

# Küstenschutz im Umbruch?

*Anpassungswege an steigende  
Meeresspiegel in der Elbeästuarregion*

Bachelorthesis

Maximilian Theye

BSc Urbanistik, Bauhaus-Universität Weimar



# Küstenschutz im Umbruch?

*Anpassungswege an steigende  
Meeresspiegel in der Elbeästuarregion*

## Bachelorthesis

Maximilian Theye  
Matrikelnummer 11 62 75  
Bachelorstudiengang Urbanistik

Erstgutachterin  
Prof. Dr.-Ing. Sigrun Langner  
Zweitgutachterin  
Dr. Julia Gamberini

Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Architektur und Urbanistik  
Professur Landschaftsarchitektur und -planung

Weimar, 29. Mai 2020

# Inhaltsverzeichnis

## 1

### **Einleitung**

1.1 Aktualität und Einordnung der Arbeit	5
1.2 Forschungsstand	6
1.3 Fragestellungen	8
1.4 Herangehensweise und Methodik	9

## 2

### **Der Klimawandel als Ausgangspunkt**

2.1 Ursache und Entwicklung des Klimawandels	13
2.2 Auswirkungen auf Meere und Küstenregionen	18

## 3

### **Charakterisieren, Untersuchen, Gestalten – über Ästuarlandschaften**

3.1 Charakterisieren: Dynamik, Komplexität, Unsicherheit	21
3.2 Untersuchen: Layer der Region, Governance	25
3.3 Gestalten: Urbane Infrastrukturen, Risikobasierung	27

## 4

### **Das Elbeästuar als Untersuchungsraum**

4.1 Physische Gegebenheiten	34
4.2 Governance	50
4.3 Schlussfolgerungen	58



# 5

## Von Erfolgsprojekten lernen? Beispielprojekte aus drei Regionen

5.1 Niederlande: Ruimte voor de Rivier	63
5.2 Vereinigtes Königreich: Thames Estuary 2100	70
5.3 Deutschland: IBA-Projekt Kreesand	75
5.4 Schlussfolgerungen	77

# 6

## Wege in die Zukunft – Anpassungsoptionen im Elbeästuar

6.1 Erfordernisse: Ergebnisse aus Bestandsaufnahme und Beispielbetrachtung	81
6.2 Handlungsoptionen auf regionaler Ebene	82
6.3 Zoom-In: Hamburg-Finkenwerder	96

# 7

## Wie geht es weiter? Fazit und Ausblick

7.1 Beantwortung der Forschungsfragen	105
7.2 Grenzen der Arbeit	107
7.3 Ausblick	107

Literatur- und Abbildungsverzeichnis	110
Eigenständigkeitserklärung	122

# 1



## Einleitung

*Der Klimawandel stellt gegenwärtig eine der größten Herausforderungen für die gesamte Menschheit dar. Wir sind an einem Punkt angelangt, an dem deutlich wird, dass das menschliche Handeln der letzten Jahrhunderte bereits jetzt einschneidende Folgen hat. Nur an den Schutz des Klimas zu denken, reicht nicht mehr. Wir müssen uns gleichzeitig den Folgen des Klimawandels und den sich ergebenden Herausforderungen stellen. Die Frage ist hier, wie eine Anpassung an die multiplen Auswirkungen der globalen Erwärmung aussehen kann.*

## 1.1 Einordnung und Aktualität der Arbeit

Im nordwesteuropäischen Raum stellt der durch den Klimawandel ausgelöste Anstieg des Meeresspiegels und hiermit einhergehende höhere Sturmfluten eine immer extremer werdende Gefahr dar. Getroffen wird eine Region, in der die Menschen über Jahrhunderte dem Meer Land abgerungen haben. Traditionell herrscht hier ein komplexes Wechselspiel anthropogener und natürlicher Kräfte. Wie lässt sich dieses Verhältnis angesichts gewaltiger Veränderungen in Zukunft austarieren?

Über die künftige Entwicklung des Klimawandels und seiner Folgen besteht heute noch große Unsicherheit, wenngleich sicher ist, dass der Anstieg des Meeresspiegels der dramatischste Einflussfaktor für die Küstenregionen sein wird. Hinzu kommt der Faktor Mensch als eine weitere unberechenbare Konstante – in welchem Maße die globale Erwärmung und damit der Meeresspiegelanstieg ausfallen wird, hängt auch von uns allen und unserem täglichen Handeln ab. Auch wenn es momentan nicht danach aussieht, dass bereits in naher Zukunft von extremen Veränderungen auszugehen ist, kann dennoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass die Nordsee bis zum Jahr 2100 um zwei Meter steigen wird (Lowe et al. 2009: 31–33). Eine derartige Veränderung wäre gravierend und würde die Anrainer\*innen vor große Herausforderungen stellen.

Das Elbeästuar ist Teil dieser nordwesteuropäischen Küstenlandschaft und der Untersuchungs-

raum dieser Arbeit. Die fast 200 von Gezeiten beeinflussten Flusskilometer und ihr Hinterland bilden das hierzulande wohl dynamischste Ästuargebiet. Die Region ist dicht besiedelt, die Metropole Hamburg ist die zweitgrößte Stadt Deutschlands und der dortige Hafen einer der größten Europas. Konkurrierende Ansprüche an den Raum und Flächennutzungskonflikte sind somit unausweichlich. Gleichzeitig erstreckt sich das Hinterland der Elbe über drei Bundesländer, Schleswig-Holstein, Niedersachsen sowie die Freie und Hansestadt Hamburg, was vor dem Hintergrund der föderalen Struktur Deutschlands eine weitere Herausforderung für den Küstenschutz vermuten lässt.

„It’s clear we need better planning to be able to adapt to these events which will not only grow if we fail to address climate change, but are already occurring throughout the world.“

Patricia Espinosa, Generalsekretärin der UN-Klimarahmenkonvention und Bauhaus-Gastprofessorin 2019

Die potentielle Bedrohung der Region ist auch ein Thema in der Politik und den Medien. Angesichts einer aktualisierten Prognose des Weltklimarats (IPCC) im September 2019, die einen deutlich beschleunigten Meeresspiegelanstieg voraussagt, forderte der Hamburger Umweltsenator Jens Kerstan, dass dringend über ein Sperrwerk in der Elbmündung diskutiert werden müsse: „Wenn wir nicht ein Drittel Hamburgs aufgeben wollen,



Abb. 1 Von Groeskamp und Kjellsson vorgeschlagener Verlauf des NEED.

müssen wir das bauen“ (Norddeutscher Rundfunk 2019). Regionale Medien titelten „Extreme Sturmflut gefährdet Millionen Menschen im Norden“ (Hamburger Abendblatt 2019), „Niedersachsens Deiche sind großen Problemen ausgesetzt“ (Rundblick – Politikjournal für Niedersachsen 2019) oder gar „Angst vor der ‚Super-Sturmflut‘ – Viele Deiche zu niedrig – Kommunen machen Druck“ (Hamburger Morgenpost 2019). Derartige Schlagzeilen lassen einen dringenden Handlungsbedarf vermuten.

Aus der Forschung kommen ähnliche Signale. Zwei Meeresforscher vom Königlich Niederländischen Institut für Meeresforschung und dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel kamen Anfang 2020 zu dem Schluss, dass bei einem weiter steigenden Meeresspiegel und fehlschlagenden Anpassungsbemühungen ein Northern European Enclosure Dam (NEED), mit einem 161 km langen Teilstück zwischen der Bretagne und Südwestengland und einem 476 km messenden Abschnitt zwischen Schottland und Norwegen (vgl. Abb. 1), eine ernsthaft in Betracht zu ziehende Option sei (Groeskamp/Kjellsson 2020: 16).

Derart großen Einzelmaßnahmen mit gravierenden Folgen, welche außerhalb des Fokus dieser Arbeit liegen, steht hier das schrittweise Vorgehen der für den Küstenschutz zuständigen staatlichen Stellen gegenüber. Ihr Agieren geht eindeutig dazu, im System des momentanen Küstenschutzes, welcher vor allem aus Deichen sowie kleineren Sperrwerken an Nebenflüssen besteht, zu bleiben und lokal nachzusteuern. Dazu gehört vor allem das Erhöhen der Deiche und damit das Verstärken bestehender Linien des Küstenschutzes. In dieser Arbeit werden neben der physischen Manifestation des Küstenschutzes auch die institutionellen Arrangements mit betrachtet, um Wechselwirkungen aufzuzeigen.

## 1.2 Forschungsstand

Untersuchungen wie jene zum Northern European Enclosure Dam sind keine Einzelvorhaben. Im Nordseeraum wurde und wird in allen Ländern bereits zu alternativen Küstenschutzstrategien geforscht. Insbesondere die Niederlande tun sich hier hervor.



**Abb. 2** Die Lichtinstallation „Lines (57° 59'N, 7° 16'W)“ von Pekka Niittyvirta zeigt auf visuelle Weise, wie stark das Meer auf der schottischen Insel Uist ansteigen könnte.

20 Expert\*innen des Delfter Forschungsinstitutes Deltares untersuchten beispielsweise 2017 in einem Policy Hackathon, welche Folgen ein hypothetischer Meeresspiegelanstieg von bis zu 20 m auf die Küste und ihre Schutzbauwerke hätte (Haasnoot et al. 2017). Weitere Impulse gehen aus von den EU-Kooperationsprogrammen Interreg North Sea Region, in deren Rahmen Akteur\*innen der sieben Anrainerstaaten unter anderem auch zu Klimaanpassungsthemen zusammenarbeiten und sich austauschen. Von 2004 bis 2007 wurde im Rahmen des Projekts ComCoast (Combined Functions in Coastal Defence Zones), wie multifunktionale Küstenschutzsysteme gestaltet werden können (www.keep.eu o. J.). Das Projekt FRAMES (Flood Resilient Areas by multi-layer Safety) untersucht von 2014 bis 2020, wie die Resilienz betroffener Küstenregionen mithilfe eines Mehrebenen-Sicherheitsansatzes vergrößert werden kann. In Deutschland ist die Wesermarsch als Partner beteiligt. (www.northsearegion.eu o. J.)

Zu alternativen Küstenschutzstrategien im Elbeästuar selbst findet sich dagegen relativ wenig wissenschaftliche Literatur, was vermutlich auch mit der noch großen Unsicherheit über die Veränderungen zusammenhängt. Bereits zweimal

erschien der Hamburger Klimabericht, in welchem systematisch der Forschungsstand zu Klimawandel, Auswirkungen und Handlungsmöglichkeiten in Hamburg und Norddeutschland dargestellt werden. In der ersten Ausgabe stellte von Lieberman technische Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel dar und fokussierte sich auch auf eine Übersicht möglicher Schutzstrategien für Ästuar (von Lieberman 2011). Das Buch „Kurswechsel Küste – Was tun, wenn die Nordsee steigt?“ fasst Diskussionsrunden des Hanse-Wissenschaftskollegs zu künftigen Küstenschutzmöglichkeiten zusammen und nimmt dabei auch die Elbmündung in den Blick (Reise 2015).

Weitere Aktivitäten, wie beispielsweise auch das Projekt KLIMZUG (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten), welches über fünf Jahre mit verschiedensten Akteur\*innen regionale Auswirkungen des Klimawandels erforschte (KLIMZUG-Nord Verbund 2014), sind jedoch in erster Linie geleitet von der gegenwärtigen Vorgehensweise der öffentlichen Stellen, die vor allem in den Generalplänen Küstenschutz Niedersachsens und Schleswig-Holsteins dargelegt ist (NLWKN 2007; MELUR SH 2013).

Synergien und Wechselwirkungen entstehen hier



durch das Tideelbmanagement, welches darauf abzielt, den Eintrag von Sedimenten durch die Tidebewegung in den Hamburger Hafen zu reduzieren. Im Rahmen dieses Maßnahmenkatalogs schlägt vor allem die Hamburg Port Authority vor, mehr Flutraum zu schaffen, was auch positive Auswirkungen auf den Küstenschutz haben könnte. Innovationstreiberin in diesem Rahmen war die Internationale Bauausstellung (IBA) Hamburg, die von 2006 bis 2013 stattfand. Räumlich manifestierte sich dies vor allem durch das Pilotprojekt Kreesand in Hamburg-Wilhelmsburg, welches auch auf das Tideelbmanagement zurückging und mehr Flutraum schaffte. In der ebenfalls durch die IBA erarbeitete Machbarkeitsstudie zum Deichpark Elbinsel werden darüber hinaus langfristig weitere Schutzstrategien für das Ästuar aufgezeigt (IBA Hamburg 2011).

Deutlich wird jedoch auch, dass ein Blick in die Zukunft, auf den diese Arbeit abzielt, die Unsicherheiten zum Klimawandel mit einkalkulieren muss. Daher stellt diese Arbeit die Frage „Was wäre, wenn?“, denn das Fehlen eines genauen, berechenbaren Szenarios kann nicht bedeuten, dass keine Beschäftigung mit künftigen Entwicklungen stattfindet. Im Gegenteil, diese Tätigkeit ermöglicht es erst, eine aktive Rolle in den Entwicklungen, die uns alle erwarten, einzunehmen.

Das Londoner Designbüro Superflux betreibt Zukunftsforschung durch Experimente, die Entwicklung von Szenarien und die Erstellung greifbarer Prototypen. Es hat beispielsweise eine Wohnung in der britischen Metropole im Jahr 2050 erdacht und gebaut, die auf ein Szenario reagiert, in dem der Klimawandel die Ernährungssicherheit fundamental gefährdet. Dieses Projekt wurde dann weitergedacht im Kontext Singapurs im Jahr 2219, in dem der steigende Meeresspiegel praktisch die gesamte Stadt unter Wasser gesetzt hat. Superflux-Gründerin Anab Jain beklagte, dass es angesichts des rapiden Wandels und der Unberechenbarkeit der Entwicklung für viele Menschen schwierig sei, eine Verbindung mit der Zukunft zu sehen und sie nicht als eine Art fremdes Territorium zu betrachten. Als Gegenmittel beschrieb sie jedoch auch, dass „by putting ourselves into different possible futures, by becoming open and willing to embrace the uncertainty and discomfort that such an act can bring, we have the opportunity

to imagine new possibilities“ (Jain 2017).

## 1.3 Fragestellungen

Wie bereits deutlich erkennbar wurde, stellt der Küstenschutz in einer Ästuarregion einen äußerst komplexen Gegenstand dar, dessen Betrachtung viele weitere Themenfelder zwingend berührt. Vor diesem Hintergrund ist eine grundlegende Fokussierung dieser Arbeit auf die zukünftige Entwicklung fundamental. Es lässt sich daher folgende Hauptfragestellung herausarbeiten:

**Wie kann der Küstenschutz in der Elbeästuarregion angesichts steigender Meeresspiegel und eines erhöhten Risikos durch Sturmfluten zukünftig gestaltet werden?**

Zur Beantwortung dieser Fragestellung konkretisieren vier weitere sekundäre Fragestellungen das Augenmerk der Untersuchung, indem sie die Betrachtung des Status Quo und die Erörterung möglicher Zukunftsperspektiven spezifizieren:

**Wie ist der Küstenschutz gegenwärtig ausgestaltet und welche Verantwortlichkeiten gibt es?**

**Wo lässt sich zukünftiger Küstenschutz zwischen den Paradigmen „Dynamisieren“ und „Regulieren“ im Umgang mit dem Fluss verorten?**

**Wie kann der zukünftige Küstenschutz gestalterisch und technisch aussehen?**

**Was sind Zusammenhänge zwischen der Akteursstruktur der Region und einer veränderten Ausrichtung des Küstenschutzes?**

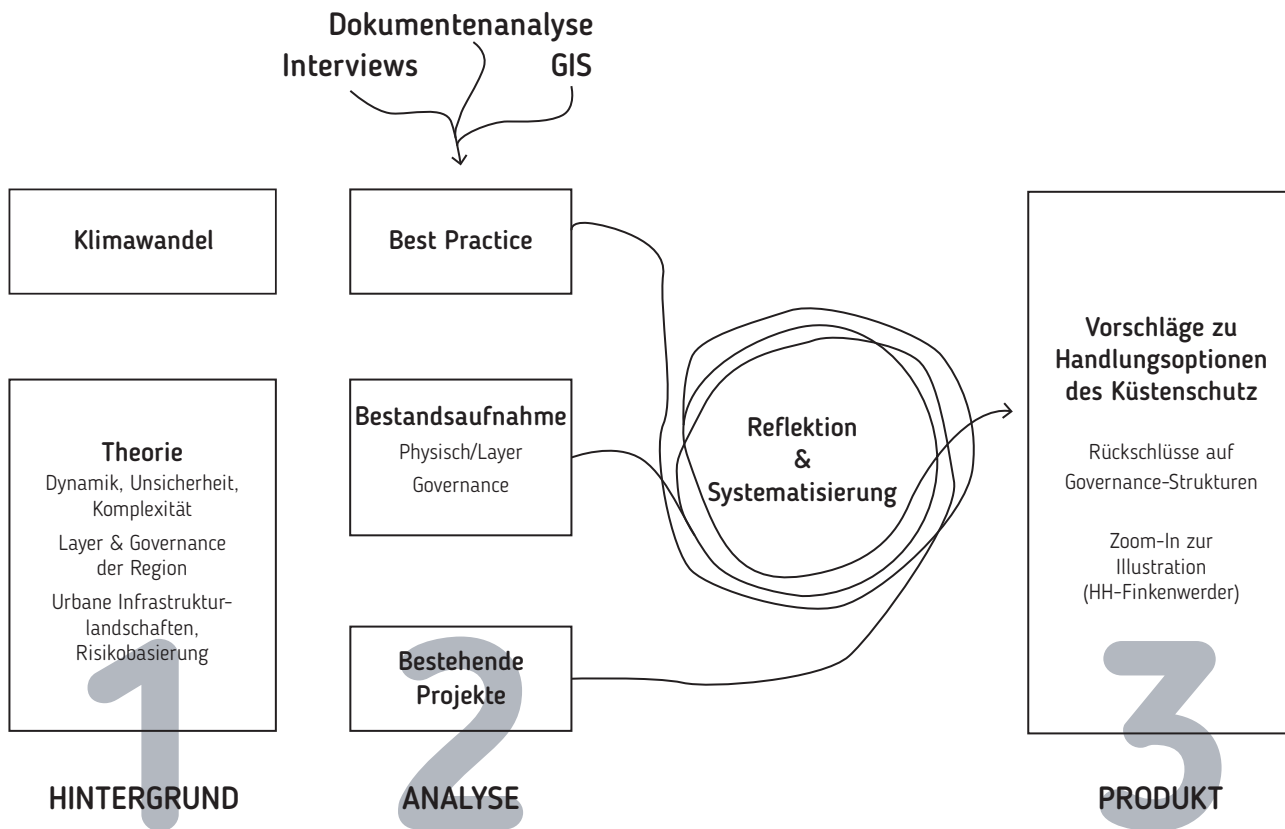


Abb. 3 Vorgehensweise der Bachelorarbeit.

## 1.4 Herangehensweise und Methodik

In dieser Arbeit liegt der Fokus insbesondere auf der Wechselwirkung des Küstenschutzes mit dem Landschaftsbild, der geschichtlichen Entwicklung und genereller Handlungsprinzipien in gestalterischem und organisatorischem Sinne. Um eine Antwort auf die Fragestellungen zu finden, muss in der Fokussierung gleichzeitig eine Selektion sowohl in der räumlichen als auch in der thematischen Vielfalt der Elbeästuarregion stattfinden.

Erschwerend kommt hinzu, dass mit Blick auf die Zukunft die Unsicherheit ein gravierender Faktor ist. Wie in Kapitel 2 deutlich wird, sind viele Auswirkungen des Klimawandels heute noch nicht genau vorhersagbar. Dies liegt daran, dass es noch einen beträchtlichen Forschungsbedarf gibt, ist aber auch im Umstand begründet, dass die Entwicklung des Klimas zu einem großen Teil ein Resultat menschlichen Handelns in allen Regionen der Erde ist.

Konkrete physische Manifestationen des Küs-

tenschutzes können hinsichtlich ihrer Resultate beziehungsweise Zweckerfüllung, Effektivität, Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen und der Natur nur durch aufwendige hydro-numerische Digitalmodelle geprüft werden. Dies betrifft ihre Auswirkungen sowohl auf den Schutz des Hinterlandes selbst, als auch auf Wasserdynamik und Biosphäre.

Der Schwerpunkt soll daher stattdessen auf einem theoretischen Zugang zur Thematik, den Grundprinzipien des Umgangs mit dem von steigenden Meeresspiegeln ausgehenden Risiken und dem exemplarischen Anwenden bestimmter Handlungswege liegen.

Die Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert. Der Klimawandel wird als globales Phänomen dargestellt, um eine fundierte Grundlage zu schaffen. Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen folgt die eigentliche Bestandsaufnahme des Elbeästuars. Hieran schließt sich eine Betrachtung mehrerer bereits bestehender, beispielhafter Projekte des Küstenschutzes in den Niederlanden, Großbri-



tannien und Hamburg an. Das sechste Kapitel widmet sich einem Blick in die Zukunft im Untersuchungsraum. Es werden Handlungsoptionen für den Küstenschutz im Elbeästuar entwickelt und mithilfe eines Zoom-In in Hamburg-Finkenwerder exemplarisch veräumlicht. Das siebte Kapitel fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick in die Zukunft.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage und zur Systematisierung der erarbeiteten Erkenntnisse erfolgt eine Kombination aus mehreren methodischen Werkzeugen.

Für das Erarbeiten von künftigen Handlungswegen ist zunächst eine Betrachtung des heutigen Zustands der Region fundamental. Zur Bestandsaufnahme der physischen Manifestation wird insbesondere die Kartographie und hierbei eine Vorgehen der Aufspaltung des Raumes in sogenannte Layer verwendet.

Für die Analyse der institutionellen Struktur sowie der bestehenden Strategien des Küstenschutzes wird auf eine Analyse wichtiger Rechtsakte, strategischer Dokumente und grauer Literatur zurückgegriffen.

Unterstützend wurden mehrere qualitative Interviews mit Vertreter\*innen aus Verwaltung und Wissenschaft in Niedersachsen und Hamburg geführt. Die Befragten fungierten hier als Expert\*innen, auf deren Fachwissen zurückgegriffen wurde. Es ergab sich somit der Charakter eines informatorischen Interviews (Lamnek/Krell 2010: 304–305, zitiert nach Koolwijk 1974). Diese wurden durch einen Leitfaden gestützt, gleichzeitig wurde Raum gelassen für Aussagen und Informationen, die nicht durch den Fragebogen vorgegeben waren. Nach Lamnek und Krell entspricht dies einem teil-standardisierten Interview (Lamnek/Krell 2010: 311–312).

Die Aussagen der Expert\*innen sind in die einzelnen Kapitel der Arbeit, insbesondere das vierte, fünfte und sechste, mit eingeflossen und schließen Lücken bezüglich der Abstimmung der Akteur\*innen untereinander und informeller Überlegungen für die Zukunft. Prägnante Zitate, in erster Linie von Interviewpartner\*innen, aber auch solche, die sich in den sonstigen Quellen fanden, spitzen zahlreiche Sachverhalte zu und machen Charakteristika, aber auch Konflikte deutlich. Sie sind an verschiedenen Stellen, über die gesamte Arbeit

verteilt, hervorgehoben und sollen dazu dienen, den Themenkomplex besser greifen zu können.

Auf die Analyse aufbauend wird als zweiter Schritt ein Blick in die Zukunft vorgenommen. Hier wurde sich in erster Linie den Methoden des Entwurfs bedient und drei verschiedene Optionen illustriert. Diese Entwürfe sollen sich keineswegs als fertige Handlungsstrategie verstanden wissen. Johnson et al. argumentieren hierzu, dass das Erstellen eines Entwurfs allzu oft als Endpunkt des gesamten Entwurfsprozesses verstanden wird. Stattdessen ließe es sich argumentieren, dass hierbei implizite und explizite Hypothesen aufgestellt werden, wie sich der Raum verändern würde und welche Auswirkungen verursacht werden. Diese Hypothesen könnten dann Teil eines quasi-Experiments sein und weiter überprüft und evaluiert werden. (Johnson et al. 2002: 343) Die Entwürfe lassen zum Teil auch Rückschlüsse auf nötige Veränderungen der Struktur der Akteur\*innen zu, insbesondere dort, wo andere Fachdisziplinen betroffen sind. Diese werden mit aufgeführt, aufgrund der Komplexität der Governance und des hypothetischen Blicks in die Zukunft lässt sich jedoch noch kein erforderlicher Veränderungsbedarf in diesem Feld formulieren.



► Abb. 4 Sturmflut an der Elbe bei Otterndorf



# 2



## **Der Klimawandel als Ausgangspunkt**



*Der Klimawandel und die Entfaltung seiner Folgen sind eine der einschneidendsten Entwicklungen unserer Zeit und Grundlage dieser Arbeit. Um Klarheit zu schaffen und das Bewusstsein zu schärfen soll deswegen zunächst umrissen werden, was die Ursachen des Klimawandels sind, wie er sich entwickelt hat und vor allem künftig entwickeln wird. Vor dem Hintergrund der Fragestellung sowie des Untersuchungsraums der Arbeit wird vor allem auf die Situation der Meere und Küstenregionen eingegangen. Letzten Endes bilden die daraus abgeleiteten Erkenntnisse den alles umspannenden Hintergrund für die weiteren Ausführungen.*

## **2.1 Ursachen und Entwicklung des Klimawandels**

### **2.1.1 Veränderung von Klima und Temperatur**

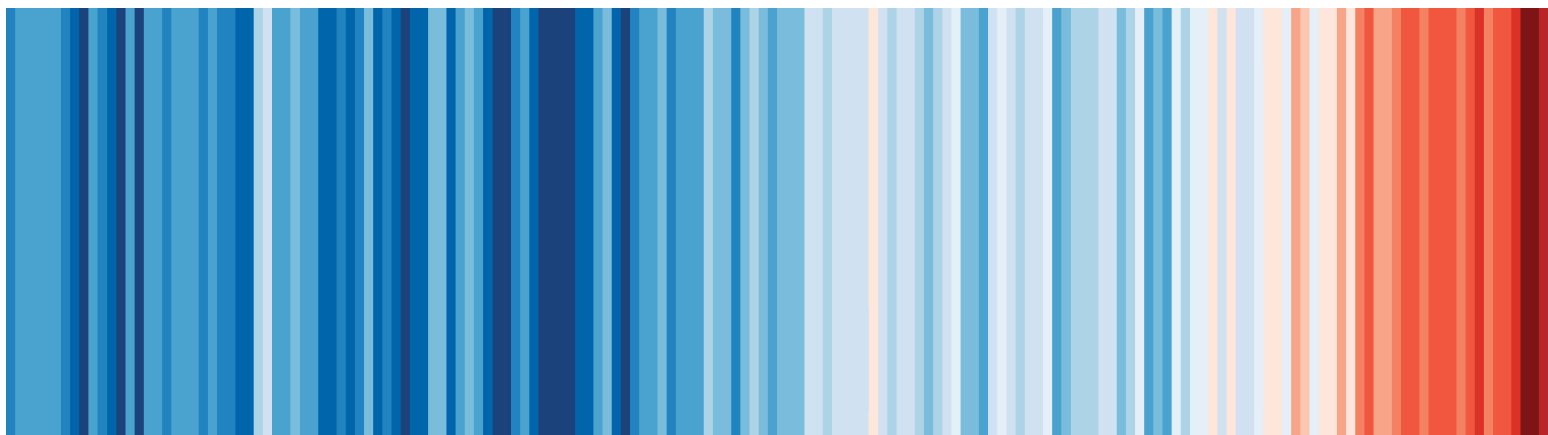
Der britische Klimaforscher Ed Hawkins veröffentlichte im Jahr 2018 seine Grafik „Warming Stripes“, zu Deutsch „Erwärmungsstreifen“ vor. Sie zeigt die Temperaturabweichungen vom langjährigen, globalen Jahresmittel. Kältere Werte sind blau, wärmere rot eingefärbt. Auch wenn die Grafik stark vereinfacht, spricht sie doch eine deutliche Sprache: Die globale Temperatur steigt. Auch wenn es durchaus kurzfristige Fluktuationen gibt, ist ein langfristiger Trend klar erkennbar.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ein weltweiter Zusammenschluss von Klimaforscher\*innen unter dem Dach der Vereinten Nationen, trägt sein Wissen unter anderem in Sachstandsberichten zusammen. Im fünften und bislang letzten Bericht heißt es hierzu: „Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangegangenen Jahrzehnte seit 1850. Der Zeitraum 1983–2012 war sehr

wahrscheinlich die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 800 Jahre auf der Nordhalbkugel, wo eine solche Bewertung möglich ist (hohes Vertrauen) und wahrscheinlich die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre (mittleres Vertrauen)“ (IPCC 2014: 40). Ein Sonderreport des IPCC stellte zudem fest, dass es menschlichen Aktivitäten zugeschrieben wird, dass die globale Erderwärmung mittlerweile einen Wert von ungefähr 1,0 °C gegenüber vorindustriellen Zeiten erreicht hat. Sollte die Erwärmung mit der gegenwärtigen Geschwindigkeit weiter voranschreiten, ist das Erreichen der 1,5 °C-Marke zwischen 2030 und 2052 wahrscheinlich. (IPCC 2018: 6)

Der Klimawandel ist ein globales Phänomen, welches vor Grenzen nicht haltmacht. Er ist auch in unseren Breiten angekommen und deutlich spürbar. Somit spielt sich, was die Erwärmung angeht, auch hierzulande vergleichbares ab. Mit einer Mitteltemperatur von 10,3 °C war 2019 – nach 2018 – das zweitwärmste Jahr in Deutschland seit dem Beginn systematischer Wetteraufzeichnungen 1881. Neun von zehn der wärmsten je aufgezeichneten Jahre fielen ins 21. Jahrhundert. (Kaspar/Friedrich 2020)

**Abb. 5** Ed Hawkins' Warming Stripes zeigen plakativ die voranschreitende Erderwärmung.



## 2.1.2 Wirkmechanismus und Auswirkungen

Menschliche Aktivitäten haben einen entscheidenden Einfluss auf diese Entwicklung des globalen Klimas. Das IPCC stellt fest, dass „Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem (...) klar [ist] und die jüngsten anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen (...) die höchsten in der Geschichte [sind].“ (IPCC 2014: 2) Vor allem durch das Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung sind die anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen seit der vorindustriellen Zeit stark gestiegen und liegen heute auf einem nie zuvor erreichten Niveau. In der Atmosphäre sind Mengen an Kohlendioxid, Methan und Lachgas konzentriert wie seit 800.000 Jahren nicht. Die Auswirkungen konnten im gesamten Klimasystem nachgewiesen werden. Hierdurch ist es äußerst wahrscheinlich, dass sie die Hauptursache für die oben beschriebene globale Erwärmung bilden. (IPCC 2014: 44)

Diese vom Menschen verursachten Emissionen stören das globale Klimasystem tiefgreifend. Dieses wird angetrieben durch die Sonneneinstrahlung, welche einerseits direkt in den Weltraum reflektiert, zum großen Teil jedoch von Boden, Wolken und Spurenstoffen absorbiert wird, sodass sie sich erwärmen. Diese reflektieren die Strahlungsenergie ebenfalls zurück in den Weltraum, ein Teil wird allerdings durch die Treibhausgase in der Atmosphäre, insbesondere Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Ozon, absorbiert und in alle Richtungen, also auch zurück zur Erde, emittiert.

Neben der Erhöhung der Konzentration dieser Stoffe hat auch die Veränderung der Erdoberfläche durch menschliche Landnutzung einen Anteil an der Veränderung dieses Systems, welche eine Erwärmung mit sich zieht. Hinzu kommt, dass verschiedene Rückkopplungseffekte stattfinden, beispielsweise durch die Reduktion mit Eis bedeckter Flächen auf der Erde, welche den Temperaturanstieg verstärken. (Schmidt et al. 2017: 9–10)

Diese tiefgreifenden Änderungen des globalen Klimasystems haben bereits heute Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen. Viele Ökosysteme sowohl an Land als auch zu Wasser haben sich bereits durch die globale Erwärmung verändert. (IPCC 2018: 7) Zu diesen Veränderungen

zählt ein häufigeres Auftreten warmer und ein reduziertes Auftreten kalter Temperaturextreme, wodurch sich Hitzewellen in zahlreichen Regionen der Welt, darunter vor allem Europa und Asien, häufen. Die Zahl der Starkregenereignisse hat ebenso in zahlreichen Regionen zugenommen, wodurch Überschwemmungsrisiken steigen. Seit den 1970er Jahren treten darüber hinaus extrem hohe Meeresspiegel spürbar öfter auf, beispielsweise durch Sturmfluten. Die Auswirkung auf den Menschen ist dabei deutlich: Die Verwundbarkeit wird durch die jüngsten Fälle von Dürren, Waldbränden und Wirbelstürmen eindrücklich vor Augen geführt. (IPCC 2014: 7–8)

Um diese Vielzahl an Auswirkungen besser beurteilen zu können, fasst das IPCC seit seinem dritten Synthesebericht im Jahr 2001 die Schlüsselsrisiken sektoren- und regionsübergreifend in den sogenannten „Fünf Gründen der Besorgnis“ zusammen (IPCC 2014: 74):

### 1. Einzigartige und bedrohte Systeme

Einige Ökosysteme, wie z.B. Korallenriffe – sind schon zum jetzigen Zeitpunkt durch die Folgen des Klimawandels in ihrer Existenz bedroht. Die Risiken für irreversible Verluste steigen mit fortschreitender Erwärmung an.

### 2. Extremwetterereignisse

Es besteht ein erhöhtes Risiko extremer Wetterereignisse wie Stürme, Starkregen oder Hitzewellen. Bei einer weiteren Erwärmung steigt auch hierfür das Risiko.

### 3. Verteilung der Folgen

Die Auswirkungen des Klimawandels treten nicht überall in gleichem Maße auf, sondern sind regional unterschiedlich verteilt. Benachteiligte Gemeinschaften werden besonders mit den Folgen zu kämpfen haben, beispielsweise durch eine geringere Wasserverfügbarkeit oder reduzierte Ernteerträge.

### 4. Globale aggregierte Folgen

Die Effekte der Erderwärmung werden sich gegenseitig immer weiter verstärken, wenn die Temperaturen steigen. Dies betrifft unterschiedliche Sektoren wie Ökosysteme und Biodiversität, aber auch menschliche Aktivitäten, z.B. die Weltwirtschaft.

### 5. Großräumige singuläre Ereignisse

Mit fortschreitender Erwärmung wird das Erreichen von irreversiblen Ereignissen mit glo-

baler Tragkraft immer wahrscheinlicher. Diese werden auch Kipp-Punkte genannt. Ein Beispiel hierfür ist das mögliche komplette Schmelzen des Grönländischen Eisschildes, welches einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 7 m bewirken würde.

Zu untersuchen, wie sich Erderwärmung und ihre Folgen künftig weiterentwickeln, ist einer der Schwerpunkte der Arbeit der Klimaforscher\*innen. Um hierfür belastbare Klimaprojektionen zu erstellen, sind mithilfe von Computern berechnete globale Zirkulationsmodelle die einzige verfügbare Methode. Sie beschreiben die künftige Klimaentwicklung unter der Annahme bestimmter Emissionsszenarien und werden auch vom IPCC, unter anderem für seine Sachstandsberichte, verwendet. (Schmidt et al. 2017: 15) Die für die globale Temperaturveränderung so wichtige Emissionsentwicklung wird jedoch von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die sich in ihrer globalen Komplexität nur schwer oder gar nicht vorhersagen lassen. Hierzu zählen die Demografie sowie die wirtschaftliche, technologische und politische Entwicklung. Wichtig ist daher, dass es sich bei den Klimaszenarien nicht um Prognosen, sondern um Projektionen verschiedener möglicher zukünftiger Veränderungen handelt. (Walkenhorst/Stock 2009: 1–2)

Das IPCC verwendet hierfür verschiedene sogenannte repräsentative Konzentrationspfade (RCP), die unterschiedliche Entwicklungen von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im 21. Jahrhundert beschreiben. Der RCP2.6 beschreibt ein Szenario, in dem die Emissionen stringent gemindert werden und die Erderwärmung unter 2 °C gehalten werden soll. Der RCP8.5 ist dagegen ein Szenario, in dem es zu weiterhin hohen Emissionen kommt und wenig oder gar keine zusätzlichen Bemühungen zur Beschränkung vorgenommen werden. (IPCC 2014: 59) Bei diesem erscheint eine Erwärmung von über 4 °C im Jahr 2100 wahrscheinlich (IPCC 2014: 61).

Der Blick in die Zukunft erfährt nicht nur durch die Ungewissheit darüber, wie die Menschheit künftig Emissionen ausstoßen wird, bedeutende Limitierungen. Die globalen Zirkulationsmodelle müssen, um Aussagen über mögliche Folgen für regionale Kontexte zu treffen, herunterskaliert werden. Bei Fragen zur regionalen Entwicklung des

Klimawandels wird die Unsicherheit jedoch größer und steigt mit jedem Schritt hin zu einem enger umrissenen Gebiet, wodurch Effekte nur schwer abschätzbar sind, was auch digitale Berechnungen mit einschließt. (Walkenhorst/Stock 2009: 7–8)

### 2.1.3 Handlungsansätze

Durch die anthropogene Ursache des Klimawandels lässt sich feststellen, dass es ebenso in unserer Hand liegt, etwas zu tun, um die weitere Entwicklung positiv zu beeinflussen. Klimaprojektionen zeigen bedeutende Unterschiede in Klimacharakteristika zwischen einer Erwärmung von 1,5 °C und 2 °C (IPCC 2018: 9).

Bis in die 1990er Jahre hinein wurde als Reaktion auf den Klimawandel zunächst der ursachenbezogene Klimaschutz forciert. Mittlerweile wurde jedoch deutlich, dass der Temperaturanstieg und seine Folgen bereits heute auftreten, nicht mehr völlig vermieden werden können und über Jahrhunderte fortauern werden. Hierdurch gelangten Wissenschaftler\*innen und Politiker\*innen zu der Einsicht, dass zwei komplementäre strategische Handlungsansätze parallel zu verfolgen sind: Die Mitigation steht für das Vermeiden weiterer anthropogener Klimaveränderungen, in erster Linie durch Emissionsreduktionen. Die Adaptation bedeutet die Anpassung der Gesellschaft an die Folgen des Klimawandels, wodurch sich die Verwundbarkeit reduzieren lässt. (BBSR 2010: 8) Die Strategien sind eng miteinander verflochten, greifen auf unterschiedlichen Ebenen aber am besten (vgl. Abb. 6): Mitigationsmaßnahmen sind zeitverzögert mit ausschlaggebend für das nötige Maß an Anpassung. Umgekehrt können Kosten und Potentiale von Adaptionsvorhaben Anstrengungen zum Klimaschutz beeinflussen. Beide konkurrieren um ähnliche Ressourcen, in der Anwendung ergeben sich aber auch Synergien und Trade-Offs. (Hirschfeld et al. 2017: 316)

#### *Mitigation*

Das IPCC konstatiert, dass ohne stärkere Mitigationsbemühungen eine Erderwärmung von über 4 °C sehr wahrscheinlich ist. Kipp-Punkte würden eher erreicht und es könnte zu einem beträchtlichen Artensterben und einer global gefährdeten Ernährungssicherheit kommen. (IPCC 2014: 82)



**Abb. 6** Adaption und Mitigation als komplementäre Handlungsansätze, die auf unterschiedlichen Ebenen verschieden stark greifen.

