das Thema bei quasi allen Teilnehmenden zukünftig stärkere Berücksichtigung finden wird (Abbildung 18).

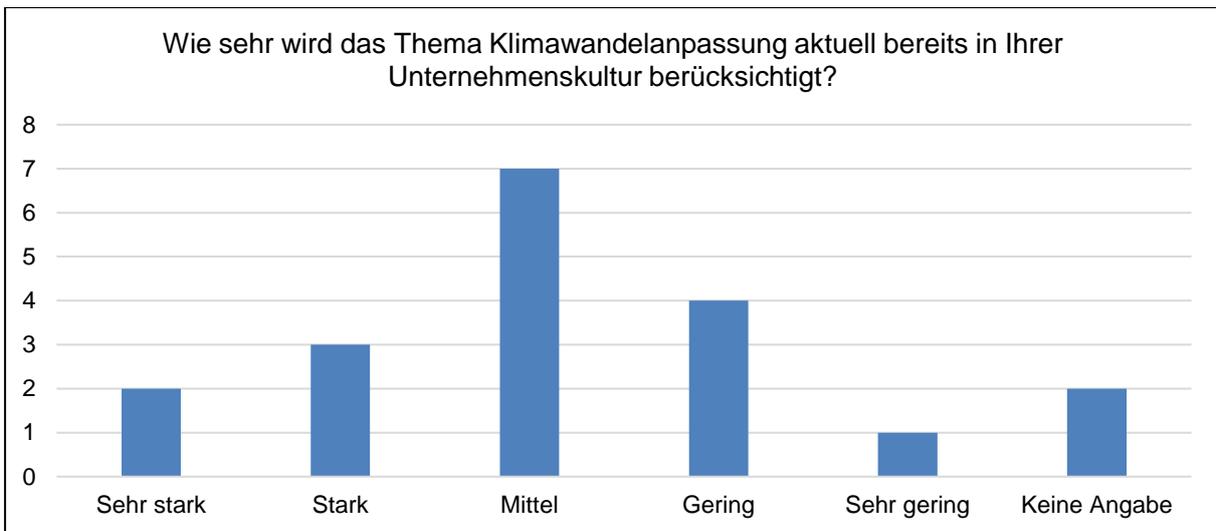


Abbildung 17: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der aktuellen Berücksichtigung des Themas Klimawandelanpassung in der Unternehmenskultur

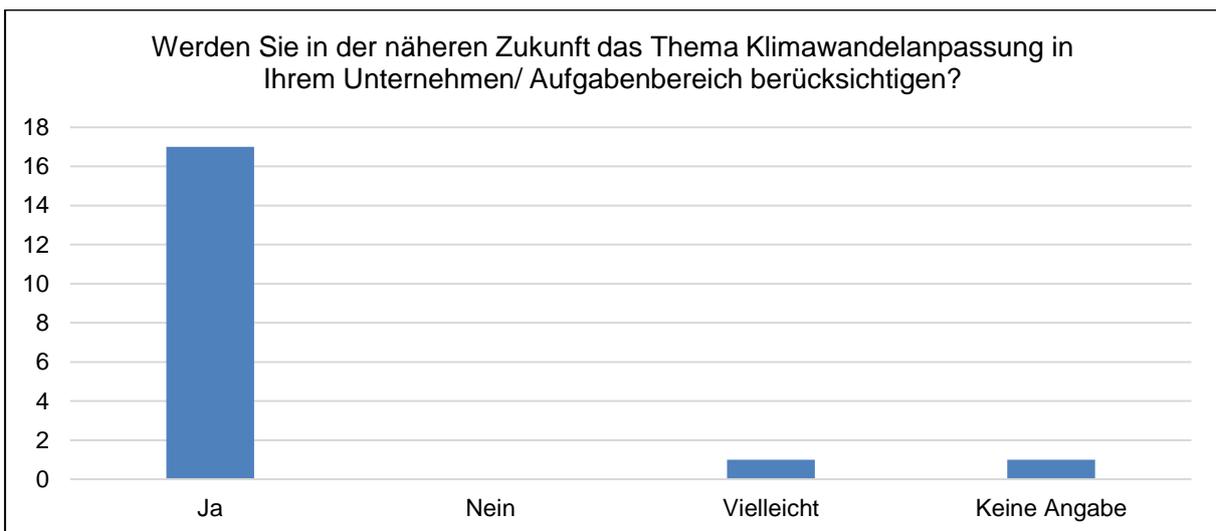


Abbildung 18: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der zukünftigen Einbindung des Themas Klimawandelanpassung im Unternehmen bzw. Aufgabenbereich

Zudem schätzt die überwiegende Anzahl der Teilnehmenden, dass bis zu fünf Jahre Zeit bleiben, um das Thema Klimawandelanpassung ausreichend in das Unternehmen bzw. den Aufgabenbereich zu integrieren (Abbildung 19).

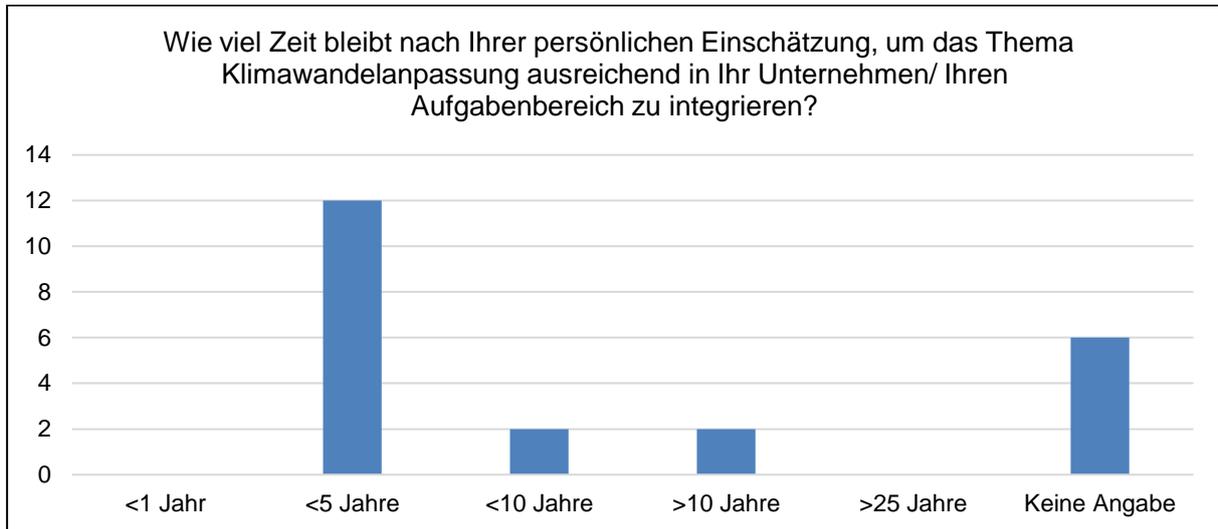


Abbildung 19: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des zur Verfügung stehenden Zeithorizonts zur ausreichenden Integration des Themas Klimawandelanpassung in die Unternehmenskultur

Grundsätzlich existieren mit den im PIANC-Leitfaden (PIANC 2020) dargestellten Portfolios umfassende Maßnahmenkataloge, um die Widerstandsfähigkeit von Häfen gegenüber dem Klimawandel maßgeblich zu erhöhen. Dabei werden die Anpassungsmöglichkeiten im PIANC-Leitfaden in physische, soziale und institutionelle Maßnahmen untergliedert. Vor allem physische Maßnahmen erfordern wirtschaftliche Investitionen, die je nach den zu erwartenden Auswirkungen erheblich sein können. Soziale und institutionelle Maßnahmen erfordern i.d.R. geringere Investitionen. Der Zeitbedarf für die Umsetzung von Maßnahmen ist stark abhängig von verfügbaren personellen und finanziellen Ressourcen und kann je nach Maßnahme gering bis erheblich sein.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist als wichtigste Maßnahme die Implementierung einer Anpassungsstrategie in den Seehäfen zu sehen. Deren Bedeutung liegt vor allem darin, sich mit der zukünftigen Betroffenheit durch den Klimawandel frühzeitig auseinanderzusetzen, so dass Maßnahmen gegebenenfalls bereits präventiv geplant und unter größtmöglicher wirtschaftlicher Effizienz, z.B. im Rahmen von Neubaumaßnahmen, umgesetzt werden können. Auch wenn die klimatischen Änderungen und die damit in Zusammenhang stehenden Auswirkungen sich erst zukünftig deutlicher zeigen werden, ist bereits heute die Wahrscheinlichkeit für Extremwetterereignisse wie Hitzewellen erhöht (Vautard et al. 2020; Ciavarella et al. 2021). Darüber hinaus ist insbesondere bei Neubau- und Planungsvorhaben

---

mit langem Zeithorizont eine frühzeitige Einbindung der Folgen des Klimawandels sinnvoll. Zudem ist zu empfehlen, Monitoring-Programme einzurichten, um eine unterstützende, einen möglichst langen Zeitraum umfassende Datengrundlage zur eigenen Betroffenheit für zukünftige Entscheidungen aufzubauen. Es ist zu empfehlen, das Thema Klimawandelanpassung bereits heute mitzudenken, auch wenn vom Grundsatz her Zeit zur Anpassung bleibt und der aktuelle Handlungsbedarf tendenziell überschaubar ist. Der von der Mehrzahl der Teilnehmenden des Abschlussworkshops des Projekts PortKLIMA angegebene Zeitraum von bis zu 5 Jahren zur angemessenen Integration des Themas Klimawandelanpassung kann daher als realistisch angesehen werden. Ob bereits aktuell oder in naher Zukunft konkreter Handlungsbedarf an physischen Maßnahmen besteht, hängt von den individuellen Gegebenheiten der einzelnen Häfen ab, die vor allem aufgrund naturräumlicher Gegebenheiten - wie beispielsweise Topographie oder Lage am Gewässer - teilweise sehr unterschiedlich ausfallen. Weiterhin maßgebend ist der Vergleich aus Kosten und Nutzen einer solchen Maßnahme, sind die relevanten Klimaparameter sowie die Reststandzeit der technischen Anlagen.

Die Einschätzung der Teilnehmenden des Abschlussworkshops bzgl. des Aufwands für die Anpassung ihres Unternehmens bzw. Aufgabenbereichs jeweils für ein Szenario mit starkem Klimaschutz (RCP2.6) sowie keinem Klimaschutz (RCP8.5) ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Mehrzahl der Teilnehmenden schätzt den Aufwand für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels für das RCP2.6-Szenario als mittel und für das RCP8.5-Szenario als groß ein. Es gibt aber auch Einschätzungen, dass der Aufwand darüber bzw. darunter liegen wird. Selbst für das RCP8.5-Szenario gibt es noch Einschätzungen von Teilnehmenden, dass der Aufwand gering bzw. sehr gering sein wird. Dabei stammt etwa ein Drittel der Befragten aus dem Bereich Hafenbau/ Infrastrukturmanagement und etwa die Hälfte der Befragten aus dem strategischen Bereich (Abbildung 10).

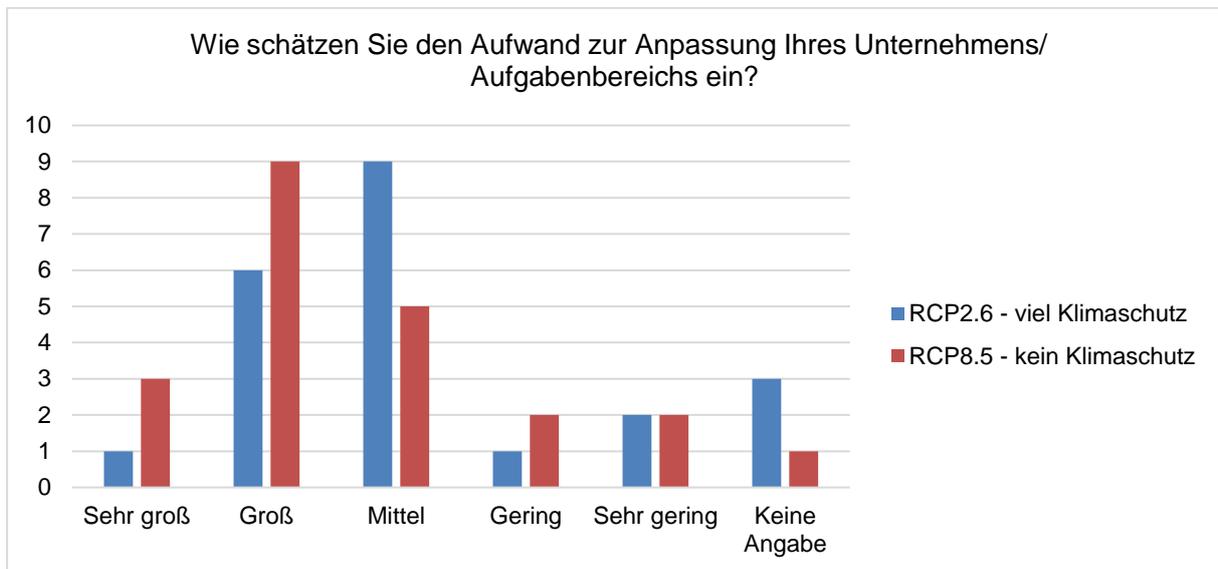


Abbildung 20: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. des Aufwands zur Anpassung des Unternehmens bzw. Aufgabenbereichs an den Klimawandel

Die Teilnehmenden des Abschlussworkshops wurden ebenfalls zu ihrer Einschätzung der größten Herausforderung im Zusammenhang mit der Anpassung an den Klimawandel befragt. Die größte Herausforderung wird demnach im Umgang mit den Unsicherheiten gefolgt von der technischen Machbarkeit sowie der Finanzierung gesehen (Abbildung 21).