Gleichzeitig stehen aber auch noch Minderungs-pfade offen, um die Erwärmung auf einem ge-ringeren Niveau zu halten. Um eine Erwärmung von höchstens 1,5 °C zu erreichen, müssten die globalen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 45 % (im Vergleich zu 2010) sinken und ein Netto-Null im Jahr 2050 erreichen (IPCC 2018: 14) (vgl. Abb. 7). Diese Pfade bedingen allerdings einen schnellen und weitreichenden Wandel in den Sektoren der Energie, Industrie, Bauen und Infrastruktur. Er ist so weitreichend wie keine Transition zuvor und bedingt erhebliche Emis-sionsreduzierungen aller Sektoren, eine Vielzahl an Mitigationsmaßnahmen und deutlich erhöhte Investitionen, um sie umzusetzen. (IPCC 2018: 17)

Ein Schritt in diese Richtung war das Pariser Abkommen im Dezember 2015. Auf der internati-onalen Klimakonferenz beschlossen, verpflichtet es erstmals alle Staaten völkerrechtlich, Emis-sionsminderungen vorzunehmen. Das gemeinsame Ziel ist, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C, idealerweise auf 1,5 °C zu begrenzen. (BMU 2017) Dies würde in etwa dem RCP2.6 entsprechen.

Es bestehen dennoch fundamentale Grenzen der Mitigation. Sollte es möglich sein, die mittlere globale Oberflächentemperatur zu stabilisieren, würde dies noch nicht bedeuten, dass alle Aspekte des Klimasystems stabilisiert sind. Insbesondere die Dynamiken der Ozeantemperaturen, Eisschilde und des sich daraus ergebenden Meeresspiegels

haben inhärent lange Zeitskalen, welche zu an-haltenden Veränderungen für hunderte bis tau-sende von Jahren nach einer Stabilisierung der globalen Oberflächentemperatur führen werden. (IPCC 2014: 76)

#### *Adaption*

Durch Adaptionsmaßnahmen lassen sich die mit den unvermeidbaren Auswirkungen des Klima-wandels einhergehenden Risiken deutlich redu-zieren. Mit fortschreitender Geschwindigkeit und vergrößertem Ausmaß des Klimawandels wird dennoch das Erreichen von Anpassungsgrenzen immer wahrscheinlicher (IPCC 2014: 67). Wichtig ist daher eine längerfristige Perspektive, wodurch sichergestellt wird, dass bereits zeitnah durchge-führte Maßnahmen auch in Zukunft die Vorsorge verbessern und Handlungsoptionen offenhalten können. (IPCC 2014: 84)

Prinzipiell bestehen hierbei in allen Sektoren Optionen zur Anpassung, die von Einzelpersonen, Regierungen und dem Privatsektor seit den 2000er Jahren verstärkt verfolgt werden. Das Wissen über die Reaktionsmöglichkeiten, Kosten und Vorteile wächst seitdem stetig. Zu den Strategien können das Schaffen von Infrastruktur, aber auch institutionelle und informatorische Instrumente gehören. (IPCC 2014: 101)

Die Adaption kann somit jetzt und in Zukunft dazu beitragen, das Wohlergehen der Bevölkerung



sicherzustellen, Ökosysteme sowie ihre Funktionen und Dienstleistungen zu erhalten und Vermögen zu sichern. Bedeutsam ist, dass sie immer orts- und kontextspezifisch ausgestaltet sein muss. (IPCC 2014: 84)

#### Raumrelevanz

Sowohl Klimawandel und seine Folgen als auch Adaption und Mitigation haben vor allem durch die jeweiligen Ortsspezifika immer auch eine starke räumliche Komponente. Der Raumplanung kommt daher bei der strategischen Entwicklung von Adaption- und Mitigationswegen eine Funktion der Abwägung und Integration der verschiedenen Disziplinen zu. (Birkmann et al. 2010: 9) Auch die deutsche Bundesregierung erkennt diese Rolle in ihrer 2008 beschlossenen Nachhaltigkeitsstrategie an: „Räumliche Planung kann mit den bereits bestehenden rechtlichen und planerischen Instrumenten sowohl Klimaschutz als auch Anpassung unterstützen. Möglicherweise häufiger auftretende Naturgefahren können dazu führen, dass natürliche Ressourcen nur noch eingeschränkt genutzt werden können. Gleichzeitig besteht ein hoher Nutzungsdruck, da Anpassungs-

maßnahmen oft ebenfalls Raum beanspruchen. Die Raumplanung kann mit der Entwicklung von Leitbildern für anpassungsfähige und belastbare (resiliente) Raumstrukturen eine Vorreiterrolle übernehmen, die gegenüber den Auswirkungen aller gesellschaftlichen Veränderungsprozesse auf die Raumstruktur robust und flexibel reagiert“ (Bundesregierung 2008: 42)

Die Entwicklung dieser belastbaren, resilienten Raumstrukturen findet nicht von einer Ebene allein aus statt. Es sind immer viele Akteur\*innen beteiligt, die unterschiedliche, zum Teil divergierende Interessen verfolgen. Die Mitigations- und Adaptionsplanung agiert dabei in einem Governance-System, welches sich über mehrere Ebenen erstreckt. Diese reichen von der internationalen Ebene, z.B. in Form der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, bis hin zur lokalen Gemeinde. Je nach Ebene ist unterschiedlich, welcher der beiden Ansätze am besten greift. Während die Spielräume für die effektive Umsetzung von Mitigations- bzw. Klimaschutzmaßnahmen von der höchsten Ebene nach unten hin abnehmen, lassen sich Adaptionsmaßnahmen auf lokaler Ebene am wirksamsten umsetzen. (Weiland 2015: 195)

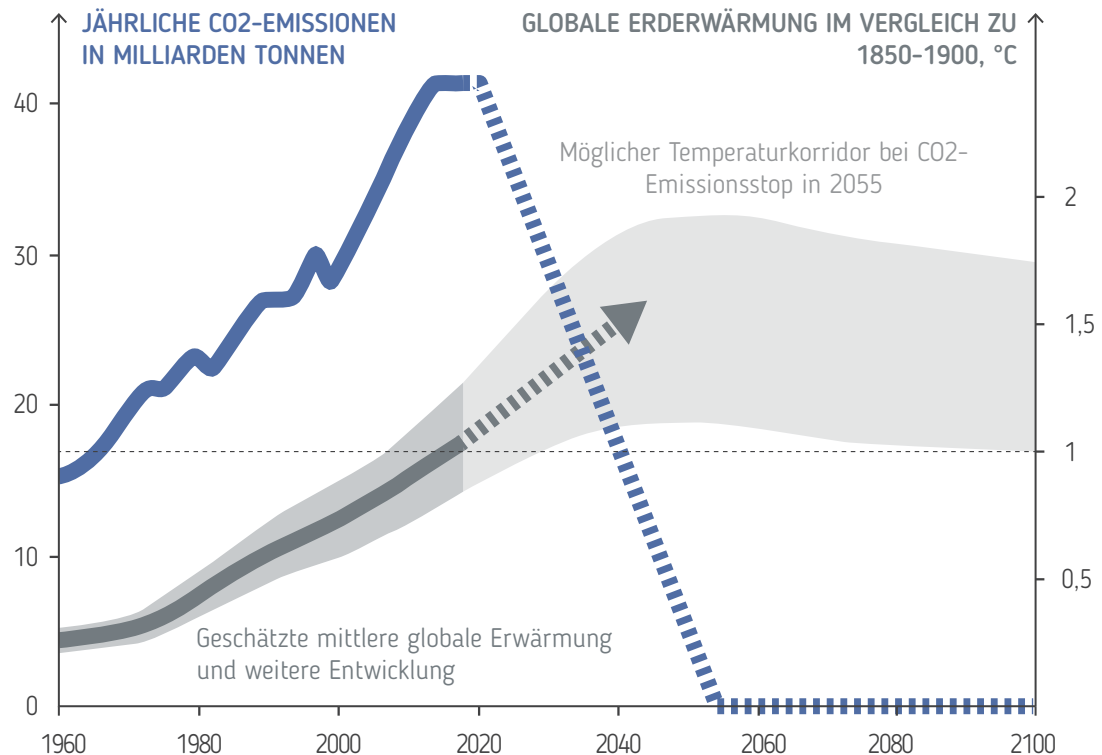


Abb. 7 CO<sub>2</sub>-Minderung und Emissionsstop als Weg der Mitigation.

## 2.2 Auswirkungen auf Meere und Küstenregionen

Alle Menschen auf der Erde hängen direkt oder indirekt vom Ozean und der Kryosphäre, den gefrorenen Bestandteilen des Erdsystems, ab. Sie sind ein wesentlicher Wirkungsbereich der anthropogenen Treibhausgasemissionen und ihren Folgen, da ein Großteil der Erdoberfläche durch sie bedeckt wird. (IPCC 2019: 3)

### 2.2.1 Meeresspiegelanstieg

Der Meeresspiegelanstieg geht schneller voran als erwartet und wird höher ausfallen als bisher befürchtet. Betrug die Anstiegsrate über einen Betrachtungszeitraum von 1901–1990 1,4 mm/Jahr, lag sie bei einer Periode von 2006–2015 bei 3,6 mm/Jahr (2006–2015) und damit mehr als doppelt so hoch, was insbesondere mit dem Schmelzen von Eismassen zusammenhängt. Auch dieses Phänomen ist auf den menschengemachten Klimawandel zurückzuführen (IPCC 2019: 10).

Das künftige Ausmaß des Anstiegs ist je nach Emissionsszenario unterschiedlich. Für den RCP2.6 wird ein Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels um 0,43 m bis 2100 (im Vergleich zum Mittel von 1986–2005) projiziert, für den RCP8.5 um 0,84 m bis 2100 (ebenfalls im Vergleich zum Mittel von 1986–2005). Unter letzterem Szenario könnte die Anstiegsrate sich zudem so weit erhöhen, dass sie im 22. Jahrhundert mehrere Zentimeter pro Jahr beträgt. Regionale Unterschiede in der Ausprägung des Anstiegs müssen jedoch in jedem Fall trotz des stetig steigenden Einflusses des Klimawandels mit einbezogen werden. (IPCC 2019: 22) Die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien zeigen erneut, dass verstärkte Mitigationsbemühungen, vor allem in Form einer deutlichen Emissionsreduktion, fundamental wichtig sind.

### 2.2.2 Küsten- und Deltaregionen

Vom Wasser geprägte, urbane Landschaften stellen bevorzugte Lebensräume des Menschen dar: Weltweit zwei Drittel aller Metropolen mit über 5 Millionen Einwohnern liegen im Mündungsbereich von Flüssen und maximal 10 Meter über dem Meeresspiegel (IBA Hamburg 2008: 13). Einen

Typus dieser Deltaregionen bilden die Ästuarie. Der Begriff bezeichnet solche Gebiete, die eine trichterförmige Flussmündung aufweisen. Durch ihre Lage ist die Bevölkerung aller Küstenregionen multiplen klimabezogenen Risiken ausgesetzt, darunter extremen Meeresspiegeln, Fluten, Stürmen, marinen Hitzewellen oder dem Verlust von Meereis. (IPCC 2019: 18). Das IPCC sagt voraus, dass die Häufigkeit von extrem hohen Meeresspiegeln in den meisten Küstenregionen deutlich steigen wird. Wasserstände, die früher statistisch einmal pro Jahrhundert auftraten, sind in den Projektionen unter allen RCPs mindestens jährlich möglich. Selbst unter dem RCP2.6 könnte dies in vielen niedrig gelegenen Metropolen bereits im Jahr 2050 mit weit reichenden Folgen der Fall sein. Dass der Zeitpunkt sich in den Projektionen mit niedrigeren zugrundeliegenden Emissionspfaden aber immer weiter nach hinten verschiebt, zeigt erneut, wie wichtig schnelle Mitigationsbemühungen sind. (IPCC 2019: 23–24)

„Coastal communities face challenging choices in crafting context-specific and integrated responses to sea level rise that balance costs, benefits and trade-offs of available options and that can be adjusted over time (high confidence). All types of options, including protection, accommodation, ecosystem-based adaptation, coastal advance and retreat, wherever possible, can play important roles in such integrated responses (high confidence).“

IPCC–Sonderbericht zu Ozeanen und Kryosphäre 2019, Seite 36

Wissenschaftler\*innen der Princeton University in den USA haben 2019 mittels eines verbesserten digitalen Geländemodells herausgefunden, dass bereits heute 250 Millionen Menschen an Orten leben, die unterhalb des jährlich zu erwartenden Flutniveaus liegen, im Gegensatz zu bisherigen Schätzungen von etwa 65 Millionen. Sie erwarten, dass diese Zahl bei einem mittleren Emissionspfad und weitgehend stabilem antarktischen Eis auf etwa 360 Millionen Menschen im Jahr 2100 steigen könnte. Vor allem südostasiatische Länder



Abb. 8 Die Metropole Hamburg ist vom Wasser geprägt.

wären betroffen. Die künftigen Herausforderungen durch Meeresspiegelanstieg und Fluten für die Weltbevölkerung wären also, selbst bei einem niedrigen Emissionsszenario, deutlich größer als bisher erwartet. (Kulp/Strauss 2019) Es sind jedoch nicht nur die Bewohner\*innen der Küstenzonen betroffen, sondern auch die Ökosysteme. 20–90% der weltweiten Küstenfeuchtgebiete, wie zum Beispiel Salzwiesen, könnten bis 2100 verloren sein. Besonders problematisch ist, dass diese Bereiche oftmals auch als CO<sub>2</sub>-Speicher fungieren. (IPCC 2019: 29)

Sollten keine weiteren Adaptionsbemühungen vorgenommen werden, werden sich Risiken wie Erosion, Landverlust, Überflutung oder Versalzung unter allen Emissionsszenarien im Laufe des Jahrhunderts deutlich erhöhen und jährliche Schäden durch Fluten an den Küsten im Jahr 2100 zwei- bis dreimal so schwerwiegend wie heute sein. Hierfür sind laut dem IPCC jedoch Investitionen in Höhe von bis zu mehreren Hundert Millionen US-\$ notwendig. Während diese Maßnahmen in dicht besiedelten Gebieten und starken Gebieten kosteneffizient und durchführbar sein können, stellen sie insbesondere ärmere Regionen vor größere Herausforderungen. Restrisiken und damit verbundene Schäden werden jedoch

auch bei erheblichen Adaptionsanstrengungen bestehen bleiben. Die Zeithorizonte der Folgen des Klimawandels sind deutlich länger als Prozesse der Governance, die beispielsweise von Legislaturperioden beeinflusst werden. Diese zeitlichen Unterschiede erschweren die Planung und Durchführung von Adaptionsmaßnahmen. Hinzu kommen über Sektoren oder administrative Grenzen fragmentierte Kompetenzen, die das Finden integrierter Antworten erschweren. Je höher die Meeresspiegel steigen, desto herausfordernder wird der Küstenschutz. Gründe hierfür sind in erster Linie eher finanzieller und sozialer als technischer Art. (IPCC 2019: 31–37) Die Region der Elbmündung mit der Metropole Hamburg, welche im Kapitel 4 näher vorgestellt wird, ist somit eine Ausprägung eines Typs von Agglomerationen, die von den weitreichenden Folgen des Klimawandels in verstärktem Maß betroffen sein werden. Durch die dichte Besiedlung und die Lage an der Küste stellt hierbei vor allem die weitere Entwicklung von Ozeanen und Kryosphäre einen bedeutsamen Faktor dar. Die Bewohner\*innen sind folglich mit einem tiefgreifenden Bedrohungsszenario durch den steigenden Meeresspiegel konfrontiert, von dem ein starker und immer weiter wachsender Einfluss auf alle Bereiche des Lebens ausgeht.



# 3



**Charakterisieren,  
Untersuchen, Gestalten –  
über Ästuarlandschaften**



*Nach der Skizzierung von Ursachen, Folgen und möglichen Handlungsoptionen angesichts des Klimawandels werden nun wichtige Schlüsselbegriffe betrachtet. Um Grundlagen für die Analyse des Elbeästuars in seiner heutigen Manifestation sowie die Entwicklung von Zukunftsbildern zu legen, werden diese in den drei Gruppen „Charakterisieren“, „Untersuchen“ und „Gestalten“ behandelt.*

Das Elbeästuar ist eine urbanisierte Ästuarlandschaft und somit ein bestimmter Typus vom Wasser geprägter, urbaner Landschaften. Neben der besonderen Exposition gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels weisen die unterschiedlichen lokalen Ausprägungen, die sich unter anderem in ähnlicher Form an den Mündungen von Hudson, Rhein oder Mississippi finden lassen, weitere Gemeinsamkeiten auf. Eine starke wirtschaftliche Aktivität und der Betrieb von Häfen, die ein weites Hinterland bedienen, trifft auf ein starkes Überflutungsrisiko, welches kontinuierliche, hohe Investitionen in den Küstenschutz notwendig macht. (Penning-Rowsell et al. 2013: 1384)

Zunächst gilt es, den Charakter des Systems dieser urbanen Landschaften zu greifen, welcher insbesondere durch Dynamik, Komplexität und Unsicherheit geprägt ist. Anschließend soll anhand des Konzepts der Layer einer Region und des Begriffs der Governance verdeutlicht werden, wie es sich systematisch betrachten und untersuchen lässt. Zuletzt sollen Wege aufgezeigt werden, wie eine zukünftige – und zukunftsfähige – Gestaltung dieses Landschaftstypus aussehen kann. Hierzu wird das Verhältnis von Landschaft und Infrastruktur und ein neuer Umgang mit Risiken in den Fokus genommen.

## **3.1 Das System charakterisieren**

### **3.1.1 Dynamik**

Ausgangspunkt für die Betrachtung der Dynamik in Ästuaren ist die Annahme, dass weder die Landschaft noch die Natur insgesamt statisch sind. Die systemische Planung geht davon aus, dass die Natur prozessual und von Unvorhersehbarkeit,

Unregelmäßigkeiten und Zufällen geprägt ist (Grosse-Bächle 2008: 414). Pulliam und Johnson argumentieren hierzu, dass es in der Ökologie zu einem grundlegenden Paradigmenwechsel in der Betrachtung der natürlichen Systeme kam, welcher auch einen profunden Einfluss auf die Landschaftsarchitektur und -planung hat. Traditionell galt ein stabiler Gleichgewichtszustand der Ökosysteme mit den jeweiligen lokalen Ressourcen und Rahmenbedingungen als Normalzustand. Im Gegensatz hierzu steht die neue Sichtweise, welche den Verlauf der Zeit mit einbezieht und von kontinuierlichen Einflüssen und Veränderungen durch Störungen ausgeht. Hiermit einher geht ein Verständnis, die Ökosysteme nicht mehr als relativ autonom und isoliert von ihrer Umgebung zu betrachten, sondern als offen und beeinflusst von einem kontinuierlichen Fluss von Material und Individuen über die Systemgrenzen hinweg. (Pulliam/Johnson 2002: 51)

„Why, then, are static landscapes - frozen in space and time - the norm? Maybe it's time to change that and the concept of beauty.“

George Hargreaves, US-amerikanischer Landschaftsarchitekt (Hargreaves 1993: 177)

Dieser Blickwinkel auf Ökosysteme lässt sich auch auf die Landschaft übertragen. Als „komplexes, offenes System“ (Steinhardt et al. 2012: 114) ist die Dynamik der Landschaft nichtlinear. Präzise Aussagen zum Verlauf künftiger Entwicklung sind hierdurch nur sehr schwer möglich und nicht zu verallgemeinern (Steinhardt et al. 2012: 85). Die Unsicherheit ist der Landschaftsentwicklung somit inhärent. Die Landschaftsdynamiken lassen sich dennoch treffend durch die Aspekte Zeit, Spezies,

Lokalität, Störung und Form beschreiben (Johnson et al. 2002: 312, zitiert nach Dale 2000).

Zunächst gilt es, den Charakter des Systems dieser urbanen Landschaften zu greifen, welcher insbesondere durch Dynamik, Komplexität und Unsicherheit geprägt ist. Anschließend soll anhand des Konzepts der Layer einer Region und des Begriffs der Governance verdeutlicht werden, wie es sich systematisch betrachten und untersuchen lässt. Zuletzt sollen Wege aufgezeigt werden, wie eine zukünftige – und zukunftsfähige – Gestaltung dieses Landschaftstypus aussehen kann. Hierzu wird das Verhältnis von Landschaft und Infrastruktur und ein neuer Umgang mit Risiken in den Fokus genommen.

Vor allem die für Ästuar so prägenden Gewässer sind hierbei ein sehr dynamisches Element und Bestandteil der Landschaft. Erst bei der Betrachtung historischer, vom Menschen unbeeinflusster Entwicklungen von Gewässerläufen über einen längeren Zeitraum wird deutlich, wie weitreichend diese Dynamik ist. Es kommt zu einer kontinuierlichen Verlagerung des Gewässerlaufs und der langsamen Formierung oder Weiterentwicklung von Landschaften. Der Landschaftsarchitekt Jörg Sieweke schreibt hierzu: „Im Spannungsfeld von Natur und Landschaft repräsentiert der Fluss einerseits die belebte Natur und andererseits unsere Wunschlandschaften, die er erkennbar selber schafft. Im Fluss zeigen sich sowohl Präsenz als auch stetiger Wandel: Er sucht sich ein neues Bett, er tritt über die Ufer, er schneidet einen Altarm ab, er erodiert seine Sohle, er schleppt Sediment mit sich“ (Sieweke 2010: 80). Diese Veränderungen sind zwar stetig, aber die Prozesse laufen insgesamt in sehr langen Zeiträumen ab, die nicht direkt wahrnehmbar sind. Eine Betrachtung der Wasserlandschaft ist somit immer nur eine Momentaufnahme (Prominski et al. 2012: 19). Menschen fällt es schwer, die Zeitabläufe dieser Prozesse wahrzunehmen und nicht nur die Ergebnisse zu betrachten, da sie kein Sinnesorgan für das Erfassen der Zeit besitzen, sondern deren Wahrnehmung erst schulen müssen. (Grosse-Bächle 2008: 412)

Gleichzeitig ist der Ablauf der Prozesse in diesem natürlichen System nicht kontinuierlich-linearer Art. Es kommt zu Ruhephasen, aber auch zu plötzlichen, extremen Ereignissen mit gravie-

renden Folgen wie Starkregen und Hochwasser (Prominski et al. 2012: 19). Gleichzeitig bestehen stete Wechselwirkungen von Gewässer und Landschaft. Das Gewässer formt die umgebende Landschaft, umgekehrt wird das Gewässer ebenso von seiner Umgebung beeinflusst. Die hierbei prägenden Einflussfaktoren sind Topographie, Gestein, Klima, Erosion und Sedimentation. In den Mündungszonen beeinflussen sich zudem Fluss und Meer gegenseitig. Der Abfluss kann durch steigende Meeresspiegel gestaut werden und das Wasser nahezu zum Stillstand kommen. Durch die folgende Sedimentierung entsteht neues Land im Meer. Deltagebiete und Ästuar tun sich hier durch besonders ausgeprägte Veränderungen in Gewässerläufen und Oberflächen hervor. (Prominski et al. 2012: 24–27)

Dieses dynamische Landschaftsverständnis, welches davon ausgeht, dass lokale Bedingungen durch Vorgänge an anderen Orten und zu anderen Zeitpunkten stark beeinflusst werden, bedeutet auch, dass es wichtig ist, wie Menschen die Landschaft nutzen und gestalten. (Pulliam/Johnson 2002: 51) Dies trifft insbesondere auf urbanisierte Deltaregionen zu, die eine Kombination – und oftmals auch Konfrontation – einer natürlichen Dynamik mit wirtschaftlichen und städtischen Entwicklungen aufweisen. (Meyer 2014: 7) Der Mensch greift, vor allem in den Metropolregionen des globalen Nordens, in hohem Maße in die natürlichen Prozesse ein: Die Dynamiken eines Flusses sind heute bewusst eingeschränkt und kaum in Gänze wahrnehmbar. Die zugrundeliegenden Kräfte sind dennoch vorhanden und auch wirksam. (Prominski et al. 2012: 19)

Diese Beeinflussung hat mittlerweile eine jahrhundertalte Tradition. Die erste Phase menschlicher Interventionen war noch eingeschränkt durch technologische, finanzielle und politische Grenzen. (Meyer 2014: 8–9) Die stets präsenten Gefahren der Natur lehrten den Menschen Respekt und Vorsicht. Die Siedlungstätigkeit passte sich lokalen Gegebenheiten an (Sieweke 2010: 80).

Die nächste Periode begann im 19. Jahrhundert: Technologie und die Kraft von Nationalstaaten ermöglichten strukturelle Eingriffe und das Verändern, Manipulieren und Kontrollieren der natürlichen Wasserdynamiken. (Meyer 2014: 8–9). Der Kern dieser Transformation der Landschaft



Abb. 9 Sperrwerk als menschlicher Eingriff in die natürliche Flusssdynamik.

war stets, die Herrschaft über die Natur zu erlangen. Die „Grundidee [bestand darin], dass die natürliche Welt ein Gegner sei, den es zu zähmen und zu unterwerfen gelte“ (Blackbourn 2010: 32) Verschiedene Infrastrukturen waren dabei Kern dieser Eroberung der Natur, um kontrollierte, statischere Systeme zu errichten (Nijhuis/Jauslin 2015: 15).

„Erst verändern wir den Fluss, dann verändert er uns“

Jörg Sieweke, Landschaftsarchitekt, in „Die Wiederkehr der Landschaft“ (Sieweke 2010: 88)

Um wirtschaftliches Wachstum, industrielle Entwicklung und Raum für die starke Urbanisierung zu ermöglichen, waren Infrastrukturen für Entwässerung, Schifffahrt und Überflutungsschutz von fundamentaler Bedeutung (Meyer 2014: 7). Hierzu zählt der Bau von Stauwerken und technischer Verteidigungsanlagen zum Hochwasserschutz, wie Deiche, Uferbefestigungen und Flussbegradigungen (Sieweke 2010: 80–82). Diese Infrastrukturen sind allein schon durch ihren Maßstab, ihre Allgegenwärtigkeit und die Unmöglichkeit, sie komplett zu verbergen, essentielle Bestandteile

der urbanen Landschaft. In den meisten Fällen sind sie jedoch monofunktional. Naturlandschaften wurden hierdurch zu logistischen, industriellen oder Abfalllandschaften. (Nijhuis/Jauslin 2015: 15–16)

Menschliche Eingriffe in die natürliche Dynamik brachten negative Effekte mit sich. Überschwemmungsgebiete wurden zu schmalen, kanalisierten Flussläufen, graduelle Übergänge von Süß- über Brack- zu Salzwasser wurden zu scharf getrennten Zonen. Ästuare und Deltas, die Heimat vielfältigster Ökosysteme, sind konfrontiert mit dem Verlust ihres ökologischen Reichtums (Meyer 2014: 7). Überhaupt sollte beim Eingriff in Dynamik eher vom Versuch des Kontrollierens der Natur gesprochen werden: Pufferflächen gingen in hohem Maße verloren, was zur festgefahrenen Situation führt, in der die Menschen die Kontrolle über die natürlichen Kräfte verstärkt verlieren. (Meyer 2014: 8–9) Die Missachtung großräumiger Kontexte, wie des hydrologischen Regimes, bewirkt ebenso große Folgen. Vernachlässigte Wechselwirkungen auf Mikro- und Makroebene drängen verzögert in kostspieliger und dramatischer Form zurück ins Bewusstsein. Die Dynamik ist also immer noch präsent, sie tritt nur vor allem in Extremsituationen zu Tage. (Sieweke 2010: 88)



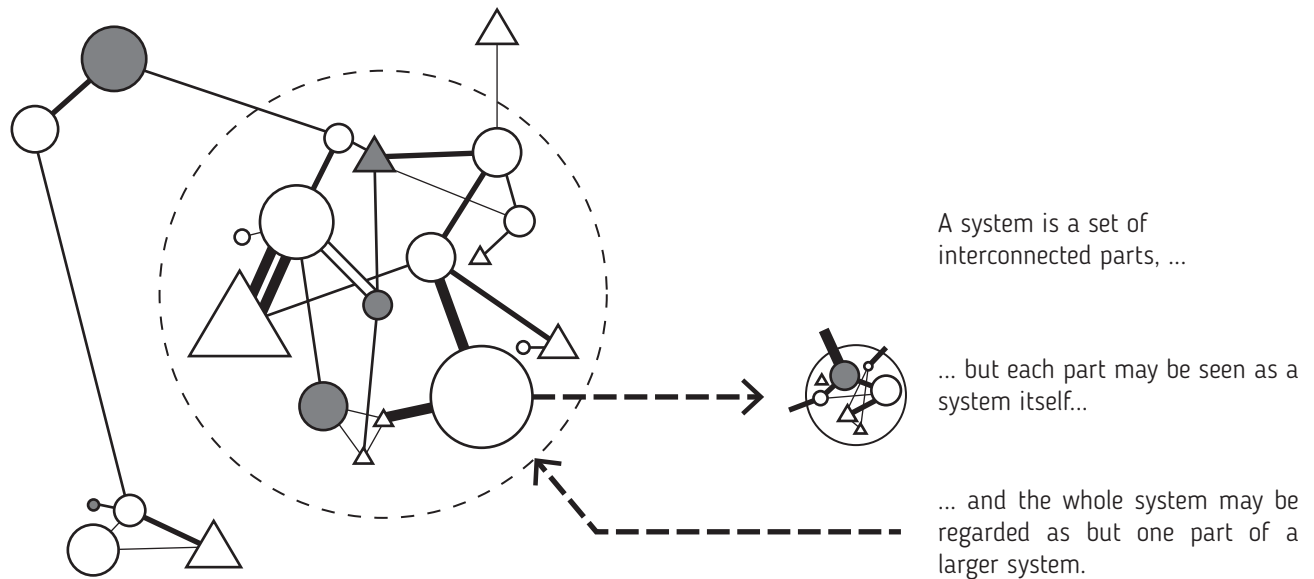


Abb. 10 A City as a System, nach McLoughlin

### 3.1.2 Komplexität

Ein weiteres Charakteristikum von Ästuarlandschaften ist neben der Dynamik die Komplexität. Schon Gewässersysteme können, selbst wenn sie von Menschen wenig beeinflusst werden, durch die Wirkkraft ihrer Prozesse und deren Folgen eine hohe Komplexität aufweisen (Prominski et al. 2012: 19). Im Anthropozän hat sich die Gestalt und Funktionsweise urbaner Landschaften jedoch zu einem derartig komplexen System weiterentwickelt, dass es sich weit ins Hinterland und in die Umweltsysteme erstreckt und über das Verständnis oder gar den Einfluss des\*der Einzelnen hinausgeht. (Nijhuis/Jauslin 2015: 15) Ein früherer Ansatz, die Komplexität einer städtischen Region als System zu betrachten, wurde Ende der 1960er Jahre durch McLoughlin entwickelt (vgl. Abb. 10). Hiernach ist ein System eine Gruppe miteinander verflochtener Teile. Gleichzeitig können diese auch ein eigenes Subsystem darstellen, während das System selbst Teil eines größeren Ganzen ist. (McLoughlin 1969: 74–83) Die Zusammensetzung aus Sub-Systemen mit ihren eigenen Dynamiken und ihrer eigenen Geschwindigkeit der Veränderung geht einher mit einer gegenseitigen Beeinflussung. (Nijhuis/Jauslin 2015: 23) Weiterentwicklungen in Form neuerer urbaner Komplexitätstheorien besagen, dass ein komplexes System niemals auf stabile Weise in Balance ist. In Ökosystemen und solchen sozialer Art verändern sich die einzelnen Bestandteile

demnach kontinuierlich und diese Veränderungen beeinflussen daraufhin die anderen Elemente des Systems. (Meyer/Nijhuis 2013: 162)

Komplexe Systeme weisen eine gewisse Flexibilität und Resilienz auf, um auf Veränderungen der Bestandteile zu reagieren und weiterhin in gewohnter Weise funktionieren zu können. Wird das System jedoch durch Veränderungen über seine Resilienz hinaus strapaziert, kommt es zu einer grundlegenden Transitionsphase und einem veränderten ökologischen Regime. Unter diesem neuen Regime werden die Einzelteile dann grundlegend neu organisiert. In Planung und Entwurf ist es daher essentiell, die Grenzen der Resilienz zu erkennen. Die Transitionen lassen sich beeinflussen, in dem versucht wird, sie zu stoppen oder so zu verändern, dass sie ein verbessertes System mit einer neuartigen Form der Resilienz hervorbringen. (Meyer/Nijhuis 2013: 162)

Die Komplexität findet sich auch im Klimawandel wieder, insbesondere bei Zusammenhängen von Ursachen und Wirkungen. Lokale Emissionen haben beispielsweise globale Auswirkungen. Auch die Folgen entfalten sich nicht linear und treffen in urbanen Regionen mit weiteren Folgen menschlicher Aktivität zusammen. Auch auf institutioneller Seite birgt die Komplexität des Klimawandels durchaus Herausforderungen, da eine Vielzahl an Disziplinen, Sektoren und Ebenen mit Mitigation und Adaption befasst ist. (Fellmer 2014: 12)

### 3.1.3 Unsicherheit

Ein weiteres prägendes Element des Charakters von Ästuarlandschaften stellt die Unsicherheit dar. Sie ist bereits natürlichen Systemen inhärent: „Surprise is inevitable and uncertainty is high because we are relatively ignorant of the many parts of living systems, the processes that generate and maintain those parts, and their interactions“ (Karr 2002: 151). Sie schlägt sich im menschlichen Umgang mit der Natur nieder. Konsequenzen von Eingriffen in Ökosysteme sind höchsten teilweise vorhersagbar, was bedingt ist durch systemische Komplexität, individuelle Kontexte, nicht-lineare Reaktionen sowie die Möglichkeit multipler Reaktionen auf einen Stimulus. Bei einer Neuartigkeit anthropogener Eingriffe sind die Folgen oft praktisch nicht absehbar. Je weiter die Vorhersage über die Folgen auf ein Ökosystem reichen soll, desto größer ist zudem die Unsicherheit. (Johnson et al. 2002: 336–337)

Diese, vor allem der urbanen Natur inhärente Unsicherheit wird heutzutage noch multipliziert mit jener, die den Klimawandel betrifft. (Hansen et al. 2018: 90) Die Modelle und Projektionen zum weiteren Verlauf der globalen Erwärmung sowie ihrer Folgen sind bei weitem nicht eindeutig, Ausprägung und Folgen des Klimawandels nur schwer regional präzisiert vorherzusehen, wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt wurde. Dies betrifft Projektionen von Extremereignissen in besonders großem Maße. Dies überträgt sich auch auf die Vielzahl möglicher Handlungsentscheidungen für Reaktionsmaßnahmen und -strategien. Ein Lösungsweg aus diesem Dilemma kann in einem flexiblen, prozessorientierten Reagieren liegen, um stetig Anpassungen an veränderte Verhältnisse und neu hinzugewonnenes Wissen vornehmen zu können. (Fellmer 2014: 12)

## 3.2 Das System untersuchen

### 3.2.1 Layer der Region

Eine Möglichkeit, die Komplexität greifbarer zu machen, ist eine Herangehensweise, welche unterschiedliche Ebenen – oder Layer – einer Region identifiziert und beschreibt. Sie geht insbesondere

zurück auf den schottisch-amerikanischen Landschaftsarchitekten Ian McHarg (Meyer/Nijhuis 2013: 163). In seinem Werk „Design with Nature“ plädiert er für einen umweltverträglicheren Ansatz im Umgang mit Landschaft und Ökologie bei der Planung von Infrastrukturvorhaben, in jenem Fall die Trassenführung einer Schnellstraße in New Jersey (USA). Um die komplexe Struktur der Landschaft vor der Maßnahme zu verstehen, spaltete er sie in verschiedene Schichten auf, um natürliche Elemente, aber auch sozioökonomische Werte zu erfassen. Indem er diese Schichten dann übereinanderlegte, konnte er die Führung der Straße optimieren. (McHarg 1969: 35–41)

Diese Herangehensweise wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den Niederlanden unter dem Schlagwort „Casco Concept“ hin zu einem integrierten Ansatz der Rahmenbedingungen (Frameworks) weiterentwickelt. Sie können natürlicher Art oder durch den Menschen geschaffen sein und als eine Art Gerüst Raum und Begrenzung geben für verschiedene Entwicklungen anthropogener oder natürlicher Art mit unterschiedlichen Tempi. (Meyer/Nijhuis 2013: 163) Der Faktor Zeit ist somit ein Grundpfeiler der Layer-Herangehensweise (van Schaick/Klaasen 2011: 18).

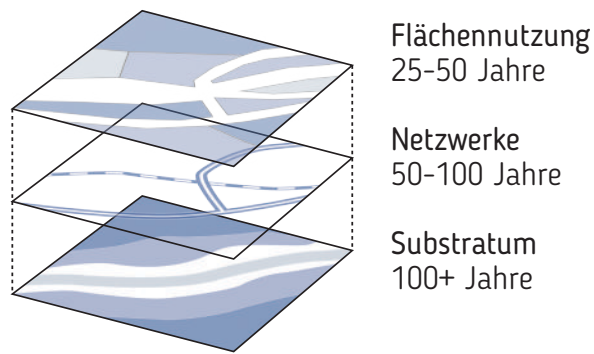
Systematisiert ergab sich hieraus eine Herangehensweise der Betrachtung und Analyse der räumlichen Entwicklung, niederländisch „lagenbenadering“, die auch praktisch in der Raumplanung genutzt werden konnte. Hiernach lässt sich die Landschaft als ein System aus drei Schichten/Layern mit jeweils eigener Dynamik verstehen: (Meyer/Nijhuis 2013: 163–164) (vgl. Abb. 11)

#### 1. Substratum

Untergrund der Landschaft mit natürlichen Elementen wie unterschiedlichen Böden, Gewässern und Ökosystemen. Der Wandel geschieht natürlicherweise sehr langsam über den Lauf von Jahrhunderten (Veränderungszeitraum über Jahrhunderte).

#### 2. Netzwerke

Mittlerer Layer mit infrastrukturellen Netzwerken, welche die Bedingungen für Siedlungstätigkeit, wirtschaftliche Aktivität und Mobilität schaffen. Hierzu zählen beispielsweise Transportwege, Energieversorgung oder Wasserwirtschaft. Durch den technischen Aufwand und die Ausbreitung ist der Wandel schneller



**Abb. 11** Prinzip der Layer

als beim Substratum (Veränderungszeitraum 50–100 Jahre).

### 3. Flächennutzung

Der oberste Layer wird gebildet durch die menschliche Nutzung der Flächen, beispielsweise durch Stadtentwicklung, wirtschaftliche Aktivitäten wie Industrie oder Häfen, aber auch Landwirtschaft. Die Veränderung ist oft rapide und findet hier deutlich am schnellsten statt (Veränderungszeitraum 25–50 Jahre).

Nach dem in Unterkapitel 3.1.2 beschriebenen Ansatz der komplexen Systeme kann jeder Layer als Teil des Systems einer urbanen Landschaft gesehen werden. Die Layer beeinflussen sich gegenseitig, sind aber auch selber eine Gruppe von Einzelelementen. Im gleichen Moment ist dieses Gesamtsystem wiederum Teil eines größeren Ganzen. Diese Sichtweise ist auch gut anwendbar auf ein urbanes Delta, welches ein komplexes System darstellt, aber auch selbst Teil des Einzugsbereichs des gesamten Flusses als größeres, umfassendes Gefüge ist. (Meyer/Nijhuis 2013: 164)

## 3.2.2 Governance

Die physischen Merkmale einer Region und ihre Veränderungen weisen immer auch eine Wechselwirkung mit den jeweiligen administrativen Strukturen auf. Das Konzept der Governance kann hierbei ein Erklärungsmodell für die grundlegende Veränderung des Verhältnis von Staat und Gesellschaft seit dem späten 20. Jahrhundert darstellen, um das Geflecht der Akteure nachvollziehen zu können.