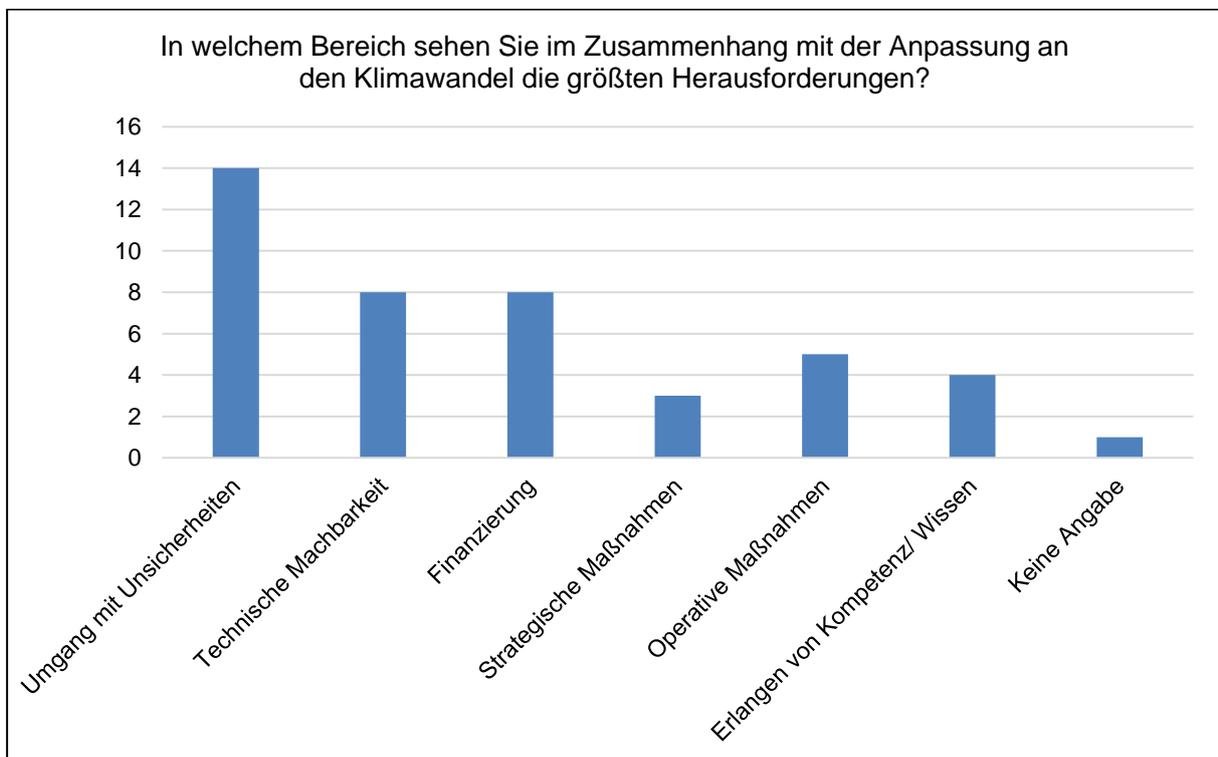


Abbildung 21: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der größten Herausforderungen im Zusammenhang mit der Anpassung an den Klimawandel

---

Die Unsicherheiten werden sich aufgrund der nicht bekannten zukünftigen Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen nicht ausräumen lassen. Den Unsicherheiten kann begegnet werden, indem der Zeitpunkt der Umsetzung mithilfe sogenannter Anpassungspfade (Schritt 4.5 des PIANC-Leitfadens (PIANC 2020)) flexibel gehalten wird. Um bestehende Unsicherheiten über die aktuelle Betroffenheit zu minimieren, ist der Aufbau von Monitoringprogrammen sinnvoll. Maßnahmen, die keine Nachteile haben oder keine besonderen Erfordernisse aufweisen, können sofort umgesetzt werden (No-regret Maßnahme). Flexibilität bzw. Ausbaureserven in Konstruktionen vorzusehen, für besonders anfällige bzw. bedeutende Anlagen oder Systeme Redundanzen einzubeziehen sowie die Folgen des Versagens mit einzuplanen bzw. abzumildern und ein geeignetes Notfallmanagement zu implementieren sind ebenfalls geeignete Maßnahmen, um mit Unsicherheiten umzugehen (siehe Kapitel 4.1.3 des PIANC-Leitfadens). Weitere Unsicherheiten bestehen zudem darin, wie sich die Änderungen des Klimas im eigentlichen, aus operativer und technischer Sicht relevanten Wettergeschehen niederschlagen werden. In diesem Zusammenhang auftauchende Fragen sind beispielsweise, ob es zukünftig häufigere Frost-Tau-Wechsel geben wird oder wie sich die Änderung der Wasser- und Luftchemie auf die Dauerhaftigkeit von Baumaterialien wie Stahl und Beton auswirken.

Die technische Machbarkeit wird sicherlich in einigen Fällen an ihre Grenzen stoßen, wie beispielsweise beim Umschlag von Gütern während eines Sturmereignisses, vor allem steht die technische Machbarkeit aber im Zusammenhang mit der Herausforderung einer entsprechenden Finanzierung. Größere Investitionen allein zum Zweck der Anpassung an den Klimawandel werden aktuell und voraussichtlich auch in naher Zukunft nicht getätigt werden. Bei geplanten Neubauten bzw. Erweiterungen ist es jedoch zwingend notwendig, die Aspekte der Klimawandelanpassung zu berücksichtigen. Der zusätzliche Aufwand um etwa Gebäude und Verkehrswege im Rahmen von anstehenden Investitionen an den Klimawandel anzupassen wird auf 10% des Investitionsvolumens geschätzt (Wenzel und Treptow 2014).

Grundsätzlich orientieren sich die Häfen an allgemein gültigen Bemessungsansätzen der Ingenieurpraxis. Auch wenn teilweise bereits mit lokalen Erfahrungswerten gearbeitet wird, wie beispielsweise bei der Bemessung von Entwässerungssystemen für große Terminalflächen. Die Anpassung an den Klimawandel findet bisher nur in wenigen in Deutschland angewendeten Regelwerken Berücksichtigung und wenn dann in wenig konkreter Weise (Kind et al. 2021). Gleichzeitig ist die zu erwartende, klimatisch begründete Änderung von vielfältigen Bemessungsparametern in unterschiedlichsten Regelwerken von

---

Bedeutung (Siefer et al. 2018). Beispiele für Regelwerke, welche die Anpassung an den Klimawandel bereits erwähnen bzw. berücksichtigen, sind: DWA-M 119 'Überflutungsvorsorge bei Starkregen', DWA-M 550 'Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung', DIN EN 16503 'Wasserbeschaffenheit – Anleitung zur Beurteilung der hydromorphologischen Merkmale der Übergangs- und Küstengewässer'; DIN V 18599-10 'Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung', DIN 1986-100 'Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 100'; TRAS 310 – Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquelle Niederschläge und Hochwasser'. Darüber hinaus wird ein Klimazuschlag für den Bemessungswasserstand in den Küstenschutz-Generalplänen der Küstenbundesländer berücksichtigt (MELUND 2013, MLUV 2009, NLWKN 2007).

Regelwerke haben zunächst nur empfehlenden Charakter. Es ist daher grundsätzlich möglich, auch ohne konkrete Änderungen in den Regelwerken, zusätzliche Vorkehrungen z.B. anhand von Klimazuschlägen ohne etwaige Begründungen zu treffen. Da die Hafenmanagementgesellschaften Teil der öffentlichen Hand sind, haben sie bezüglich ihrer Ausgaben Rechenschaft abzulegen. An den Klimawandel angepasste Bemessungsansätze bzw. offizielle Empfehlungen stellen ggf. erst die Grundlage für entsprechende Maßnahmen dar. Unabhängig von aktuellen Empfehlungen hält es der Großteil der Teilnehmenden des Abschlussworkshops PortKLIMA für eher wahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich, dass sie zukünftig von den Empfehlungen abweichen und eigenständig Klimazuschläge anwenden werden (Abbildung 22).



Abbildung 22: Ergebnis der im Rahmen des Abschlussworkshops durchgeführten Befragung bzgl. der Berücksichtigung von Klimazuschlägen, unabhängig von aktuellen Empfehlungen in Regelwerken

Empfehlungen können sich darauf beziehen, Klimazuschläge zu berücksichtigen bzw. zumindest Sensitivitätsstudien durchzuführen, Gefahrenkarten zu erstellen, so dass an gefährdeten Stellen Maßnahmen zur Abwehr getroffen werden können oder im Fall von Gebäuden bauliche Änderungen vorzunehmen, um beispielsweise die Resilienz besonders gefährdeter Gebäudeteile wie Dachvorstände zu erhöhen. Eine Übersicht von Regelwerken und sonstiger Literatur mit Empfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel ist in Anhang D dargestellt. Tabelle 25 zeigt eine kurze Übersicht von Klimaparametern, deren Änderungswahrscheinlichkeit und Empfehlungen zur Anpassung.

Tabelle 25: Klimaparameter, deren Änderungswahrscheinlichkeit und Empfehlungen zur Anpassung

Klimaparameter	Wahrscheinlichkeit der Änderung	Empfehlungen zur Anpassung
Meeresspiegel	Sicher	+0,5 bis +1,0 m bis 2100 im Bereich des privaten Hochwasserschutzes – in Anlehnung an aktuelle Entwicklungen im Bereich des öffentlichen Hochwasserschutzes Zusätzliche Ausbaureserve vorsehen Überflutungsflächen identifizieren Einfluss auf Entwässerungskapazität der Vorfluter und Grundwasserstände identifizieren
Temperatur	Sicher	Hitzebedingte Betriebseinschränkungen insbesondere bei exponierten Stahlbauteilen, z.B. Brücken und Weichen, beachten, ggf. Bauteile kühlen Ggf. Anpassung des Arbeitsschutzes für Mitarbeiter vorsehen Ausfallzeiten infolge hoher Temperaturen einplanen Erhöhten Kühlbedarf für Gebäude, Maschinen und Elektronik berücksichtigen
Starkregen	Wahrscheinlich	Bei Neuplanung Sensitivitätsanalyse durchführen: Bemessungswert +10% Fließwege identifizieren und Starkregengefahrenkarten erstellen Wenn möglich, Schaffung von Rückhaltevolumina Bei Bedarf Schutz von Anlagen vor Oberflächenwasser
Wind	Unsicher	Kein robustes Änderungssignal erkennbar. Daher derzeit keine Empfehlung zur Erhöhung der Bemessungswerte Überprüfung und Training von Sicherheitsmaßnahmen gegen windinduzierte Projektile Ggf. Warnsysteme implementieren
Luft-/ Wasserchemie	Unsicher	Betroffenheit beobachten und dokumentieren

## 9 Seehäfen und Klimaschutz

Umfassende Klimaschutzmaßnahmen führen dazu, dass der erforderliche Aufwand zur Anpassung an den Klimawandel minimiert wird. Auch Seehäfen können und müssen ihren Beitrag zu erforderlichen Klimaschutzmaßnahmen leisten. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine kurze Betrachtung von Klimaschutzmaßnahmen in den am Projekt PortKLIMA beteiligten Seehäfen gegeben.

Die in Seehäfen verursachten Treibhausgas-Emissionen können grundsätzlich den folgenden drei Hauptquellen zugeordnet werden: (1) indirekt aus der Versorgung des Hafens mit Energie, (2) direkt durch hafeneigene Gebäude, Fahrzeuge, Equipment etc. und (3) indirekt durch Dritte, beispielsweise durch Schiffsverkehr oder im Hafen ansässige Betriebe. Merk (2014) schätzt, dass in Industrieländern die Schiffsemissionen (rund 70%) im Vergleich zu Emissionen durch Fahrzeuge und Züge (rund 20%) und weiteres Hafenequipment (rund 5%) den Hauptteil der Emissionen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub) in einem Hafen ausmachen. Die Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr werden nicht den Ländern zugeordnet in denen sie entstehen und fallen daher auch nicht unter die Klimaschutzziele der Bundesregierung, welche sich zum Ziel gesetzt hat, dass Deutschland bis zum Jahr 2050 weitestgehend CO<sub>2</sub>-neutral ist (BMU 2016).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen machen den größten Anteil der THG-Emissionen im Schiffsverkehr aus (91%), dabei beträgt der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen des weltweiten Schiffsverkehrs mit 932 Millionen Tonnen etwa 2,6% der globalen Emissionen (Stand 2015) (Naya Olmer et al. 2017) und liegen damit in der Größenordnung der THG-Emissionen Deutschlands - 2,08% im Jahr 2018<sup>5</sup>. Die steigende Effizienz von Schiffen kann durch mangelnde Auslastung, mehr Fahrtstrecke oder gesteigerte Reisegeschwindigkeit kompensiert werden, so dass trotz steigender CO<sub>2</sub>-Effizienz mehr CO<sub>2</sub> emittiert wird. Es wird erwartet, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem globalen Schiffsverkehr ohne umfassende Maßnahmen zukünftig steigen werden (Naya Olmer et al. 2017). Die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (IMO) der UN, in deren Verantwortung die Regulation des globalen Schiffsverkehrs liegt, hat 2018 eine erste Klimaschutzstrategie mit dem Ziel, den Anstieg der THG-Emissionen des internationalen Seeverkehrs sobald wie möglich zu begrenzen und die THG-Emissionen im Jahr 2050 auf 50% des Niveaus von 2008 zu reduzieren, festgelegt (IMO 2018). Als weltweit größte

---

<sup>5</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179260/umfrage/die-zehn-groessten-c02-emittenten-weltweit/>

Containerschiff-Reederei<sup>6</sup> hat APM-Mærsk 2018 erklärt, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu sein<sup>7</sup>. Grundsätzlich sind darüber hinaus auch politische Maßnahmen wie Mindeststandards für Treibstoffe oder Vorschriften über die Reduzierung von Fahrgeschwindigkeiten denkbar. Küstenstaaten können diese Maßnahmen an den Zugang zu ihren Häfen binden. Bei solchen regional begrenzten Maßnahmen besteht jedoch die Gefahr des wirtschaftlichen Nachteils und der vergleichsweise geringen Wirkungsweise (Lange et al. 2019). Sinnvoller ist daher die Umsetzung von politischen Maßnahmen auf internationaler Ebene der International Maritime Organization (IMO).

Auf einen Großteil der im Hafen anfallenden Emissionen haben die Häfen selbst also nur indirekt Zugriff, da die Verantwortung hier bei politischen Entscheidungsträgern und den Reedern liegt. Nichtsdestotrotz können Häfen grundsätzlich Anreize schaffen, dass Reeder umweltfreundlichere Schiffe einsetzen, indem sie günstigere Hafengebühren für diese Schiffe erheben. Ähnlich wie es bereits in einigen Häfen anhand des Environmental Ship Index (ESI)<sup>8</sup> geschieht - dieser bezieht sich jedoch vor allem auf die Verringerung von Luftschadstoffen wie NO<sub>x</sub> und SO<sub>x</sub>. Ein für die Reduzierung von THG-Emissionen wirksames Mittel wäre die Berücksichtigung des Energy Efficiency Design Index (EEDI). Niedersachsen-Ports bietet bereits für Schiffe mit klimaschonenderem Treibstoff Vergünstigungen bei den Hafengebühren an<sup>9</sup>. Der EEDI wurde 2013 von der IMO eingeführt und besagt, dass Schiffe, die zwischen 2015 und 2019 gebaut wurden, 10% effizienter als Schiffe aus den Jahren 2000-2010 sein müssen. Schiffe, welche ab 2025 gebaut werden, müssen relativ zu 2000-2010 bereits 30% effizienter sein.<sup>10</sup> Nach Smith et al. (2016) können so jedoch bis 2050 nur etwa 3% der kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. Langfristig müssen daher innovative Antriebe und CO<sub>2</sub>-arme bzw. CO<sub>2</sub>-neutrale Kraftstoffe genutzt werden, um die Klimaneutralität des internationalen Seeverkehrs zu erreichen (Naya Olmer et al. 2017). Eine Allianz zwischen dem 'Global Maritime Forum'<sup>11</sup> und den 'Friends of Ocean action'<sup>12</sup> sowie dem Weltwirtschaftsforum hat im Jahr 2019 die 'Getting to Zero Coalition' gegründet, um die Entwicklung von CO<sub>2</sub>-neutralen Seeschiffen zu fördern, so dass

---

<sup>6</sup> <https://alphaliner.axsmarine.com/PublicTop100/>.

<sup>7</sup> <https://www.maersk.com/news/2018/12/04/maersk-sets-net-zero-co2-emission-target-by-2050>.

<sup>8</sup> <https://www.environmentalshipindex.org/Public/Home>

<sup>9</sup> [https://www.nports.de/media/Unternehmen/Nachhaltigkeit/NPorts\\_Nachhaltigkeitsbericht\\_2019.pdf](https://www.nports.de/media/Unternehmen/Nachhaltigkeit/NPorts_Nachhaltigkeitsbericht_2019.pdf)

<sup>10</sup> [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203\(62\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203(62).pdf)

<sup>11</sup> <https://www.globalmaritimeforum.org/>

<sup>12</sup> <https://www.weforum.org/friends-of-ocean-action>

---

diese ab dem Jahr 2030 zur Verfügung stehen.<sup>13</sup> Die Häfen können insofern ihren Beitrag zu einer klimaneutralen Seeschifffahrt leisten, indem sie die Versorgung mit Landstrom und perspektivisch die Bereitstellung erforderlicher Treibstoffe ermöglichen. Eine aktuelle politische Initiative des Bund zur Förderung der Installation von Landstromanlagen sowie der Verringerung der EEG-Umlage beim Nutzen von Landstrom soll den Einsatz von Landstrom fördern.<sup>14</sup>

Das von Pacala und Socolow (2004) entwickelte Konzept eines Portfolios an erprobten Maßnahmen des Klimaschutzes, sogenannten 'Stabilisierungskeilen', birgt das Potential zu einer wirkungsvollen Gesamtreduzierung der Treibhausgas-Emissionen. Auch für Seehäfen steht bereits ein breites Portfolio an erprobten Klimaschutzmaßnahmen bereit, um kurzfristig die THG-Emissionen zu senken. Der Fokus der Möglichkeiten liegt dabei auf (1) Verringerung des Energiebedarfs durch Steigerung der Energieeffizienz und Optimierung von Prozessen und (2) Verwendung von Erneuerbaren Energien. Die im Projekt PortKLIMA beteiligten Häfen betreiben Klimaschutz mindestens auf Grundlage von zertifizierten Umweltmanagementsystemen (DIN EN ISO 14001, EMAS oder PERS). Einige der im Projekt beteiligten Häfen haben darüber hinaus bereits konkrete Klimaschutzziele für die Zukunft festgelegt. Beispielsweise ist die Hafenmanagementgesellschaft bremenports seit 2012 CO<sub>2</sub>-neutral, für die gesamte in ihrem Zuständigkeitsbereich liegende Hafeninfrastruktur plant sie bis zum Jahr 2024 CO<sub>2</sub>-neutral zu sein.<sup>15</sup> Die HPA hat zum Ziel ihre CO<sub>2</sub>- Emissionen bis 2020 um 40% und bis 2050 um mindestens 80% relativ zu 1990 zu senken sowie den Energieverbrauch bis 2025 um 5% zu senken.<sup>16</sup> Dabei bleibt es jedoch bisher nicht aus, noch bestehende THG-Emissionen durch Klimazertifikate auszugleichen (vgl.<sup>15,16</sup>). Nicht alle Bereiche eines Hafens können kurzfristig klimaneutral agieren. Vor allem wenn fossile Brennstoffe eingesetzt werden, erfordert eine Umstellung Zeit, finanzielle Mittel und teilweise technologischen Fortschritt, da aktuell keine wirtschaftlich vertretbaren Lösungen vorliegen. Um konkrete Klimaziele zu setzen, müssen notwendigerweise die THG-Emissionen bilanziert werden - bspw. nach dem Greenhouse Gas Protocol (GHG) oder der DIN EN ISO 14064 -, was aktuell nicht von allen im Projekt beteiligten Seehäfen praktiziert wird.

---

<sup>13</sup> <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition>

<sup>14</sup> <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Bund-will-Landstrom-mit-140-Millionen-Euro-foerdern,landstrom208.html>

<sup>15</sup> <https://bremenports.de/greenports/wp-content/uploads/sites/3/2019/05/greenports-Broschuere-2019.pdf>

<sup>16</sup> [https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user\\_upload/191129\\_HPA\\_NHB\\_2017\\_2018\\_gesamtBericht\\_DE.pdf#297x210\\_HPA\\_NH\\_B\\_2017\\_2018\\_gesamtBericht\\_DE.indd%3A.84348%3A624](https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user_upload/191129_HPA_NHB_2017_2018_gesamtBericht_DE.pdf#297x210_HPA_NH_B_2017_2018_gesamtBericht_DE.indd%3A.84348%3A624)

Neben dem Hafenmanagement ist der Terminalbetrieb eine weitere wichtige Stellschraube zur Reduktion der THG-Emissionen in Seehäfen. Auch hier bestehen bereits kurz- und langfristige Klimaziele von Terminalbetreibern. EUROGATE, ein Betreiber von Terminals in Bremerhaven, Hamburg und Wilhelmshaven, hat sich zum Ziel gesetzt bis 2020 relativ zu 2008 pro bewegten Container den Energieverbrauch um 20% und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25% zu senken.<sup>17</sup> Die Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) hat das Ziel, bis spätestens 2040 klimaneutral zu sein.<sup>18</sup> Die HHLA betreibt in Hamburg Altenwerder zudem den ersten klimaneutralen Container-Terminal Deutschlands - in einigen Bereichen ist aktuell jedoch noch die Kompensation von Emissionen mit Klimazertifikaten notwendig.

Eine Übersicht von Klimaschutzmaßnahmen, welche in den am Projekt PortKLIMA beteiligten Seehäfen bereits umgesetzt werden, zeigt Tabelle 26. Eine einfache und effektive Maßnahme ist die Umstellung auf Öko-Strom und die Beziehung von Klimazertifikaten zur Kompensation von Emissionen. Die HPA konnte so beispielsweise 2016 56% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Unternehmens einsparen.<sup>19</sup> Das Beziehen von Klimazertifikaten ist allerdings langfristig keine nachhaltige Lösung. Häfen sind aufgrund ihrer Lage und Struktur grundsätzlich gut geeignet erneuerbare Energien, vor allem Wind und Photovoltaik, selbst zu produzieren. Wird der Strom aktuell nicht gebraucht, kann er ins Netz eingespeist werden oder perspektivisch für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe bzw. Wasserstoff genutzt werden. Ein aktuelles Pilotprojekt in diesem Bereich ist das Projekt WASH<sub>2</sub>Emden<sup>20</sup>. Der Terminalbetreiber EUROGATE hat 2018 13,4% des Strombedarfs aus eigenerzeugten Erneuerbaren Energien gedeckt.<sup>21</sup> Durch die Umstellung auf Öko-Strom fallen zudem auf den Terminals für alle elektrifizierten Fahrzeuge bzw. Krananlagen keine Emissionen mehr an. Da der Container Terminal in Altenwerder bereits zum großen Teil mit elektrifizierten Geräten betrieben wird, konnten so durch die Kompensation der restlichen Emissionen, welche vor allem durch die teilweise noch mit Diesel betriebenen Fahrzeuge erzeugt werden, die Klimaneutralität des Terminals erreicht werden. Die Umstellung auf eine vollständige Elektrifizierung ist geplant bzw. in der Erprobung.<sup>22</sup> Zudem werden Hybrid-Loks und Leicht-

<sup>17</sup> [http://www1.eurogate.de/content/download/8941/101063/version/5/file/Eurogate\\_NHB+Update\\_Flyer\\_190809\\_safe.pdf](http://www1.eurogate.de/content/download/8941/101063/version/5/file/Eurogate_NHB+Update_Flyer_190809_safe.pdf)

<sup>18</sup> <https://hlla.de/unternehmen/verantwortung/oekologie>

<sup>19</sup> [https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user\\_upload/HPA\\_Nachhaltigkeitsbericht\\_DE\\_WEB\\_EINZEL.pdf](https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user_upload/HPA_Nachhaltigkeitsbericht_DE_WEB_EINZEL.pdf)

<sup>20</sup> <https://sustainableworldports.org/project/niedersachsen-ports-wash2emden-project/>

<sup>21</sup> [http://www1.eurogate.de/content/download/8941/101063/version/5/file/Eurogate\\_NHB+Update\\_Flyer\\_190809\\_safe.pdf](http://www1.eurogate.de/content/download/8941/101063/version/5/file/Eurogate_NHB+Update_Flyer_190809_safe.pdf)

<sup>22</sup> <https://cta-klimaneutral.de/index.html>

Waggons im Bereich der Gleise eingesetzt, weil dort aufgrund der Kräne keine Oberleitungen angebracht werden können.

Tabelle 26: Recherchierte Klimaschutzmaßnahmen in am Projekt beteiligten Seehäfen sowie weitere Maßnahmen in Seehäfen weltweit (w)

Maßnahme
Monitoring der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Hafen
Umweltindex für Seeschiffe und Vorteile bei Hafengebühren für emissionsarme Schiffe
Entwicklung von Konzepten für die Bereitstellung, das Lagern und Betanken von umweltschonendem Flüssiggas als Treibstoff für die Schifffahrt.
Ausbau der Hafenbahninfrastruktur zur Förderung der Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Bahn
Optimierung Anschluss an ÖPNV für umweltfreundlichen Pendlerverkehr
Einsatz von Wasserinjektionsverfahren statt Nassbaggerei
Recycling von Nassbaggergut
Landstromversorgung
Umrüstung auf energieeffiziente Hafenbeleuchtung
Optimierung der Beleuchtungssteuerung an Terminals
Fahrstreckenoptimierung des Verladebetriebs im Hafen
Automatisierung des Güterumschlags, energieeffizientere Prozesse
Nutzung der kinetischen Energie beim Umschlag mit Containerbrücken und Hubwagen durch Speicherkondensatoren
Umrüstung des Fuhrparks und der Terminalfahrzeuge auf E-Fahrzeuge und abgasärmere Fahrzeuge
Laden von E-Terminalfahrzeugen nur bei Spannungsspitzen im Netz
Stromanschlüsse für LKWs mit Kühlcontainern für Standzeiten
Schulung der Mitarbeiter auf ökologisches Fahren
Absorbertechniken, sowie Aspirations- und Kompressorsysteme und spezielle Behandlung der Güter bei Umschlag und Lagerung von Massengütern
Beziehen von Ökostrom
Nutzung von Solarenergie
Nutzung von Windenergie
Betreiben von Blockheizkraftwerken
Bürogebäude nach Niedrigenergiestandard
'Green IT'
Wärmeverbundnetz zwischen Industriebetrieben
Geschwindigkeitsreduzierung der einfahrenden und ausfahrenden Schiffe (w)
Waste-to-Chemicals-Anlage zur Umwandlung von Abfall in Synthesegas und dann zu sauberem Methanol für die chemische Industrie und die Transportbranche (w)
Betrieb einer energieneutralen Hafenschleuse durch Wasserturbinen und Generatoren (w)

In vielen Häfen werden hingegen noch dieselbetriebene Umschlags- und Flurfördergeräte eingesetzt. Mit diesel-elektrifizierten und hybriden Antrieben stehen bereits heute energieeffiziente Lösungen zur Verfügung, welche jedoch immer noch Emissionen verursachen. Insbesondere vollständig elektrifizierte, batteriebetriebene Umschlags- und Flurfördergeräte unterliegen aktuell noch einer starken technologischen Entwicklung. Mit Blick auf die durchschnittlichen Lebensdauern von Umschlags- und Flurfördergeräten wird ersichtlich, dass die Geräte mit Lebensdauern von maximal 10-20 Jahren nach und nach ausgetauscht werden können. Die Hersteller erwarten, dass in der unmittelbaren Zukunft der

Umschlag in entwickelten Märkten vollständig elektrifiziert erfolgen wird. Hierfür sind jedoch umfassende Investitionen in die Stromversorgung notwendig.<sup>23</sup>

Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung des Energieträgers Wasserstoff. Die Verwendung von Wasserstoff hat den Vorteil, unabhängiger von Batterieleistung bzw. Batteriekapazität oder Ladezeit zu sein. Ein Nachteil stellt jedoch der schlechte Wirkungsgrad dar. Der Einsatz von Wasserstoff wird in Pilotstudien in Valencia<sup>24</sup> sowie den Häfen Los Angeles und Long Beach<sup>25</sup> getestet. Im Konzept des Hafens Rotterdam zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-neutralen Hafens im Jahr 2050 ist die Nutzung von Wasserstoff fest vorgesehen<sup>26</sup>. Um einen klimaneutralen Treibstoff zu gewinnen, müssen für die Erzeugung jedoch ausreichend Erneuerbare Energien zu Verfügung stehen.