Handlungen politischer Akteur\*innen werden vermehrt ergänzt, beschränkt oder ersetzt durch

sonstige Elemente der Gesellschaft. Staatliche Organisationen teilen das Regierungshandeln vermehrt mit gesellschaftlichen Akteur\*innen, darunter Nichtregierungsorganisationen, gemeinnützigen Dienstleistern, aber auch privaten Firmen. Es ergibt sich somit ein hybrides Regieren. Die Ausprägung dieser Verschiebungen ist ein internationales Phänomen, variiert jedoch je nach nationalem Kontext. (Bevir 2011: 1) Problemstellungen, mit denen sich Gesellschaften heutzutage konfrontiert sehen, fallen zudem selten in den formalen Zuständigkeitsbereich einer Stelle, geschweige denn einer einzelnen staatlichen Organisation. Als möglicher Lösungsweg dieses Dilemmas müssen sich Regierungsstrategien über verschiedene Zuständigkeiten, Ebenen der Regierung und eine Vielzahl Beteiligter erstrecken. Bevir macht vier Merkmale der Governance aus:

1. *Hybride Strukturen der Governance-Arrangements.* Administrative Systeme werden kombiniert mit Marktmechanismen und nicht-profitorientierten Organisationen, öffentlich-private Regulierungsformen entwickeln sich.

2. *Mehrere Gerichtsbarkeiten.*

Individuen und formelle Institutionen auf mehreren Regierungsebenen, in unterschiedlichen Disziplinen und in verschiedenen nationalen Kontexten beziehungsweise verbunden durch internationale Organisationen arbeiten gemeinsam im Rahmen derselben Governance-Form.

3. *Pluralität der Stakeholder\*innen.*

Verschiedene Formen nichtstaatlicher Organisationen und Stellen fordern mehr Einflüsse ein oder sind am Regierungshandeln beteiligt, z.B. Vereine, Stiftungen und philanthropischer Organisationen.

4. *Netzwerke.*

Diese deutlich vergrößerte Zahl und Vielfalt an Akteur\*innen, welche Einfluss auf das Regierungshandeln ausüben, organisieren und verbinden sich verstärkt in Netzwerken. (Bevir 2011: 1–3)

Zwischen dem gegenwärtigen staatlichen Handeln zu Mitigation sowie Adaption angesichts des Klimawandels und dem Begriff der Governance bestehen starke Überschneidungen. Auf internationaler Ebene werden beispielsweise die Klimaschutzabkommen der Vereinten Nationen

geschlossen, deren Vertragspartner die einzelnen Nationalstaaten sind, welche sich z.B. zu Emissionsminderungen verpflichten. Dennoch kommt auch subnationalen Regierungen, also solchen auf der regionalen bzw. städtischen Ebene, eine große Bedeutung zu. Ihre Einbindung in das Mehrebenen-Governancesystem, welche sich vor allem in Kompetenzüberschneidungen, verschiedenen vertikalen und horizontalen Abhängigkeiten und einer Vielzahl staatlicher und nichtstaatlicher Akteur\*innen manifestiert, bewirkt somit auch einen koordinatorischen Mehraufwand. Gleichzeitig sind sie näher an den Bürger\*innen als die nationalstaatlichen Regierungen. (Engels et al. 2018: 266)

Vor allem die Folgen des Klimawandels überschreiten Kompetenz- und Disziplinengrenzen, Ursache-Wirkungs-Beziehungen sind außerordentlich komplex. Es eignet sich daher eine Perspektive, welche nicht nur formelle planerische und politische Instrumente und Instanzen in den Blick nimmt. Eine Verbindung mit dem Governance-Begriff erscheint also naheliegend. Knieling spricht von „Climate Adaption Governance“ (Knieling 2011: 254), um diejenigen Akteur\*innen und Organisationen staatlicher und nichtstaatlicher Art zusammenzufassen, die in Bezug auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels relevant sind. Zusätzlich sind partizipative Maßnahmen, die Einbeziehung zivilgesellschaftlicher Gruppen und informelle Ansätze hier sinnvoll, insbesondere auch um die Akzeptanz der Maßnahmen zu erhöhen. Dennoch können politische Entscheidungsprozesse letzten Endes hierdurch nicht ersetzt werden. (Knieling 2011: 254–255)

### 3.3 Das System gestalten

#### 3.3.1 Landschaft und Infrastruktur

Infrastrukturelementen kommt eine tragende Rolle in urbanen Wasserlandschaften zu. Sie sind ein wesentlicher Parameter im Wechselspiel menschlicher und natürlicher Dynamiken. Wo der Küstenschutz angesichts des voranschreitenden Klimawandels verstärkt werden muss, wird dies ebenfalls in großem Maße über Anpassung und

Neubau von Infrastrukturen geschehen.

Die Infrastruktur als Landschaft zu deuten und zu behandeln hat das Potential, operative Kraft in räumlichen Transformationsprozessen zu entfalten und die Dynamik zwischen Struktur und Prozess zu gestalten (Nijhuis/Jauslin 2015: 17). Hierin liegt eine große Bereicherung, denn die Infrastruktur generiert bauliche Strukturen und formt Landschaften und Lebensumfelder. Neben der rein technischen Perspektive werden somit auch soziale und imaginative Dimensionen mit einbezogen. Dies impliziert, dass Infrastrukturen keineswegs nur einer einzigen Disziplin zugehörig sind, sondern ein Querschnittsfeld darstellen, in dem der\*die Entwerfer\*in eine verbindende Rolle einnehmen sollte. (Nijhuis/Jauslin 2015: 18) Gleichzeitig lässt sich die Landschaft selbst auch als Infrastruktur fassen, welche die Entwicklung urbaner Gebiete leiten kann. Hierbei ist es allerdings fundamental, formal-ästhetische und prozessuale Gesichtspunkte nicht getrennt voneinander zu behandeln. Ein Weg, diese Gegensätze aufzulösen, kann eben jenes Verständnis von Landschaften als Systemen sein. (Nijhuis/Jauslin 2015: 20–23)

Shannon und Smets machen in der Betrachtung einer großen Bandbreite an Vorhaben verschiedene Umgangsformen im Umgang von Infrastruktur und Landschaft aus. Ein Weg ist jener des Versteckens beziehungsweise der Camouflage, wo Infrastrukturen so gut es geht verborgen werden sollen. Die Loslösung als zweite Strategie trennt Landschaft von der Infrastruktur, die oftmals über ihrer Umgebung zu schweben scheint. Im Idealfall entsteht eine Harmonie von Eingriff, der seinen eigenen formalen Prinzipien folgt, und Umgebung, die als unberührte Natur im Hintergrund wirkt. Als dritte Herangehensweise machen Shannon und Smets die Fusion aus, durch die zwei Elemente, in diesem Fall Landschaft und Infrastruktur, kombiniert und rekonfiguriert werden. Eine Integration wird hier nicht durch das größtmögliche gestalterische Anpassen der Intervention an die Umgebung erreicht, sondern durch die Rekonfiguration der Situation in eine neue, zusammengesetzte Landschaft. Die Infrastruktur ist deutlich sichtbar, steht aber nicht für sich allein. (Shannon/Smets 2011: 66–71) Die zweite und dritte Herangehensweise von Loslösung und Fusion könnten einen besonders sinnvollen



Weg darstellen, mit dem gewaltigen Maßstab der Küstenschutzinfrastrukturen und den durch sie induzierten, nicht zu negierenden Effekten auf die urbane Landschaft produktiv umzugehen.

Drei verschiedene Konzepte erläutern die Ausgestaltung dieses Wechselspiels, welche im Entwurf von Ästuarlandschaften Anwendung finden kann: Hung spricht von *Landschaftsinfrastruktur*, Pauleit et al. von *Grüner Infrastruktur* und Nijhuis und Jauslin von *Urbanen Landschaftsinfrastrukturen*.

Die US-amerikanische Landschaftsarchitektin Ying-Yu Hung schreibt *Landschaftsinfrastruktur* (im englischsprachigen Original „Landscape Infrastructure“) vier Attribute zu, die Form, Funktion und Zeit betreffen und welche die Gestaltung leiten können. Es ergeben sich große Parallelen zum Aufbau eines Küstenschutzsystems, welches ebenfalls langfristig und schrittweise erfolgt, wodurch Synergien möglich sind.

1. *Performance* schreibt Landschaftsinfrastruktur die Fähigkeit zu, quantifizierbare Ergebnisse zu produzieren. Ein Beispiel sind Dachbegrünungen, welche die Temperatur in Innenstädten senken können.
2. *Aggregate* steht für das Verbinden einzelner Landschaftselemente, wie kleinflächiger Parks und Trittsteinbiotope, um in der Summe größere Wirkungen zu erzielen.
3. *Network* beschreibt die Erweiterung bestehender, extensiver Infrastrukturen um grüne Elemente zu einem multifunktionalen Netz, z.B. durch Landschaftsachsen.
4. *Increment* schlägt eine schrittweise Implementierung über einen längeren Zeitraum vor. (Hung 2013: 17–19)

Um den Ansatz, die Landschaft selbst als Infrastruktur zu betrachten und zu behandeln, weiterzudenken und zu spezifizieren eignet sich der Begriff der *Grünen Infrastruktur* nach Pauleit et al. Sie schlagen eine lineare Herangehensweise als eine Alternative zu einem teilweise willkürlichen Schutz einzelner, naturnaher Flächen vor. Zusammenhängende Netze von Landschaftsräumen könnten gemeinsam mit anderen Infrastrukturen geplant werden, um ökologische, soziale und ökonomische Funktionen der Landschaft zu sichern und wei-

terzuentwickeln. Diese Grüne Infrastruktur kann hierbei auf verschiedenen Ebenen geplant werden. Auf europäischer Ebene ist beispielsweise das Netz aus Natura 2000-Schutzgebieten (siehe Kapitel 4.2.3) zu nennen, aber auch kleinmaßstäblichere Vorhaben bis zur Quartiers- oder gar Objektebene sind denkbar. Die einzelnen Elemente können dabei ganz unterschiedliche Funktionen erfüllen, die von Maßstabsebene zu Maßstabsebene variieren. Eine Platzsituation mit Naherholungswert kann beispielsweise gleichzeitig auch als wichtiger Teil einer überregionalen Frischluftschneise fungieren. (Pauleit et al. 2019: 782–783)

Grundlegende Ziele sind hierbei, räumliche Qualitäten zu verbessern, vernetzte Grünssysteme zu schaffen, die Mehrfachnutzung und Funktionsvielfalt zu fördern, Grüne und graue Infrastrukturen zusammen zu entwickeln sowie interdisziplinäre Kooperationen und Allianzen anzuregen. (Hansen et al. 2018: 56–61)

Grüne Infrastruktur geht damit über reine naturschutzfachliche Planung hinaus und bindet die Landschaft in ihrer Gesamtheit mit ein, um hybride Strukturen zu schaffen. Bestehende Räume oder technische Infrastrukturen sollen dabei nicht nur mit einem neuen Begriff versehen werden, ohne qualitativen Mehrwert zu generieren. Die Anwendung dieses Prinzips ist daher für alle Akteur\*innen herausfordernd und anspruchsvoll, aber auch innovativ und birgt ein großes Transformationspotential. Informelle Ansätze und Beteiligung sind hierbei mindestens ebenso wichtig wie formelle landschaftsplanerische Instrumente. (Pauleit et al. 2019: 788) Durch die interdisziplinäre Ansatz Herangehensweise ergibt sich eine Anwendungsmöglichkeit für diesen Ansatz im Küstenschutz.

Nijhuis und Jauslin unterlegen den Ansatz der *Urbanen Landschaftsinfrastrukturen* mit mehreren Kriterien und Eigenschaften: Sie ermöglichen das Strömen von Menschen, Lebewesen, Stoffen und Informationen und haben selbst eigene räumliche, ökologische, sozio-kulturelle Qualitäten. Im Kern stehen die Aspekte Multifunktionalität, Konnektivität, Integration verschiedener Sektoren, Langfristigkeit, Ökologie, Soziale Inklusion und die Interdisziplinarität im Entwurfsprozess. Entworfen werden soll hierbei die Landschaft selbst, nicht eine spezifische technische Struk-

tur innerhalb einer Landschaft. Erreicht werden soll auch die Schaffung eines adaptiven Systems, welches offen ist für sich wandelnde Rahmenbedingungen und auch die Partizipation multipler Akteur\*innen. Anwendungsfelder für Urbane Landschaftsinfrastrukturen sind die sogenannten „Spaces of Flows“ (Nijhuis/Jauslin 2015: 23), wozu insbesondere Transportwesen, Grün und Wasser zählen. Letzteres ist hierbei besonderes relevant für den Kontext eines Ästuars. Die urbanen Landschaftsinfrastrukturen, welche fokussiert sind auf Wassermanagement und Uferzonen umfassen beispielsweise den Küsten- und Hochwasserschutz, aber auch Be- und Entwässerungssysteme oder die Behandlung von Abwässern. Multifunktionale Strukturen mit harten oder weichen Landschaftselementen können als Fundament und leitende Struktur der Stadt- und Regionalentwicklung fungieren. (Nijhuis/Jauslin 2015: 24–29)

### 3.3.2 Risikobasierter Umgang mit der Dynamik

Die anthropogenen Eingriffe in die Wasserdynamik und die durch sie ausgelösten, zum Teil unerwünschten Folgen machen die Grenzen der Beherrschbarkeit natürlicher Kräfte deutlich. In Ästuaren zeigen Hochwasser, die Gefahren von Deichbrüchen und nicht zuletzt neue Bedrohungslagen durch höhere Sturmflutniveaus eindrucksvoll, dass ein bewusster Umgang mit Risiken essentiell ist.

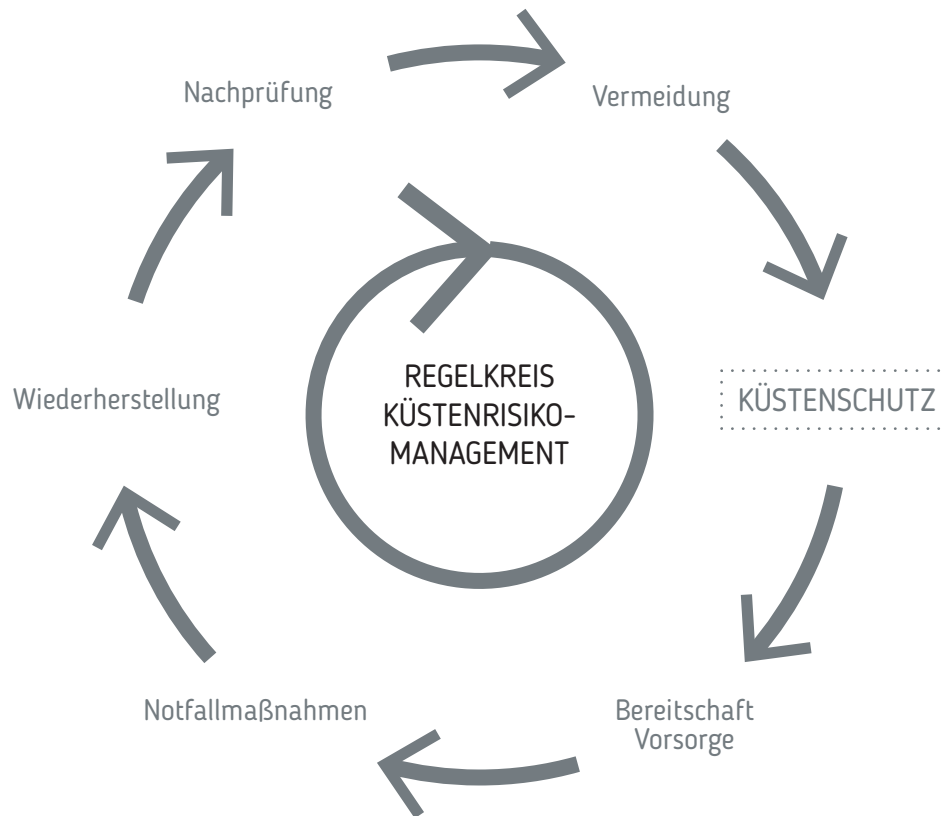
Risiko an sich ist ein schwer definierbarer Begriff, „in einem sehr weiten Sinn bezieht sich Risiko auf die Ungewissheit dessen, was in Zukunft geschieht“ (Pohl/Rother 2011: 4). Manche Risiken existieren zwar bereits seit längerem, realisieren sich aber ohne große Vorwarnzeit oft extrem kurzfristig und überraschend. Als Antwort auf ihre starke Wirkung ist vor allem die Katastrophenhilfe gefragt.

Andererseits bestehen aber auch Risiken, die sich schleichend manifestieren, sogenannte *Creeping Risks*. Sie sind klar identifizierbar und vergrößern sich mit der Zeit kontinuierlich, werden aber nicht adressiert, z.B. aus Gründen der Kostspieligkeit oder der Komplexität. Beispiele hierfür können Trinkwasserknappheit oder Bodenerosion, aber auch die längerfristigen Effekte des Klimawandels darstellen. Oft besteht eine starke räumliche Kom-

ponente. Hierdurch wird deutlich, dass eine enge Verbindung zwischen dem Begriff des Risikos und der räumlichen Planung und ihren Instrumenten besteht. (Pohl/Rother 2011: 4–5)

In der möglichen Behandlung eines Risikos durch Planer\*innen – oder Entwerfer\*innen – liegen jedoch auch Schwierigkeiten. Sie können das Risikopotential, wenn überhaupt, nur bei einer anthropogenen Ursache, nicht aber einer solchen natürlicher Art, reduzieren. Diese planerischen Handlungsmöglichkeiten greifen mit vielen weiteren Akteur\*innen zusammen und werden erst so ein bedeutender Teil der Vorsorge als kontinuierliche, langfristige Aufgabe. Die Risikoermittlung selbst ist oft fokussiert auf einen „naturwissenschaftlich-technischen“ oder auch „objektivistischen Risikobegriff“ (Pohl 2011: 13), was bedeutet, dass das gesellschaftliche Umfeld zumeist unberücksichtigt bleibt. Diesem kommt aber eine gewichtige Rolle zu: Wie ein Risiko ausgemacht, definiert und in die Öffentlichkeit kommuniziert wird, ist genauso wie die letztendliche Identifikation bestimmter Handlungsoptionen durch Wissenschaft, Politik und Verwaltung keineswegs ein rein objektiver Prozess, sondern immer Resultat gesellschaftlicher Strukturen und Machtverteilungen. Die Festlegung von Risiken, auch in der Abwägung mit sich möglicherweise ergebenden Chancen, ist somit ein sozialer Akt und aus sozialwissenschaftlicher Perspektive daher Teil eines Prozesses gesellschaftlicher Willensbildung. Hierzu gehören folglich immer auch Aspekte der Allokation und Distribution innerhalb der Gesellschaft. (Pohl 2011: 11–15)

Bei der Betrachtung eines Risikos fallen stets die möglichen Folgen ins Gewicht. Zur Abschätzung der *Vulnerabilität* – oder Verwundbarkeit – sind „sozioökonomische, institutionelle und raumstrukturelle Faktoren, die möglichen Schäden und Schadenshöhen [zu] determinieren – unter Berücksichtigung der Exposition des betroffenen Raumes“ (Wernig et al. 2011: 85). Meyer argumentiert vor diesem Hintergrund, dass sich die Vulnerabilität urbanisierter Deltaregionen verstärkt, was jedoch bei weitem nicht nur mit dem Klimawandel zusammenhängt, sondern mindestens ebenso mit den Urbanisierungsprozessen und der Herangehensweise im Küsten- und Hochwasserschutz



**Abb. 12** Küstenschutz als ein Bestandteil des Regelkreis Küstenrisikomanagement, definiert im Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein.

sowie dem Wassermanagement. Die verstärkte Flächennutzung, die mit wasserbaulichen Maßnahmen Hand in Hand geht, hat zu negativen Auswirkungen auf die natürliche Dynamik und vor allem die natürliche Landformation geführt. (Meyer 2014: 7)

Risiko und Vulnerabilität sind gleichwohl aber auch Ausgangspunkt für die Bildung von *Resilienz*. Der Begriff der urbanen Resilienz wird sehr unterschiedlich gebraucht, dient aber grundsätzlich dazu, die Fähigkeit eines urbanen Systems zu bezeichnen, einer Schock- oder Stresssituation standzuhalten. Hierzu zählen die extremen Ereignisse, die durch den Klimawandel ausgelöst werden. Der Fokus urbaner Resilienz betont vor allem die Eignung von Städten sowie ihren Infrastrukturen und ihrer Bevölkerung, sich schnell und effektiv zu erholen, nachdem Gefahrensituationen eingetreten sind. (Leichenko 2011: 164–165)

Der sozial-ökologische Ansatz nach Folke et al. besagt, dass zur Erhaltung dieser Resilienz menschlicher und ökologischer Systeme folgende

Prinzipien verfolgt werden sollen „(1) maintain diversity and redundancy; (2) manage connectivity; (3) manage slow variables and feedbacks; (4) foster complex adaptive systems thinking; (5) encourage learning; (6) broaden participation; and (7) promote polycentric governance.“ (Folke et al. 2016: 2)

Für den Kontext von Küstenregionen definiert Fellmer Resilienz hierbei als „die Fähigkeit (...), Sturmfluten ohne größere Beeinträchtigung des gesellschaftlichen Lebens und Wirtschaftens zu überstehen“ (Fellmer 2014: 14). Der Küstenschutz nimmt hier eine wichtige, jedoch keine alleinige Rolle ein, wie in Abb. 12 ersichtlich ist.

Die Schaffung von Resilienz ist bis zur Ebene des konkreten Entwurfs wichtig und geht einher mit einem veränderten Umgang mit Risiken. Unsicherheiten müssen akzeptiert, Dynamik verstärkt zugelassen werden. Die rapiden Effekte durch die menschliche Entwicklung, die sich auf die Biosphäre auswirken sowie eine gewisse Demut mit Blick auf die menschliche Geschichte sollten nach Johnson et. al zu einem Prinzip der Vorsorge





Abb. 13 Deiche als Teil des Küstenschutzsystems dienen dazu, das Risiko einer Überflutung zu reduzieren.

im Umgang mit der Landschaft führen. Am effektivsten sind in den meisten Fällen Strategien des Handelns, die eine Robustheit gegenüber verschiedenen Zuständen der (Um)welt bewirken. Nur selten ist es sinnvoll, Eingriffe gegenüber einem einzigen, als am wahrscheinlichsten angesehenen Zustand zu optimieren. (Johnson et al. 2002: 339)

Dieses neue Zulassen von Dynamiken kann auch bedeuten, dass komplexe Prozesse möglicherweise nicht mehr planbar und Folgen des Handelns nicht mehr absehbar sind. Das Akzeptieren von Grenzen des Machbaren kann jedoch neue Handlungs- und Umgangsoptionen öffnen. Grosse-Bächle merkt an, dass „chaotische oder irreguläre Zustände (...) als kreatives Potenzial erkannt werden“ (Grosse-Bächle 2008: 414) können. Die zeitliche Dimension dieser Prozesshaftigkeit kann nicht während des Entwurfsprozesses als weiterer Faktor einbezogen werden, sondern muss als Ausgangspunkt gesehen werden und die Gestaltung entscheidend beeinflussen. (Grosse-Bächle 2008: 412–414)

In urbanisierten Deltaregionen schlägt Meyer

zwei neue Mantras für den Umgang mit Unsicherheit und Risiko vor: „*Building by Nature*“ und „*Working with Water*“, welche besagen, die natürlich wirkenden Prozesse entlang der Küste, z.B. Sedimentierungsprozesse, produktiv zu nutzen. Diese Ansätze können die Dynamiken der verschiedenen Subsysteme vereinen. Anstatt der Energie der natürlichen Kräfte entgegen zu wirken, lassen sie sich so produktiv nutzbar machen. (Meyer 2014: 8–9) Wie im folgenden Kapitel aufgezeigt wird, stellt das Elbeästuar durch die bisherige Entwicklung der Beziehung von Mensch und Natur einen gut geeigneten Anwendungsraum für Erprobung dieser Mantras dar.



# 4



## Das Elbeästuar als Untersuchungsraum





Abb. 14 Luftbild des Untersuchungsraums mit Fokus auf sturmflutgefährdete Gebiete

*Das Elbeästuar bildet den Analyse- und Untersuchungsraum dieser Arbeit. Einerseits ist es ein Beispiel für ein urbanes Delta und somit Stellvertreter eines weltweit verbreiteten Landschaftstypus mit bestimmten Charakteristika und Problematiken, andererseits bestehen zahlreiche lokale Besonderheiten.*

Dies macht es zu einem interessanten Untersuchungsgegenstand und führt zu passenden Ausgangsbedingungen zur Beantwortung der Forschungsfragen.

Folglich ist der Raum, welcher im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird, zentriert auf die Tideelbe, also den von Gezeiten beeinflussten Abschnitt zwischen Geesthacht und der Nordsee. Die Begrenzung bilden die Umrisse derjenigen Gebiete, in denen ein Überschwemmungsrisiko gegeben ist (vgl. Abb. 14). Der Raum liegt gänzlich in der

Metropolregion Hamburg. Die Bestandsaufnahme des Untersuchungsgebiets nimmt hauptsächlich Merkmale in den Blick, auf die im Küstenschutz und im Umgang mit dem Risiko einer Überflutung generell eingegangen werden muss. Entsprechend der Fragestellung der Thesis werden zunächst physische Gegebenheiten der Region unter Einbeziehung des Klimawandels betrachtet. Anschließend werden die Strukturen der Governance beleuchtet, die auf verschiedenen Ebenen die Ausgestaltung des Küstenschutzes beeinflussen.



Abb. 15 Landschaftstypen. Der Untersuchungsraum teilt sich in die beiden Hauptlandschaftstypen Geest und Marsch. Diese Dualität ist äußerst prägend für die Elbeästuarregion.

## 4.1 Physische Gegebenheiten

Die Tideelbe erstreckt sich über 180 Kilometer von der Mündung in die Nordsee bei Cuxhaven bzw. Brunsbüttel über Hamburg bis zur Staustufe Geesthacht, welche den Tideeinfluss in landeinwärtiger Richtung aufhält (von Storch et al. 2018: 69). Hinzu kommen die anliegenden Uferbereiche, welche in den drei Bundesländern Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein liegen. Das Elbeästuar wäre im unberührten Zustand durch die wechselnden Tiden unbewohnbar und wurde erst durch menschliche Aktivitäten in den letzten Jahrhunderten urbar gemacht (Stokman et al. 2009: 88). Gleichzeitig führten diese anthropogenen Wechselwirkungen zwischen der natürlichen Wasserdynamik und den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen zu einer starken Überformung von Topographie und Wasserdynamiken (IBA Hamburg 2008: 13). Es wird hier deutlich, dass sich die unterschiedlichen Schichten von Natur und menschlicher Aktivitäten wechselseitig beeinflussen, obwohl sie unterschiedliche

Dynamiken und Tempi aufweisen. Dies lässt sich durch den in Kapitel 3.2.1 erläuterten Layer-Ansatz erklären. Die drei zugehörigen Elemente Substratum, Netzwerke und Flächennutzung, die jeweils einen eigenen Zeithorizont der Veränderung innehaben, werden für die Betrachtung des Untersuchungsraums herangezogen.

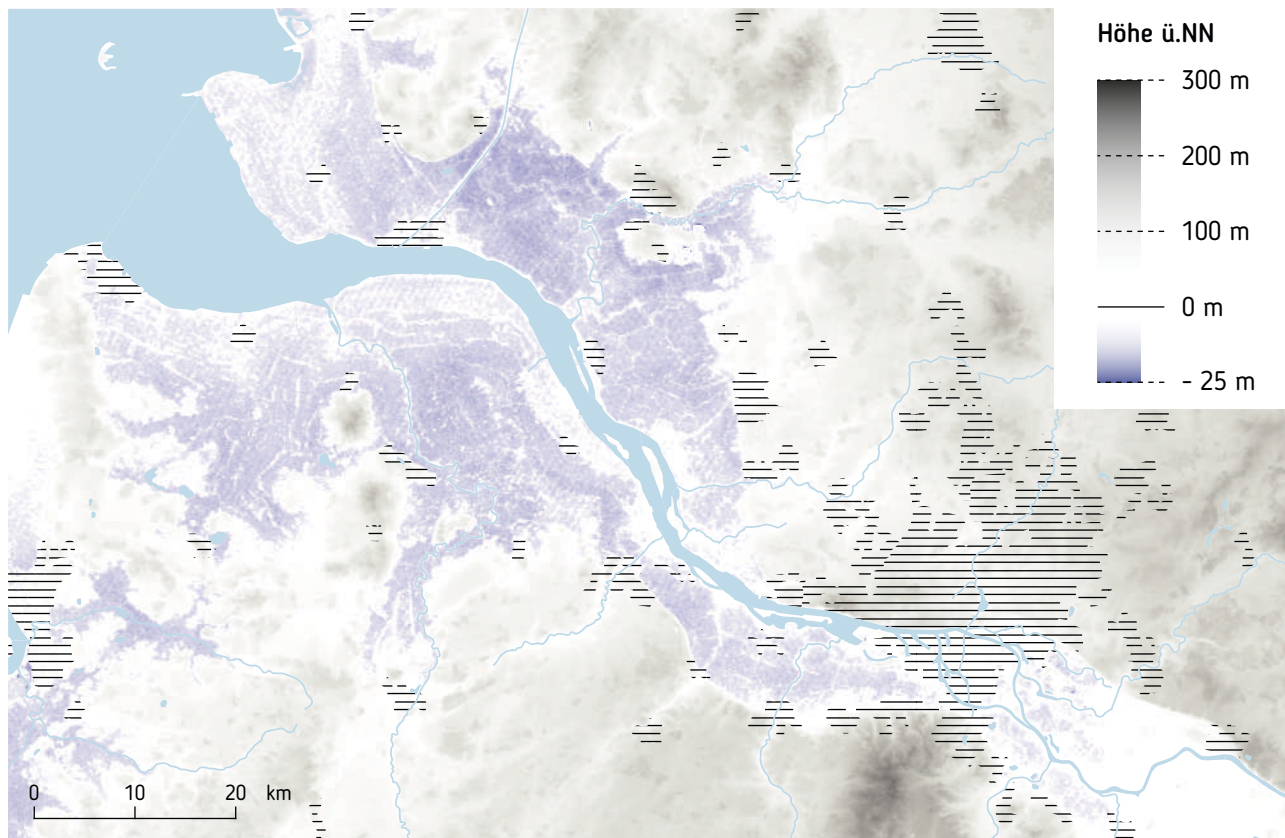
### 4.1.1 Substratum

Der Fluss und seine Dynamik sind gewissermaßen Taktgeber der Entwicklung des Substratums. Darüber hinaus ist die Landschaft in großem Maße durch den Gegensatz ihrer beiden Haupttypen, der flachen Marsch und der bewegten Geest, geprägt. (vgl. Abb. 15)

#### Topographie

Die Entstehung der Flusslandschaft in ihrer heutigen Gestalt vollzog sich während der letzten beiden Eiszeiten und kam vor etwa 9.000 Jahren zum Abschluss, als der Meeresspiegel in etwa sein heutiges Niveau erreichte und die Aufsedimentie-





**Abb. 16** Topographie der Region. Die Zweiteilung in Geest und Marsch findet sich auch in der Topographie wieder. Bedeutende Gebiete in den Uferzonen liegen unter dem Meeresspiegel. In Schleswig-Holstein liegt mit -3,5 m sogar der tiefste Punkt Deutschlands. Im Hinterland steigt die Geest sanft an.

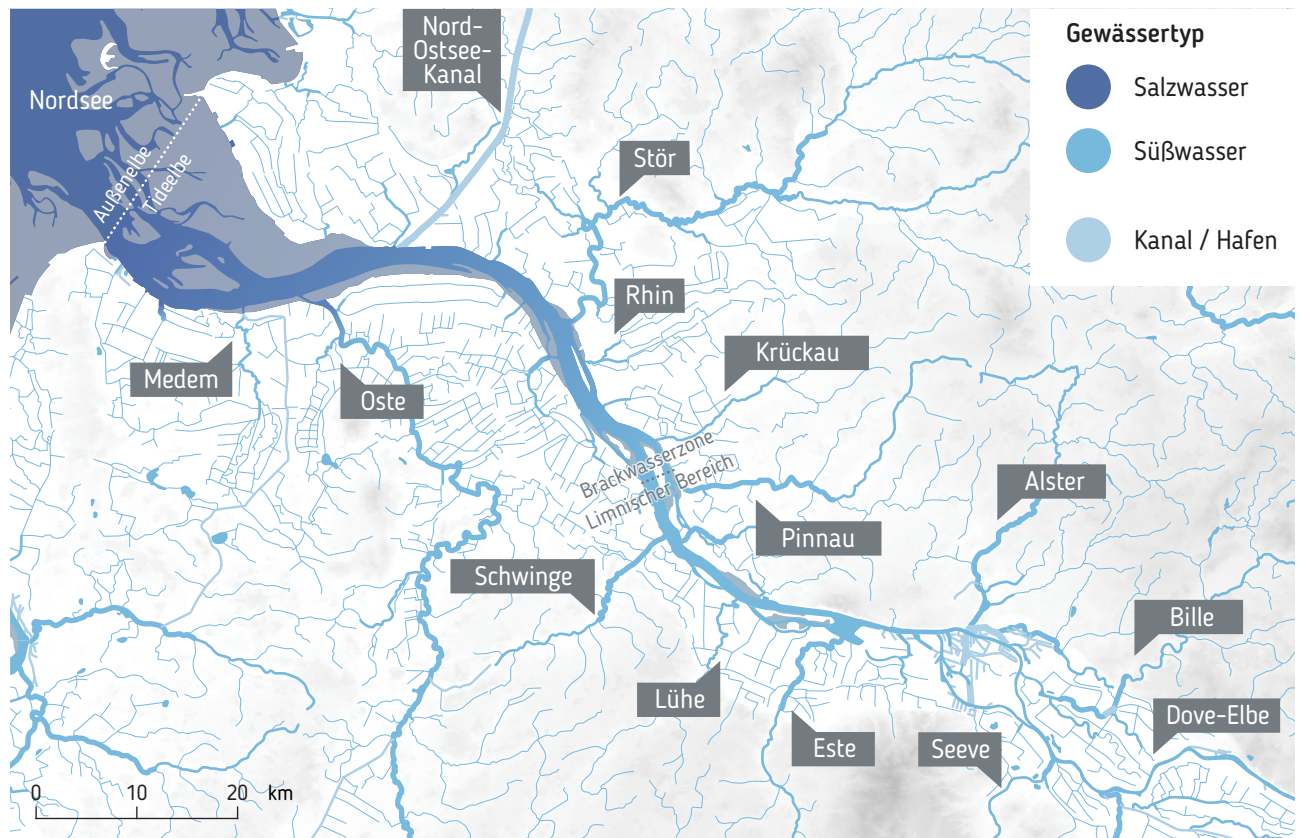
rung der Marsch begann (Rosenhagen/Schatzmann 2011: 133–134). Dieser Marschengürtel entlang der Elbe weist nur ein geringes Relief auf, wie in Abb. 16 ersichtlich ist: So liegen die Geländehöhen in Niedersachsen zwischen 1,4 m über und 0,5 m unter Normalnull (NN) und fallen besonders im küstenfernen Hinterland weit ab (NLWKN 2007: 11). Auf schleswig-holsteinischer Seite liegt mit 3,54 m unter NN in der Wilster Marsch sogar der tiefste Punkt Deutschlands (MELUR SH 2013: 19). Das Urstromtal der Elbe wird zu beiden Seiten begrenzt von den zum Teil steil aufsteigenden Höhenzügen der Geest. Zur Marsch bestehen Höhendifferenzen von bis zu 70 m (Neumann 2014: 63). Regional finden sich auch größere Erhebungen, die bis auf 155 Meter Höhe in den Harburger Bergen ansteigen (Niedersächsisches Landesamt für Statistik 2007: 168).

#### Gewässer

Wichtigstes Gewässer im Untersuchungsraum ist neben der Nordsee die Elbe. Mit einem Einzugsge-

biet von 148.268 km<sup>2</sup> und einer Länge von 1.094 km zwischen der Quelle in Tschechien und dem Meer zählt sie zu den größten Flüssen Europas (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 83). Charakteristisch ist die aufgeweitete Mündungsform des Ästuars (vgl. Abb. 17). Zwischen Cuxhaven und der Friedrichskoog-Spitze ist sie über 15 km breit, bei Brunsbüttel (20 km stromaufwärts) bereits auf 1,5 km verengt und kurz vor dem Erreichen Hamburgs bei Wedel misst sie noch etwa 900 m in der Breite (MELUR SH 2013: 17).

Die Hydrodynamik der Tideelbe wird beeinflusst durch die starke Wechselwirkung von Ebbe und Flut aus der Nordsee einerseits sowie dem Zufluss von Wasser aus dem Oberlauf (Oberwasserzufluss) andererseits (von Storch et al. 2018: 69). Dieser Flussbereich ist „eine der dynamischsten Wasserlandschaften Deutschlands“ (IBA Hamburg 2008: 17). Hier kommt es zu starken Erosions- und Sedimentationsprozessen: Im Ursprungszustand bestand durch Transport und Ablagerung von Sedimenten eine hohe Dynamik in der Entste-



**Abb. 17** Gewässersystem des Ästuars. Das Ästuar der Elbe mit den zahlreichen Nebenflüssen liegt im Übergangsbereich zwischen Süß- und Salzwasser und ist von Ebbe und Flut stark beeinflusst.

hung von Nebenarmen, Sandbänken, Flussinseln und Dünen. Durch das Zusammentreffen des Flutstroms aus der Nordsee und Wassers aus dem Oberlauf der Elbe kam es hierbei im Bereich Hamburgs zur verstärkten Sedimentablagerung und der Bildung eines Binnendeltas, welches dann das Stromspaltungsgebiet der heutigen Hamburger Elbinsel bildete (IBA Hamburg 2008: 21).

Der Übergangsbereich aus dem von oberstrom zufließendem Süßwasser und dem salzhaltigen Meerwasser bildet eine Brackwasserzone, welche sich in ihrer Lage mit jeder Tide verändert. Daneben wird ihre Position durch die Menge des Oberwasserzuflusses sowie den Wasserstand der Nordsee beeinflusst. (von Storch et al. 2018: 69). Sie ist ein weiteres charakteristisches Element des Flusses und Lebensgrundlage für eine reiche Flora und Fauna (Neumann 2014: 63). Durch die Dynamiken von Tiden, Salzgehalt, Erosion und Sedimentation herrschen besondere Bedingungen, auf die sich Tier- und Pflanzenarten spezialisiert haben. Einige endemische Arten kommen sogar nur hier vor, in den Wasser-, Watt- und Vordeich-

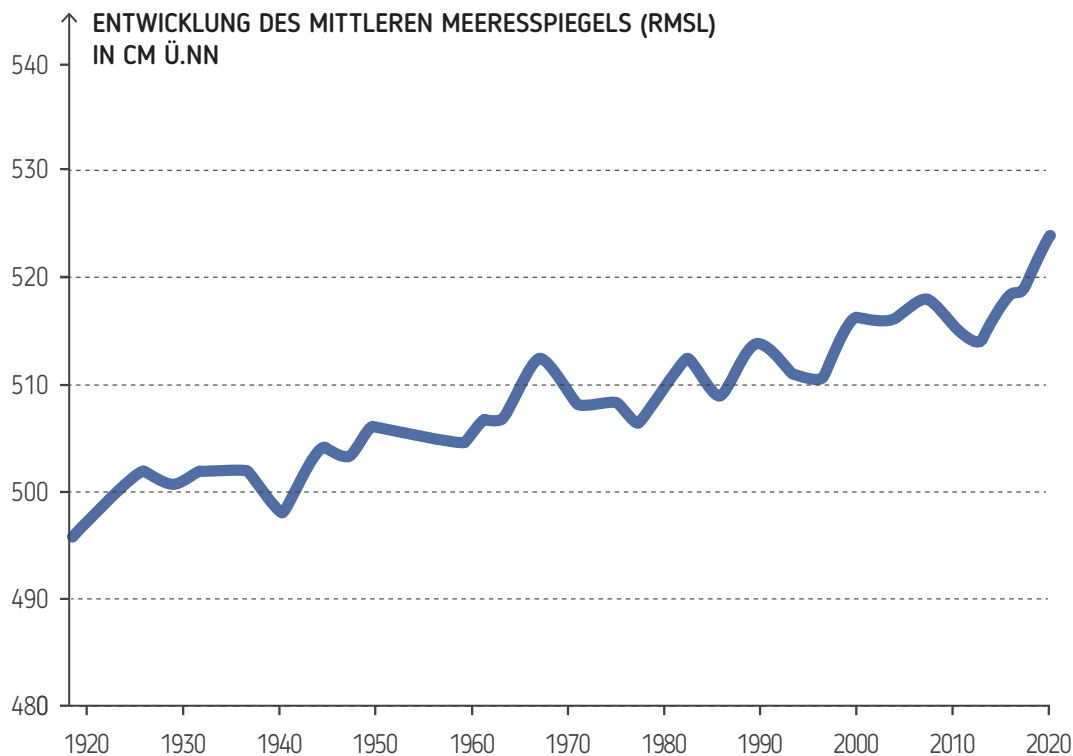
flächen, Röhrichten und Auwäldern des Ästuars. (Glindemann et al. 2006: 3–4) Neben der Elbe kommt auch den sieben größeren Nebenflüssen eine wichtige Rolle zu, da sie sowohl die höher liegende Geest und auch die tief liegenden Marschgebiete entwässern sowie durch die Tideelbe beeinflusst sind. (KLIMZUG–Nord Verbund 2014: 90)

Die in diesem Gewässersystem ursprünglich herrschenden, hoch dynamischen Prozesse sind über den Lauf der letzten Jahrhunderte allerdings durch menschliche Eingriffe, insbesondere in Form von Strombaumaßnahmen (siehe Kapitel 4.1.2), stark beeinflusst worden.

#### *Klima und Sturmfluten*

Der Untersuchungsraum liegt in der feuchtwarm gemäßigten Klimazone. Es herrschen Westwinde vor, wodurch maritime Wettereinflüsse aus der Nordsee dominieren. Das Ergebnis sind milde Winter, kühle Sommer und ganzjährig verteilte Niederschläge (KLIMZUG–Nord Verbund 2014: 5).

Vor allem im Winter kommt es zu Stürmen



**Abb. 18** Entwicklung des rMSL am Pegel Cuxhaven. Ein Anstieg über die letzten 100 Jahre ist deutlich erkennbar.

mit Windstärken von mehr als 8 beaufort und Wellenhöhen über 4 m (Klein et al. 2018: 57). Resultat und maßgeblich für den Küstenschutz sind die regelmäßig auftretenden Sturmfluten. Diese Extremwasserstände ergeben sich aus dem mittleren Meeresspiegel, Gezeit und Windstau (Klein et al. 2018: 61). Die nach Nordwesten hin exponierte Mündung der Elbe macht das Ästuar besonders empfindlich für Sturmfluten aus westlichen Richtungen (MELUR SH 2013: 17). Von einer Sturmflut wird bei Pegelstand in St. Pauli von 3,50 m über NN (ü.NN) gesprochen. Der höchste dort je gemessene Sturmflutpegel trat am 3. Januar 1976 mit 6,45 m ü.NN auf (IBA Hamburg 2008: 19). Durch Schneeschmelze und Unwetter kommt es zudem mehrmals jährlich zu Hochwasserereignissen in Oberelbe und mittlerer Elbe (IBA Hamburg 2008: 17).

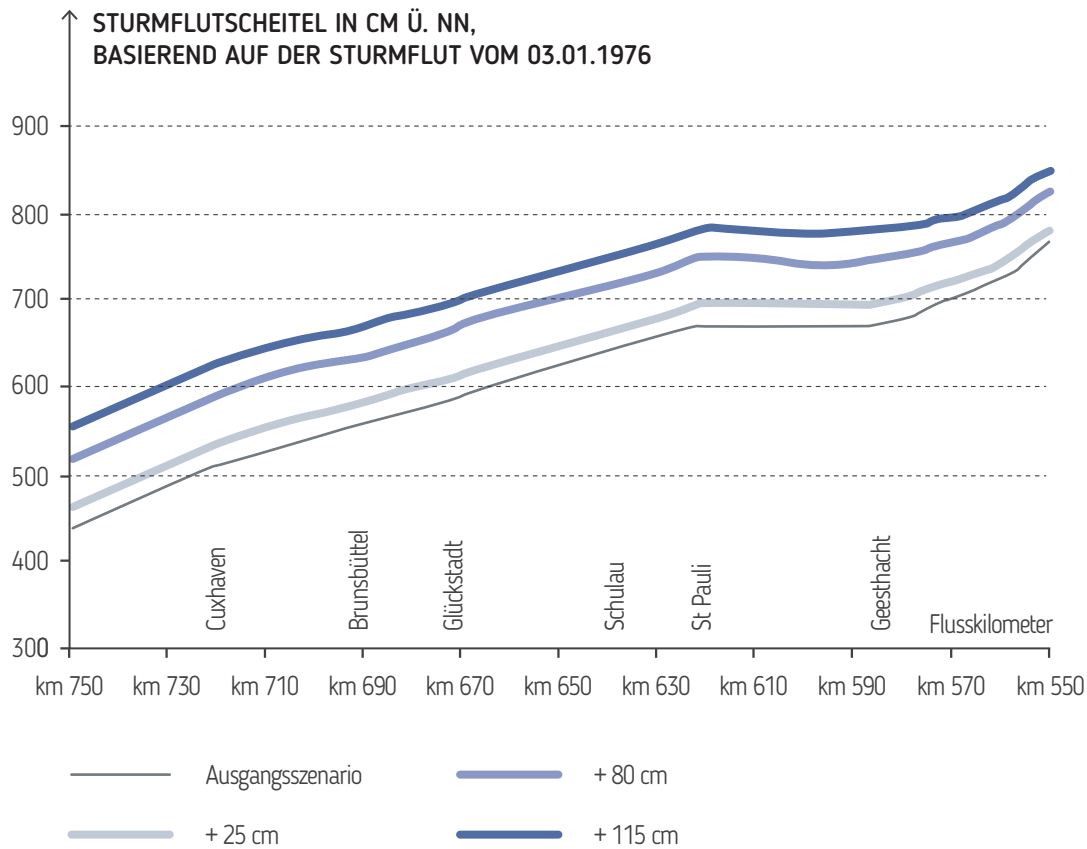
#### *Klimawandel und Meeresspiegelanstieg*

Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit wird auch das Elbeästuar vom Klimawandel und seinen vielschichtigen Folgen (siehe hierzu auch Kapitel 2) betroffen sein. Hier stellt sich mit Blick auf die Zukunft nicht die Frage, ob Verän-

derungen eintreten werden, sondern wie genau diese aussehen könnten. Limitationen von Zukunftsprojektionen gelten jedoch auch hier und die Bandbreiten möglicher Entwicklungen wachsen mit jedem Schritt der regionalen Verfeinerung (Klein et al. 2018: 73).

Neben einem Temperaturanstieg und einer Zunahme von Starkregenereignissen (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 9–10) ist der Anstieg des Meeresspiegels auch im Elbeästuar der bedeutendste Einzelfaktor. Zur Beobachtung führen Forscher\*innen Messungen an Pegeln über lange Zeiträume durch. Der so gemessene relative Meeresspiegel (rMSL) enthält jedoch auch Effekte von Landsenkungen sowie wasserbaulichen und meteorologischen Veränderungen. (Klein et al. 2018: 59)

Wie in Abb. 18 ersichtlich, ist der rMSL am Pegel Steubenhöft in Cuxhaven seit 1918 deutlich gestiegen, im Schnitt um 2 mm / Jahr. Einen bedeutenden Anteil am Anstieg des rMSL hat allerdings die Landsenkung, die etwa 0,5 – 1 mm / Jahr beträgt. Eine starke Beschleunigung des Anstiegs, die beispielsweise 2 Meter bis zum Jahr 2100 bewirken würde, könnte jedoch nicht vor den



**Abb. 19** Mögliche Entwicklung künftiger Sturmflutscheitelwasserstände je nach Meeresspiegelanstieg, basierend auf der Flut von 1976

2020er Jahren eindeutig erkannt werden. (Klein et al. 2018: 57–60)

Aussagekräftiger, was die Zukunft betrifft, sind daher Simulationen mittels globaler Zirkulationsmodelle. Sie ergaben, dass der Meeresspiegelanstieg in der Nordsee höher ausfallen wird als im globalen Mittel. Ein Anstieg im Korridor von 40–80 cm ist plausibel (Klein et al. 2018: 65), der allerdings nicht linear, sondern mit der Zeit zunehmend erfolgen wird (MELUR SH 2013: 29). Durch das Erreichen von Kipp-Punkten sind aber auch extremere Szenarien möglich. Britische Forscher\*innen gehen davon aus, dass Anstiege von etwa 2 m bis zum Ende des Jahrhunderts unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen sind und für Adaptionsplanungen berücksichtigt werden sollten (Lowe et al. 2009: 31–33).

Fraglich ist, ob die Aufsedimentierung des Wattenmeers mit der Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs schritthalten kann, oder ob es in seinem Bestand gefährdet ist (von Storch et al. 2018: 6).

Für den Küstenschutz ist vor allem die Entwicklung kurzfristiger Extremwasserstände, insbesondere der Sturmfluten, von großer Bedeutung. Der Anstieg des mittleren Meeresspiegels ist der bedeutendste Faktor für veränderte Sturmflutniveaus. Hierzu lassen sich weitere Effekte addieren, wie die Entwicklung der Tiden und des Windklimas. Momentan können Forscher\*innen hierzu jedoch noch keine eindeutigen Aussagen treffen. (Klein et al. 2018: 66–74). Nichtsdestotrotz stellen sie fest, dass Sturmfluten künftig gravierender ausfallen und Sturmflutscheitelwasserstände höher auflaufen sowie durch veränderte Abflussverhältnisse auch länger andauern. Es ist wahrscheinlich, dass ein Wasserstand, der im statistischen Mittel derzeit alle 20 Jahre einmal auftritt, künftig jedes Jahr zu erwarten ist. (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 84)

Wie in der Nordsee sind klimabedingte Veränderungen im Ästuar bisher nicht erkennbar, wozu auch wasserbauliche Maßnahmen beitragen. Da ihre Fortführung und ihr Zusammenwirken mit



einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg unklar sind, liegt auch hier eine große Unsicherheit vor. (von Storch et al. 2018: 5)

Vorhersagen können sich daher nur auf die momentane Topographie des Ästuars beziehen (Klein et al. 2018: 73). Diese besagen, dass auch im Normalzustand der Tidenhub weiter zunehmen und sich die Flutstromdominanz verstärken wird. Hierdurch verschiebt sich die Brackwasserzone stromaufwärts und auch Sedimentation und Erosion werden betroffen sein (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 85). Die künftigen Sturmflut-scheitelwasserstände entlang der Elbe bis nach Hamburg würden in etwa linear um den Meeresspiegelanstieg, welcher im Mündungsbereich zugrunde liegt, ansteigen, was in Abb. 19 dargestellt ist (Klein et al. 2018: 74).

## 4.1.2 Infrastruktur

Als zweiter Layer sind für Fragestellung der Thesis die beiden relevantesten Infrastrukturen diejenigen des Küstenschutzes sowie die der Schifffahrt auf der Tideelbe, welche als wichtige Wasserstraße und Zufahrt zum Hamburger Hafen fungiert. Ihre Optimierung hat zu den tiefgreifenden Eingriffen in das System der Flusslandschaft geführt, mit gravierenden Auswirkungen auf die Ästuardynamik sowohl im Normalzustand als auch bei Sturmfluten. Sie beeinflussen damit den Layer des Substratums, im Ergebnis aber auch die Möglichkeiten der Flächennutzung als weiteren, dritten Layer, maßgeblich. Weitere Verkehrsinfrastrukturen über die Schifffahrt hinaus werden kartographisch dargestellt, aber nur in geringerer Tiefe erläutert.

### *Küstenschutz*

Wie eingangs geschildert, ist die Flusslandschaft des Elbeästuars nur durch menschliches Wirken dauerhaft besiedelbar: Bereits bei normalen Tiden würden ohne Schutzmaßnahmen weite Teile der küstennahen Binnenflächen der Marsch überflutet werden (NLWKN 2007: 11). Als Reaktion hierauf ist der Ansatz des Küstenschutzes der Wille und die Verpflichtung zum Erhalt des Status Quo der Nutzbarkeit und Sicherheit der Küstenregion (Schirmer 2018: 365). Im Umkehrschluss sind die sich an das Ästuar anschließenden, teilweise unter dem Meeresspiegel liegenden und im Charakter

von städtisch-verdichtet bis ländlich-agrarisch reichenden Gebiete vom Küstenschutz abhängig und werden durch ihn grundlegend beeinflusst.

Die Elemente des Küstenschutzes, allen voran die Deiche, sind hocheffiziente Infrastrukturen. Ihre Betrachtung erfolgt vor allem aus einer pragmatischen Perspektive der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Gleichwohl stellen sie prägende Landschaftselemente und spezielle Orte am Wasser dar. „Die Menschen möchten sie überqueren, um an den Fluss zu gelangen, müssen aber auf der andern Seite auch vor dessen zerstörerischen Kräften geschützt werden“ (IBA Hamburg 2011: 11). Für die bauliche Ausgestaltung des Küstenschutzes ausschlaggebend sind in erster Linie die Seegangsverhältnisse bei Sturmfluten, weil sie der Hauptgrund größerer Küstenabbrüche sind und der Wellenauflauf eine große Belastung der Deiche darstellt (Klein et al. 2018: 57). Die Tätigkeit des Küstenschutzes ist hierbei seit jeher eine Vorsorge- und Daueraufgabe, unter anderem weil der Meeresspiegel bereits seit Jahrtausenden sehr langsam, aber stetig steigt (Säkularanstieg) und die geschützten Werte, z.B. Gebäude und Infrastrukturen, in den geschützten Gebieten konstant wachsen (NLWKN 2007: 13). Ein absoluter Küstenschutz wird dennoch nie möglich sein, da ein Restrisiko immer bestehen bleibt (MELUR SH 2013: 8).

„Küstenschutz ist eine vorsorgende Aufgabe. Er ist für die Sicherung der Lebensgrundlagen der Menschen in ihrem Lebens- und Wirtschaftsraum unabdingbar. Der Schutz vor Überflutung und die Umsetzung der hierfür notwendigen Maßnahmen hat deshalb Priorität.“

*Generalplan Küstenschutz Niedersachsen*  
(NLWKN 2007: 13)

Die Gestalt der Infrastrukturen des Küstenschutzes lässt sich in großen Teilen aus ihrer Geschichte erklären. Die Entwicklung des Deichbaus verlief über Jahrhunderte relativ geradlinig. Nur einmal kam es zu einem Systemwechsel, als vor 900 Jahren Ringdeiche, die ganze Gebiete schützten, sogenannte Wurten, Hügel, auf denen einzelne Häuser standen, ablösten. Über die Zeit wurden die Deich



**Abb. 20** Karte der Tideelbe von Melchior Lorichs aus dem Jahr 1567. Deutlich ist die im Vergleich zu heute deutlich stärker mäandrierende Form des Flusses, insbesondere im Bereich der Elbinsel.

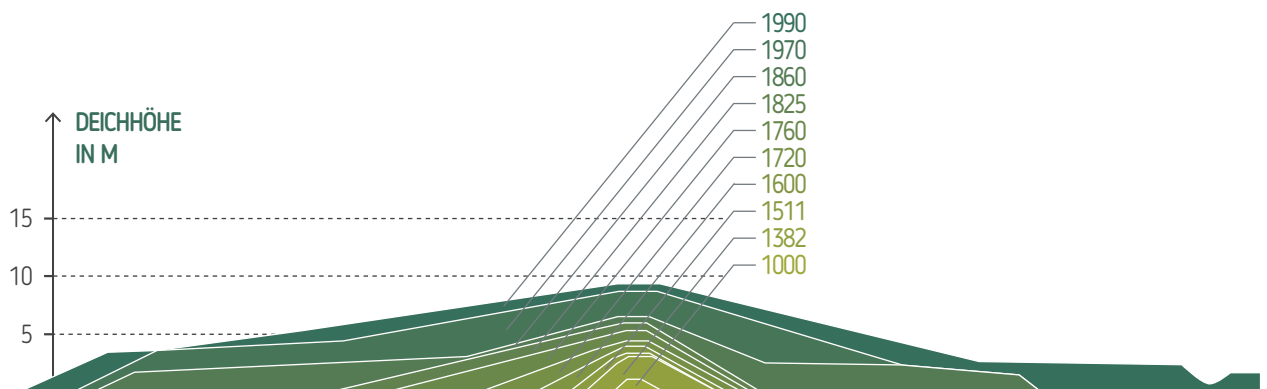
höher, breiter und der Deichfuß besser befestigt (vgl. Abb. 21). (IBA Hamburg 2008: 97–98)

Aktivitäten holländischer Siedler\*innen im 12. und 13. Jahrhundert umfassten neben dem Deichbau auch das Anlegen von Gräben, Kanälen und Schleusen, entlang denen sich ein man-made Land in den Marschgebieten entwickelte (Stokman et al. 2009: 88). Ungefähr seit dem 13. Jahrhundert sind durchgängige Deichlinien an beiden Ufern der Tideelbe vorhanden (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 84). Nichtsdestotrotz war der Deichbau weiterhin ein konstanter Kampf mit den Meereskräften, immer wieder musste Land an den Fluss zurückgegeben werden. (NLWKN 2007: 10) Durch die großen Überflutungsflächen entlang der Elbe beeinflussten die menschlichen Aktivitäten den Tidenhub wenig bis gar nicht, der mit etwa 1,90 Meter in Hamburg zwischen 1200 und 1800 konstant blieb (Neumann 2014: 63–64).

Nach dem Großen Brand von 1842 wurde Hamburg nach neuen Plänen wiederaufgebaut, wozu auch ein neues Wassersystem gehörte. Dies markierte den Beginn eines verstärkten menschlichen Einflusses auf die Flussdynamik. In den folgenden

Jahren wurde der Hafen im Rahmen der Industrialisierung immer weiter ausgebaut (Neumann 2014: 64). Immer stärker kam es nun, durch den technischen Fortschritt möglich gemacht, zu großflächigen Eindeichungen und dem Aufhöhen von Flächen, wodurch große Auenbereiche der Elbe verloren gingen.

Ein einschneidendes Ereignis für die Entwicklung des Küstenschutzes war die schwere Sturmflutkatastrophe vom Februar 1962. Über einen außergewöhnlich langen Zeitraum war keine schwere Sturmflut mehr eingetreten, wodurch das Bewusstsein der lokalen Bevölkerung für die Hochwassergefahr nur gering war. Hinzu kam der vielerorts schlechte Zustand der Schutzanlagen. (IBA Hamburg 2008: 100) Als Ergebnis kam es zu gravierenden Schäden, allein in Wilhelmsburg auf der Hamburger Elbinsel waren 172 Tote zu beklagen (IBA Hamburg 2008: 97). Als Reaktion auf diese Sturmflut wurde das Küstenschutzsystem im Elbeästuar bedeutend fortentwickelt. Die vorher kurvenreichen Deiche entlang der Elbe wurden von 5,70 m auf 7,20 bis 9,25 m ü.NN erhöht. Gleichzeitig wurden die Deichlinien vielerorts neu gestaltet und begradigt. (Neumann



**Abb. 21** Prinzipienhafte Darstellung der Entwicklung von Deichhöhen und -querschnitten seit dem Jahr 1000



2014: 64) Dies ging einher mit einer weiteren deutlichen Reduzierung der Vordeichflächen und des Flutraums im Bereich Tideelbe (Glindemann et al. 2006: 6), wodurch seitdem zirka 140 km<sup>2</sup> an Überschwemmungsflächen der Tide und den Sturmfluten nicht mehr zur Verfügung stehen (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 84).

„Je heftiger die Sturmflutereignisse wurden, desto mächtiger wurden die Deiche. Je sicherer die Deiche wurden, desto stärker wurde die Trennung zwischen Wasser und Land“

(IBA Hamburg 2011: 27)

Ebenfalls als Reaktion auf diese Sturmflut wurden seit 1968 Sperrwerke an den Mündungen der Nebenflüsse der Elbe errichtet und Nebenarme abgedämmt (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 84). Diese Sperrwerke sind Bauwerke in der kompletten Flussbreite mit Sperrvorrichtungen, die bei Sturmflutgefahr vollständig abgesperrt werden und somit ein weiteres Einlaufen der Flut aus der Elbe in die Nebenflüsse verhindern. (NLWKN 2007: 20–21) Hinter dem Sperrwerk müssen weiterhin Deiche vorhanden bleiben, um die Marschgebiete im Hinterland vor Überflutungen aus dem Oberlauf der Nebenflüsse zu schützen. Der höchste Wasserstand tritt hier auf, wenn das Sperrwerk wegen einer Sturmflut geschlossen ist, ein Hochwasser aus dem Einzugsbereich des Nebenflusses zufließt und gleichzeitig die Schöpfwerke, welche die Marschen entwässern, in Betrieb sind. (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 90)

Seit 1976 gibt es an allen Nebenflüssen Sperrwerke, wodurch im Sturmflutfall die Überflutungsflächen im Gesamtsystem Tideelbe weiter reduziert sind (Glindemann et al. 2006: 6). Das heutige System des Küstenschutzes (vgl. Abb.

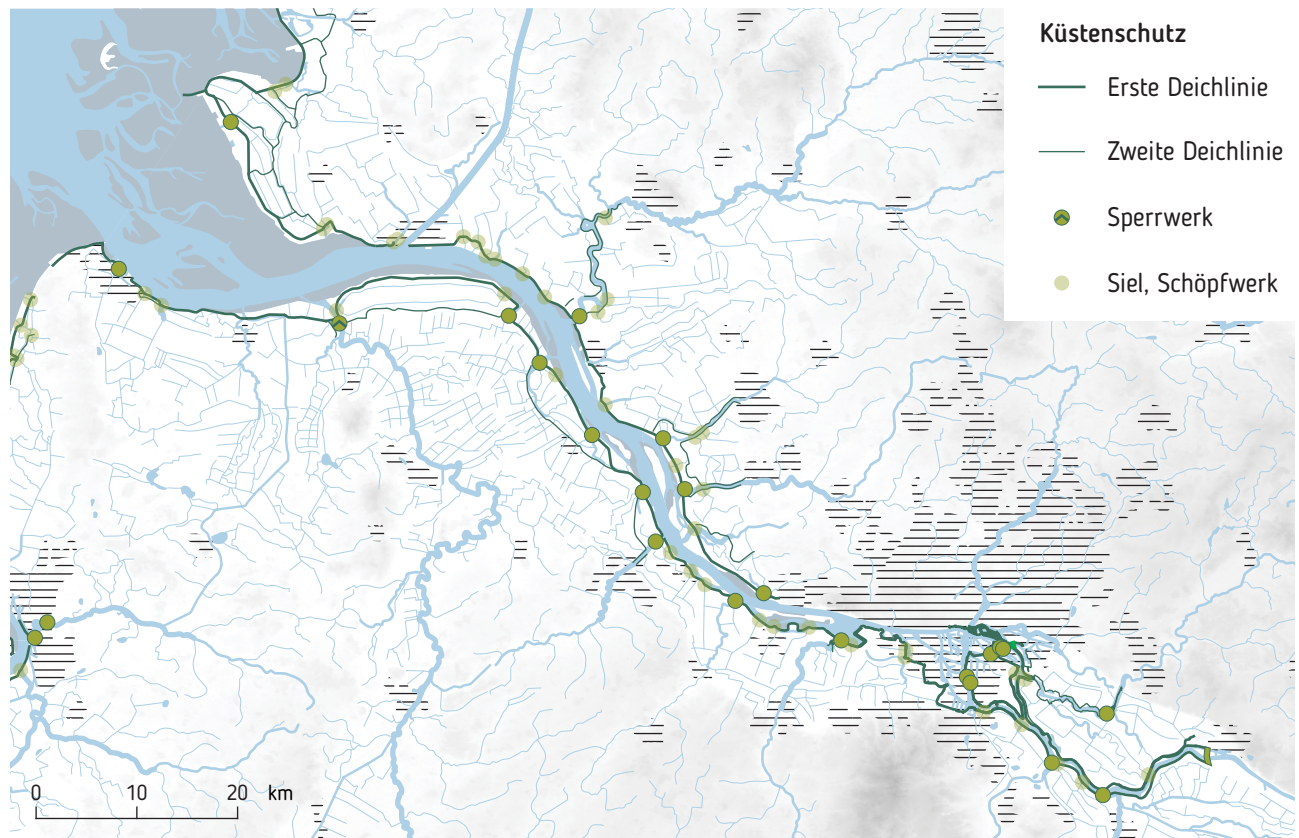
22) ist somit Resultat jahrhundertelange Entwicklung und durch Flutkatastrophen ausgelöster Entwicklungsschübe.

Ein wichtiger Grundsatz ist die Monofunktionalität der Anlagen, die ihre dauerhafte Funktionserfüllung sicherstellen soll. Diese dürfen deswegen nicht für andere Zwecke genutzt werden. (NLWKN 2007: 14) Den Küstenschutz gewährleisten neben den Deichen noch weitere Systemelemente, wodurch von einem „Küstenschutzsystem“ oder auch einem „flächenhaften Küstenschutz“ gesprochen werden kann (Thorenz 2020). Zusammen mit den oben beschriebenen Sperrwerken der Nebenflüsse ergibt sich zur Seeseite hin ein lineares, in sich geschlossenes System.

Der Schutzstandard ist dabei überall gleich: durch das gewaltige Schadenspotential an der Küste werden alle Bereiche einheitlich geschützt und es wird nicht nach Landnutzungen differenziert (Simon/Nohme 2020). Eine probabilistische Methode, die Risikountersuchungen und Versagens- bzw. Schadenswahrscheinlichkeiten mit einbezieht, ist in Deutschland ebenfalls keine Bemessungsgrundlage (von Lieberman 2011: 295).

Das Hauptelement des Küstenschutzsystems sind die sogenannten Erddeiche (vgl. Abb. 24), welche mit Gras bewachsen sind. Teilweise sind statt Erddeichen auch Schutzwände vorhanden, insbesondere bei Platzmangel in städtischen Bereichen (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 4). Sie werden aus Stahl und/oder Beton errichtet (Schirmer 2018: 365). In Hamburg dienen in einigen Bereichen, beispielsweise in Altona, die steil ansteigenden Hänge der Geestkante als natürlicher Hochwasserschutz (IBA Hamburg 2011: 27). Hinter der ersten ist in einigen Gebieten eine zweite Deichlinie vorhanden, beispielsweise als ehemaliger Hauptdeich aus früherer Zeit. Sie bildet eine zusätzliche Sicherheit und kann mögliche Schäden reduzieren (NLWKN 2007:





**Abb. 22** Elemente des heutigen Küstenschutzsystems. Das flächenhafte System im Elbeästuar besteht aus mehreren Deichlinien sowie Sperrwerken, welche die Nebenflüsse im Sturmflutfall schützen. Hinzu kommen Siele und Schöpfwerke zur Entwässerung des tief gelegenen Marschlands.

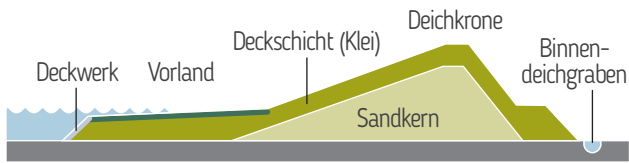
**Abb. 23** Deich am Krautsand (Niedersachsen)



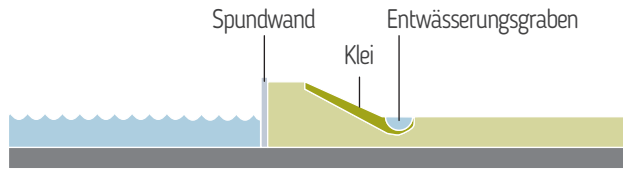
14). Da ein regelmäßiger Bedarf an einer weiteren Erhöhung der Deiche besteht und hierdurch Querschnitt und somit Flächenbedarf steigen, müssen Flächen für zukünftige Baumaßnahmen freigehalten werden. Auf der Seeseite wird die Funktionsfähigkeit der Deiche teilweise durch weitere Schutzelemente wie Buhnen oder Lahnungen sichergestellt (NLWKN 2007: 14). Am wichtigsten sind hier jedoch die Deichvorländer, welche die Energie des Seegangs senken. Diese Salzwiesen zwischen Deich und Wasser schützen den Deich nicht erst bei Sturmfluten, sondern auch vor der dauerhaften Flusströmung und kleinen Wellen und haben zudem eine ökologische Funktion (Thorenz 2020). Dieser Bereich darf eigentlich überhaupt nicht bebaut werden und bestehende bauliche Anlagen werden höchstens geduldet, ihr Abriss kann aber verfügt werden (Ast/Niemann 2020). Auch wenn es auf langen Strecken Vorländer gibt, liegt der Deich an einigen Stellen ohne



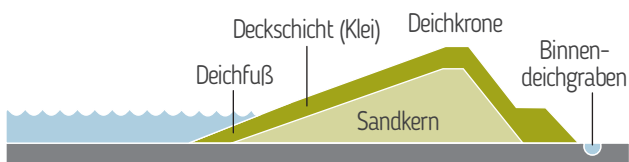
#### DEICH MIT VORLAND



#### ANLAGE MIT SPUNDWAND



#### SCHARLIEGENDER DEICH



#### ANLAGE MIT SPUNDWAND UND BÖSCHUNG

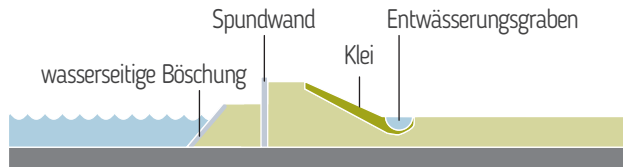


Abb. 24 Bauformen linearer Küstenschutzelemente

schützende Flächen direkt an der Elbe. Dies wird als „schar liegender“ Deich bezeichnet, welcher besonders durch die Tidedynamik und die Energie der Wellen bei Sturmfluten beansprucht wird und dementsprechend verstärkt konstruiert werden muss (IBA Hamburg 2011: 49).

Im Untersuchungsraum gibt es auch über die Ländergrenzen hinweg durchlaufende Schutzlinien und somit keine Schwellen im Deich (Thorenz 2020). Zugrunde liegt ein einheitliches Verfahren, was den höchsten zu erwartenden Tidehochwasserstand, Wettereinflüsse (Windstau sowie Wellenaufwurf), und den Oberwasserabfluss mit einbezieht (NLWKN 2007: 13). Für das gesamte Ästuar werden vom Pegel Cuxhaven aus die nötigen Deichhöhen mittels Computermodellen errechnet. Seit 2010 ist hierbei auch ein bis 2100 ausgelegter „Klimazuschlag“ von 50 cm Höhe enthalten (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 4–5).

Eine Sonderrolle in diesem System nimmt die Hamburger HafenCity ein, welche außerhalb der Hochwasserschutzlinie gelegen ist und schrittweise durch ein sogenanntes „Warftenkonzept“ mit hochliegenden Erschließungsanlagen, Gebäuden und Flächen geschützt wird. Anders als hinter einem Deich kann sich kein Wasser punktuell in tiefliegenden Flächen sammeln. Auch bei einem geringfügigem Überströmen der Warften wären nur lokal begrenzte Schäden wahrscheinlich. Ein

möglicher Nachteil ist jedoch, dass eine nachträgliche Anpassung, z.B. durch eine Vergrößerung der Schutzhöhe, sehr aufwendig wäre. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 11–12)

An den Küstenschutzanlagen im Untersuchungsraum findet – im vorhandenen, gegenwärtigen System – bereits eine Anpassung an die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels oder zumindest eine Vorbereitung hierfür statt.

Wichtigste Komponente der Anpassung ist momentan die Ausgestaltung der Deiche in einer Form,

Abb. 25 Sperrwerk des Nebenflusses Este (Hamburg)





Abb. 26 Hochliegende Erschließungswege in der Hamburger HafenCity

Abb. 27 Konzept des „Klimadeichs“ in Schleswig-Holstein



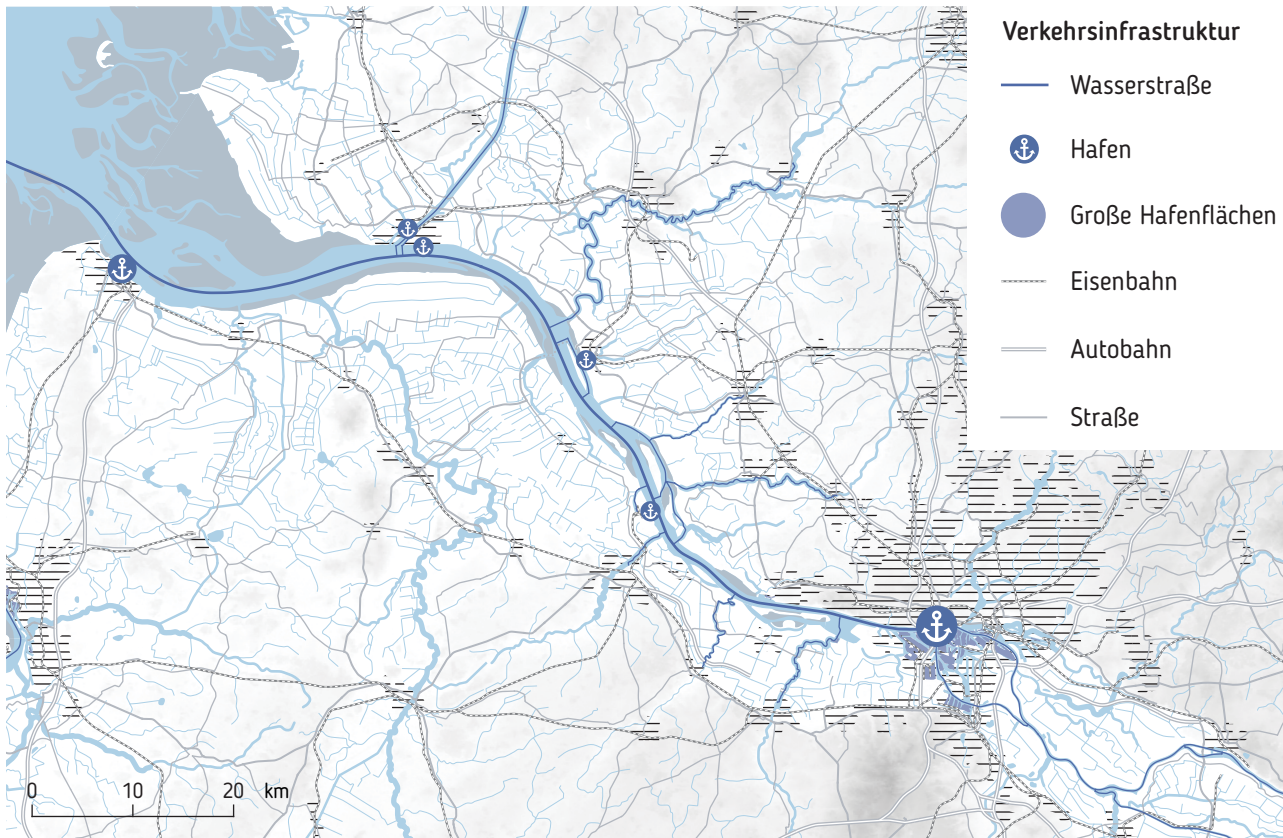
die Nacherhöhungen relativ leicht ermöglicht. In Schleswig-Holstein wurde hierfür Ende 2009 das Konzept „Klimadeich“ für Baureserven eingeführt (vgl. Abb. 27): Die Deiche sind so bemessen, dass nachfolgende Generationen mit geringem Aufwand eine sogenannte Deichkappe aufsetzen können, wodurch ein auf einen Meeresspiegelanstieg bis zu 150 cm reagiert werden kann. (MELUR SH 2013: 45) Auch in Niedersachsen werden Baumaßnahmen im Küstenschutz so ausgeführt, dass Nacherhöhungen relativ einfach möglich sind, z.B. wird die Gründung von neuen Bauwerken so ausgeführt, dass sie eine Nacherhöhung von bis zu 1 m tragen kann (NLWKN 2007: 26). Eine Rückverlegung von Deichen als alternative Anpassungsstrategie an steigende extreme Wasserstände ist explizit nicht in Planung (Schirmer 2018: 362).

#### Verkehrswege

Die zweite wichtige, prägende Infrastruktur im Untersuchungsraum ist die Tideelbe als Wasserstraße (vgl. Abb. 28). Sie dient als Zufahrtsweg zum Hamburger Hafen, welcher einer der größten Häfen Europas und wichtiger Player im globalen Hafenwettbewerb ist (IBA Hamburg 2008: 53). Er ist hierbei Teil der sogenannten „Nordrange“, einer Gruppe von wichtigen Seehäfen, die entlang der Nordseeküste liegen und miteinander konkurrieren (vgl. Abb. 29). Neben der Versorgung des westeuropäischen Hinterlandes dienen sie dabei insbesondere auch als Knoten- und Umschlagspunkt für Schiffsdienste von und nach Osteuropa und in den baltischen Raum. Die wichtigsten Wettbewerber des Hamburger Hafens sind dabei die Seehäfen in Bremerhaven, Rotterdam und Antwerpen. (Hamburger Hafen und Logistik AG 2019) Die Hamburger Wirtschaft ist in großem Maße vom Hafen abhängig, der etwa 14% des Bruttoinlandsprodukt der Freien und Hansestadt Hamburg generiert. 155.000 Menschen arbeiten in Hamburg in hafenbezogenen Positionen. (Neumann 2014: 64)

Die Schiffsgrößen im globalen Containertransport steigen seit Jahrzehnten immer weiter an. Um die Konkurrenzfähigkeit des Hafens sicherzustellen, wird die Elbe immer weiter für neue Containerschiffsgenerationen ausgebaggert (IBA Hamburg 2008: 31). Zwar kam es bereits im 13. Jahrhundert zu ersten Strombaumaßnahmen, doch erst





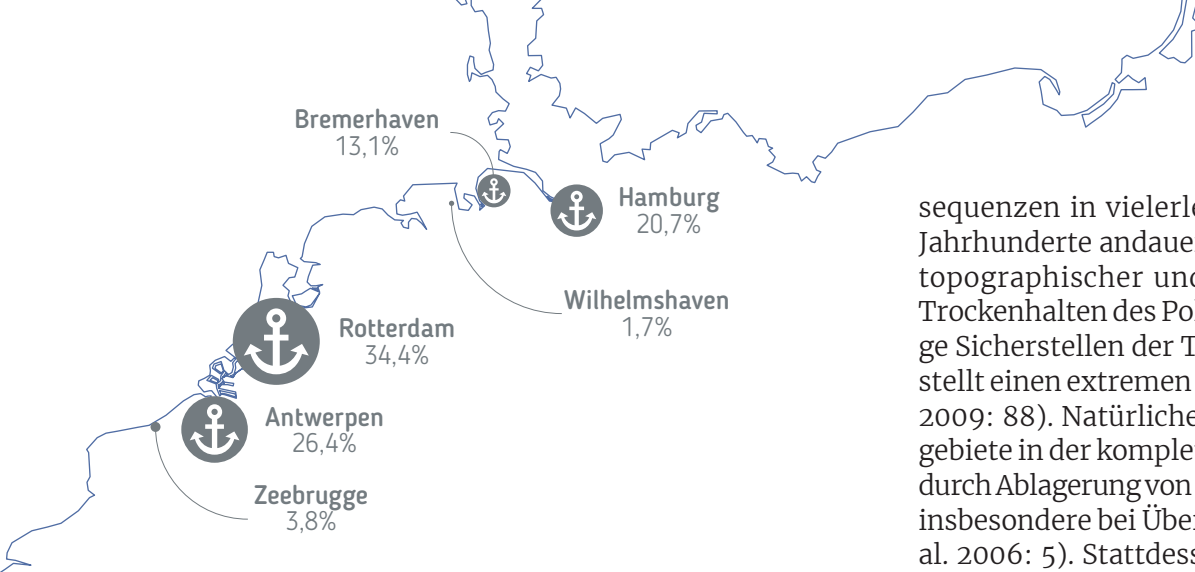
**Abb. 28** Verkehrswege in der Ästuarregion. Das Elbeästuar wird von zahlreichen Verkehrswegen durchschnitten, allen voran die Wasserstraße Elbe, welche den Zugang zum Hamburger Hafen, einem der größten Seehäfen Europas, sicherstellt.

die Industrialisierung und die Entwicklung von Dampfbaggerschiffen machte ein technisches Vertiefen des Flusses leicht möglich (IBA Hamburg 2008: 55). Seitdem finden immer wieder Fahrrinnenausbauten statt. Betrug die größtmögliche Schiffstiefe in der Fahrrinne im Jahr 1860 noch 4,5 m, können seit 2001 Schiffe mit maximalen Tiefgang von 13,8 m Hamburg mit der Flutwelle anlaufen. (MELUR SH 2013: 19)

Seit Juli 2019 läuft ein weiterer Ausbau der Wasserstraße, um bis zu 14,5 m tiefen Schiffen die (tideabhängige) Zufahrt nach Hamburg zu ermöglichen. Es ist geplant, die Baggerarbeiten bis 2021 abzuschließen (WSV 2019). Die Fahrrinne wird vertieft und stellenweise verbreitert. Das anfallende Baggergut wird in erster Linie in die Elbmündung verbracht. Die Anordnung der Ablagerungsflächen soll das Tidegeschehen positiv beeinflussen und somit die negativen Effekte der Ausbaumaßnahme abmildern. (WSV 2019a) Diese Ausbaumaßnahmen veränderten die gesamte Morphologie des Flusses. Statt des ursprünglich

**Abb. 28** Als Zufahrtsweg zum Hamburger Hafen ist die Tideelbe auch eine wichtige Achse im globalen Containerschiffsverkehr. Um stets nutzbar und an steigende Schiffstiefen angepasst zu sein, muss sie permanent ausgebaggert werden.