Die Motoren der hafeneigenen Schiffsflotte, wie beispielsweise Schlepper, müssen perspektivisch ebenfalls auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden. Die Umstellung auf alternative Antriebe erfordert neben den Investitionen in die Geräte den Aufbau der zugehörigen Versorgungsinfrastruktur. Alle klimaneutralen Antriebe unterliegen darüber hinaus der Herausforderung, dass sie wirtschaftlichen und operativen Ansprüchen genügen müssen. Förderprogramme können bei der Entwicklung von Technologien und der Durchführung erforderlicher Investitionen unterstützend wirken. Zudem kann die CO<sub>2</sub>-Bepreisung dazu beitragen, dass heute noch unwirtschaftliche Antriebstechniken zukünftig wirtschaftlich werden. Aus gutem Grund fordert der Zentralverband der deutschen Seehafenbetriebe e.V. in seinem Positionspapier zum 'Umwelt- und Klimaschutz in deutschen Seehäfen' ein Förderprogramm für energieeffiziente schwere Nutzfahrzeuge sowie die Förderung der Elektromobilität im Hafenumschlag und Hafentransport (ZDS 2017).

Tabelle 27: Wirtschaftliche Lebensdauer von Umschlagsgeräten

Gerät	Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer (Jahre)
Containerbrücke	20 <sup>2</sup>
Mobilkran	15 <sup>2</sup>
Portalhubwagen	6 <sup>1</sup> ; 5-10 <sup>2</sup>
Reach Stacker	10 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> Wenzel und Treptow (2013); <sup>2</sup> Thoresen (2010)	

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bedeutung des Themas Klimaschutz von Seiten der Hafenmanagementgesellschaften deutlich erfasst wurde und teilweise bereits konkrete Konzepte erstellt und Maßnahmen umgesetzt wurden. Es ist anzumerken, dass

<sup>23</sup> [https://www.kalmarglobal.com/48e087/globalassets/newsroom/kalmar\\_whitepaper\\_reducing-air-emissions-in-a-container-terminal\\_web.pdf](https://www.kalmarglobal.com/48e087/globalassets/newsroom/kalmar_whitepaper_reducing-air-emissions-in-a-container-terminal_web.pdf)

<sup>24</sup> <https://sustainableworldports.org/project/port-of-valencia-h2ports/>

<sup>25</sup> <https://www.portoflosangeles.org/environment/air-quality/zero-emissions-technologies>

<sup>26</sup> <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/port-of-the-future/energy-transition/carbon-neutral>

nicht alle Hafenmanagementgesellschaften konkrete Ziele formuliert haben und Klimaschutz derzeit auf Grundlage von Umweltmanagement bzw. Energieaudits vollziehen. Die erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen sind neben technologischen bzw. operativen Anforderungen die beschränkenden Faktoren bei der Implementierung von Maßnahmen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Managementgesellschaften, welche sich konkrete Klimaziele gesetzt haben, diese auch erreichen können. Zu der diesbezüglichen Situation bei Terminalbetreibern und anderen Dritten kann auf Basis der vorliegenden Recherchen keine zusammenfassende Aussage getroffen werden.

## 10 Fazit

Als Knotenpunkte im Welthandel haben Seehäfen eine zentrale Bedeutung. An der Schnittstelle zwischen Wasser und Land werden Seehäfen insbesondere vom Meeresspiegelanstieg betroffen sein, aber auch andere Extremwetterereignisse wie Starkwind und Starkniederschlag sowie Hoch- und Niedrigwassersituationen sowie deren Auswirkungen auf die gesamte Logistikkette werden zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Anpassung von Seehäfen an die Folgen des Klimawandels ist somit als dauerhafte und zumindest teilweise auch bereits heute akute Aufgabe zu sehen.

Ein mögliches Vorgehen zur Anpassung von Seehäfen an die Folgen des Klimawandels ist unter anderem im PIANC-Leitfaden zur Klimawandelanpassung von Häfen (PIANC 2020) dargestellt. Trotz erst allmählich auftretender Klimaänderungen und bestehender Unsicherheiten bezüglich der Klimawandelfolgen ist mit dem PIANC-Leitfaden ein bereits heute umzusetzender Handlungsrahmen abgesteckt, welcher sich aktuell insbesondere auf die Bewertung der Risiken, daraus abzuleitenden Anpassungsstrategien sowie geeigneten Monitoringsystemen zur Evaluation der eigenen Betroffenheit bezieht. Insbesondere bei der Neuplanung von Anlagen mit langen Standzeiten sind bereits heute entsprechende Klimazuschläge erforderlich.

Noch besteht die Möglichkeit, die Folgen des Klimawandels auf ein für Seehäfen erträgliches Maß zu begrenzen. Auch Seehäfen in Deutschland müssen ihren Beitrag dazu leisten, indem sie den Klimaschutz in ihren Häfen voranbringen. Andernfalls können perspektivisch erhebliche Anpassungskosten und betriebliche Ausfallzeiten auf Seehäfen in Deutschland zukommen. In diesem Zusammenhang verdeutlicht die Auseinandersetzung mit den Folgen des Klimawandels die Bedeutung von Klimaschutzmaßnahmen, deren Wirkung maßgeblich von einer sofortigen Umsetzung profitiert.

Um den Erkenntnisgewinn bzw. den aktuellen Wissensstand in die Praxis zu kommunizieren, ist ein andauernder Wissenstransfer von großer Bedeutung. Informationen sollten möglichst zentral, jedoch mit regionalem Bezug, verfügbar sein und zielgruppenspezifisch aufbereitet werden. Die Einbindung von Fachverbänden und regelsetzenden Organen unterstützt Fachplaner, welche über das technische Knowhow von möglichen Anpassungsmaßnahmen verfügen, darin, die Anpassung an den Klimawandel angemessen zu berücksichtigen. Die vorausschauende Auseinandersetzung mit der Thematik Klimawandelanpassung beinhaltet

zudem das Potential, Fragestellungen zu identifizieren und so frühzeitig einen Wissenstransfer zwischen Forschung und Anwendung zu initiieren.



Prof. Dr.-Ing. Bärbel Koppe



Dipl.-Ing. Lena Lankenau

## 11 Literaturverzeichnis

Arns, A.; Dangendorf, S.; Jensen, J.; Talke, S.; Bender, J.; Pattiaratchi, C. (2017): Sea-level rise induced amplification of coastal protection design heights. In: *Scientific reports* 7, S. 40171. DOI: 10.1038/srep40171.

Bartels, H. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland. KOSTRA. Offenbach am Main: Dt. Wetterdienst.

Baumgärtner, J. (2020): Klimawandel und dessen Auswirkungen in norddeutschen Häfen: Eine GIS gestützte Risikoanalyse. Masterthesis. RWTH Aachen, Aachen.

Becker, A.; Inoue, S.; Fischer, M.; Schwegler, B. (2012): Climate change impacts on international seaports. Knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators. In: *Climatic Change* 110 (1-2), S. 5–29. DOI: 10.1007/s10584-011-0043-7.

Becker, P.; Becker, A.; Dalelane, C.; Deutschländer, T.; Junhändel, T.; Walter, A. (2016): Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland. Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20160719\\_entwicklung\\_starkniederschlag\\_deutschland.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20160719_entwicklung_starkniederschlag_deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Berg, Peter; Moseley, Christopher; Haerter, Jan O. (2013): Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. In: *Nature Geosci* 6 (3), S. 181–185. DOI: 10.1038/ngeo1731.

BMVI (2015): KLIWAS. Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVI. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter [https://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Service/Downloads/Publicationen/abschlussbericht.pdf;jsessionid=D86359015CADD21BC88AD4862A7AD96.liv\\_e21302?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Service/Downloads/Publicationen/abschlussbericht.pdf;jsessionid=D86359015CADD21BC88AD4862A7AD96.liv_e21302?__blob=publicationFile).

Bundesfinanzministerium (2020): AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig 'Hafenbetriebe'. Online verfügbar unter [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle\\_Hafenbetriebe.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Hafenbetriebe.html).

BMU (2016): Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt und Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf).

Chhetri, P. (2013): Functional resilience of port environs in a changing climate. Assets and operations : work package 2 of Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series. Gold Coast, Queensland: National Climate Change Adaptation Research Facility (Enhancing the resilience of seaports to a changing climate, Work package 2).

Ciavarella, A.; Cotterill, D.; Stott, P.; Kew, S.; Philip, S.; van Oldenborgh, G. J. et al. (2021): Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. In: *Climatic Change* 166 (1-2), S. 6995. DOI: 10.1007/s10584-021-03052-w.

Clark, I. C. (2009): Principles and practice. London: The Nautical Institute (Mooring and anchoring ships, 1).

---

Committee on Climate Change (2017): UK Climate Change Risk Assessment 2017. Evidence Report. Online verfügbar unter <https://www.theccc.org.uk/uk-climate-change-risk-assessment-2017/>.

de Winter, R. C.; Sterl, A.; Ruessink, B. G. (2013): Wind extremes in the North Sea Basin under climate change. An ensemble study of 12 CMIP5 GCMs. In: *J. Geophys. Res. Atmos.* 118 (4), S. 1601–1612. DOI: 10.1002/jgrd.50147.

Dethloff, K.; Rinke, A.; Handorf, D.; Jaiser, R.; Dorn, W.; Sommerfeld, A. (2018): Regionale und globale Wechselwirkung zwischen arktischem Meereis und der atmosphärischen Zirkulation. In: Jörg Rapp und Burghard Brümmer (Hg.): *Atmosphärische Prozesse im arktischen Klimasystem*. Offenbach/M: Deutscher Wetterdienst Fachinformationsstelle und Deutsche Meteorologische Bibliothek (Promet, Heft 102 (2018)).

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2010): *Klimawandel - Herausforderungen und Lösungsansätze für die deutsche Wasserwirtschaft*. [Stand] Mai 2010. Hennef: DWA (DWA-Themen).

Deutsches Klima Konsortium; Konsortium Deutsche Meeresforschung e.V. (2019): *Zukunft der Meeresspiegel. Fakten und Hintergründe aus der Forschung*. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Publikationen\\_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf](https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf).

Dreier, N.; Schlamkow, C.; Fröhle, P.; Salecker, D.; Xu, Z. (2015): ASSESSMENT OF CHANGES OF EXTREME WAVE CONDITIONS AT THE GERMAN BALTIC SEA COAST ON THE BASIS OF FUTURE CLIMATE CHANGE SCENARIOS. In: *Journal of Marine Science and Technology*, 23 (6), S. 839–845. DOI: 10.6119/JMST-015-0609-3.

DWA (2009): *Abwasserableitung. Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung*. Weiterbildendes Studium 'Wasser und Umwelt' Bauhaus-Universität Weimar. 2., unveränd. Aufl. Weimar: Univ.-Verl.

DWA (2013): *Starkregen und urbane Sturzfluten. Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge*. August 2013. Hennef: DWA Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V (DWA-Themen, 2013,1).

DWD (2020a): *KOSTRA-DWD Rasterdaten*. Online verfügbar unter [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/return\\_periods/precipitation/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/return_periods/precipitation/).

DWD (2020b): *Nationaler Klimareport. Klima - Gestern, heute und in der Zukunft*. 4. korrigierte Auflage. Deutscher Wetterdienst. Potsdam. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/download\\_report\\_aufgabe-4.pdf;jsessionid=D14053FF815C10202799ED32DD480CE0.live31091?\\_blob=publicationFile&v=11](https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/download_report_aufgabe-4.pdf;jsessionid=D14053FF815C10202799ED32DD480CE0.live31091?_blob=publicationFile&v=11).

DIN 1055-4, 1986-08: *Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken*.

DIN 1055-4, 2005-03: *Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten*.

DIN EN 752, 2017-07: *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement*.

DIN EN 1986-100, 2016-12: *Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056*.

- 
- DIN EN 1990/NA/A1, 08-2012: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1.
- DIN EN 1991-1-4, 2010: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.
- DWA-Arbeitsblatt 118, 2006: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.
- EAU (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen' - Häfen und Wasserstraßen EAU 2004. Hafenbautechnische Gesellschaft e.V., Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.. 10. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn.
- EAU (2012): Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen'. Häfen und Wasserstraßen EAU 2012. Hafenbautechnische Gesellschaft e.V., Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.. 11. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn.
- EAU (2020): Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen' Häfen und Wasserstraßen EAU 2020. Hafenbautechnische Gesellschaft e.V., Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.. 12. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn.
- EC Directorate-General Climate Action (2011): Non-Paper – Guidelines for Project Managers: Making Vulnerable Investments Climate Resilient. Hg. v. European Commission. Online verfügbar unter <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/guidances/non-paper-guidelines-for-project-managers-making-vulnerable-investments-climate-resilient/guidelines-for-project-managers.pdf>.
- European Environment Agency (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EEA report, no 2017,1). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>.
- Ganske, A. (2019): Analyse von Windfeldergebnissen auf See und an der Küste aus regionalen gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Klimamodellen.
- Gaslikova, L.; Grabemann, I.; Groll, N. (2013): Changes in North Sea storm surge conditions for four transient future climate realizations. In: *Nat Hazards* 66 (3), S. 1501–1518. DOI: 10.1007/s11069-012-0279-1.
- Gaythwaite, J. W. (2004): Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels. 2nd ed. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Grabemann, Iris; Groll, Nikolaus; Möller, Jens; Weisse, Ralf (2015): Climate change impact on North Sea wave conditions. A consistent analysis of ten projections. In: *Ocean Dynamics* 65 (2), S. 255–267. DOI: 10.1007/s10236-014-0800-z.
- Gräwe, U.; Burchard, H. (2012): Storm surges in the Western Baltic Sea. The present and a possible future. In: *Clim Dyn* 39 (1-2), S. 165–183. DOI: 10.1007/s00382-011-1185-z.
- Groll, N.; Grabemann, I.; Hünicke, B.; Meese, M. (2017): Baltic Sea wave conditions under climate change scenarios. In: *Boreal Env. Res.* 22, S. 1–12.
- Groll, N.; Weisse, R.; Behrens, Arno; Günther, H.; Möller, J. (2014): Berechnung von Seegangsszenarien für die Nordsee. Helmholtz-Zentrum Geesthacht; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-64/2014).
- Hausfather, Z.; Peters, G. P. (2020): Emissions - the 'business as usual' story is misleading. In: *Nature* 577 (7792), S. 618–620. DOI: 10.1038/d41586-020-00177-3.