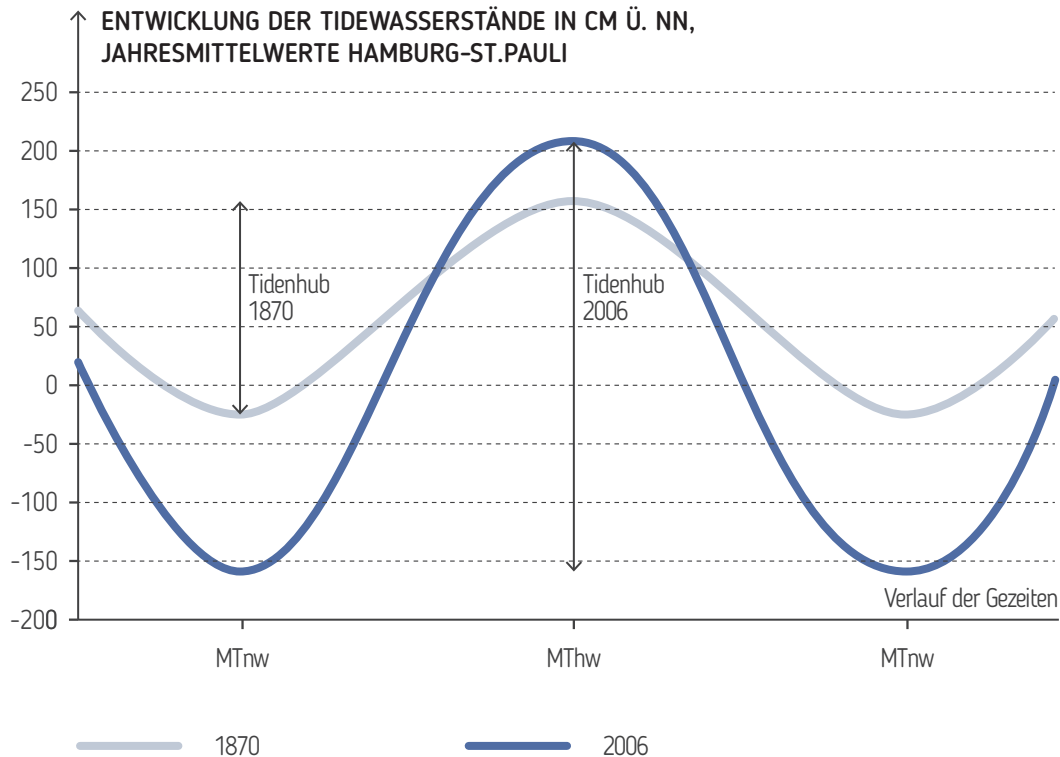
**Abb. 29** Nordrange-Häfen als Konkurrenz zu Hamburg

weit verzweigtem Flusssystem finden sich heutzutage Fahrrinnen und Hafenbecken. Die flach ansteigenden, sandig-schlickigen Uferbereiche wurden in fast allen Abschnitten der Tideelbe von befestigten Ufern in Form von steilen Steinschüttungen, Kaimauern und Spundwänden ersetzt. (IBA Hamburg 2008: 32)

#### Folgen des Infrastrukturausbaus

Das Wirken des Menschen im Ästuar hat Kon-

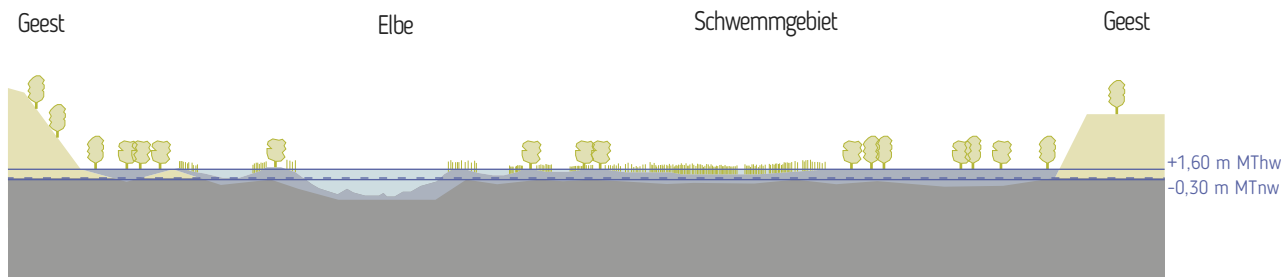
sequenzen in vielerlei Hinsicht. Die über viele Jahrhunderte andauernden Veränderungen sind topographischer und hydrologischer Art. Das Trockenhalten des Polderlandes und gleichzeitige Sicherstellen der Tiefe der Wasserstraße Elbe stellt einen extremen Eingriff dar (Stokman et al. 2009: 88). Natürlicherweise wären die Marschgebiete in der kompletten Breite des Urstromtals durch Ablagerung von Sedimenten mitgewachsen, insbesondere bei Überflutungen (Glindemann et al. 2006: 5). Stattdessen wurde diese natürliche Anpassung an steigende Meeresspiegel weitestgehend beendet: Durch die Eindeichung ist das Hinterland vom natürlichen Sedimentationsprozess abgekoppelt, wodurch es sich nicht mehr mit erhöhen kann. Hierauf wird mit einer stetig weitergehenden Erhöhung der Deiche reagiert, was die Dynamik weiter verstärkt (Stokman et al. 2009: 89). Auf der anderen, dem Fluss zugewandten Seite der Deiche gingen dafür Vordeichfläche und Fluträume verloren. Im Elbeästuarraum betrug der Verlust zwischen 1955 und 2006 209 km<sup>2</sup> (Glindemann et al. 2006: 6). Durch die mehrfach erfolgten Fahrrinnenvertiefungen wurde die Sohle



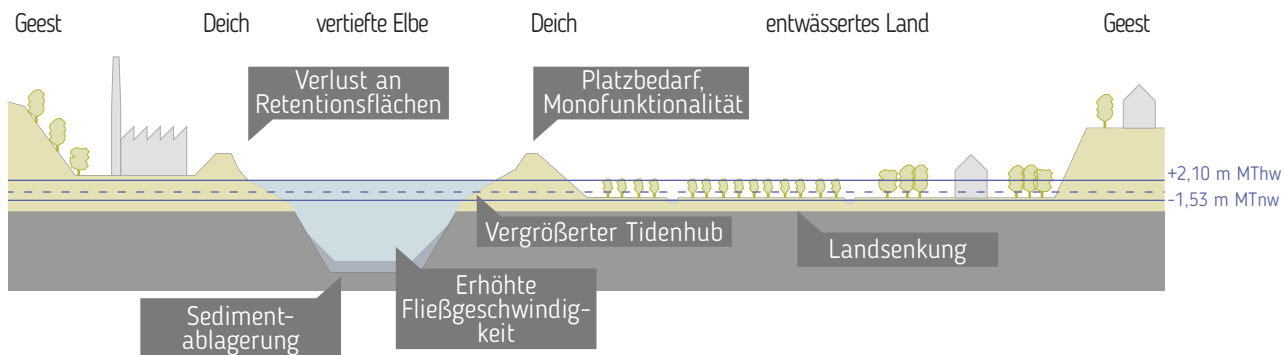
**Abb. 30** Durch menschliche Eingriffe stark angestiegener Tidenhub, hier am Beispiel Hamburg-St. Pauli



## ZUSTAND NACH DER LETZTEN EISZEIT



## HEUTIGER ZUSTAND



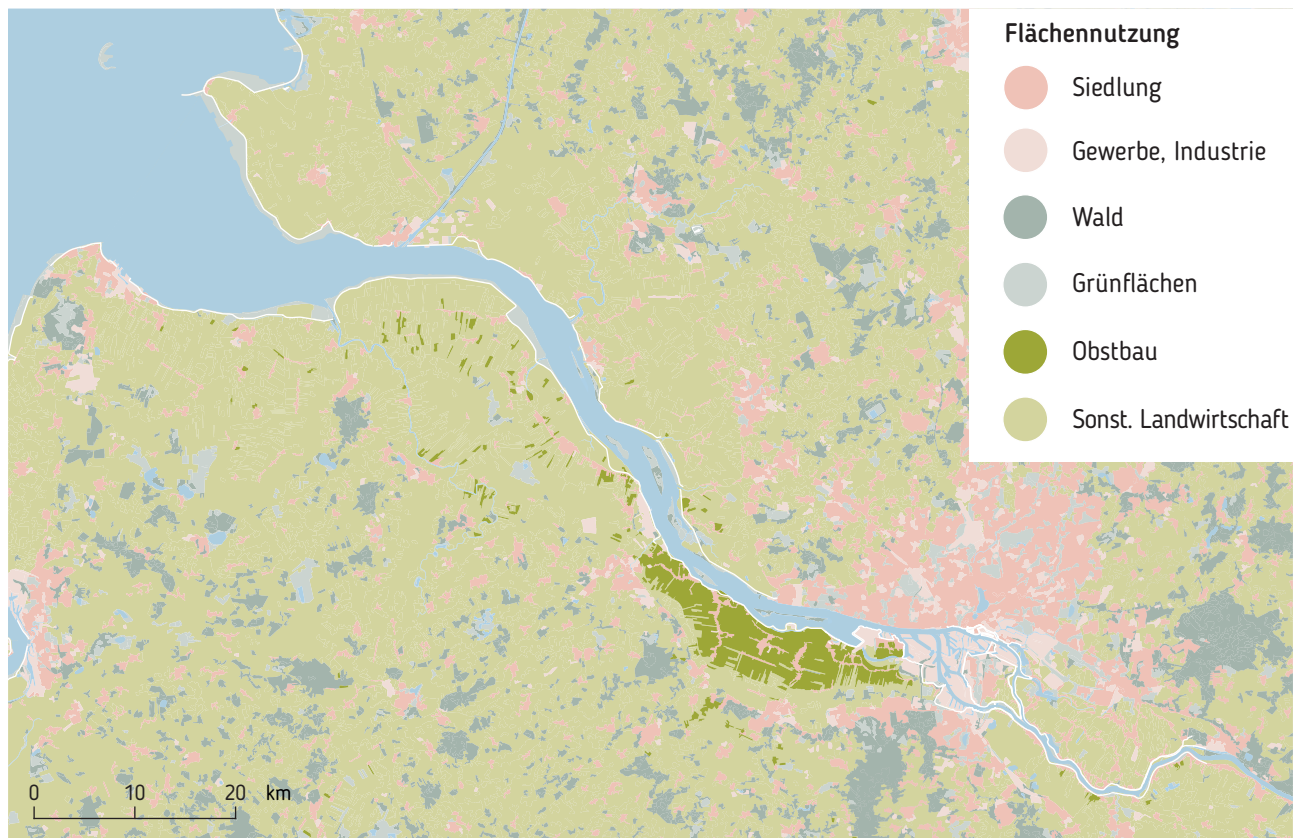
**Abb. 31** Prinzipienhafte Darstellung der Landschaftsveränderungen entlang der Tideelbe im Laufe der letzten Jahrhunderte

der Tideelbe, die ursprünglich tiefe Gräben und extreme Flachstellen aufwies, stark nivelliert, wodurch ihre „Rauigkeit“ in großem Maße abnahm (IBA Hamburg 2008: 31) und der Querschnitts des Flusses stark verändert. Auch die Hafenausbauten in Hamburg, Cuxhaven und Brunsbüttel und den Nebenflüssen haben zu einer deutlichen Veränderung hydrodynamischer Verhältnisse geführt (Glindemann et al. 2006: 7).

Ein deutlich spürbares, unerwünschtes Resultat dieser Entwicklungen ist die zunehmende Energie, mit der die Flut bei jeder Tide in das Ästuar vordringt. Da wesentlich weniger Möglichkeiten im nun regulierten Strombett bestehen, die Tidewelle abzupuffern, kann sie sich weniger ausbreiten und dringt stärker stromauf vor (Glindemann et al. 2006: 1). Hierdurch hat sich der Tidenhub deutlich verstärkt, das Hochwasser ist gestiegen und das Niedrigwasser gefallen. Am Pegel St. Pauli erhöhte sich beispielsweise der Tidenhub im Laufe des 20. Jahrhunderts von 1,60 m auf 3,60 m (vgl. Abb. 30) (IBA Hamburg 2008: 31). Doch nicht

nur die regulären Tiden sind betroffen, auch der Sturmflutscitel in Hamburg hat sich um fast 0,5 Meter als Resultat der Eindeichungsmaßnahmen erhöht (Glindemann et al. 2006: 6). In den letzten Jahrzehnten sind bereits neun Sturmfluten höher als 1962 aufgelaufen (Reise 2015: 165). Der Einfluss der weiteren Fahrrinnenanpassung auf den Küstenschutz wird hingegen seitens der WSV und HPA als marginal angesehen. Ihr Einfluss auf den Sturmflutpegel betrüge nur 2 cm, die Maßnahmen könnten aber auf die Wellenverhältnisse einwirken, was zu höheren Bau- und Unterhaltsaufwand an den Deichen führen würde. (WSV 2019b)

Ein weiteres Problem, welches sich aus der menschlichen Überformung ergibt, wird als „Tidal Pumping“ bezeichnet. Die Flutströmung läuft deutlich stärker stromaufwärts als der Ebbestrom zurück in die Nordsee fließt. Sedimente, die sich ursprünglich in den Marschen abgesetzt hätten, werden stromauf und insbesondere in die Hamburger Hafenbecken getragen und lagern sich dort ab, weil sie der schwächere Abfluss der Ebbe nicht



**Abb. 32** Flächennutzung in der Ästuarregion. Verschiedenste Nutzungen, die bis an den Deich heranreichen sind in der Metropolregion zu finden. Nahe Hamburgs umfasst dies vor allem Siedlungen und Industrie, vor allem am Südufer der Elbe aber auch die weitläufigen Obstbauflächen des Alten Landes.

wieder zurück tragen kann. Von oberstrom zugeführte, mit Schadstoffen stark belastete Partikel vermischen sich Sedimenten aus der Nordsee und lagern sich ebenfalls ab. (Glindemann et al. 2006: 8–9) Neben den ökologischen Folgen wirkt sich das Tidal Pumping auch negativ auf den Betrieb des Hafens aus, da permanente, kostspielige Unterhaltungsbaggerungen in der Tideelbe und den Hafenbecken nötig sind und die Baggergutmengen in den Jahren nach der letzten Elbvertiefung stark anstiegen (IBA Hamburg 2008: 31). Schwierig ist vor allem die Entsorgung des mitunter stark mit Schadstoffen belasteten Baggerguts. Zum Teil muss es auf spezielle Deponien verbracht werden, teilweise wird es auch in der Nordsee vor Schleswig-Holstein verklappt, was eigentlich nur befristet möglich ist. (IBA Hamburg 2008: 55–57) Durch die derzeit laufende, neunte Elbvertiefung ist es wahrscheinlich, dass sich Phänomen des Tidal Pumpings weiter verstärkt. HPA und WSV verweisen vor diesem Hintergrund auf das Tideelbe-Managementkonzept (siehe Unterkapitel

4.2.3), welches die negativen Folgen abmildern soll. (WSV 2019b)

Eine weitere negative Auswirkung des Ausbaus der Wasserstraße auf die Ökologie besteht im Fehlen von naturnahen Flachwasserbereichen, in denen sich Wasser von Schwebstoffen reinigen und mit Sauerstoff anreichern könnte. Die Folge ist ein instabiler Sauerstoffhaushalt, der immer wieder zu Fischsterben und Planktonblüten führt. Auch dieser Negativzustand geht insbesondere auf Hochwasserschutzmaßnahmen und Hafennutzung zurück. (IBA Hamburg 2008: 32) Diese Folgen werden durch den weiteren Ausbau verstärkt und die im Ästuar gelegenen Natura-2000-Gebiete in ihrer ökologischen Struktur und Funktion erheblich beeinträchtigt. (Europäische Kommission 2011)

Die Charakteristik und die Folgen der menschlichen Überformung sind in Abb. 31 zusammengefasst und prinzipienhaft dargestellt.

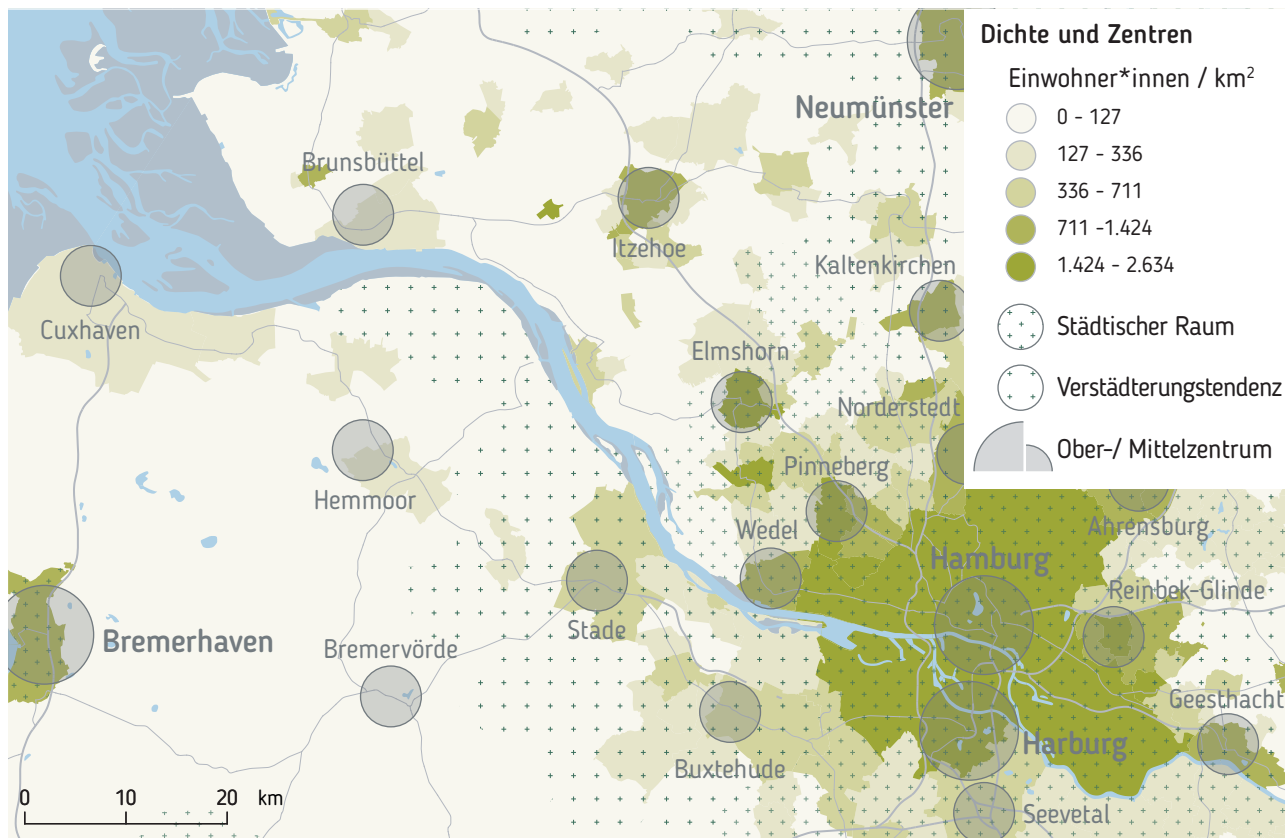


Abb. 33 Siedlungsstruktur der Metropolregion. Insbesondere Hamburg und die suburbanen Gebiete um die Stadt herum sind dicht besiedelt. Zur Nordsee hin nimmt die Siedlungsdichte stark ab.

### 4.1.3 Flächennutzung

Auch die Flächennutzung als dritter, sich am schnellsten verändernder Layer, ist vom Spannungsfeld des Verhältnisses von Mensch, Wasser und Natur betroffen. Die Entwicklungen von Substratum und Infrastruktur bilden die Grundlage für die mögliche Landnutzung. Diese verändert sich als Resultat ständig – und mit ihr auch das Bild der Landschaft. Die traditionelle Beeinflussung der Landnutzung durch die bereits erwähnte Trennung zwischen Geest und Marsch wirkt seit jeher und bis heute, auch wenn es zu Veränderungen kam.

Die Ursprünge Hamburgs und Harburgs liegen auf den Geestbereichen entlang des Urstromtals, abseits des dazwischen gelegenen, dynamischen Marschlandes (IBA Hamburg 2008: 23). Der Siedlungsprozess Hamburgs begann ab dem 11. und 12. Jahrhundert auf einem Höhenzug nahe der Mündung der Alster, dem sogenannten Elbuferhöhenweg (Neumann 2014: 63–64). Auch heute noch liegen folglich die größten Siedlungsflächen

Hamburgs auf der geschützten Geest (IBA Hamburg 2011: 24).

Mit Blick auf den gesamten Ästuarraum wird deutlich, dass die räumliche Trennung in Geest und Marsch heutzutage teilweise aufgehoben ist und zahlreiche Aktivitäten in den Gebieten bis ans Flussufer heran zu finden sind. Die Metropolregion Hamburg ist eine wirtschaftsstarke Region mit unterschiedlichsten Sektoren, die um den begrenzten Raum konkurrieren. Hierdurch ergibt sich ein Mosaik an Flächennutzungen (vgl. Abb. 32).

Hamburg ist durch seine Bevölkerungszahl und die Wirtschaftsstärke in der Region dominant (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 6). Als wachsende Stadt hat es einen Bedarf an neuen Siedlungsflächen. Hierdurch besteht die Notwendigkeit, auch in tiefer gelegenen Gebieten Stadtentwicklungsvorhaben durchzuführen. In der HafenCity (siehe oben) und in Wilhelmsburg („Sprung über die Elbe“) wurde der Hochwasserschutz hierbei direkt mit eingebunden. (KLIMZUG-Nord Ver-

bund 2014: 6)

Strahlenförmig gehen von Hamburg dicht besiedelte, suburban geprägte Siedlungsachsen ins Umland aus, beispielsweise am Südufer der Elbe von Harburg über Stade nach Cuxhaven oder auf der Nordseite über Pinneberg nach Elmshorn (vgl. Abb. 33). Insbesondere in den weiter von Hamburg entfernt gelegenen Uferbereichen wird die Besiedlung dünner und es gibt eigene regionale Zentren.

Am Elbufer liegen zudem wichtige Standorte des produzierenden und verarbeitenden Gewerbes. Es ist in größerem Maße Industrie angesiedelt, z.B. die Chemieindustrie in Stade oder die Luftfahrtindustrie in Hamburg-Finkenwerder. (NLWKN 2007: 12) Die flächenmäßig bedeutendste Nutzungsform in der Tideelberegion ist die Landwirtschaft. In den künstlich entwässerten Marschen sind die Böden fruchtbar, vor allem der Obstbau im Alten Land ist bedeutend. Es ist als eines der größten Anbaugelände Nordeuropas von internationalem Ansehen (Glindemann et al. 2006: 3).

Gleichzeitig sind durch den landschaftlichen Wert der Region die Naherholung und der Tourismus wichtige Sektoren, wobei insbesondere die Verknüpfung von Wasser und Land eine Rolle spielt. So finden sich Wassersport und Sportschifffahrt im Ästuarraum, auch das Baden ist durch die inzwischen wieder verbesserte Wasserqualität an geschützten Stellen möglich. Diese wirkt sich auch auf die Möglichkeiten für die Fischerei als eine der traditionellen Nutzungen des Ästuars aus. Seit den 1990er Jahren ergeben sich in diesem Bereich verbesserte Verhältnisse, da wieder mehr Fischarten und Individuen in der Elbe leben. (Glindemann et al. 2006: 3)

Auch die unterschiedlichen Flächennutzungen werden die Folgen des Klimawandels in deutlichem Ausmaß zu spüren bekommen. Es können sich Änderungen im ökologischen Bereich ergeben, der künftige Zustand der Elbe ist fraglich. Eine Folge der Verschiebung der Brackwasserzone könnte hier beispielsweise Auswirkungen auf die Nutzbarkeit der Obstplantagen im Alten Land haben. (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 85)

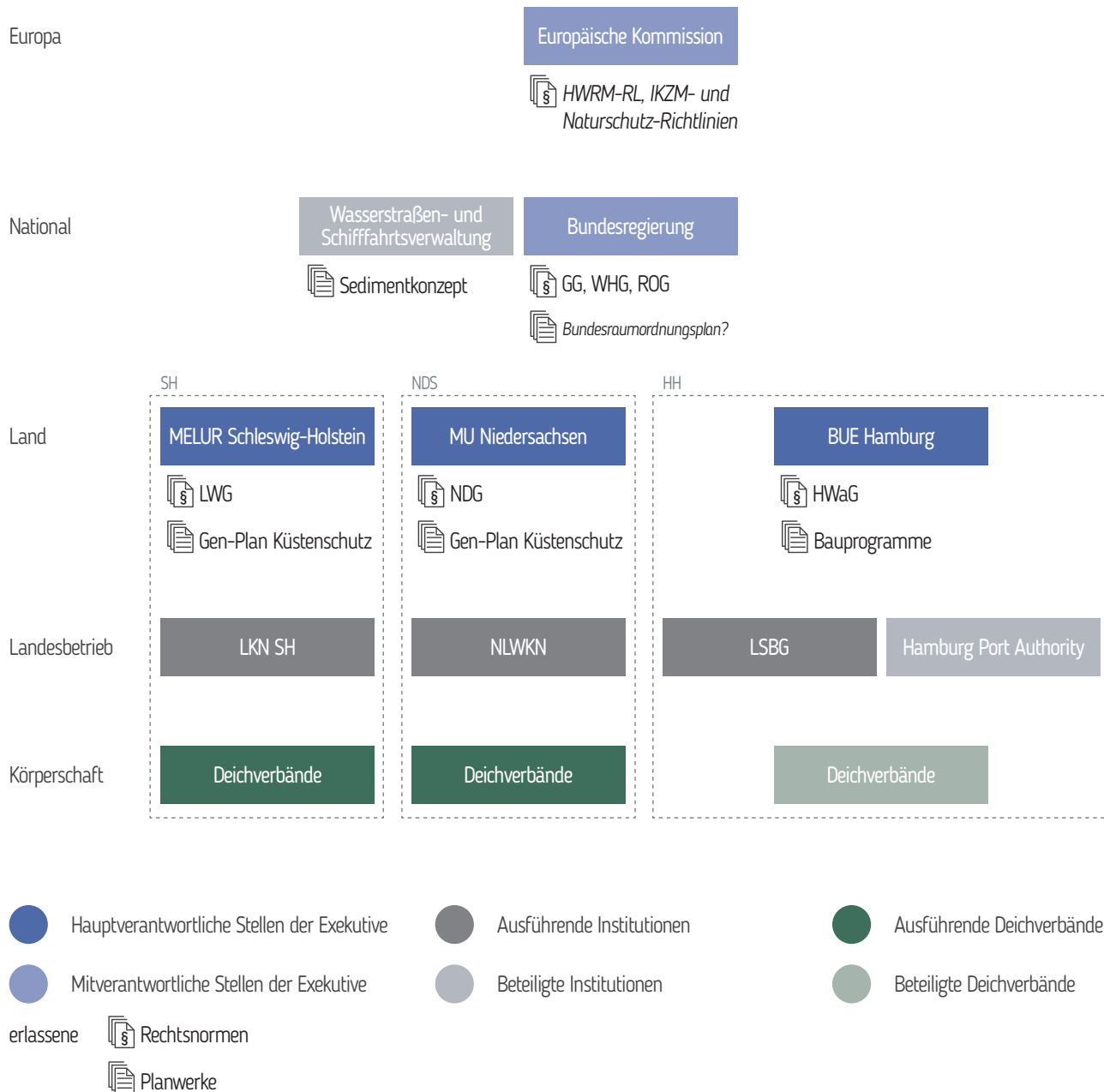
## 4.2 Governance

Grundsätzlich ist parallel zur physischen Manifestation auch die Governance ein wichtiger Einflussfaktor für den Küstenschutz im Elbeästuar. Auf die Governance als Betrachtungsweise für das Agieren von staatlichen und nichtstaatlichen Akteur\*innen ist bereits im Kapitel 3.2.2 eingegangen worden. Diese beiden Säulen – physische Manifestation und Governance – existieren nicht nebeneinander, sondern beeinflussen sich wechselseitig. Das traditionelle Prinzip des Küstenschutzes an der Nordseeküste war in der Vergangenheit der weithin bekannte Leitsatz „Wer nicht deichen will, muss weichen“. Er besagt, dass der Schutz bürgerschaftlich durch die Bewohner\*innen selbst getragen wurde. Wer hierzu nicht in der Lage war, musste sein Grundstück abgeben. (Fellmer 2014: 1) Heutzutage ist die Verantwortlichkeit für das Funktionieren des Küstenschutzes jedoch weitestgehend auf die öffentliche Hand übergegangen. Dies hat auch dazu geführt, dass Informationen und fachliches Wissen über das Wassermanagement schwer verfügbar sind und bei vielen verschiedenen Institutionen mit unterschiedlichen Verantwortungsbereichen liegen (Stokman et al. 2009: 90). Die komplexe administrative Struktur der Elbeästuarregion stellt zudem eine nicht zu unterschätzende Herausforderung für die Anpassung an den Klimawandel dar (KLIMZUG-Nord Verbund 2014: 4). Die Entscheidungsfindung erstreckt sich über mehrere Verwaltungsebenen in den drei Bundesländern mit ihren entsprechenden Strukturen, auch der Bund und die Europäische Union haben einen bedeutenden Einfluss. Diese formelle Verteilung der Kompetenzen wird im Unterkapitel 4.2.2 dargestellt. Daneben gibt es im Elbeästuar auch vielfältige Formen informeller, also nicht rechtlich bindender Aktivitäten, die sich ebenfalls zur Küstenschutz-Governance zählen lassen. Auf diese wird im Unterkapitel 4.2.3 eingegangen.

### 4.2.2 Formelle Zuständigkeit

Bindende Normen und Regeln für den Küstenschutz, die Bauform, Pflege und Nutzung festlegen, haben eine sehr lange Tradition (IBA Hamburg 2011: 38). Das föderale System der Bundesrepublik Deutschland tritt auch in diesem Bereich deutlich





**Abb. 34** Struktur der formell zuständigen Akteur\*innen, Gesetze und Planwerke

zutage, da die Hauptzuständigkeit in diesem Feld bei den drei Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Hamburg liegt. Das Zusammenspiel aller Akteur\*innen, die formell mit dem Küstenschutz betraut sind, wird beginnend bei der EU, über den Bund und die Länder dargestellt und ist schematisch in Abb. 34 wiedergegeben. Eine Sonderrolle kommt außerdem der Hamburg Port Authority und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes zu, die mit der Verwaltung des Hamburger Hafens beziehungsweise der

Wasserstraße Elbe befasst sind und sogenannte hoheitliche Aufgaben wahrnehmen.

#### Europäische Union

Die Europäische Union gibt Richtlinien heraus, die anschließend in nationales Recht der Mitgliedsstaaten umgesetzt werden müssen. Die für den Küstenschutz bedeutendste Bestimmung ist die von der Europäischen Kommission im Jahr 2007 verabschiedete Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL) (RL 2007/60/

EG). Durch sie werden europaweit einheitliche Vorgaben für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken gemacht, die dazu dienen sollen, nachteilige Folgen von Hochwassern zu reduzieren (MELUR SH 2013: 26). In der EU-HWRM-RL wird das Hochwasserrisiko als eine „Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses und der hochwasserbedingten potenziellen nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten“ (Art. 2 RL 2007/60/EG) definiert.

Im Jahr 2010 wurde die Richtlinie in nationales Recht in Deutschland übernommen (Fellmer 2014: 114). Mit der Richtlinie einher geht eine Verpflichtung, die eigendynamischen Prozesse sowohl bei der Gestaltung als auch der Bewirtschaftung der Gewässer stärker zu berücksichtigen. (Grosse-Bächle 2008: 414) Zudem müssen die Behörden der Mitgliedsstaaten Risikogebiete ausweisen und Risikomanagementpläne erstellen sowie alle sechs Jahre aktualisieren. Die vorgegebene räumliche Planungseinheit sind keine administrativen Einteilungen wie Bundesländer, sondern die aus Einzugsgebieten gebildeten Flussgebietseinheiten (Art. 3 RL 2007/60/EG). Hierdurch ist eine länderübergreifende Zusammenarbeit und Abstimmung notwendig (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 2), an der Flussgebietseinheit der Elbe sind zehn Anrainerländer beteiligt (Ast/Niemann 2020).

Auch wenn sich die EU-HWRM-RL sowohl auf Binnen- als auch auf Küstenhochwasserschutz (Art. 2 RL 2007/60/EG) bezieht, hat sich in der Praxis gezeigt, dass es zwischen diesen beiden Feldern gravierende Unterschiede gibt. In der Arbeit der Stellen an deutschen Küsten ist ein Risikomanagement nicht unbedingt vorgesehen (Ast/Niemann 2020): Der durch die EU-HWRM-RL verfolgte risikobasierte Ansatz besagt zwar, dass die vorhandenen Nutzungen nicht alle gleich geschützt werden müssen und Schutzvorrichtungen dementsprechend unterschiedlich standhaft sein können. Im deutschen Küstenschutz wird jedoch, mit Verweis auf das gewaltige Schadenspotential, ein überall gleiches Schutzniveau erreicht. (Simon/Nohme 2020)

Weitere, mittelbar den Küstenschutz betreffende Bestimmungen seitens der Europäischen Union

umfassen zum einen die Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG), die ebenfalls durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und entsprechende Landesgesetze (NWG; LWG; HWaG) auf nationaler Ebene umgesetzt wurde. Sie besagt, dass sich durch den Bau einer Küstenschutzanlage der ökologische Zustand eines Gewässers nicht verschlechtern darf.

#### *Bund*

Auf nationaler Ebene ist im Grundgesetz festgelegt, dass der Küstenschutz Teil der konkurrierenden Gesetzgebung ist (Art. 74 Abs. 1 Nr. 1 GG). Dies bedeutet, dass die Länder die Befugnis zur Gesetzgebung haben, solange der Bund dies nicht selbst getan hat. Bislang regeln die Länder an Nord- und Ostsee den Küstenschutz somit durch Landesrecht selbst (Deutscher Bundestag 2019: 4), womit bei ihnen die Verantwortung für den Küstenschutz liegt. Planung und Bau von Schutzmaßnahmen erfolgen darauf aufbauend auf föderaler, kommunaler oder körperschaftlicher Ebene, also beispielsweise durch sogenannte Deichverbände. (Deutscher Bundestag 2019: 9)

Der Bund beteiligt sich jedoch finanziell am Küstenschutz. Dies ist als sogenannte Gemeinschaftsaufgabe, die zur Verbesserung der Lebensverhältnisse erforderlich ist, ebenfalls im Grundgesetz geregelt (Art. 91 a Abs. 1 GG). Neben den regulären Zuwendungen steuert der Bund seit 2009 insgesamt fast 550 Millionen Euro zusätzlich bei, damit die Länder ihre Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel schneller umsetzen können (MELUR SH 2013: 25).

Ein weiterer, räumlich begrenzter Zuständigkeitsbereich des Bundes ist die Wasserstraße Elbe, da er Eigentümer der Bundeswasserstraßen ist. Für ihre Verwaltung ist eine eigene Behörde, die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), zuständig (Neumann 2014: 64). Wenn Ausbaumaßnahmen die Deichsicherheit beeinträchtigen, wie beispielsweise bei der Fahrrinnenanpassung der Elbe geschehen, finanziert der Bund als Verursacher die Anpassung des Küstenschutzbauwerks. (Ast/Niemann 2020)

In der Verteilung der Kompetenzen könnte es künftig zu einer Verschiebung kommen. Die gegenwärtige Bundesregierung hat in ihrem Koali-

tionsvertrag die Erstellung länderübergreifender Raumordnungspläne zum Hochwasserschutz bis 2021 beschlossen (Bundesregierung 2018: 138). Die Möglichkeit hierfür ist nach §17 Abs. 2 Raumordnungsgesetz (ROG) gegeben, allerdings nur, wenn die Erforderlichkeit der Aufstellung gerechtfertigt wäre. Ein derartiger Plan hätte dann eine Bindungswirkung gegenüber den Ländern. Im Bundesinnenministerium laufen gegenwärtig Überlegungen zu einem derartigen „Bundesraumordnungsplan Hochwasserschutz“, der eine zentralistischere Herangehensweise verfolgen würde. Das Ministerium befindet sich hierzu im internen Austausch mit den Ländern, es ist jedoch noch kein konkretes Planwerk veröffentlicht worden (Ast/Niemann 2020). Worin genau ein Mehrwert in der Planung durch das Bundesinnenministerium liegen könnte, wäre zudem noch genauer zu definieren (Thorenz 2020).

#### *Länder*

Die Vorgehensweise des Küstenschutzes in den drei Anliegerländern der Tideelbe ähnelt sich, ist aber nicht ganz gleich. Dies hängt auch mit der unterschiedlichen Situation in den einzelnen Ländern zusammen: Hamburg ist größtenteils sehr urban strukturiert, Schleswig-Holstein hat Küstenlinien sowohl an der Nord-, als auch der Ostsee und in Niedersachsen existiert eine Mischung aus kleinräumigeren städtischen Bereichen und ländlichen Gebieten. Das Konzept, wie der Küstenschutz umgesetzt wird, ist darauf abgestimmt und jeweils lokal nachvollziehbar (Thorenz 2020). Diese unterschiedlichen Verteilungen der Aufgabe des Küstenschutzes sind ebenfalls in Abb. 34 dargestellt.

In allen drei Bundesländern regeln eigene Gesetze und Ordnungen den Hochwasserschutz. Als maßgebliches Instrument hinzu kommen durch die jeweiligen Fachbehörden entwickelte Planwerke, die Rahmenbedingungen zu Ausgestaltung und Weiterentwicklung des Küstenschutzes festlegen. Ein wesentlicher Bestandteil sind auch die Finanzierungen, die in hohem Volumen bereitgestellt werden müssen, um das System nach bestimmten Maßgaben anzupassen (Stokman 2020). Die Pläne werden kontinuierlich, etwa alle 15 Jahre, fortgeschrieben. (Ast/Niemann 2020)

Das durch sie vorgegebene Verfahren ist überall

ähnlich: Der Zeithorizont, auf denen die Stellen blicken, ist prinzipiell eine Größenordnung von 100 Jahren. Tiden bzw. Wasserstände der Gezeiten, Stürme, Sturmstärken, Meeresspiegel werden hierbei ungefähr alle zehn Jahre überprüft und neue Erkenntnisse in Prognosen eingearbeitet. In diesem Rhythmus wird somit eine Art Sicherheitsüberprüfung für die Küstenschutzanlagen durchgeführt (Thorenz 2020).

Durch den durch die Erhöhung immer wieder entstehenden Flächenbedarf für Küstenschutzanlagen besteht bereits heute ein Bedürfnis an raumordnerischen Instrumenten. Teilweise wird hier nicht die Raumordnung selbst tätig, sondern das Deich- bzw. das Wasserrecht der Länder. Neben der Möglichkeit, im Deichvorland Räume freizuhalten und den Bau neuer Anlagen zu verbieten gibt es in allen Ländern auch bereits Schutzstreifen hinter dem Deich, um Erhöhungen zur Landseite hin realisieren zu können. (Thorenz 2020) Da durch den Klimawandel künftig jedoch mehr Flächen gebraucht werden, müssen primär in dichter besiedelten Bereichen die Belange des Küstenschutzes vorausschauend und langfristig in der Bauleitplanung und der Raumordnung berücksichtigt werden. (NLWKN 2007: 14)

Problematisch ist, dass Gemeinden ihre Fläche oft bis möglichst weit an den Deich heran nutzen wollen. Bei der Aufstellung von Flächennutzungs- oder Bebauungsplänen, die meist einen deutlich kürzeren Zeithorizont als der Küstenschutz mit seinen 100 Jahren verfolgen, kann hierdurch ein Konflikt entstehen. (Thorenz 2020) Auch findet eine Abstimmung mit der Raumordnung bisher eher punktuell statt (Ast/Niemann 2020). In den Raumordnungsplänen der Flächenländer (Landesentwicklungsplan Schleswig-Holstein, Landesraumordnungsplan Niedersachsen) wird auf den Küstenschutz und seine sicherzustellen- den Flächenbedarfe explizit eingegangen (ML NDS 2017: 392; IM SH 2010: 122). Obwohl die Vermeidungs- bzw. Bewältigungsstrategien für Küstensturmfluten eindeutig eine raumplanerische Relevanz aufweisen, beschränkt sich die Raumplanung jedoch auf diesen Verweis. Trotz des gewaltigen Schadenspotentials bleiben hinter der Deichlinie dennoch prinzipiell alle Nutzungen erlaubt. Eine spezifische Verwundbarkeit, z.B. bei kritischer Infrastruktur, wird nicht betrachtet.

(Greiving 2011: 27)

Die länderübergreifende Koordinierung ist an der Tideelbe besonders wichtig. Bei Grundsatzfragen kann ein Bundesland hier nicht allein agieren, sondern muss sich mit den Nachbarländern abstimmen. (Ast/Niemann 2020)

Wesentliche Plattform hierfür ist die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz, in dem die Länder und der Bund zusammengeschlossen sind, um wasserrechtliche und fachliche Fragen abzustimmen. Zu Abstimmung der Küstenländer wurde 2003 die sogenannte Kleingruppe Küste gegründet, die nun vor dem Hintergrund neuer Prognosen des IPCC-Sonderberichts zum Meeresspiegelanstieg kürzlich wiederbelebt worden ist (Ast/Niemann 2020). Hier wird momentan diskutiert, wie eine gemeinsame Reaktion auf den Klimawandel aussehen kann (Simon/Nohme 2020).

#### *Schleswig-Holstein*

In Schleswig-Holstein ist das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUR SH) für die Ausrichtung und Planung des Küstenschutzes zuständig, der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN) für Bau, Instandhaltung und Überwachung der ersten Deichlinie. Für die dahinter liegenden, sogenannten Regionaldeiche sind lokale Deich-, Wasser- und Bodenverbände zuständig, die vom Land mit Zuschüssen bei ihrer Aufgabe unterstützt werden. (Deutscher Bundestag 2019: 7)

Der Fachplan in Schleswig-Holstein ist der zuletzt 2012 fortgeschriebene Generalplan Küstenschutz. In ihm wurde festgelegt, dass Deiche auf einer Länge von gut 17 km entlang der Tideelbe erhöht werden müssen (MELUR SH 2013: 80).

#### *Niedersachsen*

In Niedersachsen ist das Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU NDS) für die Küstenschutzstrategie zuständig. Bestimmte Aufgaben, wie z.B. die Festsetzung der Abmessungen von Deichen, hat es dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) übertragen. Von allen drei Anliegerländern kommt den 22 Deichverbänden

in Niedersachsen die bedeutendste Rolle zu, da sie Träger der Deicherhaltung sind (Deutscher Bundestag 2019: 8). Die Gebiete der Deichverbände resultieren aus den potentiellen Überflutungsgebieten. Alle dort wohnenden Flächeneigentümer\*innen sind zur Entrichtung von Beiträgen, die für den Deichunterhalt verwendet werden, verpflichtet. (Ast/Niemann 2020)

Der niedersächsische Fachplan wird ebenfalls als Generalplan Küstenschutz bezeichnet. Für die 2020 anstehende Fortschreibung ist bereits bekannt, dass 94 km der insgesamt 135 km langen niedersächsischen Deichlinie entlang der Tideelbe erhöht werden müssen. (Niedersächsischer Landtag 2019: 2–3).

#### *Hamburg*

In Hamburg zuständig für die strategische Ausrichtung des Küstenschutzes ist die Behörde für Umwelt und Energie (BUE) (Fellmer 2014: 127). Infolge der Sturmflutkatastrophe von 1962 kam es hier zur grundlegendsten Neuorganisation des Hochwasserschutzes mit massiven Investitionen und einem Übergang aller öffentlichen Aufgaben auf die Stadt (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 1). Durch diese Zentralisierung haben die Deichverbände im Vergleich zu den Flächenländern an Bedeutung verloren. Sie sind heute nur noch Träger öffentlicher Belange, welche die Hochwasserschutzmaßnahmen als Teil des Gesellschaft begleiten und sich einbringen (Simon/Nohme 2020). Die operative Ausführung der Aufgaben erfolgt dagegen durch den Landesbetrieb für Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (Fellmer 2014: 127).

„Meeresspiegelanstieg bedeutet, dass höhere Wasserstände Hamburg erreichen, darauf müssen wir reagieren, in welcher Form auch immer. [...] Wir reagieren, in dem wir uns damit technisch-wissenschaftlich und auch politisch auseinandersetzen.“

(Simon 2020)

Im Bereich des Hafens soll die Hamburg Port Authority (HPA) eine Vielzahl an Tätigkeiten als öffentlicher Dienstleister bündeln, darunter auch den Hochwasserschutz. Hierbei übt sie als



Anstalt des öffentlichen Rechts auch hoheitliche Tätigkeiten aus. Sie hat auch die Zuständigkeit für den gesamten Wasserkörper der Elbe auf Hamburger Gebiet inne. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2019: 2–7)

Eine weitere Besonderheit in Hamburg ist der private Hochwasserschutz auf Basis der Eigenverantwortlichkeit. Zwei Drittel des Hafens sind mittels 74 Hochwasserschutzpoldern privat geschützt. Dieses flexible System und die Zusammenarbeit öffentlicher Stellen mit Privaten zeigt, dass auch heute unterschiedliche Organisationsformen des Hochwasser- bzw. Küstenschutzes möglich sind. (IBA Hamburg 2008: 100)

In Hamburg existiert kein Generalplan für den Küstenschutz wie in Schleswig-Holstein oder Niedersachsen. Stattdessen erfolgt die strategische Konzeption über Berichtsdrucksachen in der Bürgerschaft, dem Landesparlament Hamburgs. Diese Berichte beinhalten auch geplante Anpassungsmaßnahmen. Ein Bürgerschaftsbeschluss zu diesen Drucksachen löst somit ein Bauprogramm aus. Auch in Hamburg wird eine Ausbaureserve der Hochwasserschutzanlagen konstruktiv und soweit möglich auch durch Flächenvorsorge berücksichtigt sowie alle zehn Jahre überprüft. (Simon/Nohme 2020)

Auch wenn die Berichtsdrucksache feststellt, dass bis ins Jahr 2050 der Ausbau entlang vorhandener Deichlinien die „einzige technisch und wirtschaftlich zu vertretende Lösung“ (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 8) ist, wurde in Hamburg bereits 1989 die Möglichkeit des Baus eines Sperrwerks diskutiert. Der Plan wurde jedoch als nicht machbar wieder verworfen, unter anderem durch Abstimmungsschwierigkeiten mit Niedersachsen und Schleswig-Holstein (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 13–14)

Die Drucksache von 2012 ist das einzige strategische Dokument, was einen potentiellen Systemwechsel im Küstenschutz in den Blick nimmt: „Sollte sich der Anstieg des Meeresspiegels deutlich beschleunigen, werden die Schutzmaßnahmen allerdings wahrscheinlich jenseits Hamburgs zu treffen sein“ (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 7).

Weiteres Potential für den Sturmflutschutz sieht die Drucksache in Synergien mit dem Tideelbe-management (siehe Kapitel 4.2.3), welches selbst

in erster Linie das Ziel hat, Schlickbaggerungen in Hafen und Elbe zu reduzieren. Die entstehenden Fluträume könnten bei entsprechend großem Volumen den Sturmflutwasserstand reduzieren. Sie sind in erforderlichem Maße nicht allein auf Hamburger Gebiet verfügbar. Dennoch könnten Maßnahmen in Hamburg eine Signalwirkung innehaben, damit auch Schleswig-Holstein und Niedersachsen ähnliche Maßnahmen ergreifen. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14)

#### **4.2.3 Informelle Tätigkeiten und sekundäre Planungen**

Neben der formal-rechtlichen Zuständigkeit ist die Küstenschutz-Governance im Elbeästuar auch von informellen Tätigkeiten und Planungen geprägt. Hierzu zählen stetige Aktivitäten wie das Integrierte Küstenzonenmanagement und ehrenamtliches Engagement der Bevölkerung, aber auch konkrete Planwerke zum Naturschutz (Natura 2000) und Tideelbe- bzw. Sedimentmanagement. Neben den formell mit dem Küstenschutz befassten Akteur\*innen bringen sich auf unterschiedliche Wege auch weitere staatliche und nicht-staatliche Institutionen ein. Obwohl sie nicht direkt mit dem Deichbau befasst sind, haben beispielsweise mehrere niedersächsische Gemeinden und Landkreise 2019 eine Konferenz organisiert und sich mit der Forderung nach höheren Elbdeichen an den Landtag gewandt (Niedersächsischer Landtag 2019: 1). Dies zeigt, dass sich auch auf lokaler Ebene mit dem Küstenschutz befasst wird.

##### *Integriertes Küstenzonenmanagement*

Das Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM) ist ein Instrument, welches dazu dienen soll, die verschiedenen an den Küstenraum gestellten Ansprüche, sowohl an Land als auch zu Wasser, miteinander in Einklang zu bringen. Es „will dazu beitragen, den Küstenbereich als ökologisch intakten und wirtschaftlich prosperierenden Lebensraum für den Menschen zu entwickeln und zu erhalten“ (BMU 2006: 57). 2002 empfahlen das Europäische Parlament und der Rat den Mitgliedsstaaten die Umsetzung des IKZM. Hierfür wurden acht Grundprinzipien definiert:

1. eine thematisch und geografisch globale Betrachtungsweise;
2. eine vorsorgende, langfristige Perspektive;
3. ein anpassungsfähiges Management;
4. eine Widerspiegelung der spezifischen Bedingungen des betreffenden Gebiets;
5. die Ausnutzung natürlicher Prozesse;
6. die Berücksichtigung der Belastbarkeit von Ökosystemen;
7. die Einbeziehung aller betroffener Parteien;
8. den Einsatz einer Kombination von Instrumenten.

In der Empfehlung wird auch der Küstenschutz angesprochen, der „angemessen und aus ökologischer Sicht verantwortungsvoll“ ausgestaltet werden soll (Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2002: 25). Das IKZM ist ein informelles Instrument und kein eigenständiges Planungs- oder Entscheidungsinstrumentarium. Bestehende Instrumente und Verfahren werden demnach nur ergänzt, nicht ersetzt (BMU 2006: 61).

In Deutschland wurde, der EU-Empfehlung folgend, 2006 eine nationale IKZM-Strategie erstellt. Sie schlug insbesondere die Stärkung informeller Prozesse vor. (BMU 2006: 79–83). Das Thema IKZM scheint allerdings zumindest auf Bundesebene an politischer Präsenz verloren zu haben, da der einzige Folgebericht 2011 erschien (Umweltbundesamt o. J.).

Nichtsdestotrotz finden Prinzipien des IKZM Berücksichtigung insbesondere in den Generalplänen Küstenschutz Schleswig-Holsteins (MELUR SH 2013: 8) und Niedersachsens (NLWKN 2007: 17). Auch das Landesentwicklungsprogramm Schleswig-Holsteins (IM SH 2010: 25) und das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsens (Niedersächsische Staatskanzlei 2017: 381) beinhalten Vorgaben zur Umsetzung des IKZM als Grundsatz der Raumordnung.

#### *Sedimentmanagementkonzept / Forum Tideelbe*

Durch die Veränderung der Tideelbe (siehe Kapitel 4.1) steigt die Sedimentmenge, welche zur Instandhaltung der Fahrrinne und Hafenbecken abgebaggert werden musste, immer stärker an. In den 2000er Jahren wurde es hierdurch notwendig, dass die Anliegerländer und der Bund gemeinsam Maßnahmen ergreifen, um die Morphodynamik und Ökologie positiv zu beeinflussen (Glindemann

et al. 2006: 1).

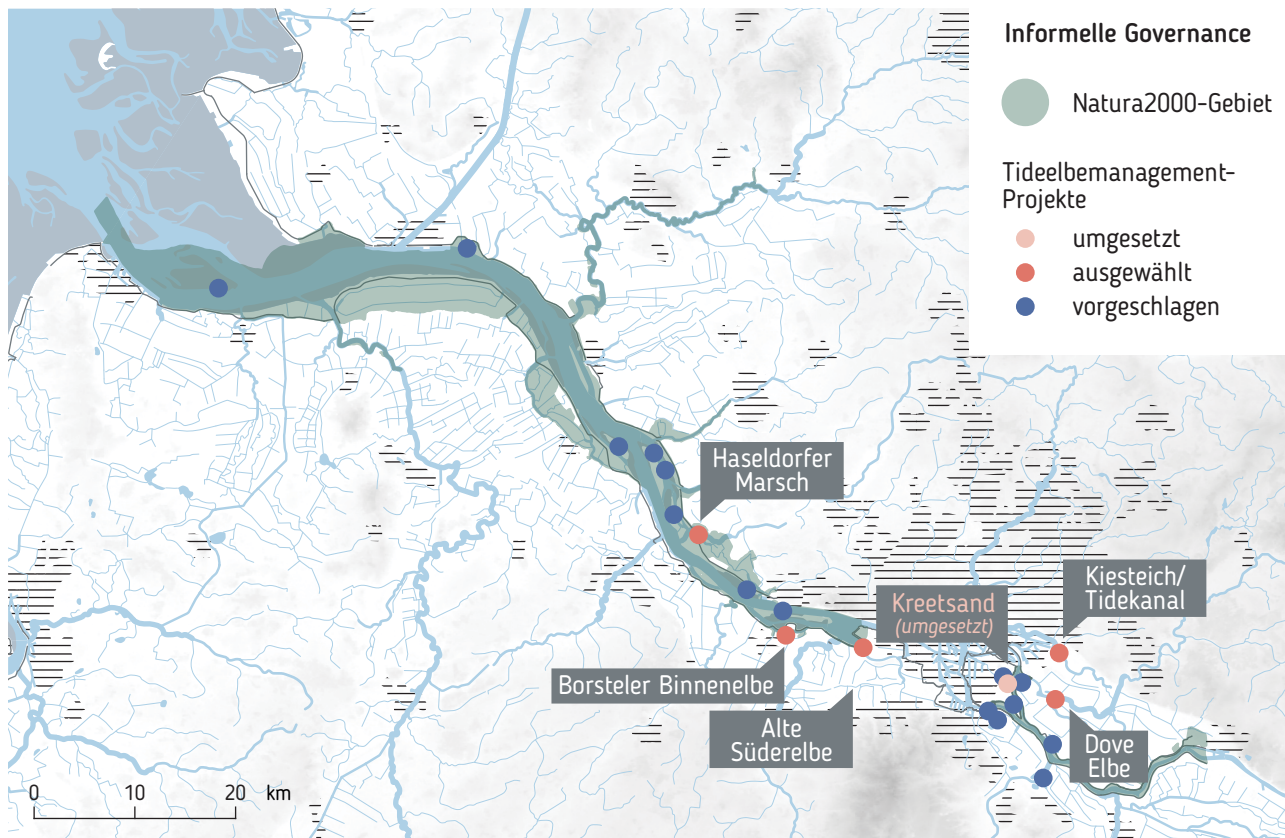
Überdies erlaubte Schleswig-Holstein nur befristet, in seinen Hoheitsgewässern in der Nordsee aus dem Hamburger Hafen stammendes Baggergut zu verklappen. Das Einverständnis wurde verbunden mit der Vorgabe, ein gemeinsames „Strombau- und Sedimentmanagementkonzept für die Tideelbe“ durch Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Hamburg Port Authority und der Umwelt- und Verkehrsressorts der Anliegerländer zu entwickeln. (HPA/WSV 2008: 1–2)

In diesem Konzept werden auch strombauliche Eingriffe angedacht, um dem immer größer werdenden Tidenhub und dem resultierenden Tidal Pumping entgegen zu wirken. Hierbei soll die natürliche Ästuardynamik so gering wie möglich durch Eingriffe beeinträchtigt oder sogar genutzt werden, wobei die notwendigen Verkehrs- und Hochwasserschutzanforderungen beachtet werden müssen. Der Ursprungszustand des Ästuars soll dabei ausdrücklich nicht wiederhergestellt, sondern ein dynamischer Gleichgewichtszustand erreicht werden, der mit minimalem Aufwand unterhalten werden kann und den ökologischen Zustand möglichst wenig belastet.

HPA und WSV schlagen hierfür unter anderem die Wiederanbindung von alten Elbarmen, die Wiederdurchströmung von Nebenelben oder das Schaffen neuer Flachwasserbereiche vor. Die erste umgesetzte Maßnahme ist die Fläche Spadenländer Bruch/Kreetsand in Hamburg-Wilhelmsburg (siehe Kapitel 5.3). Insgesamt wurden 27 potentielle strombauliche Maßnahmen von WSV und HPA zusammengetragen (vgl. Abb. 35). Sie sind von unterschiedlicher Größe und in allen drei Anliegerländern verortet. Bei der Erstellung erfolgte nur eine grobe Abstimmung mit anderen Belangen (HPA/WSV 2008: 11–17)

Vor allem zwei Maßnahmenvorschläge könnten hierbei verstärkt Synergien mit dem Küstenschutz bewirken: die Wiederanbindung der Alten Süderelbe und die Öffnung eines Landesschutzdeiches in der Haseldorfer Marsch, wodurch tidebeeinflusste Flächen geschaffen werden. Beide Areale sind etwa 500 ha groß und beiden wird im Konzept eine Eignung als Sturmflutentlastungspolder ab 2030/2040 zugesprochen (HPA/WSV 2008: 15–17)

Finanziell unterstützt durch die Freie und Hansestadt Hamburg treten seit 2016 relevante Ak-



**Abb. 35** Informelle Governance. Räumliche Übersicht über das Natura2000-Gebiet im Elbeästuar und die Maßnahmenstandorte, welche zur Flutraumschaffung durch das Forum Tideelbe betrachtet wurden.

teur\*innen, darunter Vertreter\*innen der Länder, Landkreise und Kommunen, Naturschutzorganisationen oder Wirtschaftsvertreter\*innen im „Forum Tideelbe“ zusammen, um strombauliche Maßnahmen zur Verbesserung des Zustands der Elbe zu identifizieren. Die diskutierten Vorhaben stammen dabei zum allergrößten Teil aus dem Sedimentmanagementkonzept von 2008. (Forum Tideelbe o. J.) Eine Arbeitsgruppe des Forums wählte nach den Kriterien hydrologische Wirksamkeit, ökologisches Verbesserungspotenzial und Realisierbarkeit die fünf Standorte für Maßnahmen Alte Süderelbe, Dove-Elbe, Kiesteich/Tidekanal, Haseldorfer Marsch und Borsteler Binnenelbe aus, für die Machbarkeitsstudien angefertigt werden sollen (Forum Tideelbe 2018: 35). Die Borsteler Binnenelbe schied mittlerweile jedoch durch Nutzungskonflikte und mangelnde Flächenverfügbarkeit wieder aus (Forum Tideelbe o. J. a) und gegen die Wiederanbindung der Dove-Elbe an das Tidegeschehen gibt es heftige Proteste von Bürger\*innen (Hamburger Abendblatt 2019a).

#### *Integrierter Bewirtschaftungsplan Elbeästuar (Natura 2000)*

Im Elbeästuar finden sich weitläufige Naturschutzgebiete, die zum EU-weiten Natura 2000-Verbund gehören (vgl. Abb. 35). Die Notwendigkeit der Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen für diese Gebiete ist rechtlich auf EU- und Bundesebene festgeschrieben. Für die Natura 2000-Gebiete im Ästuarbereich übernimmt diese Rolle der 2012 fertiggestellte Integrierte Bewirtschaftungsplan Elbeästuar (IBP). Er wurde gemeinsam von den Umweltressorts Hamburgs, Niedersachsens und Schleswig-Holsteins sowie der WSV und der HPA erarbeitet. Hierbei wurden verschiedene Interessengruppen, darunter auch Stellen des Küstenschutzes, beteiligt und konnten Fachbeiträge einbringen (BSU HH et al. 2011: 5–6).

Der IBP gibt eine Bestandsaufnahme der Lebensraumtypen und Arten, Handlungsbedarfe und formuliert allgemeine Empfehlungen und Maßnahmenvorschläge. Hierbei hat er keine rechtliche Bindungswirkung, sondern soll lediglich Klarheit und Planungssicherheit schaffen (BSU HH



et al. 2011: 3–5). Er ist somit ein unverbindlicher Rahmenplan, dessen Maßnahmen Optionen sind, die nicht vertieft auf ihre Machbarkeit überprüft wurden, sondern ausgewählt wurden, weil sich die beteiligten Akteur\*innen auf sie verständigen konnten und sie als grundsätzlich wünschenswert erachtete (Stokman 2020).

Als Ziele für den Gesamttraum nennt der Plan unter anderem die „Erhaltung und Wiederherstellung naturnaher Ästuarbereiche bzw. tidebeeinflusster Auenbereiche und ihrer Lebensgemeinschaften (...) bei den ästuar- bzw. auentypischen Biototypen“ sowie die „Erhaltung und Wiederherstellung möglichst naturnaher hydrologischer und morphologischer Verhältnisse innerhalb des Ästuars“. (BSU HH et al. 2011: 41–42)

Vorgeschlagene Maßnahmen zum Erreichen dieser naturnahen Verhältnisse umfassen unter anderem Deichöffnungen, Nutzungsaufgaben im Vorland oder die Schaffung von Flachwasserbereichen oder Prielsystemen. Des Weiteren wird die Wiedervernässung der Auenwälder, die heute nur noch isoliert und auf kleinen Flächen vorhanden sind, vorgeschlagen. Eine räumliche Konzentration solle zunächst auf den Bereich zwischen Geesthacht und Hamburg erfolgen, als langfristige Vision werden aber auch Auenwaldsäume an einer an die Tidedynamik wiederangebundene Alten Süderelbe benannt. (BSU HH et al. 2011: 60–68)

Durch das Ziel naturnäherer Uferbereiche und Dynamiken ergibt sich eine ähnliche Stoßrichtung wie im Sedimentmanagementkonzept von WSV und HPA. Es gibt Überschneidungen bei Maßnahmenräumen wie der Alten Süderelbe und der Haseldorfer Marsch, die in beiden Konzepten benannt werden. Das IBP weist zudem auf Synergien mit dem Küstenschutz im Ästuarraum durch die Verkürzung der Deichlinie bei der weiteren Schaffung von Flutraum und die Effekte der breiten, tidebeeinflussten Vorländer hin. (BSU HH et al. 2011: 48–49) Diese Wirkungen sollen auch in der Küstenschutzplanung berücksichtigt werden: „Für die weitere Entwicklung des Ästuars mit seinem Überflutungsraum kommt bei einer Neuplanung von Küstenschutzanlagen einer frühzeitigen Abstimmung mit Wasserwirtschaft, Wasserstraßenbetrieb und Naturschutz eine sehr hohe Bedeutung zu“ (BSU HH et al. 2011: 52). Auch beim Betrieb und Unterhalt der Anlagen des Küstenschutzes sollen die Natura 2000-Belange

verstärkt berücksichtigt werden (BSU HH et al. 2011: 76).

*Ehrenamtliche Tätigkeit und Rolle der Bevölkerung*  
Über lange Zeit war der Küstenschutz eine Gemeinschaftsaufgabe und Teil des alltäglichen Lebens der Bewohner\*innen der Region (IBA Hamburg 2008: 100), was auch auf den oben erwähnten Leitspruch „Wer nicht deichen will, muss weichen“ zurückgeht.

Diese Selbstverständlichkeit hat sich durch den Übergang zahlreicher Verantwortlichkeiten auf öffentliche Stellen verändert. Der Hochwasserschutz ist in Teilen aus dem kollektiven Bewusstsein verschwunden. Gleichwohl braucht es immer noch eine hohe Zahl Freiwilliger, die sich beispielsweise in den Deichverbänden engagieren, um die Deichsicherheit zu gewährleisten oder im Sturmflutfall für Einsätze bereitzustehen. Das Engagement ist hier in den letzten Jahren zurückgegangen und es ist schwer, Nachwuchs zu finden. Es besteht dementsprechend ein Bedarf, die Aufgabenteilung zwischen dem staatlichen Hochwasserschutz und freiwilliger Tätigkeit in den nächsten Jahren neu auszutarieren, auch beispielsweise mittels informeller Instrumente oder einer finanziellen Förderung. (Stokman 2020)

Positiv einwirken könnte hier, dass die meisten Bewohner\*innen der Region den Klimawandel mit erhöhter Gefahr durch Sturmfluten in Verbindung setzen, auch wenn sie sich momentan zumeist sicher fühlen. Das Sturmflutereignis 1962 ist zudem noch immer im kollektiven Gedächtnis der Menschen verankert. (von Storch et al. 2018: 10)

## 4.3 Schlussfolgerungen

Wie eingangs beschrieben ist das Elbeästuar einerseits Vertreter eines weltweit vertretenen Landschaftstypus, andererseits aber auch Ort zahlreicher lokaler Besonderheiten. Vielen Ästuaren gemein und auch im Untersuchungsraum offenbar ist die menschliche Überformung mit ihren gravierenden Folgen. Deutlich wird in der Betrachtung des Elbeästuars auch, dass sich die bestehenden Konflikte und Problemlagen durch den in Kapitel 3.2.1 vorgestellten Layer-Ansatz gut erklären lassen. Die unterschiedlich schnell-



len Dynamiken der Entwicklung, die sich den drei Ebenen Substratum, Infrastruktur und Flächennutzung zuordnen lassen, rufen Konflikte hervor. Teilweise liegen die Treiber auch in der Vergangenheit, wirken durch die Langfristigkeit der Eingriffe jedoch bis zum heutigen Tage und darüber hinaus.

In der zusammenfassenden Betrachtung des Untersuchungsraums zeigen sich deutliche Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Entwicklung des Küstenschutzes.

Größte Stärke ist zunächst, dass ein Schutz der Gebiete hinter dem Deich gegeben und auf absehbare Zeit durch das hoch entwickelte, technisch ausgefeilte Küstenschutzsystem gesichert ist. Gegebenenfalls nötige Anpassungen der Deiche in Zukunft werden in die heutigen Überlegungen der verantwortlichen Stellen mit einbezogen. Auch besteht ein Bewusstsein für die manifesten ökologischen Probleme des Ästuars, auch wenn diese in erster Linie in informeller Weise, wie z.B. durch das Forum Tideelbe, welches Synergien mit dem Küstenschutz aufweist, adressiert werden. Hier werden bereits jetzt Wege zu einem „weicheren“ Küstenschutz vorgeschlagen, der verstärkt auf Polderflächen und das Nutzen natürlicher Dynamik (anstatt der Arbeit gegen sie auf „harte“ technische Weise) setzt.

Zu den Schwächen zählen hingegen die negativen Wechselwirkungen von Küstenschutz und Fahrrinnenausbau. Anthropogene Veränderungen der Flusslandschaft, die bis zum heutigen Tag fort-dauern, führen zu negativen Auswirkungen auf Ökologie und Sturmflutpegel. Hierzu zählen die Abkopplung der Marschen von der Sedimentation, ein stark erhöhter Tidenhub, das Phänomen des Tidal Pumping, ein höheres Ausfallen von Sturmfluten und nicht zuletzt eine geschädigte Biosphäre. Das Zitat Jörg Sieweckes „Erst verändern wir den Fluss, dann verändert er uns“ (siehe Kapitel 3.1.1) lässt sich somit auch auf das Elbeästuar anwenden. Hinzu kommt die Trennwirkung der Deiche in der Landschaft, welche sich in erster Linie in der Monofunktionalität begründet.

Die Struktur der Akteur\*innen, wie die Governance insgesamt, ist äußerst spezifisch und auch im nationalen Kontext einmalig, da nur hier drei Bundesländer an einem Ästuar liegen. Die Kom-

petenzen sind folglich auf viele Stellen verteilt. Es gibt im Elbeästuar keine zentrale Institution, die federführend allein entscheiden könnte, wie sich der Küstenschutz verändert. Daran dürften auch Initiativen wie die aktuell laufende des Bundesinnenministeriums nichts ändern. Eine Abstimmung der Länder untereinander findet dennoch mit Erfolg statt, wenn sie wohl auch mehr Ressourcen bindet als wenn nur eine Stelle abschließend verantwortlich wäre, was als Schwäche gesehen werden kann. Es kommt zudem phasenweise zum Auseinanderdriften im Vorgehen, was auch in den regionalen Medien Resonanz findet und Bedrohungsszenarien hervorruft. Andererseits bietet sich durch die Zuständigkeit der Länder die Möglichkeit, stärker auf lokale Gegebenheiten einzugehen. Fraglich ist, ob die Verteilung der Kompetenz und Entscheidungsgewalt auf viele Stellen ein Hindernis darstellen könnte, wenn schnell gehandelt werden muss und fundamentale Änderungen anstehen.

Als Chance zur Fortentwicklung des Küstenschutzes ist die gestiegene Aufmerksamkeit für das Thema und ein sich ergebendes Policy Window zu nennen. Ein Beleg hierfür ist beispielsweise der in der Einleitung zitierte Diskussionsbeitrag des Hamburger Umweltsenators Kerstan zu einem Sperrwerk in der Elbmündung.

Durch den technischen Fortschritt sind einerseits genauere Prognosen über Bedrohungsszenarien möglich, andererseits ermöglicht er, dass neue Schutzformen entwickelt werden können.

Weitere Potentiale für das Finden alternativer Küstenschutzstrategien könnten in der Orientierung an erfolgreichen Beispielen im Bestand liegen. Dies ist im Ästuar selbst möglich, wie z.B. in der Hamburger HafenCity sowie im Hafen mit ihren Sonderformen des Küstenschutzes, die ein Warftenkonzept verfolgen oder durch Private getragen werden. Hinzu kommt die Möglichkeit der Orientierung an Nachbarregionen.

Die größte Herausforderung für den Küstenschutz ist die unklare zukünftige Entwicklung. Hierdurch sind zum jetzigen Zeitpunkt keine abschließenden Entscheidungen über einen definitiven Kurs möglich, da Ausmaß und Eintreten von Bedrohungsszenarien nicht kalkulierbar sind, im ungünstigsten Fall aber einen Meeresspiegelanstieg

von mehr als 2 m einschließen könnten. In jedem Fall wird sich das Sturmflutgeschehen künftig deutlich extremer gestalten.

Zur momentan fehlenden Festlegung über Handlungs- und Entscheidungswege im Falle eines gestiegenen Problemdrucks kommt das Risiko, dass sich bei einem weiterhin weitgehend monofunktional-technischen Vorgehen ökologische und hydrodynamische Probleme verschlimmern. Dann könnte Bedarf an alternativen Küstenschutzstrategien größer werden. Mit dem Faktor Zeit können auch Diskussionen zu Systemwechseln, wie beispielsweise hin zu einem Sperrwerk, weiter an Fahrt gewinnen. Ein Blick in andere Regionen kann vor diesem Hintergrund verdeutlichen, wie derartige Überlegungen aussehen könnten.







**Öffentliche  
Hochwasserschutzanlage**

Nutzungen nur mit  
deichrechtlicher Genehmigung!  
Verstöße werden als  
Ordnungswidrigkeit verfolgt!

Die Wasserbehörde

6

02-B-5



# 5



**Von Erfolgsprojekten  
lernen? Beispiele aus  
drei Regionen**



*In vielen Ästuarregionen treffen Klimawandel und verstärkte Sturmflutgefahr auf hohe wirtschaftliche Aktivität und Flächenknappheit. Angesichts dieser – zumindest in Teilaspekten gegebenen – Vergleichbarkeit der Problemstellungen im Küstenschutz ist ein Blick auf andere Ästuarregionen und ihre Anpassungsstrategien nützlich.*

Diese Vorgehensweise der Suche nach vorhandenen Erfahrungen anderer Organisationen, die übertragen werden könnten, wird auch als *Best Practice* bezeichnet. Ein Vorteil ist, dass die Notwendigkeit entfällt, die beste Lösung selbst zu entwickeln, da auf vorhandene Expertise zurückgegriffen werden kann. Gleichzeitig besteht das Risiko, dass in der Untersuchung der Anwendung eines Konzeptes nur Erfolge, jedoch keine Schwierigkeiten oder Misserfolge analysiert werden. Es besteht außerdem die Möglichkeit, dass derselbe, in einem Umfeld erfolgreiche Ansatz in einem veränderten Kontext auch Schäden anrichten kann. (Krems 2011)

Eine derartige Orientierung an Beispielen findet auch heutzutage im Elbeästuar bereits statt. In erster Linie sind die Niederlande mit ihrer jahrhundertealten Expertise im Umgang mit den Meereskräften, die bereits bei der Urbarmachung der Elbmarschen Anwendung fand, ein Vorreiter, auf den die verantwortlichen Stellen blicken (Ast/Niemann 2020).

Dem Vorgehen der *Best Practice* folgend werden in diesem Kapitel drei verschiedene Beispielprojekte auf unterschiedlichen Maßstabsebenen vertieft vorgestellt. Darunter befindet sich mit *Ruimte voor de Rivier* eins aus den Niederlanden, *Thames Estuary 2100* ist im Vereinigten Königreich lokalisiert. Als drittes Beispiel wird ein Projekt aus dem Untersuchungsraum selbst beschrieben, das *IBA-Projekt Kreetstrand*. Alle Vorhaben operieren in unterschiedlichen Kontexten, die berücksichtigt werden müssen. Die beiden internationalen Beispiele lassen sich nicht 1:1 in das Elbeästuar übertragen, da neben anderen physischen Gegebenheiten auch Aufgaben und Kompetenzen anders zwischen Akteur\*innen verteilt sind. Nichtsdestotrotz besteht die Möglichkeit, wichtige Schlüsse über mögliche (alternative) Ansätze im Küstenschutz abzuleiten. Die Analyse der Projekte

findet in den drei Fällen in der gleichen Abfolge statt. Nach einer kurzen Kontextualisierung werden die Ziele, die Governance-Konstellation und die unternommenen Schritte zum Erreichen der Aufgabenstellung erläutert. Abschließend erfolgt eine Einordnung und Herausarbeitung wichtiger Erkenntnisse, die für das Elbeästuar insgesamt relevant sein könnten.

## 5.1 Niederlande: Ruimte voor de Rivier

Das Programm *Ruimte voor de Rivier* (zu Deutsch: Raum für den Fluss) wurde im Rhein-Maas-Delta in den Niederlanden durchgeführt. Im Einzugsgebiet der zugehörigen Flüsse leben insgesamt zirka 4 Millionen Menschen. Das Programmziel war die Schaffung eines zusammenhängenden Systems aus Flussauen, die sich dynamisch entwickeln. Hierbei wurde ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, bei dem z.B. wasserbauliche Maßnahmen in urbanen Bereichen um hochwasserangepasste Stadtentwicklungsprojekte ergänzt wurden. (Prominski et al. 2012: 91) Wesentlicher Faktor war das Risiko von Flusshochwassern. Während dies bei den in die deutsche Bucht mündenden Flüssen (Eider, Elbe, Weser, Ems) vergleichsweise gering ist, sind die kontinentalen Wassermassen im niederländischen Delta ungleich größer und daher eine wesentliche Größe bei der Sicherung des Küstenraums (Schirmer 2018: 362).