---

Helmholtz-Zentrum Hereon (2021a): Norddeutscher Klimaatlas. Online verfügbar unter <https://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>.

Helmholtz-Zentrum Hereon (2021b): Norddeutscher Klimamonitor. Online verfügbar unter <https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/>.

Helmholtz-Zentrum Hereon (2021c): Sturmflut Monitor. Online verfügbar unter <https://www.sturmflutmonitor.de/>.

Hoagland-Grey, H. (2015): Climate Change Risk Management Options for the Transportation Sector. Hg. v. Inter-American-Development Bank. Online verfügbar unter <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Climate-Change-Risk-Management-Options-for-the-Transportation-Sector.pdf>.

IACS (2020): Chain Anchoring, Mooring and Towing Equipment. Rev. 4. IACS. London (No. 10).

IMO (2018): Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG Emissions from Ships and Existing IMO Activity related to reducing GHG Emissions in the shipping sector. Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue. International Maritime Organization (IMO). Online verfügbar unter [https://unfccc.int/sites/default/files/resouce/250\\_IMO%20submission\\_Talanoa%20Dialogue\\_April%202018.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resouce/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf).

IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Hg. v. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, et al. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/srocc/>.

IPCC (2021): Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger et al. Cambridge University Press.

Jensen, J.; Mudersbach, C. (2004): Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten. In: G. Gönnert, H. Graßl, D. Kellertat, H. Probst, H. von Storch und J. Sündermann (Hg.): Klimaänderung und Küstenschutz, 29. und 30. 11. 2004.

Junghänel, T.; Ertel, H.; Deutschländer, T. (2017): KOSTRA-DWD-2010R. Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Hg. v. DWD. Offenbach am Main. Online verfügbar unter [https://rcccm.dwd.de/DE/leistungen/kostra\\_dwd\\_rasterwerte/download/bericht\\_revision\\_kostra\\_dwd\\_2010.pdf;jsessionid=9957299313A496CFCCFFD7FDAF67ABFF.live11041?blob=publicationFile&v=7](https://rcccm.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/download/bericht_revision_kostra_dwd_2010.pdf;jsessionid=9957299313A496CFCCFFD7FDAF67ABFF.live11041?blob=publicationFile&v=7).

Kind, C.; Terenzi, A.; Hauer, M. (2021): Adaptation Standard: Analyse bestehender Normen auf Anpassungsbedarfe bezüglich Folgen des Klimawandels. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Climate Change, 56/ 2001).

Klein, B.; Seiffert, R.; Gräwe, U.; Klein, H.; Loewe, P.; Möller, J. et al. (2018): Deutsche Bucht mit Tideelbe und Lübecker Bucht. In: H. von Storch, I. Meinke und M. Claußen (Hg.): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Kunz, M.; Mohr, S.; Werner, P. (2017): Niederschlag. In: G. P. Brasseur, D. Jacob und S. Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

- Lang, A.; Mikolajewicz, U. (2020): Rising extreme sea levels in the German Bight under enhanced CO<sub>2</sub> levels: a regionalized large ensemble approach for the North Sea. In: *Clim Dyn* 55 (7-8), S. 1829–1842. DOI: 10.1007/s00382-020-05357-5.
- LAWA (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Erfurt. Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen\\_1552292818.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen_1552292818.pdf).
- Lehmann, J.; Coumou, D.; Frieler, K. (2015): Increased record-breaking precipitation events under global warming. In: *Climatic Change* 132 (4), S. 501–515. DOI: 10.1007/s10584-015-1434-y.
- Mai, S.; Zimmermann, C. (2004): Veränderungen der Seegangsbedingungen an den Küsten von Jade und Weser als Folge der Klimaänderung. In: G. Schernewski und T. Dolch (Hg.): Geographie der Meere und Küsten. Coastline Reports (1), S. 93–100.
- Malitz, G. (2005): KOSTRA-DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000). Grundlagenbericht. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/kooperationen/kostra/grundlagenbericht\\_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/kooperationen/kostra/grundlagenbericht_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=3).
- Malitz, G.; Ertel, H. (2015): KOSTRA-DWD-2010. Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Abschlussbericht. DWD. Offenbach am Main. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra\\_dwd\\_rasterwerte/download/bericht\\_kostra\\_dwd\\_2010\\_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=9](https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/download/bericht_kostra_dwd_2010_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=9).
- Mawdsley, R. J.; Haigh, I. D.; Wells, N. C. (2015): Global secular changes in different tidal high water, low water and range levels. In: *Earth's Future* 3 (2), S. 66–81. DOI: 10.1002/2014EF000282.
- Meier, H. M. E. (2015): Projected Change - Marine Physics. In: The BACC II Author Team (Hg.): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Cham: Springer.
- Nilson, E.; Astor, B.; Bergmann, L.; Fischer, H.; Fleischer, C.; Hämmerle, M. et al. (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge. Schlussbericht des Schwerpunktes Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.
- MELUND (2013): Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein. Fortschreibung 2012. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Kiel. Online verfügbar unter: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf?blob=publicationFile&v=1>.
- MLUV (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern. Übersichtsheft. Grundlagen, Grundsätze, Standortbestimmung und Ausblick. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. Online verfügbar unter: <https://www.stalu-mv.de/serviceassistent/download?id=1639581>.
- NLWKN (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/ Bremen. Festland. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Norden. Online verfügbar unter: [https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/22925/Generalplan\\_Kuestenschutz\\_Niedersachsen\\_Bremen\\_Teil\\_1\\_-\\_Festland.pdf](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/22925/Generalplan_Kuestenschutz_Niedersachsen_Bremen_Teil_1_-_Festland.pdf).
- Norpoth, M.; Patzwahl, R.; Seiffert, R.; Bergmann, L.; Forbriger, M.; Hänsel, S. et al. (2020): Konzeptionelle Beiträge zur Auseinandersetzung mit der Anpassung des

---

Bundesverkehrssystems an den Klimawandel. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Anpassungsoptionen (SP-107) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks.

OCIMF (2009): Mooring equipment guidelines. MEG3. 3rd. ed., repr. Livingston: Witherby Seamanship Int.

OECD/ ITF (2017): ITF Transport Outlook 2017. OECD Publishing. Paris. Online verfügbar unter [https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2017\\_9789282108000-en](https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2017_9789282108000-en).

PIANC (1995): Criteria for movements of moored ships in harbours. Report of Working Group 24 of the Permanent Technical Committee II. Brussels: PIANC (Bulletin, 88 Suppl).

PIANC (2020): Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways. EnviCom WG Report No.178. Brüssel, Belgien.: PIANC Secrétariat Général. Online verfügbar unter <https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178>.

Půčik, T.; Groenemeijer, P.; Rädler, A. T.; Tijssen, L.; Nikulin, G.; Prein, A. F. et al. (2017): Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. In: *J. Climate* 30 (17), S. 6771–6794. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0777.1.

Rasquin, C.; Seiffert, R.; Wachler, B.; Winkel, N. (2020): The significance of coastal bathymetry representation for modelling the tidal response to mean sea level rise in the German Bight. In: *Ocean Sci.* 16 (1), S. 31–44. DOI: 10.5194/os-16-31-2020.

Rauthe, M.; Brendel, C.; Helms, M.; Lohrengel, A.-F.; Meine, I.; Nilson, E. et al. (2020): Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext Hochwasser. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hochwassergerfahren (SP-103) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNRM2020.2020.04.

Reinhold, F. (1940): Regenspenden in Deutschland. Grundwerte für die Entwässerungstechnik. GE 1940. Berlin (56).

Schröder, A.; Hirschfeld, J.; Fritz, S. (2013): Auswirkungen des Klimawandels auf die deutschen Ostseehäfen. Ergebnisse einer Befragung der Hafenbehörden. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (RADOST-Berichtsreihe, Bericht Nr. 23).

Schrum, C.; Lowe, J.; Meier, H. E. M.; Grabemann, I.; Holt, J.; Mathis, M. et al. (2016): Projected Change—North Sea. In: F. Colijn und M. Quante (Hg.): North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies. Cham: Springer, S. 175–217.

Seiffert, R.; Hesser, F.; Büscher, A.; Fricke, B.; Holzwarth, I.; Rudolph, E. et al. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Küste und die Ästuare. Mögliche Betroffenheiten der Seeschiffahrtsstraßen und Anpassungsoptionen hinsichtlich der veränderten Hydrodynamik und des Salz- und Schwebstofftransports. Schlussbericht KLIWAS-Projekte 2.04/ 3.02 (KLIWAS Schriftenreihe, 36/2014).

Siefer, T.; Schütze, C.; Strohbach, M. (2018): Untersuchung der Regelwerke für den Bahnbetrieb auf Schwachstellen hinsichtlich des zu erwartenden Klimawandels. Teil A, Los 1 - Infrastruktur. EBA-Forschungsbericht 2018-08. Hg. v. Eisenbahn-Bundesamt. Bonn.

Standards Australia AS 5334-2013, 2013: Climate Change Adaptation for Settlements and Infrastructure – A Risk Based Approach. Online verfügbar unter [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/as-5334-2013-119943\\_SAIG\\_AS\\_AS\\_251367/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/as-5334-2013-119943_SAIG_AS_AS_251367/).

Storch, H. von; Meinke, I.; Claußen, M. (Hg.) (2018): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin,

---

Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-55379-4>.

Thoresen, C. A. (2018): Port designer's handbook. Fourth edition. London: ICE Publishing.

Thoresen, Carl A. (2010): Port designer's handbook. 2. ed. London: Telford.

Turban, A. (2019): Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen EAU. Ein Standard des Wasserbaus im Wandel der Zeit. Master Thesis. Hochschule Bremen, Bremen.

United Nations Conference on Trade and Development (1985): Port development. A handbook for planners in developing countries. 2nd ed. rev. and expanded. New York: United Nations.

van den Bos, W. (2005): Wind influence on container handling, equipment and stacking. In: *Port Technology International* (29).

Vautard, R.; van Aalst, M.; Boucher, O.; Drouin, A.; Haustein, K.; Kreienkamp, F. et al. (2020): Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. In: *Environ. Res. Lett.* 15 (9), S. 94077. DOI: 10.1088/1748-9326/aba3d4.

Weiß, R.; Meinke, I. (2017): Meeresspiegelanstieg, Gezeiten, Sturmfluten und Seegang. In: G. P. Brasseur, D. Jacob und S. Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Wenzel, H.; Treptow, N. (2014): Anpassungsstrategie an den Klimawandel für die zukünftige Entwicklung der öffentlichen Lübecker Häfen. Teil 2: Eine monetäre Bewertung. Rostock (RADOST-Berichtsreihe, Bericht Nr: 28).

West, J. M.; Brereton, D. (2013): Climate change adaptation in industry and business. A framework for best practice in financial risk assessment, governance and disclosure. Final report. Gold Coast, Queensland: National Climate Change Adaptation Research Facility. Online verfügbar unter [https://nccarf.edu.au/wp-content/uploads/2019/03/West\\_2013\\_Climate\\_change\\_adaptation\\_industry\\_and\\_business.pdf](https://nccarf.edu.au/wp-content/uploads/2019/03/West_2013_Climate_change_adaptation_industry_and_business.pdf).

Winkel, N.; Rasquin, C.; Rudolph, E.; Seiffert, R.; Wachler, B. (2020): FuE-Abschlussbericht Expertennetzwerk: Küste. B3955.03.04.70236. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau. Hamburg. Online verfügbar unter <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/107128>.

Winterwerp, J. C.; Wang, Z. B. (2013): Man-induced regime shifts in small estuaries—I. Theory. Springer. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-013-0662-9>.

ZDS (2017): Umwelt- und Klimaschutz in den deutschen Seehäfen. Maßnahmen und Forderungen der deutschen Seehafenbetriebe. Unter Mitarbeit von sebastian hoffmann, lisa steinbacher, lutz könner und daniel hosseus. Hg. v. Zentralverband der deutschen Seehafenbetriebe e.V. Online verfügbar unter <https://www.zds-seehaefen.de/wp-content/uploads/2017/01/2017-01-05-ZDS-Positionspapier-Umwelt-und-Klimaschutz-in-den-deutschen-See%C3%A4fen.pdf>.