### 5.1.1 Ziel der Maßnahme

Auslöser für das Programm waren zwei Fluten im Bereich des Rhein-Maas-Delta in den Jahren 1993 und 1995, bei denen 250.000 Menschen evakuiert



**Abb. 37** Überblick über die Projektstandorte von Ruimte voor de Rivier (in blau markiert). Hervorgehoben sind die beiden näher betrachteten Maßnahmen Lent/Nijmegen und Overdiepse Polder.

werden mussten (Rijkswaterstaat Room for the River 2013: 12). Die Verantwortlichen realisierten, dass die kontinuierliche Erhöhung der Deiche als einzige Maßnahme nicht zukunftsfähig sei, da mit jeder Erhöhung ein Deichbruch immer katastrophalere Folgen bewirken würde. Durch Landsenkungen würde sich außerdem Baubedarf kontinuierlich erhöhen. Die Naturereignisse 1993 und 1995 eröffneten ein Policy Window, in dessen Folge es zu einem Paradigmenwechsel hin zu einen neuen Ansatz des integrierten Wassermanagements kam. (Rijke et al. 2012: 2)

Hierbei wurden zwei Hauptziele durch Ruimte voor de Rivier verfolgt: In erster Linie sollte eine Vergrößerung des Flussraums für den Rhein und seine Nebenflüsse im Delta erfolgen und dadurch das maximal mögliche Abflussvolumen in Lobith an der deutsch-niederländischen Grenze erhöht

werden. Hierdurch sollte eine höhere Sicherheit ermöglicht werden, da die Flüsse weniger ansteigen und das Wasser schneller in die Nordsee abfließen kann. Gleichzeitig sollte als zweites Ziel die landschaftliche Qualität der Flussbereiche erhöht, die städtische und ländliche Regionalentwicklung gestärkt, mehr Erholungsbereiche geschaffen und die Wirtschaft gefördert werden. (www.commissiener.nl 2006)

### 5.1.2 Governance

Um diese Ziele zu erreichen, verfolgte Ruimte voor de Rivier einen neuartigen, interdisziplinären Ansatz der Governance, der sich über mehrere Ebenen erstreckte (Rijke et al. 2012: 3). Im Programm arbeiteten mit dem Hochwasserschutz, der Raum- und Stadtplanung, der Landwirtschaft und

dem Naturschutz verschiedene Disziplinen zusammen. Hinzu kam die Zusammenarbeit mehrerer staatlicher Ebenen (national, regional, lokal), da die Provinzen, Gemeinden, Wasserbehörden sowie Rijkswaterstaat, die staatliche niederländische Behörde für Bau und Unterhaltung von Infrastruktur, gemeinsam für die Umsetzung verantwortlich zeichneten. Die oberste Verantwortlichkeit lag beim Ministerie van Infrastructuur en Milieu, dem Umwelt- und Infrastrukturministerium der Niederlande. (Rijkswaterstaat Room for the River 2013: III)

Auf der nationalen Ebene wurde der Entscheidungsrahmen in Bezug auf Hochwasserschutz und räumliche Qualität festgelegt und ein zentrales Büro für das Programm Ruimte voor de Rivier beim Rijkswaterstaat eingerichtet, welches den Projektfortschritt beobachtete, die Qualität der Pläne evaluierte, Expertenwissen bereitstellte und im Zweifelsfall politischen Druck ausübte. Lokale und regionale Stakeholder\*innen in den Einzelprojekten formulierten konkrete Pläne und Entwürfe aus und konnten so weitere Anliegen und Bedürfnisse wie Stadtentwicklungsprojekte oder Schaffung neuer Erholungsgebiete einbringen.

Auch die lokale Öffentlichkeit wurde mit einbezogen. (Rijke et al. 2012: 3)

### 5.1.3 Herangehensweise

Ab 2000 wurde Ruimte voor de Rivier vorbereitet, die ersten Maßnahmen begannen 2007. Im Vorhinein wurden nicht nur die Vorhaben, sondern auch die Rollen und Verantwortlichkeiten der Stakeholder\*innen entsprechend des „Controlled Trust“ statt eines starren Top-Down-Ansatzes festgelegt. (Rijke et al. 2012: 8) Das Programm wurde im Frühjahr 2019 abgeschlossen, als die letzte der 34 Einzelmaßnahmen, deren Verortung in Abb. 37 dargestellt ist, fertiggestellt war (Rijkswaterstaat 2019).

Insgesamt umfasste das Ruimte voor de Rivier neun verschiedene Methoden, um mehr Flutraum zu schaffen, welche prinzipienhaft in Abb. 38 abgebildet sind: (Rijkswaterstaat Room for the River 2013: VI)

1. Vorlandabgrabungen, um vor den Deichen mehr Volumen für das Wasser zu schaffen
2. Rückverlegung von Deichen, wodurch die Uferzonen

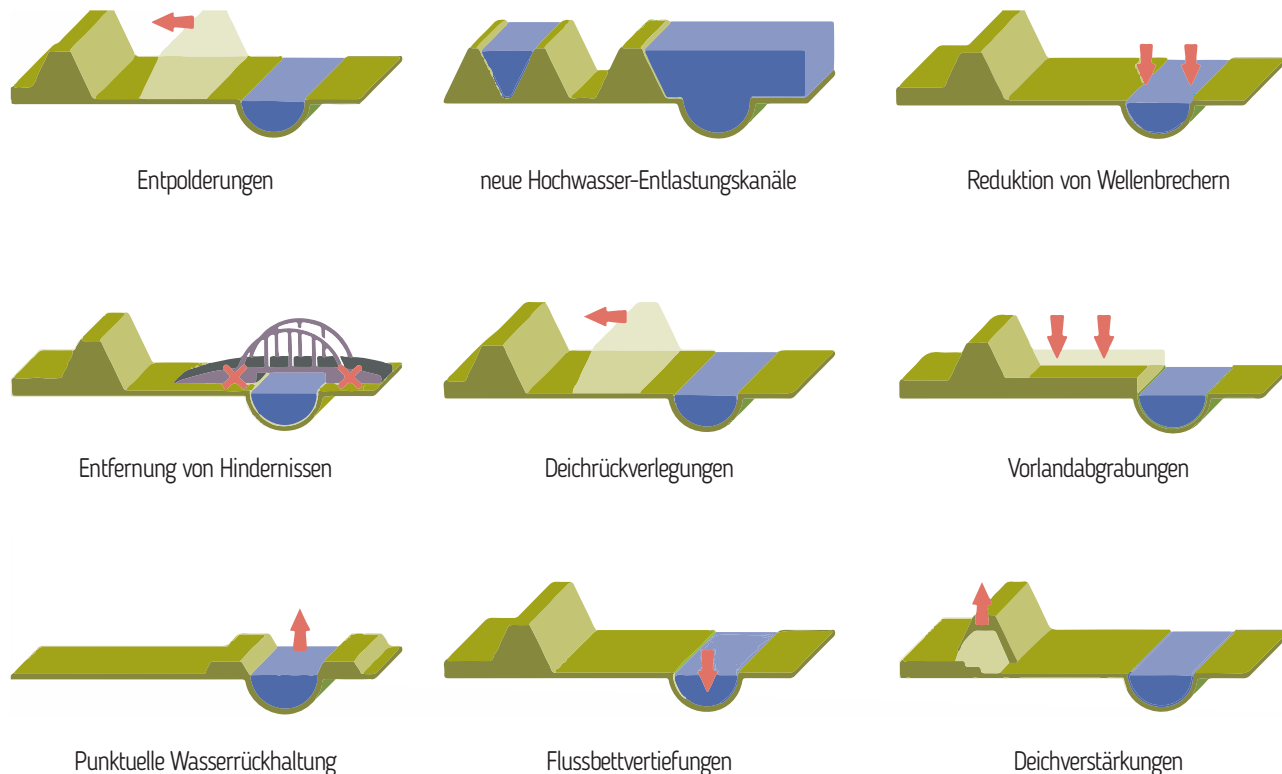


Abb. 38 Die neun Handlungsprinzipien des Programms

breiter wurden

3. Absenkung von Flussbetten, damit mehr Volumen durchströmen kann
4. Anlegen von Hochwasserkanälen zwischen der ersten und zweiten Deichlinie. Bei Hochwasser kann ein Teil des Wassers durch sie abgeleitet werden.
5. Entpolderungsmaßnahmen. Hierbei wird der Deich komplett entfernt und weiter vom Ufer entfernt wieder errichtet. Die Bereiche können bei Hochwasser geflutet werden.
6. Deichverstärkungen, an Stellen wo nicht mehr Raum für den Fluss geschaffen werden kann
7. Wasserrückhaltung im Falle des Volkerak-Zoommeer, wo bei einem geschlossenen Sperrwerk große Mengen an Wasser zurückgehalten werden müssen
8. Reduktion der Höhe von Wellenbrechern in Flussläufen, um das Durchströmen des Wassers zu beschleunigen
9. Entfernung von Hindernissen in Flussbetten und Uferbereichen (z.B. Brücken und Dämme), um den Wasserfluss weniger zu behindern

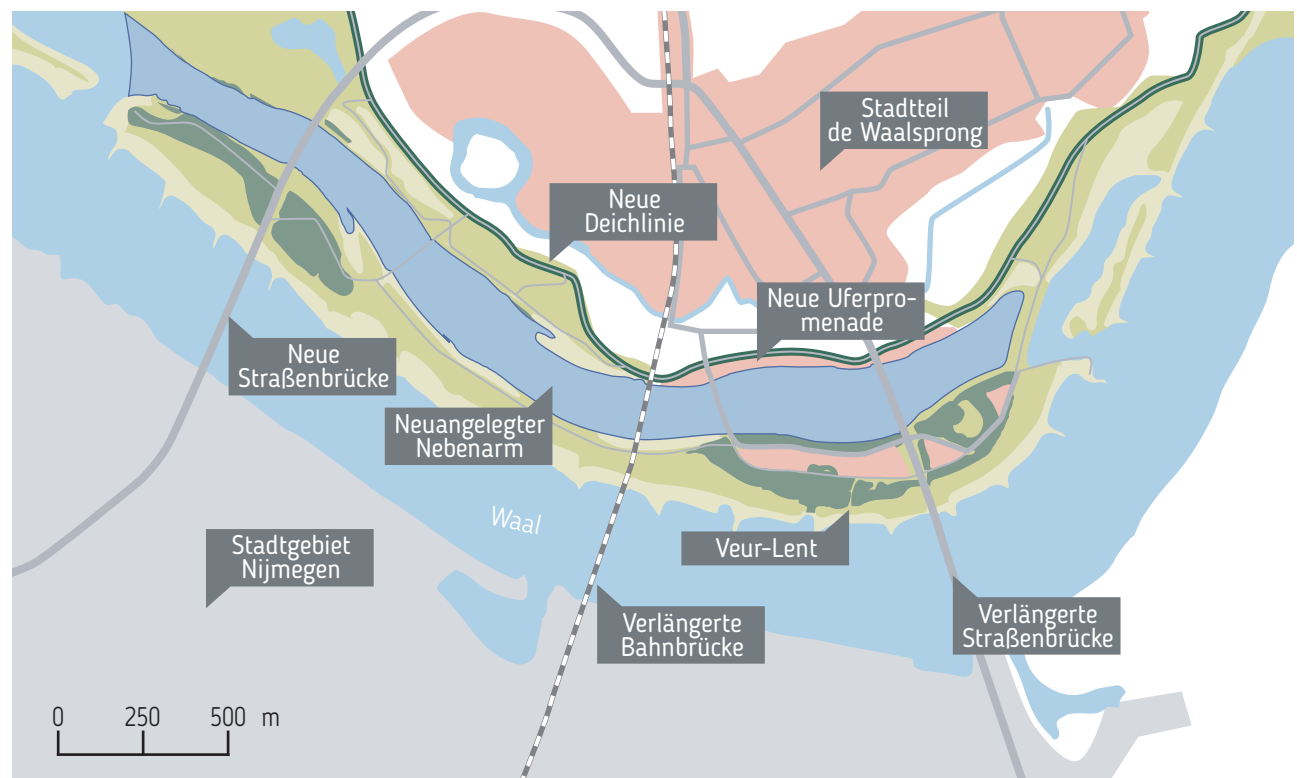
Insgesamt 150 Wohnhäuser und 40 Gewerbebetriebe mussten durch das Programm umgesiedelt

werden. Unter anderem dieser drastische Eingriff in Privateigentum machte breite Unterstützung der lokalen Gemeinschaften für das Gelingen des Programms notwendig. (Rijkswaterstaat Room for the River 2013: IV)

#### Teilprojekt Nijmegen / Ruimte voor de Waal

Die Waal schlägt im Bereich der Stadt Nijmegen eine scharfe Kurve. Diese Engstelle war vor der Durchführung des Teilprojekts Ruimte voor de Waal ein potentielles Hochwasserrisikoareal. In diesem wurde der Hochwasserschutz mit einem Schlüsselprojekt der Stadtentwicklung verbunden. Im nördlich der Waal gelegenen Stadtteil Lent wurde der Deich um 350 m zurück versetzt und anschließend ein künstlicher Seitenarm mit einer Breite von 150–200 m und einer Länge von fast 3 Kilometern ausgebaggert. Hierdurch entstand die Insel Veur-Lent neu. Bei Niedrigwasser durchströmen nun 1,5%, bei Hochwasser 30% des Wassers der Waal diesen neuen Arm. Eine neue 1,6 km lange Uferpromenade bildet im zentralen Bereich den künftigen Hochwasserschutz, an den Rändern des Projekts übernehmen neue Deiche diese Funktion. Zusätzlich wurden insgesamt

Abb. 39 Übersicht des Teilprojekts Ruimte voor de Waal in Nijmegen und Lent





## VORHERIGE SITUATION



## NEUE SITUATION

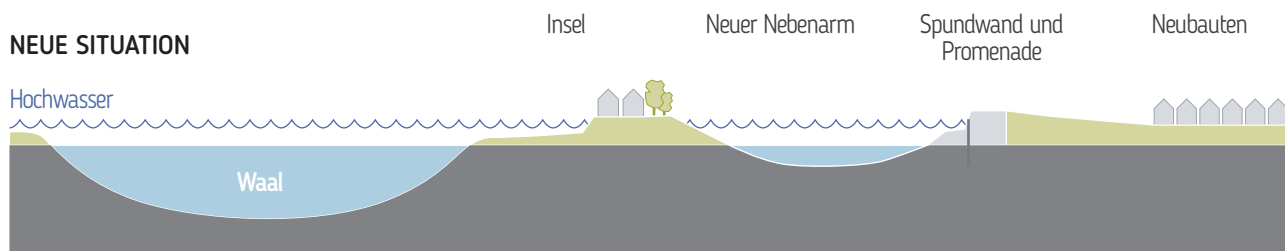


Abb. 40 Landschaftsveränderung durch das Teilprojekt Ruimte voor de Waal

sechs Brücken neu gebaut, welche die Insel mit den Stadtteilen beiderseits der Waal verbinden. Auf der Insel selbst wurde vor allem Erholungs- und Freizeitlandschaft geschaffen. Das Teilprojekt „Ruimte voor de Waal“ war somit auch ein Katalysator der gesamten Stadtentwicklung Nijmegens unter dem Motto „Nijmegen umarmt den Fluss“. Auf der Nordseite der Waal ist ein komplett neuer Stadtteil „de Waalsprong“ mit über 2.500 Wohnungen im Bau, welcher durch das Projekt mit dem Stadtzentrum auf der Südseite verknüpft wird. (Gemeente Nijmegen 2014; van Putten 2017; [www.ruimtevoorderivier.nl](http://www.ruimtevoorderivier.nl) o. J.; Rijkswaterstaat Room for the River 2013: XI)

### Teilprojekt Overdiepse Polder

Der Overdiepse Polder ist an der Bergschen Maas, zwischen den Orten Waalwijk und Getruidenberg, gelegen. Das stromlinienförmige Gebiet südlich der Maas ist etwa 730 ha groß. Hier wurden von 2010 bis 2015 drei Maßnahmen im Rahmen von Ruimte voor de Rivier durchgeführt. Der Deich am Ufer der Bergschen Maas wurde abgesenkt, wodurch Wasser bei Hochwassereignissen in den Polder laufen kann. Hierdurch kann der Flutpegel der Bergschen Maas um 27 cm gesenkt werden. Ein neuer Winterdeich wurde an der Südseite des Areals gebaut, um das Hin-

terland zu schützen. Zudem wurden acht Terpen genannte Warften am neuen Deich errichtet, auf denen Wohngebäude, Ställe und Scheunen gebaut wurden. Sie dienen als Ersatz für die Landwirtschaftsbetriebe im Polder, welche abgerissen wurden. Hierdurch konnten diejenigen Landwirte, die dies wünschten, im Gebiet bleiben. Die landwirtschaftlichen Flächen sind nach Überflutungen

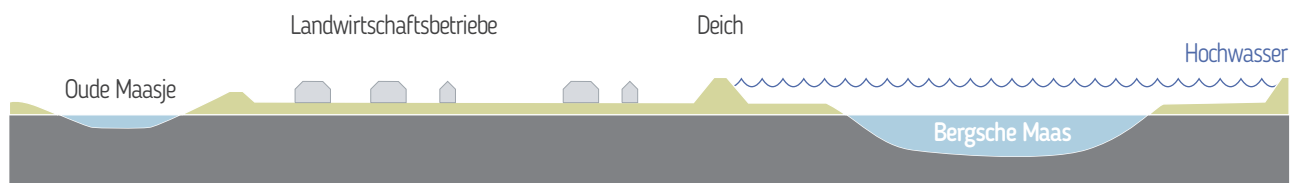
Abb. 41 Auf der neuen Flussinsel Veur-Lent mit Blick auf die neuen bzw. verlängerten Waalbrücken





Abb. 42 Übersicht des Teilprojekts Overdiepse Polder

#### VORHERIGE SITUATION



#### NEUE SITUATION

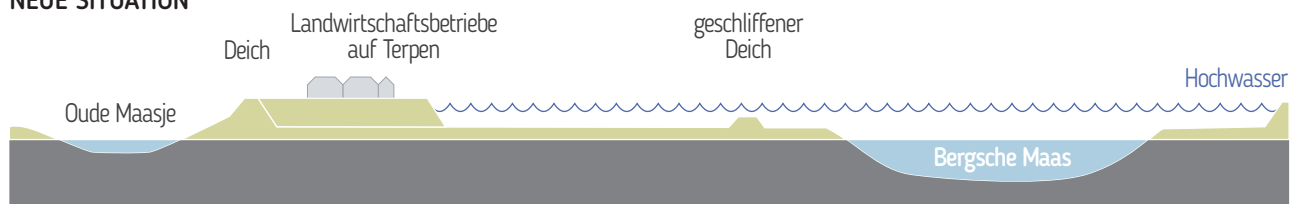


Abb. 43 Landschaftsveränderung durch das Teilprojekt Overdiepse Polder

für vier bis fünf Wochen nicht zu bewirtschaften.

Bereits früh wurden die Bewohner\*innen über eine Interessenvereinigung in das Vorhaben involviert, den Warftenplan entwickelten sie gemeinsam mit der Provinz Nordbrabant. Ohne diese Form der Zusammenarbeit wäre der Overdiepse Polder wohl ein Naturschutzgebiet geworden und alle vormals ansässigen Familien hätten einen neuen Betrieb an einer anderen Stelle finden müssen. Der Wertverlust des Grundes und durch künftige Überflutungen bedingte Verluste werden durch den

niederländischen Staat vergütet. Die Warften sind einheitlich nach strengen Gestaltungsrichtlinien gestaltet, damit ein einheitliches Landschaftsbild entsteht. (Prominski et al. 2012: 194–195; [www.ruimtevoorderivier.nl](http://www.ruimtevoorderivier.nl) o. J. a)

#### 5.1.4 Einordnung und Erkenntnisse

In den Niederlanden findet seit den 1970er Jahren ein Wandel im Hochwasserrisikomanagement statt. Traditionell wurde es als eine Aufgabe für das Ingenieurwesen gesehen, bei der das Ziel die Kontrolle der Naturkräfte sei. Es fand aber eine



**Abb. 44** Als Teil des Vorhabens Overdiepse Polder neu errichtete Landwirtschaftsbetriebe auf sogenannten „Terpen“

Entwicklung statt vom sektoralen Angehen des Hochwasserschutz hin zu einer integrierten Ansatz, die auch Disziplinen wie Wasserwirtschaft und -management, Raumplanung und Ökologie mit einbezieht (entsprechend Kapitel 3.3.1 zu Landschaft und Infrastruktur). (Rijke et al. 2012: 2) Ruimte voor de Rivier fügt sich in diese Herangehensweise des Integrierten Wassermanagements ein und wurde durch das Ministerium und Rijkswaterstaat als Beispielpjekt für die Anwendung neuer Governance-Formen gesehen. (Rijke et al. 2012: 3)

Zwar gab es zu Beginn auch kritische Stimmen, die behaupteten, dass der Ansatz der Deichverstärkungen über eine lange Zeit erfolgreich gewesen war und die Schaffung von mehr Flussraum keine überprüfbar besseren Lösungen liefern könne. Das hier entgegengebrachte Argument für Ruimte voor de Rivier durch politische Entscheidungsträger\*innen war neben dem reduzierten Risikos bei Deichbrüchen durch niedrigere Wasserstände immer auch der Mehrwert in anderen Sektoren für die Flussräume. (Rijke et al. 2012: 12)

Ruimte voor de Rivier ist hierbei hoch integriert mit dem klassischen Küstenschutz an der Nordsee (Schirmer 2018: 364). Diese Integration beschränkt sich nicht nur auf Wirkungsgefüge, sondern auch auf die Projektsteuerung. Die Governance-Formen und die Erarbeitung integrierter Strategien im Programm Ruimte voor de Rivier wurden als Beispiel für das Deltaprogramm, welches den gesamten Hochwasserschutz auf nationaler Ebene regelt,

verwendet. Als diese Strategie 2009 erstmals erstellt wurde, nutzten die Verantwortlichen Ruimte voor de Rivier als Beispiel. Es ist als Ergebnis auf der Governance-Ebene demnach mehr als nur eine zeitlich begrenzte Änderung der Praxis des Hochwasserrisikomanagements in den Niederlanden. Auch das Deltaprogramm verfolgt nun einen Mehrebenen-Ansatz, um Hochwasserrisikomanagement zu einer gemeinsamen Aufgabe von lokalen, regionalen und nationalen Stellen und dem Privatsektor zu machen. (Rijke et al. 2012: 16)

Wichtig im Vergleich ist, dass in den Niederlanden ein anderer Grundansatz im Umgang mit dem Überflutungsrisiko als in Deutschland angewandt wird. Der dortige Schutz ist je nach Schadenspotential unterschiedlich stark ausgestaltet. Auch wenn die Sicherheit überall sehr hoch ist, liegt die Versagenswahrscheinlichkeit in den dicht besiedelten Metropolregionen deutlich niedriger als im ländlichen Raum. (Schirmer 2018: 364)

Obwohl sich Ruimte voor de Rivier nahtlos in die integrierte, risikobasierte Gesamtstrategie des Küstenschutzes der Niederlande einfügt, muss beachtet werden, dass es in erster Linie auf die Reduzierung von Binnenhochwassern abzielte. Der Problemdruck durch die Abflussmengen von Hochwassern oberstrom ist dort deutlich größer als an der Elbe.

Das Konzept, den Querschnitt aufzuweiten, trägt bei Küstensturmfluten, die prinzipiell nahezu unendlich große Wassermengen in den Ästuar



drücken, nicht immer zu einer Reduktion der Belastung der Küstenschutzanlagen bei. Ruimte voor de Rivier ist dennoch auch den für den Küstenschutz zuständigen Stellen in Deutschland bekannt. Unter gewissen Voraussetzungen kann das Konzept auch eingesetzt werden, um die Energie der Sturmflutwelle zu dämpfen. (Ast/Niemann 2020; Thorenz 2020)

Der Ansatz, mit den Vorhaben nicht nur hydrologische Ziele zu verfolgen, sondern auch auf andere lokale Bedürfnisse der Raumentwicklung zu reagieren und sie mit in die Projekte einzubinden, hat Vorbildcharakter. Neben der Verbesserung der Qualität der Einzelmaßnahmen und einem effizienteren Ressourceneinsatz kann diese Integration unterschiedlicher Sektoren auch dazu dienen, die lokale Akzeptanz zu erhöhen und mehr Unterstützung für eine schnelle Durchführung sowohl der lokalen Entscheidungsträger\*innen als auch der Anwohner\*innen zu gewinnen. Dies ist insofern für das Elbeästuar relevant, da hier ebenfalls eine hohe Flächenkonkurrenz vorherrscht, Entwicklungen im Platz begrenzt sind und die Ufer des Flusses beispielsweise auch heute schon einen hohen Stellenwert für Erholungs- und Freizeitnutzungen haben.

Neben der Integration der verschiedenen Fachdisziplinen trug auch die Verantwortungsteilung und Entscheidungsfindung auf mehrere Ebenen der Governance zum Erfolg von Ruimte voor de Rivier bei. Dies könnte ebenfalls einen Vorbildcharakter für die Tideelberegion haben, auch wenn die administrative Struktur durch die Aufteilung der Entscheidungsfindung auf drei Bundesländer nur schwer mit den Niederlanden vergleichbar ist. Ein Vorgehen wie durch Ruimte voor de Rivier, bei dem klar definierte Zielstellungen bestanden und eine eindeutige Markenbildung stattfand, mit der die Vorhaben kommuniziert werden, könnte jedoch auch hier dazu in hohem Maße beitragen, eine Verbindlichkeit, Klarheit und Transparenz zu schaffen.

## 5.2 Vereinigtes Königreich: Thames Estuary 2100

Der Großraum London, eine der bevölkerungsreichsten Metropolregionen Europas, liegt zu beiden Ufern des Themseästuars. Hier besteht ein bedeutendes Sturmflutrisiko, insbesondere, wenn bei atlantischen Sturmtiefs Wassermassen aus der Nordsee in den Ärmelkanal gedrückt werden und dann in die Themsemündung vordringen (Environment Agency 2012: 12). Neben der hohen Zahl an Menschen, die im 350 km<sup>2</sup> großen Überflutungsbereich leben und arbeiten, sind dann auch Stätten von hoher kultureller, wirtschaftlicher und politischer Bedeutung bedroht. Auch sind zahlreiche Gesundheits-, Verkehrs- und Energieversorgungsinfrastrukturen im Risikogebiet verortet. (Penning-Rowsell et al. 2013: 1384–1385)

Als Reaktion auf die Sturmflutkatastrophe von 1953 wurde durch die britische Regierung entschieden, ein Sperrwerk in der Themse, die Thames Barrier, zu errichten. Das 1984 fertiggestellte Bauwerk mit beweglichen Elementen überspannt einen Flussquerschnitt von über 500 m zwischen den Stadtteilen Woolwich und Newham im Osten Londons. (Ranger et al. 2013: 237–238) Auch wenn das Sperrwerk einen hohen Schutz für die Region gewährleistet, ist es in seinen Dimensionen nur bis 2030 ausgelegt. Auch andere Teile des Küstenschutzsystems sind stellenweise über 25 Jahre alt und werden das Ende ihrer Lebensdauer zwischen 2030 und 2060 erreichen. (Ranger et al. 2013: 238–239) Darüber hinaus findet im Mündungsgebiet mit dem Thames Gateway-Projekt in großem Maße Stadtentwicklung statt. Durch die zusätzlichen Menschen, die in diesem Bereich leben und arbeiten werden, steigt der Bedarf für ein angepasstes Küstenschutzsystem (BBC 2007).

### 5.2.1 Ziel der Maßnahme

Das strategische Gesamtziel des Thames Estuary 2100-Plans (TE2100) ist „To develop a flood management plan for London and the Thames Estuary that is risk based, takes into account existing and future assets, is sustainable, includes the needs of stakeholders. The Plan must also address the issues in the context of a changing climate and varying socio-economic conditions that may



develop over the next 100 years“ (Environment Agency 2012: 29). Fünf einzelne untergeordnete Zielsetzungen liegen hierbei dem TE2100-Plan zugrunde (Environment Agency 2012: 32):

1. Handhabung des Überflutungsrisikos für Menschen und Minimierung der negativen Folgen von Überflutungen für Sachwerte und die Umwelt
2. Anpassung an die Herausforderungen durch die Folgen des Klimawandels
3. Unterstützung und Beeinflussung der Flächennutzungsplanung, um eine angemessene, nachhaltige und resiliente Stadtentwicklung im Überflutungsgebiet der Themse sicherzustellen
4. Schützen der sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Werte der tidebeeinflussten Themse, ihrer Nebenflüsse und ihres Überflutungsgebiets
5. Wiederherstellung und Aufwertung von Ökosystemen im Ästuar, um eine größere Biodiversität zu erreichen und die ökologischen Vorteile von Überflutungen zu vergrößern

Kernelement von TE2100 ist die Entscheidungsfindung, ob die Thames Barrier überholt oder ersetzt werden soll, was je nach Option zwischen 1,6 Milliarden und 5,3 Milliarden britische Pfund kosten würde (Ranger et al. 2013: 237). In der Erarbeitung des Plans wurden soziale und ökologische Belange berücksichtigt und mehrfache Öffentlichkeitsbeteiligungen durchgeführt. Der Hauptfokus lag allerdings auf der Wirtschaftlichkeit und dem Erreichen des bestmöglichen Kosten-Nutzen-Verhältnis. (Penning-Rowsell et al. 2013: 1386) TE2100 war eins der ersten großen Infrastrukturprojekte in Großbritannien, welches die extreme Unsicherheit in Klimaprojektionen (siehe Kapitel 3.1.3) im Planungsprozess berücksichtigte (Ranger et al. 2013: 234).

Durch seinen großen Maßstab, die Irreversibilität potentieller Investitionen und hohe Risiken bei einem Versagens der Küstenschutzinfrastrukturen ist die Wechselwirkung des Gesamtvorhabens mit der Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs sehr hoch (Ranger et al. 2013: 239). TE2100 hat daher das Ziel, sich während der gesamten, hundertjährigen Lebensdauer an Veränderungen anpassen zu können (Environment Agency 2012: 36).



Abb. 45 Die in den 1980er Jahren errichtete Thames Barrier

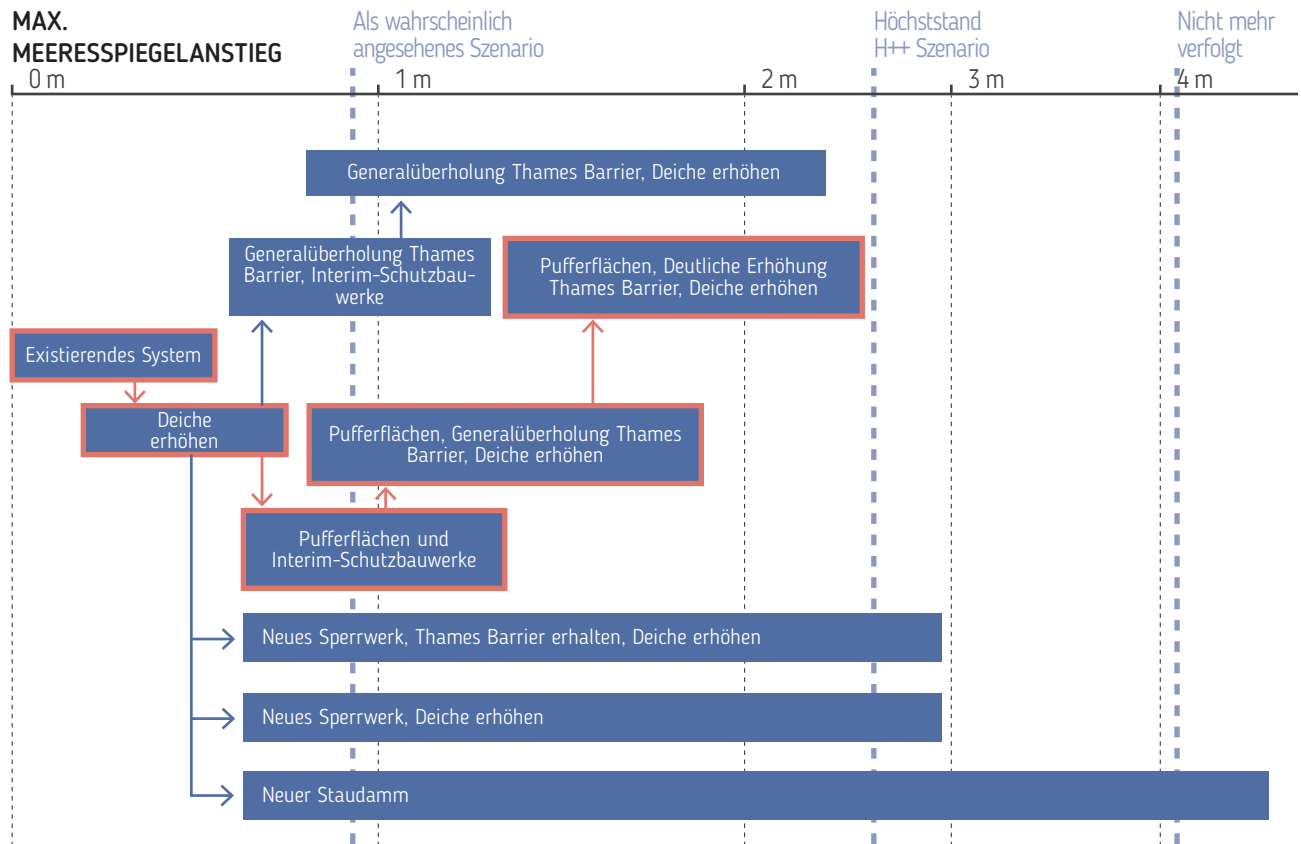
## 5.2.2 Governance

Durchgeführt wurde das Projekt TE2100 durch die Environment Agency, der für Hochwasserrisikomanagement zuständigen Umweltbehörde, die dem britischen Umweltministerium untersteht. In der Erarbeitung wurden die Öffentlichkeit und verschiedene Schlüsselorganisationen beteiligt. Der TE2100-Plan beeinflusst nicht nur die Flutschutzplanung der Kommunen und Rettungsdienste, sondern auch die Flächennutzungsplanung auf lokaler und regionaler Ebene. (Environment Agency 2012: 7)

## 5.2.3 Herangehensweise

Die Arbeit am Projekt TE2100 begann im Jahr 2002 und dauerte insgesamt sechs Jahre (Ranger et al. 2013: 237). Wie der Titel besagt, ist der eigentliche Planungshorizont in etwa bis zum Jahr 2100 vorgesehen, auch wenn einige Analysen mit einem Blickwinkel bis ins Jahr 2170 durchgeführt wurden (Environment Agency 2012: 38).

Die Herangehensweise im TE2100 Plan ist bemerkenswert. Ranger et al. stellen hierzu vier Innovationen des Gesamtprojektes heraus: der bislang unübliche „entscheidungsorientierte Planungsprozess“, die „narrativen Szenarien“ möglicher Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf Extremwasserstände, den Ansatz der „Adaptionspfade“ mit zeitlichen Abfolgen von Anpassungsmaßnahmen sowie die Verwendung von „Entscheidungspunkten“, welche durch Indikatoren ausgelöst die Implementierung steuern. (Ranger et al. 2013: 239)



**Abb. 46** „High Level Options“ genannte Anpassungspfade laut des TE2100-Plans. Beispielfhaft in rot markiert ein möglicher Handlungsweg in der Zukunft

Im Gegensatz zu den meisten Anpassungsplanungen geht TE2100 als Ausgangspunkt nicht von herunterskalierten Klimamodellen aus, wie sie etwa das IPCC verwendet, sondern von einer Problemstrukturierung, also von allen relevanten Zielen und Einschränkungen der Stakeholder\*innen. Erst in einem späteren Schritt dieses „entscheidungsorientierten Planungsprozesses“ wurden dann Klimaprognosen verwendet, um die Optionen abzuwägen. Hierdurch werden Analysen der Klimaprognosen zielgerichteter und somit weniger ressourcenintensiv. Die Prognosen selbst umfassten als „narrative Szenarien“ eines worst case auch Anstiegsszenarien von 2,7 m bis 2100, die Expert\*innen als möglich, aber sehr unwahrscheinlich ansahen. (Ranger et al. 2013: 239–247)

Anders als beim traditionellen Ansatz von Küstenschutzmaßnahmen, eine Optimierung der Planung anhand der besten verfügbaren Prognosen zu Extremwasserständen während der Lebensdauer vorzunehmen, geht TE2100 einen

iterativen, dynamischen Weg mit der ausdrücklichen Möglichkeit, Planungen anzupassen bzw. zu ändern, sobald detailliertere Informationen vorliegen. Dieser Weg der „Adaptionspfade“ hilft Entscheidungsträger\*innen, mögliche Abfolgen von Maßnahmen zu identifizieren (vgl. Abb. 46). Hierbei gibt es „Entscheidungspunkte“, an denen zusätzliche Handlungen notwendig sind oder der Pfad gewechselt werden sollte. Momentan ist es nach dem TE2100-Plan noch zu riskant und nicht zielführend, sich bereits auf einen Pfad festzulegen. Bis zu einem Anstieg des Meeresspiegels von über 50 cm im Vergleich zu heute gibt es keinen unterschiedlichen Verlauf der Adaptionspfade, da zunächst im Fokus steht, das gegenwärtige System – zumindest temporär – zu verstärken und zu modernisieren. Auch zu einem späteren Zeitpunkt ist dann noch ein Strategiewechsel zu geringen Kosten möglich. Die zukünftigen Entscheidungen werden außerdem erleichtert sein durch ein dann bestehendes Mehr an Erkenntnissen vor allem zur Entwicklung der Auswirkungen

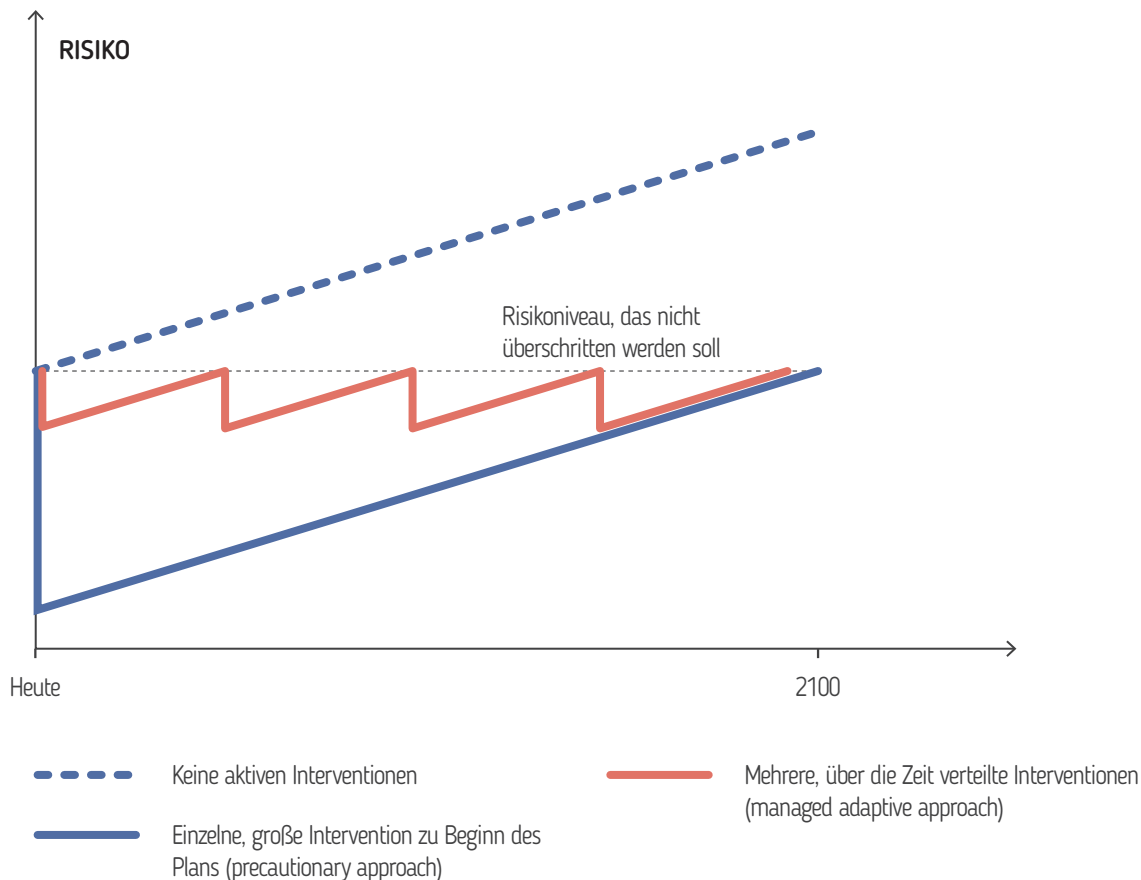


Abb. 47 „Managed Adaptive Approach“ – das Handlungsprinzip des TE2100-Plans

des Klimawandels. (Ranger et al. 2013: 249–251) Diese Vorgehensweise soll sicherstellen, dass die richtigen Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt getroffen werden und keine Mittel für unnötige und möglicherweise auch über-technisierte Projekte ausgegeben werden. (Environment Agency 2012: 35)

Die Entscheidungspunkte von TE2100 sind basierend auf dem Verlauf des Meeresspiegelanstiegs und der zu erwartenden maximalen Sturmfluthöhe. Hinzu kommen aber auch acht weitere Indikatoren, die das Gesamtgeschehen im Ästuar abbilden sollen (vgl. Abb. 48). Für jede Anpassungsoption lässt sich eine Schwelle identifizieren, ab der sie notwendig sein wird, auch die Vorlaufzeit für Planung und Bau soll einkalkuliert werden. Momentane Prognosen besagen, dass um das Jahr 2050 herum ein erster Entscheidungspunkt erreicht wird. Sollte der Meeresspiegel schneller steigen oder sich ein anderer Indikator in relevantem Maße verändern, würde sich der Entscheidungspunkt

dementsprechend zeitlich verschieben. (Ranger et al. 2013: 253–254)

Um das Erreichen der Entscheidungspunkte im Blick zu behalten, empfiehlt der TE2100 Plan, das Hochwasserrisiko und die zehn Indikatoren kontinuierlich zu beobachten und den Plan mindestens im Zehn-Jahres-Takt zu überprüfen und fortzuschreiben (Environment Agency 2012: 30). Hierdurch steht der Plan den Szenarien zunächst neutral gegenüber und kann sich veränderten Rahmenbedingungen anpassen (Ranger et al. 2013: 254–255).