## A. Kritische Anlagen, hafengebundene Tätigkeiten und Systeme sowie zugehörige relevante Klimaparameter- und Prozesse

Tabelle A- 1: Folgen des Klimawandels auf kritische Anlagen/ Tätigkeiten/ Systeme; MSA: Meeresspiegelanstieg

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
<b>Schifffahrtszone</b>			
Navigation-(shilfen)	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Niederschlag	Erschwerung der Navigation durch Wellenunruhe oder Wind, potentielle negative Änderung von Strömungen oder Bathymetrie, schlechte Sichtweite im Winter durch mehr Niederschlag, Gefahr von Havarien, zeitliche Verzögerungen im Fahrplan	Erleichterung der Navigation durch größere Wassertiefen, potentielle positive Änderung von Strömung oder Bathymetrie, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel oder weniger Niederschlag im Sommer
Lotsendienste	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Niederschlag, Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Erschwerung des Lotsendienstes durch Wellenunruhe oder Wind, potentielle negative Änderung von Strömungen oder Bathymetrie, potentiell schlechtere Sichtweite durch mehr Niederschlag im Winter, Biofouling, Gefahr von Havarien, Betriebsausfallzeiten	Erleichterung des Lotsendienstes durch größere Wassertiefen, potentielle positive Änderung von Strömung oder Bathymetrie, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel oder Niederschlag im Sommer
Schlepper	Sturmflut, Wind, Seegang, astronomische Tide, Niederschlag, Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Erschwerung der Schlepperunterstützung durch Wellenunruhe oder Wind, potentielle negative Änderung von Strömungen oder Bathymetrie, schlechte Sichtweite durch mehr Niederschlag im Winter, Biofouling, Gefahr von Unfällen und Havarien, Betriebsausfallzeiten	potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und Niederschlag im Sommer
Hafenzufahrt/ Fahrrinnen	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide	Häufigere Unterhaltungsarbeiten zur Offenhaltung der Fahrrinne infolge von Stürmen, Tidenhub oder potentiell negativ geänderter Strömung, unzureichende Brückendurchfahrtshöhen	Seltenere Unterhaltungsarbeiten zur Aufrechterhaltung der Wassertiefen aufgrund MSA oder potentiell positiv geänderter Strömung

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
<b>Schutzanlagen</b>			
Wellenbrecher	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/ Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke Seegangbelastungen, unzureichende Schutzhöhe, vermehrt mikrobielle Korrosion und Biofouling durch höhere Wassertemperaturen, bei steigendem Salzgehalt zunehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen, Anstieg der Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen durch höheren Säuregehalt	Bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere Seegangbelastung, geringere Eis- und Frostschäden durch größere minimale Lufttemperatur, bei fallendem Salzgehalt abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen
Deiche/ Hochwasserschutzanlagen	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur	Unzureichende Schutzhöhe, potentiell größere bzw. häufigere starke Seegangbelastungen	Bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere Seegangbelastung, geringere Eis- und Frostschäden
Schleusen	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/ Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke Seegangbelastungen, unzureichende Schutzhöhe, Gefahr von Havarien, Betriebsausfallzeiten, vermehrt mikrobielle Korrosion und Biofouling durch höhere Wassertemperaturen, bei steigendem Salzgehalt zunehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen, Anstieg der Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen durch höheren Säuregehalt	Bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere Seegangbelastung, geringere Eislasten und Frostschäden durch potentiell größere minimale Lufttemperatur, bei fallendem Salzgehalt abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen
<b>Manövrier- und Anlegezone</b>			
Kaimauer	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/ Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke Seegangbelastungen, Überflutungen, steigender Wasserüberdruck bei zunehmendem Tidehub, Hitzebelastungen des Materials, vermehrt mikrobielle Korrosion und Biofouling durch höhere Wassertemperaturen, bei steigendem Salzgehalt zunehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen, Anstieg der Korrosion von Stahl-	Größere Wassertiefen und seltener extreme Niedrigwasserstände, bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere Seegangbelastung, geringere Eislasten und Frostschäden durch potentiell größere minimale Lufttemperatur, bei fallendem Salzgehalt

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
		/Betonbauteilen durch höheren Säuregehalt, Ausfallzeiten	abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen
Dalben	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, Hitzebelastungen des Materials, veränderte Kräftegleichgewichte durch höhere Wasserstände, Ausfallzeiten, vermehrtes Biofouling, bei steigendem Salzgehalt zunehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen, Anstieg der Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen durch höheren Säuregehalt	Bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, geringere Eislasten sowie Frostschäden, bei fallendem Salzgehalt abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen
Stege	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, Überflutungen, Hitzebelastungen des Materials, veränderte Kräftegleichgewichte durch höhere Wasserstände, Überflutungen, Ausfallzeiten	Größere Wassertiefen und seltener extreme Niedrigwasserstände, bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, geringere Eis- und Schneelasten sowie Frostschäden, bei fallendem Salzgehalt abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen
Pontons	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Luft-/Wassertemperatur, Salz-/ Säuregehalt des Wassers	Potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, Hitzebelastungen des Materials, veränderte Kräftegleichgewichte durch höhere Wasserstände, Überschreitung zulässiger Neigungswinkel, vermehrt mikrobielle Korrosion und Biofouling durch höhere Wassertemperaturen, bei steigendem Salzgehalt zunehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen, Anstieg der Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen durch höheren Säuregehalt, Ausfallzeiten	Größere Wassertiefen und seltener extreme Niedrigwasserstände, bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, geringere Eis- und Schneelasten sowie Frostschäden, bei fallendem Salzgehalt abnehmende Korrosion von Stahl-/Betonbauteilen

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
Festmach-, Vertäueinrichtung	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide	Potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, Hitzebelastungen des Materials, veränderte Kräftegleichgewichte durch höhere Wasserstände, Ausfallzeiten, gesteigertes Unfallrisiko, schlechte Sichtweite durch mehr Niederschlag im Winter	Bei geänderter Windrichtung potentiell geringere bzw. seltenere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und weniger Niederschläge im Sommer, weniger Frostschäden
Fender	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur	Potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Wind und Seegang, Hitzebelastungen des Materials	Bei geänderten Windrichtungen potentiell geringere bzw. seltenere dynamische Belastungen aus Wind- und Seegang
Wendebecken	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide	Erschwerung der Navigation durch Wind, Gefahr von Havarien	Bei geänderten Windrichtungen potentielle Erleichterung der Navigation
Elektrische Versorgungssysteme.	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur	Leistungsminderung, Ausfallzeiten, Überflutung, Ermüdung durch dynamische Belastung aus Seegang, Blitzeinschlag	Potentiell weniger Frostschäden
<b>Be- und Entladezone</b>			
Umschlaggeräte	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur, Niederschlag	Leistungsminderung bei Wellenunruhe, Wind oder schlechter Sicht durch mehr Niederschlag im Winter, betriebliche Ausfallzeiten aufgrund Sturmereignissen oder Niederschlag bei Nässe empfindlicher Güter, Aquaplaning, Hitzebelastungen und Mehraufwand für Klimatisierung, zunehmende Korrosion von Stahlbauteilen	Potentiell weniger Eis und Schnee sowie Frostschäden, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel oder Niederschlag im Sommer, weniger Klimatisierung im Winter, abnehmende Korrosion von Stahlbauteilen
Rampen	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur, Niederschlag	Ausfallzeiten aufgrund zu starker Wellenunruhe oder Überschreitung zulässiger Neigungswinkel, potentiell größere bzw. häufigere starke dynamische Belastungen aus Seegang, Überflutung schlechte Sicht durch mehr	Potentiell weniger Eis und Schnee sowie Frostschäden, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und Niederschlag im Sommer, abnehmende Korrosion von

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
		Niederschlag im Winter, Aquaplaning, Hitzebelastungen des Materials, zunehmende Korrosion von Stahlbauteilen	Stahlbauteilen
Straßen/ Verkehr	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur, Niederschlag	Hitzebelastung Ladung/ Material/ Mitarbeiter, betriebliche Ausfallzeiten aufgrund Sturmflut/ Wind, Überflutung, Aquaplaning, schlechte Sicht durch mehr Niederschlag im Winter, Mehraufwand für Klimatisierung, Mobilisation von Schadstoffen durch MSA oder Starkregen	Potentiell weniger Eis und Schnee sowie Frostschäden, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und Niederschlag im Sommer
Schienen	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur, Niederschlag	Hitzebelastung Material/ Mitarbeiter, betriebliche Ausfallzeiten aufgrund Wind, Überflutung, schlechte Sicht durch mehr Niederschlag im Winter, Mehraufwand für Klimatisierung, zunehmende Korrosion von Stahlbauteilen, Mobilisation von Schadstoffen durch MSA oder Starkregen	Potentiell weniger Eis und Schnee sowie Frostschäden, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und Niederschlag im Sommer, abnehmende Korrosion von Stahlbauteilen
Lagerplätze	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Lufttemperatur, Niederschlag	Schäden durch Wind, Hitze, Niederschlag, Überflutung, betriebliche Ausfallzeiten, schlechte Sicht durch Niederschläge, Aquaplaning Mehraufwand für Klimatisierung, mehr Tage mit Niederschlag im Winter erschweren den Umschlag von nässeempfindlichen Gütern, Gesundheitsgefährdung durch Staubentwicklung bei großer Trockenheit, Mobilisation von Schadstoffen durch MSA oder Starkregen	Potentiell weniger Eis und Schnee sowie Frostschäden, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel und Niederschlag im Sommer, weniger Tage mit Niederschlag im Sommer vereinfachen den Umschlag von nässeempfindlichen Gütern
Ver- und Entsorgungssysteme (Strom, Wasser etc.)	Sturmflut, MSA, astronomische Tide, Niederschlag, Lufttemperatur	Leistungsminderung, Überflutung, Blitzeinschlag	Potentiell weniger Frostschäden
<b>Innerbetrieblicher Verkehr- und Transport</b>			
Straßen/ Verkehr	siehe Be- und Entladungszone		
Schienen	siehe Be- und Entladungszone		

Kritische Anlage etc.	Klimaparameter oder –prozess	Negative Auswirkung	Positive Auswirkung
Ver- und Entsorgungssysteme (Strom, Wasser etc.)	siehe Be- und Entladungszone		
<b>Lagerung</b>			
Straßen/ Verkehr	siehe Be- und Entladungszone		
Schienen	siehe Be- und Entladungszone		
Lagerplätze	siehe Be- und Entladungszone		
Gebäude	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Niederschlag, Lufttemperatur	Schäden durch Wind, Überflutung, Mehraufwand für Klimatisierung im Sommer, Vernässung infolge steigender Grundwasserspiegel	Potentiell weniger Schneelast, weniger Aufwand für Klimatisierung im Winter
Ver- und Entsorgungssysteme (Strom, Wasser etc.)	siehe Be- und Entladungszone		
<b>Verarbeitung</b>			
Gebäude	siehe Lagerung		
Versorgungssysteme (Strom etc.)	siehe Be- und Entladungszone		
<b>Verkehrs- und Transportanbindung an das Hinterland</b>			
Straßen/ Verkehr	siehe Be- und Entladungszone		
Schienen	siehe Be- und Entladungszone		
Binnengewässer	Sturmflut, MSA, Wind, Seegang, astronomische Tide, Niederschlag, Lufttemperatur	Betriebliche Ausfallzeiten aufgrund Sturmflut oder Binnenhochwasser, eingeschränkte Kapazitäten aufgrund Binnenniedrigwasser, schlechte Sicht, Mehraufwand für Klimatisierung	Potentiell weniger Behinderung durch Eis, potentiell bessere Sichtweite durch weniger Nebel oder Niederschlag im Sommer
Ver- und Entsorgungssysteme (Strom, Wasser etc.)	siehe Be- und Entladungszone		

## B. Weiterführende Informationen zum Thema Klimawandel sowie Daten- und Informationsquellen

Tabelle B- 1: Zusammenstellung weiterführender Informationen zum Thema Klimawandel

Weiterführende Informationen zum Thema Klimawandel
<p>Grundlagen des Klimawandels:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– DWD – Klima und Umwelt, <a href="https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaumwelt_node.html">https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaumwelt_node.html</a></li> <li>– Hamburger Bildungsserver, <a href="https://bildungsserver.hamburg.de/klimawandel">https://bildungsserver.hamburg.de/klimawandel</a></li> <li>– Klimafakten, <a href="https://www.klimafakten.de">https://www.klimafakten.de</a></li> <li>– Klimanavigator, <a href="https://klimanavigator.eu">https://klimanavigator.eu</a></li> <li>– Deutsches Klima Konsortium - Zukunft der Meeresspiegel, <a href="https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbrochuere-web.pdf">https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbrochuere-web.pdf</a></li> <li>– International Panel on Climate Change (IPCC, international), <a href="https://www.ipcc.ch">https://www.ipcc.ch</a></li> </ul> <p>Klimamodelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– DWD – Klimaprojektionen und Klimavorhersagen – Wie entstehen Aussagen über das zukünftige Klima?, <a href="https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/klima/broschuere_klimaforschung.html?nn=17980">https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/klima/broschuere_klimaforschung.html?nn=17980</a></li> <li>– Hamburger Bildungsserver - Klimamodelle, <a href="https://bildungsserver.hamburg.de/klimamodelle">https://bildungsserver.hamburg.de/klimamodelle</a></li> <li>– Max-Planck-Gesellschaft - Klimamodelle, <a href="https://www.mpg.de/7050041/klimamodelle">https://www.mpg.de/7050041/klimamodelle</a></li> <li>– DWD – Klimaszenarien (Zukunft), <a href="https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/klimaszenarien_homenode.html">https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/klimaszenarien_homenode.html</a></li> <li>– Hamburger Bildungsserver – Klimaszenarien, <a href="https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien">https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien</a></li> <li>– Linke, C. et al. (2020): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches 'Interpretation regionaler Klimamodelldaten'. Potsdam. Online verfügbar unter <a href="https://ifu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf">https://ifu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf</a></li> </ul>

Tabelle B- 2: Zusammenstellung von wissenschaftlichen Zusammenfassungen zum aktuellen Wissensstand beobachteter und zukünftiger Änderungen von Klimaparametern und –prozessen

<b>Wissenschaftliche Zusammenfassungen zum aktuellen Wissensstand</b>
<p>Deutschland, inkl. Küste:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.</li><li>– LAW A (2020): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Online verfügbar unter <a href="https://www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf">https://www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf</a>.</li></ul>
<p>Nordsee:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Colijn, F.; Quante, M. (2016): North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies. Cham: Springer. Online verfügbar unter <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-39745-0">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-39745-0</a>.</li></ul>
<p>Hamburg, inkl. Deutsche Bucht, Tideelbe und Lübecker Bucht:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Storch, H. von; Meinke, I.; Claußen, M. (2018): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-55379-4">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-55379-4</a>.</li></ul>
<p>Ostsee:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– The BACC II Author Team (2015): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Cham: Springer.</li></ul>
<p>International:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– EnviCom - Task Group 3 Climate Change and Navigation (2008): Waterborne transport, ports and waterways: A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation. Hg. v. PIANC. Belgium. Online verfügbar unter <a href="https://www.pianc.org/uploads/publications/reports/287223envicom-free-tg3.pdf">https://www.pianc.org/uploads/publications/reports/287223envicom-free-tg3.pdf</a>.</li><li>– IPCC (2013/ 2014): Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). International Panel on Climate Change. Bonn/Wien/Bern, 2016: Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim. Online verfügbar unter <a href="https://www.de-ipcc.de/media/content/AR5-WGI_SPM.pdf">https://www.de-ipcc.de/media/content/AR5-WGI_SPM.pdf</a>.</li><li>– IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Hg. v. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, et al. In Druck. Online verfügbar unter <a href="https://www.ipcc.ch/srocc/">https://www.ipcc.ch/srocc/</a>.</li></ul>

Tabelle B- 3: Zusammenstellung von Datenquellen für regionale Beobachtungs- und Projektionsdaten von Klimaparametern und-prozessen

Datenquelle	Klimaparameter	Zusätzliche Informationen
<b>Beobachtungsdaten</b>		
Beobachteter Klimawandel in Deutschland, Deutscher Wetterdienst (DWD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur</li> <li>– Niederschlag</li> <li>– Sonnenschein</li> <li>– Wasserbilanz</li> <li>– Besondere meteorologische Ereignisse</li> <li>– Witterung in den deutschen Küstengebieten</li> </ul>	<p>Zeitreihen, Trends und Gebietsmittel für Deutschland seit dem 20. Jahrhundert; Berichte zu besonderen meteorologischen Ereignissen und Witterung in den deutschen Küstengebieten</p> <p><a href="https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaeberwachung/deutschland/deutschland_node.html">https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaeberwachung/deutschland/deutschland_node.html</a></p>
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relativer Meeresspiegel</li> </ul>	<p>Zeitreihe des monatlichen Wasserstands am Pegel Cuxhaven seit 1980 sowie geglättete Kurve und Beschleunigung des Anstiegs</p> <p><a href="https://www.bsh.de/DE/DATEN/Wasserstand_Nordsee/Meeresspiegelschwankungen/meeresspiegelschwankungen_node.html">https://www.bsh.de/DE/DATEN/Wasserstand_Nordsee/Meeresspiegelschwankungen/meeresspiegelschwankungen_node.html</a></p>
Climate Data Center, Deutscher Wetterdienst (DWD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur</li> <li>– Niederschlag</li> <li>– Wind</li> </ul>	<p>Stationsdaten der DWD-Messstationen in unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen</p> <p><a href="https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html;jsessionid=F641571564C497214966301897CFDD90.live31083">https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html;jsessionid=F641571564C497214966301897CFDD90.live31083</a></p>
Deutscher Klimaatlas, Deutscher Wetterdienst (DWD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag</li> </ul>	<p>Flächenmittelwerte für Deutschland sowie regional differenzierte Abweichung von monatlichen, jahreszeitlichen und jährlichen Mittelwerten zur Klimanormalperiode (1961-1990) seit dem Jahr 2000</p> <p><a href="https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/deutscherklimaatlas.html">https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/deutscherklimaatlas.html</a></p>
Europäische Umweltagentur (European Environment Agency, EEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag</li> <li>– Wind</li> <li>– Hagel</li> <li>– Meeresspiegel</li> <li>– Meereis</li> <li>– Wassertemperatur</li> <li>– Abflüsse</li> </ul>	<p>Darstellung beobachteter Änderungen auf europäischer Ebene</p> <p><a href="https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=30&amp;c12-operator=or&amp;b_start=0">https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=30&amp;c12-operator=or&amp;b_start=0</a></p>

Datenquelle	Klimaparameter	Zusätzliche Informationen
Norddeutscher Klimamonitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Luftfeuchte</li> <li>– Wind</li> <li>– Bewölkung</li> <li>– Vegetation</li> </ul>	<p>Ausgewertete Stations- und Modelldaten für Norddeutschland, den Zeitraum 1951-2015 und getrennt nach Jahreszeiten</p> <p><a href="https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/">https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/</a></p>
Sturmflutmonitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sturmflutwasserstand</li> </ul>	<p>Entwicklung der Sturmfluten (Häufigkeit, Dauer, Intensität) seit dem 20. Jahrhundert an ausgewählten Pegeln der Nord- und Ostsee; Einordnung der aktuellen Sturmflutsaison</p> <p><a href="https://sturmflutmonitor.de/">https://sturmflutmonitor.de/</a></p>
Sturmmonitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sturm</li> </ul>	<p>Historische Entwicklung seit Mitte des 20. Jahrhunderts und aktuelle Analyse des Sturmklimas in Deutschland, darunter die Deutsche Bucht</p> <p><a href="https://coastmap.hzg.de/portal/apps/sites/#/stormmonitor-de">https://coastmap.hzg.de/portal/apps/sites/#/stormmonitor-de</a></p>
Tides & Currents, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meeresspiegelanstieg</li> </ul>	<p>Trend des relativen Meeresspiegelanstiegs seit der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zum Jahr 2018 für ausgewählte Pegel weltweit, darunter Cuxhaven, Travemünde, Wismar und Warnemünde</p> <p><a href="https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global_country.html?gid=1265">https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global_country.html?gid=1265</a></p>
<b>Projektionsdaten</b>		
Climate Analytics (international)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meeresspiegelanstieg</li> </ul>	<p>Projektionen des lokalen mittleren Meeresspiegelanstiegs bis zum Jahr 2200 für ausgewählte Pegel weltweit, u.a. in der deutschen Nord- und Ostsee, und unterschiedliche Klimaszenarien</p> <p><a href="http://localslr.climateanalytics.org/location/Cuxhaven%202">http://localslr.climateanalytics.org/location/Cuxhaven%202</a></p>
DAS-Basisdienst 'Klima und Wasser' (im Aufbau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkehr</li> <li>– Wasser- und Energiewirtschaft</li> <li>– Bauwesen</li> <li>– Küsten-, Meeres- und Bevölkerungsschutz</li> <li>– Industrie und Gewerbe</li> </ul>	<p>Operationeller Dienst des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur; Vorhersage und Projektionsdaten für alle Verkehrsträger, Ressorts und Sektoren für unterschiedliche Klimaszenarien; der Dienst befindet sich im Aufbau</p> <p><a href="https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikation/en/WS/flyer-das-basisdienst-klima-wasser.html">https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikation/en/WS/flyer-das-basisdienst-klima-wasser.html</a></p>

Datenquelle	Klimaparameter	Zusätzliche Informationen
Deutscher Klimaatlas, Deutscher Wetterdienst (DWD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag</li> </ul>	<p>Flächenmittelwerte für Deutschland sowie regional differenzierte Abweichung von monatlichen, jahreszeitlichen und jährlichen Mittelwerten zur Klimanormalperiode (1961-1990) für unterschiedliche Klimaszenarien bis zum Jahr 2100</p> <p><a href="https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklima/klimaatlas/deutscherklimaatlas.html">https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklima/klimaatlas/deutscherklimaatlas.html</a></p>
Deutsches Klimaportal	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Übersicht behördlicher Klimadienste</li> </ul>	<p>Übersicht verschiedener behördlicher Klimadienste getrennt nach Handlungsfeldern (Bau, Küstenschutz, Verkehr etc.) sowie nach Bundesländern</p> <p><a href="http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10692126">http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10692126</a></p>
Deltares - European Coastal Storm Surge for Copernicus Climate Change Services	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meeresspiegelanstieg</li> <li>– Tidewasserstände</li> <li>– Sturmflutwasserstand</li> <li>– Seegang (an der 20 m Tiefenlinie)</li> </ul>	<p>Simulation auf europäischer Ebene mithilfe der Wirkmodelle Global Tide and Surge Model (GTSM) sowie Stand Alone WAM (SAW) angetrieben mit dem regionalen Klimamodell (HIRHAM5) des Dänischen Meteorologischen Instituts (DMI) für das Szenario RCP4.5 bzw. 8.5 und die Zeitscheibe 2041-2070 bzw. 2071-2100, die Daten sind teilweise als jährliche Zeitreihen oder für unterschiedliche Jährlichkeiten verfügbar; Ergebnisse sind im NetCDF Format dargestellt</p> <p><a href="https://www.deltares.nl/en/projects/european-coastal-storm-surge-copernicus-climate-change-services/">https://www.deltares.nl/en/projects/european-coastal-storm-surge-copernicus-climate-change-services/</a></p> <p>Wasserstände:  <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/datasets/10.24381/cds.b6473cc1?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/datasets/10.24381/cds.b6473cc1?tab=overview</a></p> <p>Seegang:  <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/datasets/10.24381/cds.572bf382?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/datasets/10.24381/cds.572bf382?tab=overview</a></p>
Europäische Umweltagentur (European Environment Agency, EEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag</li> <li>– Wind</li> <li>– Hagel</li> <li>– Meeresspiegel</li> <li>– Meereis</li> <li>– Wassertemperatur</li> <li>– Abflüsse</li> </ul>	<p>Darstellung zu erwartender Änderungen auf europäischer Ebene basierend auf wissenschaftlichen Veröffentlichungen</p> <p><a href="https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=30&amp;c12-operator=or&amp;b_start=0">https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=30&amp;c12-operator=or&amp;b_start=0</a></p>

Datenquelle	Klimaparameter	Zusätzliche Informationen
GERICS – Klimaausblicke für Landkreise	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag</li> </ul>	Änderung des Flächenmittels auf Landkreisebene differenziert nach Jahreszeit (Sommer, Winter) und Klimaszenario ('Klimaschutz' und 'Weiter-wie-bisher') für einen Zeithorizont in der Mitte und am Ende des 21. Jahrhunderts  <a href="https://www.climate-service-center.de/products_and_publications/fact_sheets/landkreise/index.php.de">https://www.climate-service-center.de/products_and_publications/fact_sheets/landkreise/index.php.de</a>
Klimareport, Deutscher Wetterdienst (DWD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur</li> <li>– Niederschlag</li> <li>– Sonnenschein</li> <li>– Meeresspiegel</li> <li>– Phänologie</li> </ul>	Nationaler Klimareport des DWD für Deutschland bzw. für die norddeutschen Bundesländer  <a href="https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/report.html">https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/report.html</a>
Küstenschutzbedarfe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durch Küstenschutz geschützte Gebiete</li> </ul>	Heut und bei einem Meeresspiegelanstieg von 1,1 m (Nordsee) bzw. 0,8 m (Ostsee) vor Sturmflut zu schützende Gebiete an der deutschen Küste  <a href="https://www.kuestenschutzbedarf.de/">https://www.kuestenschutzbedarf.de/</a>
Norddeutscher Klimaatlas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperatur und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Niederschlag und darauf bezogene Kenntage</li> <li>– Wind</li> <li>– Vegetation</li> </ul>	Jährliche und jahreszeitliche Änderungen in Norddeutschland relativ zur Klimanormalperiode (1961-1990) für unterschiedliche Klimaszenarien bis zum Jahr 2100  <a href="https://norddeutscher-klimaatlas.de/">https://norddeutscher-klimaatlas.de/</a>

Tabelle B- 4: Zusammenstellung von regionalen Forschungsprojekten, welche Änderungen von Klimaparametern enthalten

Akronym	Langtitel	Region	Schwerpunkt	Weitere Informationen
BMVI- Experten- netzwerk	Ressortforschung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur	Deutschland; Fokusgebiete Binnen und Küste	(1) Szenarienbildung, (2) Klimawirkungs- analyse, (3) Anpas- sungsoptionen  Klimat. Einflüsse: – Hitze – Meeresspiegel- anstieg – Starkregen – Sturm – Trockenheit	Themenfeld 1: Klima- wandelfolgen und An- passung  Phase I 2016-2019 Phase II seit 2020  <a href="https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home_node.html">https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home_node.html</a>

Akronym	Langtitel	Region	Schwerpunkt	Weitere Informationen
A-KÜST	Veränderliches Küstenklima – Evaluierung von Anpassungsstrategien im Küstenschutz	Niedersachsen, Weserästuar	Sturm-, Wasserstands- und See- gangsentwicklung in der Nordsee/ Ems  Belastung von Küstenschutzwerken  Hydro-, Sediment- dynamik im ostfriesi- schen Wattenmeer  Salzwassereintrag in die Unterweser	Teilprojekts KLIFF – Klimafolgenforschung in Niedersachsen  2009-2014  <a href="https://www.nlwkn.niedersachsen.de/fsk/fsk_forschungsprojekte/harbasins-harmonised-river-basins-strategies-north-sea-183485.html">https://www.nlwkn.niedersachsen.de/fsk/fsk_forschungsprojekte/harbasins-harmonised-river-basins-strategies-north-sea-183485.html</a>
KLIMZUG	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten	Deutschland	Diverse Klimapara- meter, siehe Teil- projekte	7 Regionen in Deutsch- land betrachtet  2008-2014  verschiedene Teilprojekte, u.a.: – KLIMZUG-Nord – nordwest2050 – RADOST
KLIMZUG- Nord	Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg	Hamburg, Mecklenburg- Vorpommern, Niedersachsen, Schleswig- Holstein	Klimat. Einflüsse bis 2050: – Flusshochwasser – Hitzewellen – Niederschlag – Temperatur – Meeresspiegel und Sturmfluten – Starknieder- schlag – Sturm – Trockenheit	2009-2014  <a href="https://www.umweltbund.esamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen- anpassung/werkzeuge- der- anpassung/projektkatalo g/klimzug-nord- strategische- anpassungsansaetze">https://www.umweltbund.esamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen- anpassung/werkzeuge- der- anpassung/projektkatalo g/klimzug-nord- strategische- anpassungsansaetze</a>
nordwest 2050	Perspektiven für klimaangepasste Innovations- prozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten	Bremen, Nieder- sachsen	Klimat. Einflüsse: – Flusshochwasser – Hitzewellen – Niederschlag – Temperatur – Meeresspiegel und Sturmfluten – Tidewasser- stände – Niedrigwasser – Starknieder- schlag – Sturm – Trockenheit	U.a. Folgen des Klima- wandels für die Hafен- wirtschaft betrachtet  2009-2014  <a href="https://www.umweltbund.esamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen- anpassung/werkzeuge- der- anpassung/projektkatalo g/nordwest2050- perspektiven-fuer- klimaangepasste">https://www.umweltbund.esamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen- anpassung/werkzeuge- der- anpassung/projektkatalo g/nordwest2050- perspektiven-fuer- klimaangepasste</a>

Akronym	Langtitel	Region	Schwerpunkt	Weitere Informationen
RADOST	Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste	Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein	Klimat. Einflüsse: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Hitzewellen</li> <li>– Temperatur</li> <li>– Meeresspiegel und Sturmfluten</li> <li>– Starkniederschlag</li> <li>– Sturm</li> <li>– Trockenheit</li> </ul>	Diverse Teilprojekte, u.a. Anpassung für den Seehafen Lübeck 2009-2014 <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/radost-regionale-anpassungsstrategien-fuer-die">https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/radost-regionale-anpassungsstrategien-fuer-die</a>
KLIWAS	Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen	Binnen-, See- wasserstraßen in Deutschland  Rhein, Elbe, Donau, Binnen- bereich über- regional, Küsten- und Meeresge- wässer	u.a. (1) Klimaprojek- tionen, (2) Verän- derung des hydrolo- gischen Systems der Küstengewässer, (3) Gewässerzustand und Anpassungsoptionen für Schifffahrt und Wasserstraßen  Klima, Hydrologie im Einzugsgebiet, Meer- esspiegel, Tidekenn- werte, Seegang, teil- weise Sediment- haushalt, Flussbett- entwicklung, Wasser- beschaffenheit	Insgesamt 5 Vorhaben 2009-2013 <a href="https://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/home_page_node.html">https://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/home_page_node.html</a>
XtremRisk	Extremsturmfluten an offenen Küsten und Ästuargebieten – Risikoermittlung und –beherrschung im Klimawandel	Hamburg, Schleswig-Holstein	Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten	Teilprojekt 1 – extreme Sturmfluten 2008-2012 <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/xtremrisk-extremsturmfluten-an-offenen-kuesten">https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/xtremrisk-extremsturmfluten-an-offenen-kuesten</a>

Akronym	Langtitel	Region	Schwerpunkt	Weitere Informationen
KLIMU	Klimaänderung und Unterweserregion	Bremen, Niedersachsen	Klimat. Einflüsse bis 2050: – Niederschlag – Temperatur – Meeresspiegel und Sturmfluten – Windgeschwindigkeit – Tidehub	1999-2001 <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/klimu-klimaaenderung-unterweserregion">https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/klimu-klimaaenderung-unterweserregion</a>

### C. Verwundbarkeitsanalyse

Tabelle C- 1:Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die ferne Zukunft und das Weiter-wie-bisher-Szenario

Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse →  Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓	Im Vergleich zu historischen Daten, <u>wie verändert sich die Gefährdung</u> aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts					Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, <u>wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?</u>				
	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen
Zufahrt zum Liegeplatz - Fahrrinne	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↓ <sup>1</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Schleusen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Kaianlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Sonstige Landeanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>4</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Vertäu- und Festmacheinrichtungen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒/↑ <sup>5</sup>	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Anlegen, Be- und Entladen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	↑↑
Umschlaggeräte	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒	⇒
Hochwasserschutzanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Lagerflächen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Lagerhallen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Straßen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Gleisanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Entwässerungssysteme	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	↑↑
Gebäude	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Je nach Entwicklung des Sedimenttransports  
<sup>2</sup> In Abhängigkeit relevanter Wellenhöhen –größere relative Änderungen bei größeren Wellenhöhen  
<sup>3</sup> In Abhängigkeit der Lebensdauer und des vorhandenen Freibords/ der Höhenlage/ der Topographie  
<sup>4</sup> Je nach Anlage und Lebensdauer/  
<sup>5</sup> Je nach Ausrichtung der Kaianlage relativ zur maßgeblichen Windrichtung  
<sup>6</sup> Je nach Belag (Asphalt, Beton, Pflaster) und Lebensdauer

Tabelle C- 2: Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die nahe Zukunft und das Extrem-Szenario

Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse →  Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓	Im Vergleich zu historischen Daten, <u>wie verändert sich die Gefährdung</u> aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts					Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, <u>wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?</u>				
	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen
Zufahrt zum Liegeplatz - Fahrrinne	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↓ <sup>1</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Schleusen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Kaianlagen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Sonstige Landeanlagen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>4</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Vertäu- und Festmacheinrichtungen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>3</sup>	⇒/↑↑ <sup>5</sup>	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Anlegen, Be- und Entladen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	↑↑
Umschlaggeräte	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒
Hochwasserschutzanlagen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒/↑ <sup>2</sup>	⇒
Lagerflächen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Lagerhallen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Straßen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Gleisanlagen	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Entwässerungssysteme	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	↑↑
Gebäude	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Je nach Entwicklung des Sedimenttransports  
<sup>2</sup> In Abhängigkeit relevanter Wellenhöhen –größere relative Änderungen bei größeren Wellenhöhen  
<sup>3</sup> In Abhängigkeit der Lebensdauer und des vorhandenen Freibords/ der Höhenlage/ der Topographie  
<sup>4</sup> Je nach Anlage und Lebensdauer  
<sup>5</sup> Je nach Ausrichtung der Kaianlage relativ zur maßgeblichen Windrichtung  
<sup>6</sup> Je nach Belag (Asphalt, Beton, Pflaster) und Lebensdauer

Tabelle C- 3: Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die ferne Zukunft und das Extrem-Szenario

Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse →  Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓	Im Vergleich zu historischen Daten, <u>wie verändert sich die Gefährdung</u> aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts					Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, <u>wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?</u>				
	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen
Zufahrt zum Liegeplatz - Fahrrinne	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↓ <sup>1</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Schleusen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Kaianlagen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Sonstige Landeanlagen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>4</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Vertäu- und Festmacheinrichtungen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒/↑↑ <sup>5</sup>	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Anlegen, Be- und Entladen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	↑↑
Umschlaggeräte	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒
Hochwasserschutzanlagen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	↑/↑↑ <sup>2</sup>	⇒
Lagerflächen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Lagerhallen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Straßen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>6</sup>	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Gleisanlagen	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>
Entwässerungssysteme	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	⇒	⇒	↑↑
Gebäude	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	⇒/↑↑ <sup>3</sup>	↑↑	⇒	⇒/↑↑ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Je nach Entwicklung des Sedimenttransports  
<sup>2</sup> In Abhängigkeit relevanter Wellenhöhen –größere relative Änderungen bei größeren Wellenhöhen  
<sup>3</sup> In Abhängigkeit der Lebensdauer und des vorhandenen Freibords/ der Höhenlage/ der Topographie  
<sup>4</sup> Je nach Anlage und Lebensdauer  
<sup>5</sup> Je nach Ausrichtung der Kaianlage relativ zur maßgeblichen Windrichtung  
<sup>6</sup> Je nach Belag (Asphalt, Beton, Pflaster) und Lebensdauer

## D. Weiterführende Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel

Tabelle D- 1: Zusammenstellung von weiterführenden Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel bzw. spezielle Klimagefahren

Titel	Quelle	Zusätzliche Informationen
Anpassung von Seehäfen		
PIANC EnviCom WG Report No.178	PIANC (2020): Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways. EnviCom WG Report No.178. Brüssel, Belgien: PIANC Secrétariat Général. Online verfügbar unter: <a href="https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178">https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178</a> .	Handbuch
Climate change adaptation guidelines for ports	Scott, H.; McEvoy, D.; Chhetri, P.; Basic, F.; Mullett, J.: Climate change adaptation guidelines for ports. Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series. Hg. v. National Climate Change Adaptation Research Facility. Gold Coast, Queensland. Online verfügbar unter <a href="https://nccarf.edu.au/climate-change-adaptation-guidelines-ports-enhancing-resilience-seaports-changing-climate/">https://nccarf.edu.au/climate-change-adaptation-guidelines-ports-enhancing-resilience-seaports-changing-climate/</a> .	Handbuch
Anpassung allgemein		
Climate-ADAPT	European Environment Agency: Climate-ADAPT. Online verfügbar unter <a href="https://climate-adapt.eea.europa.eu/">https://climate-adapt.eea.europa.eu/</a> .	Wissensplattform, international
ClimateRisk-Mate-Tool	CO2nceptplus: Klimawandel - Challenge Accepted! - Tool. Online verfügbar unter <a href="https://www.climate-challenge.de/tool">https://www.climate-challenge.de/tool</a> .	Tool für die Erstellung einer betrieblichen Klimarisikostrategie
Deutsches Klimavorsorge Portal	Die Bundesregierung: Deutsches Klimavorsorgeportal. KLiVO. Online verfügbar unter <a href="https://www.klivportal.de/DE/Home/home_node.html">https://www.klivportal.de/DE/Home/home_node.html</a> .	Wissensplattform, national
IPCC, Working Group II Contribution	IPCC (2014): Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir et al. Cambridge.	Allgemeine Grundlagen
Klimacheck – Tool und Leitfaden	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Klimacheck – Management von Klimarisiken. Online verfügbar unter <a href="https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-klimacheck-klimarisiken.html">https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-klimacheck-klimarisiken.html</a>	Tool und Leitfaden für mittelständische Unternehmen zur Identifikation von klimabedingten Risiken

Titel	Quelle	Zusätzliche Informationen
Pathways Generator	Deltares: Dynamic Adaptive Policy Pathways. Supporting decision making under uncertainty using Adaptation Tipping Points and Adaptation Pathways in policy analysis. Online verfügbar unter <a href="https://www.deltares.nl/en/adaptive-pathways/">https://www.deltares.nl/en/adaptive-pathways/</a> .	Tool zur Erstellung von Anpassungspfaden
<b>Anpassung an spezielle Klimagefahren/ Anpassung von speziellen Themenbereichen</b>		
Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft	LAWA (2020): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft: Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder 2020. Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Online verfügbar unter <a href="https://www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf">https://www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf</a> .	Empfehlungen u.a. für folgende Themengebiete: Binnenhochwasser, hohe Grundwasserstände, Küstenschutz, Siedlungsentwässerung/ Starkregen, Schiffbarkeit
Baukonstruktion im Klimawandel	Weller, B.; Fahrion, M.-S.; Horn, S.; Naumann, T.; Nikolowski, J. (2016): Baukonstruktion im Klimawandel. DOI: 10.1007/978-3-658-13011-4.	Vulnerabilität und Anpassung von Gebäuden (Sommerhitze, Überflutung, Starkregen, Hagel, Wind, Schnee)
Beurteilung der Bemessung von Gleisentwässerungseinrichtungen und Durchlässen von Fließgewässern	Weisemann, U.; Klügel, S.; Grischek, T. (2019): Beurteilung der Bemessung von Gleisentwässerungseinrichtungen und Durchlässen von Fließgewässern. Evaluierung der Bemessungsgrundlagen vor dem Hintergrund veränderter Niederschlagsereignisse aufgrund des Klimawandels. Eisenbahn-Bundesamt. Bonn. Online verfügbar unter <a href="https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2019/EBA-Forschungsbericht_2019-05.html">https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2019/EBA-Forschungsbericht_2019-05.html</a> .	Dimensionierung von Gleisentwässerungseinrichtungen
Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen nach RAS-Ew und RiStWag	Krauß, B.; Grotehusmann, D.; Jasper-Tönnies, A.; Einfalt, D. (2014): Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen nach RAS-Ew und RiStWag vor dem Hintergrund veränderter Temperatur- und Niederschlagsereignisse durch den Klimawandel in Deutschland bis zum Jahr 2100. Schlussbericht. Online verfügbar unter <a href="https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2161/file/05.0168-Beurteilung+d.Bemessung+v.Stra%C3%9fenentw%C3%A4sserungseinrichtungen+nach+RAS-Ew.pdf">https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2161/file/05.0168-Beurteilung+d.Bemessung+v.Stra%C3%9fenentw%C3%A4sserungseinrichtungen+nach+RAS-Ew.pdf</a> .	Dimensionierung von Straßenentwässerungseinrichtungen
Expected implications of climate change on the corrosion of structures	Sousa, M.L; Dimova, S.; Athanasopoulou, A. et al. (2020): Expected implications of climate change on the corrosion of structures. JRC Technical Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EUR, 30303). Online verfügbar unter <a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121312">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121312</a> .	Korrosion von Stahl und bewährtem Beton

Titel	Quelle	Zusätzliche Informationen
Klimaangepasstes Bauen bei Gebäuden	Stock, B. (2015): Klimaangepasstes Bauen bei Gebäuden. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn. Online verfügbar unter <a href="https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL_02_2015.pdf;jsessionid=3757121DF61A7712BFCACE37E09F6F8E.live11314?_blob=publicationFile&amp;v=1">https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL_02_2015.pdf;jsessionid=3757121DF61A7712BFCACE37E09F6F8E.live11314?_blob=publicationFile&amp;v=1</a> .	Gefährdungspotentiale und Vorsorge für Gebäude bzgl. Wind, Wasser, Hagel, Schnee, Hitze
Projizierter Klimawandel und Dimensionierung von Straßenbefestigungen	Wellner, F.; Kayser, S.; Clauß, M. (2017): Projizierter Klimawandel und Dimensionierung von Straßenbefestigungen. Bremen: Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1128 (2017)).	Verwundbarkeit und Anpassung von Straßenbelägen (Asphalt & Beton)
Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement	LAWA (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Erfurt. Online verfügbar unter <a href="https://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen_1552292818.pdf">https://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen_1552292818.pdf</a> .	Leitlinie zum Umgang mit Starkregen
TRAS 310	Köppke, K.-E.; Sterger, O.; Stock, M.; Selbmann, B. (2012): Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser. Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310: Endbericht. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.	Bemessungszuschläge für Flusshochwasser, Starkregen, Sturmflut
TRAS 320	Krätzig, W. B.; Andres, M.; Niemann, H.-J.; Köppke, K.-E. (2016): Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten. Technische Regel für Anlagensicherheit 320 (TRAS 320). Umweltbundesamt.	Empfehlungen zum Umgang mit Windgefahren
Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen	BMVI-Expertennetzwerk (2020): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter <a href="https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/TF1_3Auflage.pdf;jsessionid=4BE6F4D649C94E179FD734BABDBDE4DF.live21302?_blob=publicationFile&amp;v=5">https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/TF1_3Auflage.pdf;jsessionid=4BE6F4D649C94E179FD734BABDBDE4DF.live21302?_blob=publicationFile&amp;v=5</a> .	Studie zur Verwundbarkeit und Anpassung der deutschen Verkehrsinfrastruktur
WindStorm II	TT Club (2009): WindStorm II. Practical risk management guidance for marine & inland terminals. London. Online verfügbar unter <a href="https://www.ttclub.com/-/media/files/tt-club/risk-management-guides/windstorm-ii---practical-guidance-for-marine-and-inland-terminals.pdf">https://www.ttclub.com/-/media/files/tt-club/risk-management-guides/windstorm-ii---practical-guidance-for-marine-and-inland-terminals.pdf</a> .	Handbuch zum Umgang mit Windgefahren