#### Maßnahmen nach dem Plan

Die Umsetzung der Inhalte des bis 2100 ausgelegten Plans ist in drei Zeithorizonten vorgesehen (Environment Agency 2012: 40):

#### 2010–2034 „Maintaining confidence and planning together“

Weiterführen von Instandhaltung, Betrieb und essentieller Erweiterung der Küstenschutzan-

lagen, Sicherung von Flächen für zukünftige Maßnahmen und Beeinflussung anderer räumlicher Planwerke in der Region

2035–2049 „*Renewal and reshaping the riverside*“

Ende der Lebensdauer zahlreicher Küstenschutzbauwerke (Schutzwände, Deiche, Sperrwerke der Nebenflüsse). Erhöhung an notwendige Standards durch Meeresspiegelanstieg, Zusammenarbeit mit Raumplanung und Umweltschutz bei deren Ersatz.

ab 2050 „*Preparing for, and moving into the 22nd century*“

Vorbereitung der Findung einer langfristigen Option für das Hochwasserrisikomanagement (Ersatzneubau des Sperrwerks), welche ab 2070 installiert sein muss (langfristiger Prozess).

Es sind somit – basierend auf gegenwärtigen Klimaprognosen – bis 2070 keine fundamentalen Änderungen des Sturmflutmanagementsystems nötig. Trotzdem müssen bereits in den ersten 40 Jahren des Plans signifikante Baumaßnahmen, insbesondere die Erhöhung sowie der Ersatz alternder Schutzbauwerke, durchgeführt werden (Environment Agency 2012: 32).

Regional gliedert sich der Plan in sogenannte „Action Zones“, eine ästuarweite Zone 0 sowie acht weitere regionale Zonen, die für die jeweiligen nach Charakteristika gruppierten Gebiete konkrete Maßnahmen vorsehen sowie relevante Stakeholder benennen. (Environment Agency 2012: 50)

Als ästuarweite Optionen wurden vier Möglichkeiten an verschiedenen Standorten betrachtet (Environment Agency 2012: 56–57):

*Option 1: Bestehende Schutzsysteme (inkl. Sperrwerk) optimieren*

*Option 2: Hochwasserrückhaltung an vier möglichen Orten*

*Option 3: Neues Sperrwerk an zwei möglichen Orten (Tilbury oder Long Reach)*

*Option 4: Neues Sperrwerk mit Schleuse (um kontinuierliche Passierbarkeit für Schifffahrt zu ermöglichen) am Ort der Thames Barrier, in Tilbury oder in Long Reach*

Auch wenn momentan noch keine Entscheidung getroffen werden muss, gibt es für den Zeitraum nach 2070 trotzdem bereits zwei Vorzugsvarianten für ästuarweite Ansätze, die sich nach momentanem Stand abzeichnen („front-runners“) (Environment Agency 2012: 58):

*Option 1.4: Optimierte Instandhaltungswege und Modifikationen an der Thames Barrier sowie Möglichkeit, Änderungen vorzunehmen*

*Option 3.2: Neues Sperrwerk (ohne Schleuse) in Long Reach. Da nur eine gewisse Zahl an Schließungen möglich, auch oberstrom Anpassung von Küstenschutzbauwerken weiterhin notwendig*

Für die Entscheidung zur Strategiefindung – die auch die Auswahl der beiden „front-runner“ ergab – wurden verschiedene Analysen durchgeführt, unter anderem im Bereich Kosten/Nutzen und Umweltverträglichkeit (Environment Agency 2012: 47). Auch hydrodynamische Modelle fanden Verwendung (Ranger et al. 2013: 240). Aus den vorgeschlagenen Maßnahmen der Zone 0 ergibt sich auch die bereits erwähnte Hauptempfehlung

**Abb. 48** Durch TE2100 verfolgte Indikatoren zur Entscheidungsfindung

1. Mittlerer Meeresspiegel	2. Höchstes zu erwartendes Tidehochwasser	3. Höchstes zu erwartendes Flusshochwasser von oberstrom
4. Zustand der Küstenschutzinfrastrukturen	5. Schließfrequenz und Zuverlässigkeit der Thames Barrier	6. Stadtentwicklung und ihr Wert / Typ
7. Ausmaß von Erosion und Sedimentation	8. Tidebeeinflusste Habitatbereiche	9. Flächennutzungsplanung und Stadtentwicklungsaktivitäten
	10. Öffentliche und institutionelle Einstellung zum Flutrisiko	





**Abb. 49** Verortung der „Front Runner“-Maßnahmen (Ertüchtigung der Thames Barrier oder neues Sperrwerk in Long Reach) im Themseästuar sowie Großraum London

des Plans: Im Zeitraum bis 2070 das aktuelle System instand halten und überholen, unabhängig vom Ansatz, der für das Ende des Jahrhunderts und darüber hinaus gewählt wird. Durch die Unsicherheiten in der Bewertung des Zeitraums nach 2070 sowie das Fehlen eines unmittelbaren Entscheidungsdrucks wird somit kein einzelner Lösungsweg vorgeschlagen (Environment Agency 2012: 47).

#### 5.2.4 Einordnung und Erkenntnisse

Als in erster Linie strategisches Dokument hat der TE2100-Plan vor allem bei der iterativen Herangehensweise einen Vorbildcharakter. Ranger et al. argumentieren hierzu, dass die vier von ihnen identifizierten Innovationen des Projektes in einem breiten Spektrum weiterer Anpassungsplanungen an den Klimawandel anwendbar sind, insbesondere wenn Entscheidungsträger\*innen mit Langfristigkeit, Empfindlichkeit gegenüber Prognoseänderungen und einer Vielzahl möglicher Optionen konfrontiert sind (Ranger et al. 2013: 256). Die Basierung von Entscheidungen mit weitreichenden Folgen auf klar definierte Indikatoren und das szenarienhafte Aufzeigen von Maßnahmenfolgen erleichtern eine rationale, transparente Findung von Entscheidungen. Auch die großen noch bestehenden Unsicherheiten zur zukünftigen Entwicklung werden hiervon – und von einem offensiven Umgang mit ihnen – aufgefangen. Das Vorgehen hilft zudem, einen Orientierungsrahmen zu schaffen, nicht nur für die erarbeitende öffentliche Stelle selbst, sondern auch für Akteur\*innen auf anderen Ebenen und in anderen Sektoren und auch für Privatpersonen und Betriebe. Es wäre denkbar, dass ein derartiges

Herangehen nicht nur von einer einzelnen Institution wie im britischen Fall der Environment Agency durchgeführt werden kann, sondern auch, dass sich mehrere verantwortliche Stellen hierauf verständigen könnten.

Vieles aus der Arbeitsweise des TE2100-Plans wird in der Elbeästuarregion bereits umgesetzt, wie beispielsweise die kontinuierliche Überprüfung des Küstenschutzmanagements in vorher festgelegten Intervallen. Der britische Plan formuliert das Vorgehen aber deutlicher aus, systematisiert es und wendet eindeutige Indikatoren an. Eine ähnliche Parallele zum Elbeästuar ist, dass in der Gegenwart kein oder nur ein geringer Handlungsbedarf hin zu einem Systemwechsel im Küstenschutz besteht. Dies bedeutet nicht, dass noch keine Planungen hierzu möglich sind. Der Ansatz von TE2100 ermöglicht vielmehr eine fundierte Einschätzung der Lage und somit auch eine verbesserte Rechtfertigung für das Vorgehen der zuständigen Institutionen.

### 5.3 Elbeästuar: IBA-Projekt Kreetsand

Das dritte und letzte Beispiel ist das IBA-Projekt Kreetsand, ein Pilotprojekt im Untersuchungsraum des Elbeästuars. Es kann auch dazu dienen, neue Wege im Umgang mit dem Flusssystem insgesamt und hierbei besonders mit der Ermöglichung von mehr Dynamik aufzuzeigen und zu illustrieren. Angesiedelt ist es auf der Hamburger Elbinsel, die Austragungsort der IBA von 2006–2013 zum Thema „Sprung über die Elbe“ war, im Bereich der Norderelbe.

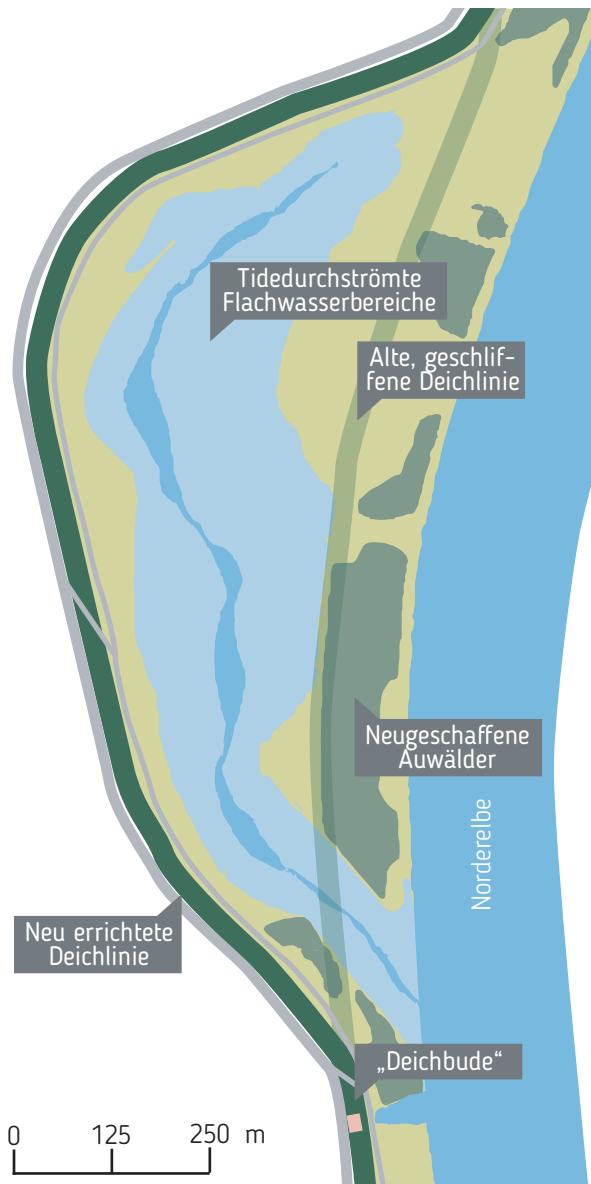


Abb. 50 Übersicht des Pilotprojekts Kreesand am Westufer der Norderelbe in Hamburg-Wilhelmsburg

### 5.3.1 Ziel der Maßnahme

Das Projekt Kreesand ist Teil des Sedimentmanagementkonzepts (siehe Kapitel 4.2.3) (HPA/WSV 2008: 13). Unter den Strombaumaßnahmen fällt sie in die Kategorie des Schaffens von zusätzlichen Wasserflächen und damit zusätzlichem Tidepotential. Durch neue Flachwasserbereiche soll eine Absorption und Dissipation der Tideenergie erreicht werden. Die Baumaßnahmen dienen laut dem Konzept bei entsprechender Planung auch dazu, ökologische und wasserwirtschaftliche Ziele zu erreichen. (HPA/WSV 2008: 12–13)

Auch beim Kreesand sollte somit Flutraum für die Elbe geschaffen werden, um eine Dämpfung des Tidegeschehens zu erreichen (IBA Hamburg o. J.). Laut Berechnungen der HPA kann die Maßnahme allein eine Reduktion um 2 bis 3 cm Tidenhub erreichen (IBA Hamburg 2010: 1).

Das Projekt wurde nicht nur als wasserbauliche Maßnahme, sondern auch unter landschaftlichen und gestalterischen Aspekten geplant, indem der Naturschutz sowie Freizeit- und Erholungswert des Areals berücksichtigt wurden. Zudem ist das Vorhaben in das IBA-Gesamtprojekt „Deichpark Elbinsel“ eingebunden. Hierdurch ergab sich eine „integrative Planung und Umsetzung verschiedener Interessen und Belange aus Hafennutzung, Hochwasserschutz, Wasserwirtschaft, Naturschutz und Naherholung“ (IBA Hamburg o. J.).

### 5.3.2 Governance

Bauherrin des Projekts war die Hamburg Port Authority. Im Spätsommer 2010 wurde zusätzlich eine Qualitätsvereinbarung zwischen der IBA Hamburg und der HPA geschlossen. Hierdurch wurde die Maßnahme als IBA-Projekt qualifiziert (IBA Hamburg o. J.).

### 5.3.3 Herangehensweise

Bereits im Rahmen des Hamburger Deichbauprogramms (Kapitel 4.2.2) wurde der Kreesander Hauptdeich im Jahr 2001 zurückverlegt (IBA Hamburg 2011: 48). Das somit bereits zurückgedeichte Spülfeld Spadenlander Busch/Kreesand wird im Rahmen der Maßnahme ab 2012 größtenteils abgegraben. Hierdurch entstand ein 30 ha großes Flachwassergebiet, in welches die Tide nun wieder frei ein- und ausströmen kann. Das durch das Projekt geschaffene zusätzliche Tidevolumen beträgt mehr als 1 Mio. m<sup>3</sup> (IBA Hamburg o. J.). Neben dem Flachwassergebiet konnten auch insgesamt 26 ha Deichvorland geschaffen werden, um ein neues Naturschutzgebiet anzulegen (IBA Hamburg 2011: 48). Weite Teile des Areals werden der natürlichen Entwicklung überlassen, nur sporadische Eingriffe in Form von Pflegemaßnahmen sollen ein dauerhaftes Funktionieren des Gebiets als Flutraum für die Elbe garantieren. Daneben wurde im Bereich der Deichlinie die sogenannte „Deichbude“ errichtet, um einen Erholungs- und

Freizeitwert zu schaffen. Dieser Informations- und Ausstellungsort lädt Passant\*innen ein, mehr über die Besonderheiten der Landschaft der Elbe, das Strombau- und Sedimentmanagement-Konzept und auch das IBA-Projekt selbst zu erfahren. Hierdurch erhöht sich die Erlebbarkeit der Landschaft, aber auch der Wasserdynamik und des speziellen Phänomens des Tidenhubs für Anwohner\*innen und Besucher\*innen. (IBA Hamburg o. J.)

Auch wenn es kein vordergründiges Ziel der Maßnahme Kreetsand war, dient sie doch auch dem Hochwasserschutz. Das in diesem Flussabschnitt neu geschaffene Deichvorland kann künftig dämpfend auf die Energie der Sturmfluten einwirken. Diese treffen somit nicht mehr in voller Kraft auf den Deich. Dies verbessert den Zustand des Deichfußes und somit seine gesamte Standesicherheit. (IBA Hamburg 2011: 48)

„Ein attraktiver Ort für die Begegnung von Natur, Fluss und Mensch soll entstehen, mit Zugang und Ausblick auf das Tidegeschehen in den neu geschaffenen Wasserflächen und der Elbe“

(IBA Hamburg o. J.)

### 5.3.4 Einordnung und Erkenntnisse

Verglichen mit den anderen beiden vorgestellten Beispielen weist das Projekt Kreetsand einen deutlich kleineren Umfang und Maßstab auf. Dies zeigt sich vor allem, wenn es in Bezug gesetzt wird zum Programm Ruimte voor de Rivier, dessen Einzelmaßnahmen durchaus einen ähnlichen Charakter aufweisen und dem eine ähnliche Strategie der Schaffung von Flutraum – wenn auch mit dem Ziel der Hochwasserverminderung und nicht der Verbesserung der Tidedynamik – zugrunde liegt. Es kann trotzdem als erster Schritt in Richtung eines Umgangs mit der Tideelbe und ihren Kräften sein, die das Prinzip „Building by Nature“ als Kernelement verfolgt. Diese Strategie, von vornherein mehr Flutraum zu schaffen, was auch der Sicherung der Deichlinie zugutekommt, wird bisher vor allem von der HPA und dem Forum Tideelbe sowie dem Naturschutz forciert (Stokman 2020).

Die besondere Bedeutung, die dem Pilotprojekt zugesprochen wird, zeigt sich auch im Strombau- und Sedimentmanagementkonzept: „Auch wenn die erzielbare hydrologische Wirkung als vergleichsweise gering einzuschätzen ist, wird dieser Maßnahme ein hoher Stellenwert beigemessen“ (HPA/WSV 2008: 13).

Das Projekt Kreetsand ist somit ein erstes Beispiel für den Einsatz baulicher Strategien, um mehr Dynamik zuzulassen. Durch die Umsetzung sollte mehr Erfahrung in der Anwendung dieses Paradigmas gewonnen (Stokman 2020) und die Akzeptanz weiterer Maßnahmen, mehr Flutraum in der Tideelberegion zu schaffen, verbessert werden (HPA/WSV 2008: 13).

Es kann somit auch als Beleg gesehen werden, dass ein „weicherer“ Ansatz im Küstenschutz auch im Elbeästuar bereits heute funktionieren kann. Um größere positive Effekte zu erzielen, ließe er sich in künftigen Schritten auch auf größere Maßstäbe und noch flächenhaftere Projekte skalieren. Daneben wird durch das Projekt auch ein zukunftsfähiger Ansatz der Multifunktionalität im Umgang mit dem Fluss und dem Küstenschutz illustriert, der trotz der weiterhin bestehenden Monofunktionalität der Deiche funktioniert.

## 5.4 Schlussfolgerungen aus den Beispielen

Werden die drei betrachteten Beispielprojekte nebeneinandergestellt, erscheinen sie auf den ersten Blick als sehr verschiedene Vorhaben. Der siedlungsstrukturelle Kontext, in dem die Projekte operierten, ist sehr divers und reicht von sehr ländlichen bis hin zu stark verstädterten Räumen. Es zeigt sich jedoch in der Betrachtung, dass für jeden dieser Raumtypen passende Handlungsansätze gefunden werden können. Dies ist vor dem Hintergrund der Heterogenität der Elbeästuarregion eine wichtige Erkenntnis. Hierzu kommt, dass die Beispiele auf unterschiedlichen Maßstabsebenen fungieren. Einem kleinen Areal in Hamburg, welches als Pilotprojekt für sich steht, sind in den Niederlanden bei weitem größere Gebiete gegenübergestellt, die bereits starke hydrologische Synergieeffekte bewirken.

Dies ist im Elbeästuar allenfalls in mittelfristiger Zukunft erreichbar. In London dagegen wurde auf strategischer Ebene ein Planwerk erstellt und keine Planung einer konkreten Einzelmaßnahme durchgeführt. Die Zielstellungen waren ebenfalls nicht einheitlich. Das Projekt Kreetsand dient in erster Linie dem Sedimentmanagement, in den Niederlanden sollten Fluss- und somit Binnenhochwasser besser bewältigt werden und in London war der Ausgangspunkt die Grundsatzentscheidung über ein konkretes Küstenschutzbauwerk. Das Augenmerk auf den Klimawandel und die Vorhabensbegründung durch ihn sind unterschiedlich. In London war die Adaption ein Hauptauslöser für das Vorhaben, in Hamburg eher ein Nebeneffekt. Die unterschiedlichen Governance-Arrangements der Projekte, die auch zu großem Teil in der von Land zu Land unterschiedlichen Kompetenzverteilung begründet sind, machen Vergleiche zusätzlich schwierig. Dem deutschen Föderalismus steht hier ein in den anderen betrachteten Fällen weitestgehend zentralstaatlich organisierter Küstenschutz gegenüber.

Dennoch zeigen sich in der Praxis auch beim Vergleich der Projekte Kreetsand und Ruimte voor de Rivier deutliche Parallelen in den Effekten, welche die Vorhaben auslösten. Im Zentrum stand, den natürlichen Dynamiken mehr Raum zu geben. Dieser neue Ansatz wurde auch als grundlegend veränderte Umgangsform mit den Wasserkraften in Ästuaren in Kapitel 3.3.2 vorgestellt. Die Projekte können somit als Manifestation des Prinzips „Building with Water“ verstanden werden. Diese Vorgehensweise geht in beiden Fällen einher mit einer stark erhöhten Erlebbarkeit der Natur und einem Freizeitwert für die Menschen. Auch für die örtliche und regionale Stadtentwicklung (Deichpark für Wilhelmsburg, Stadtgebiete verbinden in Nijmegen) ergeben sich Vorteile. Ähnliche Effekte werden auch in London durch TE2100 angesprochen, wenn Deiche erhöht werden sollen und dabei in mittelfristiger Zukunft gleichzeitig die Uferbereiche zu transformiert werden. Eine weitere Parallele der Vorhaben ist, dass die „weichen“ Schutzelemente immer wichtiger werden, da sich die Limitierungen der Technik zeigen und mit der Natur statt gegen sie gearbeitet wird.

Der integrierte Ansatz zieht sich ebenfalls durch alle Projekte: In keinem der Beispiele wird der

Küstenschutz als immens wichtiger, ja sogar die Grundvoraussetzung und fundamentale Sicherheit für alle menschlichen Aktivitäten in der jeweiligen Region bildender Akteur allein aktiv. Stattdessen werden konsequent andere Fachplanungen und Disziplinen mit einbezogen, auch wenn die konkrete Ausgestaltung von Fall zu Fall unterschiedlich ist.

Sogar im Hinblick auf die schwer vergleichbare Governance lassen sich Prinzipien extrahieren. In allen Ästuaren ist die Struktur der Akteur\*innen komplex, die Ziele vielfältig und teilweise divergierend und der Flächendruck hoch. Es zeigt sich die Relevanz der Kommunikation mit allen Akteur\*innen, die im Zweifelsfall deutlich bessere Lösungen hervorbringen kann, wie bei der Landwirtschaft im Overdiepsen Polder in den Niederlanden. Auch die in Großbritannien gewählte, eindeutige Basierung auf Indikatoren kann ein hilfreiches Instrument sein – vor allem, weil auch in Hamburg mit sehr langfristigem Horizont ein Sperrwerk diskutiert wird. Hier ist es wichtig, rational und im richtigen Moment handeln zu können. In diesem Zusammenhang zeigt sich letztlich auch der Stellenwert von Flexibilität und einem iterativen Herangehen, was für das Elbeästuar einen Vorbildcharakter hat.



► **Abb. 51** Am Elbstrand in der Haseldorfer Marsch (Schleswig-Holstein)





# 6



**Wege in die Zukunft –  
Anpassungsoptionen im  
Elbeästuar**

*Anhand unterschiedlicher Zukunftswege wird in diesem Kapitel aufgezeigt, welche Strategien für den künftigen Küstenschutz im Elbeästuar denkbar wären. Ausgangslage für die Entwicklung möglicher Optionen bilden die Ergebnisse vorangegangener Kapitel, insbesondere der Bestandsaufnahme in Kapitel 4 sowie die Erkenntnisse aus den Beispielprojekten in Kapitel 5.*

## **6.1 Erfordernisse: Ergebnisse aus Bestandsaufnahme und Beispielbetrachtung**

Die Betrachtung der Organisation und der bauliche Ausgestaltung des Küstenschutzes zeigen deutlich, dass aktuell ein ausreichender Schutz für Menschenleben und Sachwerte in den von Überflutungen gefährdeten Bereichen sichergestellt ist. Gleichzeitig besteht zwar ein gewisser Handlungsbedarf, aber keine Notwendigkeit eines unmittelbaren Strategiewechsels in näherer Zukunft.

Das Voranschreiten des Klimawandels, welches nicht linear, sondern sich mit der Zeit verstärkend erfolgen wird, wird dennoch gravierende Folgen für das Ästuar haben. Maßgeblich wird für den Küstenschutz das Auftreten höherer Sturmflutereignisse durch den Meeresspiegelanstieg sein, auf welche die Infrastrukturen reagieren müssen. Hinzu kommen die durch stärkere Regenereignisse ausgelösten Binnenhochwasser der Flüsse, die insbesondere in Küstenstädten jedoch oft weniger intensiv betrachtet werden (Schlünzen/Riecke 2018: 49). Durch ihr mögliches Zusammentreffen mit einer schweren Sturmflut werden sich die Belastungen für die Küstenschutzsysteme weiter verstärken.

Neben diesen Gefahren werden durch Klimawandel auch bereits heute manifeste ökologische Probleme der Tideelbe verstärkt. Durch die starke menschliche Überformung wird die Biosphäre beeinträchtigt, hinzu kommt die Problematik des Tidal Pumping.

In der Metropolregion Hamburg konkurrieren verschiedene Nutzungen um knappen Raum. Der Küstenschutz muss sich hier behaupten, um auch

künftig auf diese Herausforderungen angemessen reagieren zu können und eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten.

Angesichts dieser Rahmenbedingungen sollen zunächst grundlegende Paradigmen einer Vorgehensweise erläutert werden. Hier fließen in großem Ausmaß Erkenntnisse aus den Projektbeispielen ein. Zum Teil werden diese Paradigmen auch im heutigen Handeln zuständiger Stellen befolgt.

Prinzipienhaft und auf das gesamte Ästuar bezogen werden dann drei unterschiedliche Strategien vorgestellt, die der Küstenschutz verfolgen könnte. Sie können jeweils verschiedene Formen annehmen, miteinander kombiniert werden und ihre Implementierung wäre zu unterschiedlichen Zeitpunkten sinnvoll. Um zu illustrieren, wie diese unterschiedlichen Zukunftswege im Detail aussehen würden, wird dann anhand eines Zoom-Ins der Raum der Alten Süderelbe in Hamburg-Finkenwerder näher betrachtet. Hier wird erprobt, welche räumlichen Manifestationen einzelne Lösungen konkret annehmen könnten.

Wichtigstes Merkmal einer künftigen Vorgehensweise sollte ein *iteratives Vorgehen* sein. Weder zum aktuellen Zeitpunkt, noch in absehbarer Zeit lässt sich in Gänze überblicken, auf welche Herausforderungen im Küstenschutz genau reagiert werden muss. Mit dem heutigen Stand der Erkenntnisse kann nicht abschließend entschieden werden, welcher Weg sehr langfristig verfolgt werden muss. Bei einer punktuellen Großinvestition wäre das Risiko, dass sie ihren Zweck nicht langfristig erfüllen kann, zu groß. Ein derartiger Lock-In sollte vermieden werden.

Im Moment entspricht das Handeln im Elbeästuar im Grundzug diesem iterativen Ansatz. Wichtigstes Beispiel hierfür ist die Vorbereitung der Küstenschutzbauwerke für einen späteren

Ausbau, der auch in den Generalplänen bzw. dem Bauprogramm so vorgesehen ist (Ast/Niemann 2020). Wie ein Strategiewechsel, der bei gravierenden Bedrohungen notwendig werden könnte, konkret aussehen kann, ist jedoch unklar. Auch ist nicht abschließend festgelegt, welche Indikatoren einer Entscheidung hier zugrunde liegen würden.

Die *Governance* muss auf dieses Problem reagieren und sich entsprechend anpassen. Problematisch könnte hier die auf drei Bundesländer verteilte Verantwortlichkeit sein. Diese sind sehr unterschiedlich strukturiert, was dazu führt, dass divergierende Interessen im Küstenschutz herrschen können. Der Thames Estuary 2100-Plan ist ein gutes Beispiel, wie vor diesem Hintergrund

„Es wird relativ bald einen Kipp-Punkt geben, wo zumindest die Strategie, immer nur auf den bestehenden Deichlinien zu erhöhen, nicht mehr unbegrenzt möglich ist“

(Stokman 2020)

ein schrittweises Vorgehen konkret ausgestaltet werden könnte. Zu einem anpassungsfähigen Management treten Transparenz, Kommunikation und Rationalität hinzu. Dies macht sich insbesondere an der Basierung auf Indikatoren fest.

Es ist heute, wie in Zukunft, unmöglich, eine hundertprozentige Sicherheit im Küstenschutz zu gewährleisten. Deswegen erscheint eine noch stärkere Hinwendung von Gefahrenabwehr zum *Risikomanagement* notwendig. Künftig stärker ausfallende Sturmflutereignisse ziehen auch potentiell schwerere Folgen im Versagensfall – beispielsweise eines Deichs – nach sich. Als Teil der Risikovorsorge sollte demnach auch stärker in den Blick genommen werden, was hinter dem Deich geschieht. Durch die zuständigen Stellen wäre zu klären, welche Nutzungen wie betroffen wären und wie sie sich gezielter schützen lassen. Eine Form hierfür könnten beispielsweise hoch gelegene Infrastrukturen für Versorgung und Evakuierung sein. In der Hamburger HafenCity wird ein derartiges Konzept bereits umgesetzt, allerdings handelt es sich hier um einen Neubausattdteil und nicht um eine Anpassung im Bestand.

Neben angepassten Infrastrukturen existieren

als Bauvorsorge verschiedene Formen eines ans Sturmflutrisiko angepassten Bauens. Hierzu zählen Häuser im Deich, auf Stelzen, schwimmende Gebäude und weitere amphibische Wohnformen. Auch können die Verwendung bestimmter wasser- und durchlässiger Baumaterialien oder Nutzungsrestriktionen wie die Vermeidung von Wohnräumen in niedrig gelegenen Geschossen zur Anpassung beitragen. Das bewusste, gezielte Freihalten von Flächen hinter dem Deich aus Flutschutzgründen zählt ebenfalls zur Risikovorsorge. (Fellmer 2014: 22–24)

Bauliche Vorsorgemaßnahmen im durch Deiche geschützten Bereich, die vor Sturmfluten schützen sollen, hätten gegenwärtig jedoch keine rechtliche Grundlage, aufgrund derer sie verpflichtend für Eigentümer\*innen sein könnten. Jegliche Initiative in diese Richtung kann derzeit somit nur aus privatem Anstoß erfolgen. (von Lieberman 2011: 294) Ein Gebot des hochwasserangepassten Bauens hätte wahrscheinlich gravierende Folgen, da weite Teile der Ufergebiete dann als Risikogebiet eingeschlossen würden und somit viele Gebäudeinhaber\*innen betroffen wären. Eine Umsetzung im Bestand wäre äußerst aufwendig, im Neubau würde eine solche Regelung ebenfalls kostentreibend wirken. (Ast/Niemann 2020)

## 6.2 Ästuarweite Optionen

Als ästuarweit zu verfolgende Strategien sind heute drei grundsätzlich denkbare Varianten bekannt. Diese werden in einer Übersicht dargestellt und können so miteinander verglichen werden. Teilweise werden sie in den offiziellen Plänen bzw. Strategien der Länder erwähnt, teilweise nur in der Fachliteratur.

Unterschiedlich ist bei den drei Strategien die Positionierung der Maßnahmen innerhalb des Ästuars, um eine Schutzwirkung zu entfalten. Hiernach lassen sich drei mögliche Raumtypen einteilen: Punktuelle, lineare oder flächenhafte Strukturen des Küstenschutzes.

Verschieden ist auch der jeweilige Umgang mit den Dynamiken der Naturkräfte. Dieser lässt sich in eine eher „harte“ (bei der den Kräften entgegengewirkt wird und sie abgewehrt werden) oder „weiche“ (bei denen sie abgepuffert oder genutzt





Abb. 52 Ausprägung und mögliche Nutzungsformen in einem eher weichen (links) und harten (rechts) Küstenschutzsystem, collagenartige Darstellung

Abb. 53 Übersicht über die in dieser Arbeit vorgestellten Maßnahmenoptionen

Maßnahme	Raumtyp	Standort	Hart/ Weich	In Plan?	Neue Strategie?	Ökologische Folgen	Investitions- art und -höhe	Zeit- horizont
<b>Option 1: Deicherhöhungen (► Kapitel 6.2.1)</b>								
<b>Optimiertes Erhöhen der Deiche</b>	Linear	Entlang der gesamten Tideelbe	Hart	Ja (Generalpläne, Drucksache HH)	Nein	Moderat	Dauerhaft, moderat	Zeitnah
<b>Multifunktionale Superdeiche</b>	Linear	Streckenweise ent- lang der Tideelbe	Hart	Nein	Teilweise	Moderat	Dauerhaft, hoch	Mittelfristig
<b>Option 2: Sturmflutpolder (► Kapitel 6.2.2)</b>								
<b>Deichrückverlegungen</b>	Flächig	Ausgewählte Räume	Weich	Nur Vorschlag (Drucksache HH, informelle Dokumente)	Ja	Positiv	Dauerhaft, hoch	Mittelfristig
<b>Kontrollierte Deichöffnungen</b>	Flächig	Ausgewählte Räume	Weich	Nur Vorschlag (Drucksache HH, informelle Dokumente)	Ja	Positiv	Dauerhaft, hoch	Mittelfristig
<b>Überströmbare Deiche</b>	Flächig	Ausgewählte Räume	Weich	Nur Vorschlag (Drucksache HH, informelle Dokumente)	Ja	Positiv	Dauerhaft, hoch	Mittelfristig
<b>Option 3: Bauwerk in der Mündung (► Kapitel 6.2.3)</b>								
<b>Sperrwerk</b>	Punktuell	Elbmündung	Hart	Nur Vorschlag (Drucksache HH)	Ja	Kritisch	Einzelinvesti- tion, hoch	Langfristig
<b>Damm mit Schleusen</b>	Punktuell	Elbmündung	Hart	Nur Vorschlag (Drucksache HH)	Ja	Kritisch	Einzelinvesti- tion, hoch	Langfristig
<b>Künstliche Inseln in der Mündung</b>	Punktuell	Elbmündung	Weich	Nein	Ja	Positiv	Einzelinvesti- tion, hoch	Langfristig

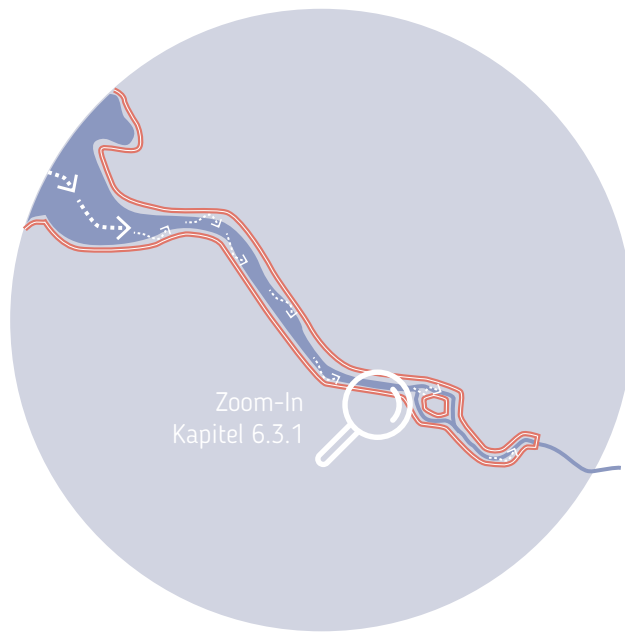


Abb. 54 Wirkweise der Option 1

werden) Ausprägung kategorisieren, wie in Abb. 52 collagenartig dargestellt ist.

Der zeitliche Rahmen, in dem die Strategien implementiert werden könnten, ist ebenfalls unterschiedlich. Vorgehensweisen, welche der heutigen Anpassungsstrategie der Deicherhöhungen entsprechen, werden bereits umgesetzt, während punktuelle Großinvestitionen, die einen Strategiewechsel bedingen, zeitlich am weitesten entfernt liegen.

Wichtig ist, dass sich die einzelnen Optionen sich gegenseitig nicht prinzipiell ausschließen. Im Gegenteil müssen sie sogar mit größter Wahrscheinlichkeit kombiniert werden, um einen kompletten Schutz sicherzustellen und auf die lokalen Gegebenheiten angemessen zu reagieren. Wie genau eine derartige Kombination aussehen kann, muss dann mittels hydrodynamischer Modelle simuliert werden, um die optimale Variante zu finden. (Thorenz 2020)

### 6.2.1 Option 1: Deicherhöhungen

Das weitere Erhöhen der Deiche entspricht der momentan verfolgten Strategie der drei Anliegerländer. Die linearen Erdbauwerke, die bereits heute bestehen, werden hiernach in ihrem Bau so ausgelegt, dass eine Nacherhöhung möglich ist. (Ast/Niemann 2020)

Diese Vorgehensweise bildet seit dem Wechsel von Warften zum flächenhaftem Schutz vor vielen Jahrhunderten das Kernelement des Küstenschutzes.

Trotz – oder vielleicht sogar wegen – ihrer Monofunktionalität sind die Deiche durch ihren immer weiteren Ausbau ein in großem Maße prägendes Element der Marschlandschaft. Sie haben dabei durchaus räumliche Qualitäten inne, die sich produktiv nutzen lassen. (IBA Hamburg 2011: 34) Sie lassen auch im Hinterland zu, dass sich die Wasserlandschaften erahnen lassen und wecken so Neugierde unter anderem bei Spaziergänger\*innen. Zudem können sie als Aussichtspunkte fungieren und eröffnen durch die erhöhten Standpunkte neue Blickperspektiven. Dieses Vorgehen ermöglicht, die Deiche stärker in das Netz der regionalen Landschaftsinfrastruktur (siehe Kapitel 3.3.1) mit einzubeziehen und sie somit auch landschaftlich-funktional deutlich zu qualifizieren. Hierdurch wird unter anderem auch den Erholungs- und Freizeitbedürfnissen der Einwohner\*innen der Region verstärkt Rechnung getragen.

Momentan wird seitens der verantwortlichen Stellen kein Anlass gesehen, dieses System des Schutzes und der Anpassung zu verlassen (Ast/Niemann 2020) Das weitere Verfolgen dieser Strategie bedeutet neben einem Sicherstellen des Schutzes jedoch auch, dass eine natürliche

„Technisch ist alles möglich. Wir können noch sehr viel höher bauen.“

(Simon/Nohme 2020)

Anpassung an steigende Meeresspiegel weiterhin nicht stattfinden kann. Das Hinterland ist durch die Eindeichung, welche weiter verstärkt und immer massiver ausgestaltet wird, vom Sedimentationsprozess abgekoppelt und wird sich nicht mit erhöhen. (Stokman et al. 2009: 89)

In technischer Hinsicht ist die Strategie des weiteren Erhöhen der Schutzbauwerke in größerem Maße unkompliziert weiter verfolgbar. Die Stellen des Küstenschutzes verweisen hier beispielsweise auf die Niederlande: Während die meisten Uferbereiche im Elbeästuar ungefähr bei 0 m ü.NN liegen, befinden sich dort weite Landstriche über fünf Meter unter dem Meeresspiegel und werden den-

noch effektiv durch Deiche geschützt, was zeigt, dass noch ein großer Spielraum vorhanden ist. (Simon/Nohme 2020) Bei einer Höhe des Deiches von 8 bis 10 m über dem Gelände entspräche eine Erhöhung um weitere 1 bis 2 m lediglich knapp 20% der Deichhöhe. Dies ist vergleichsweise wenig für ein derartiges Bauwerk und daher kein technisches Hindernis für eine Anpassung. (Thorenz 2020)

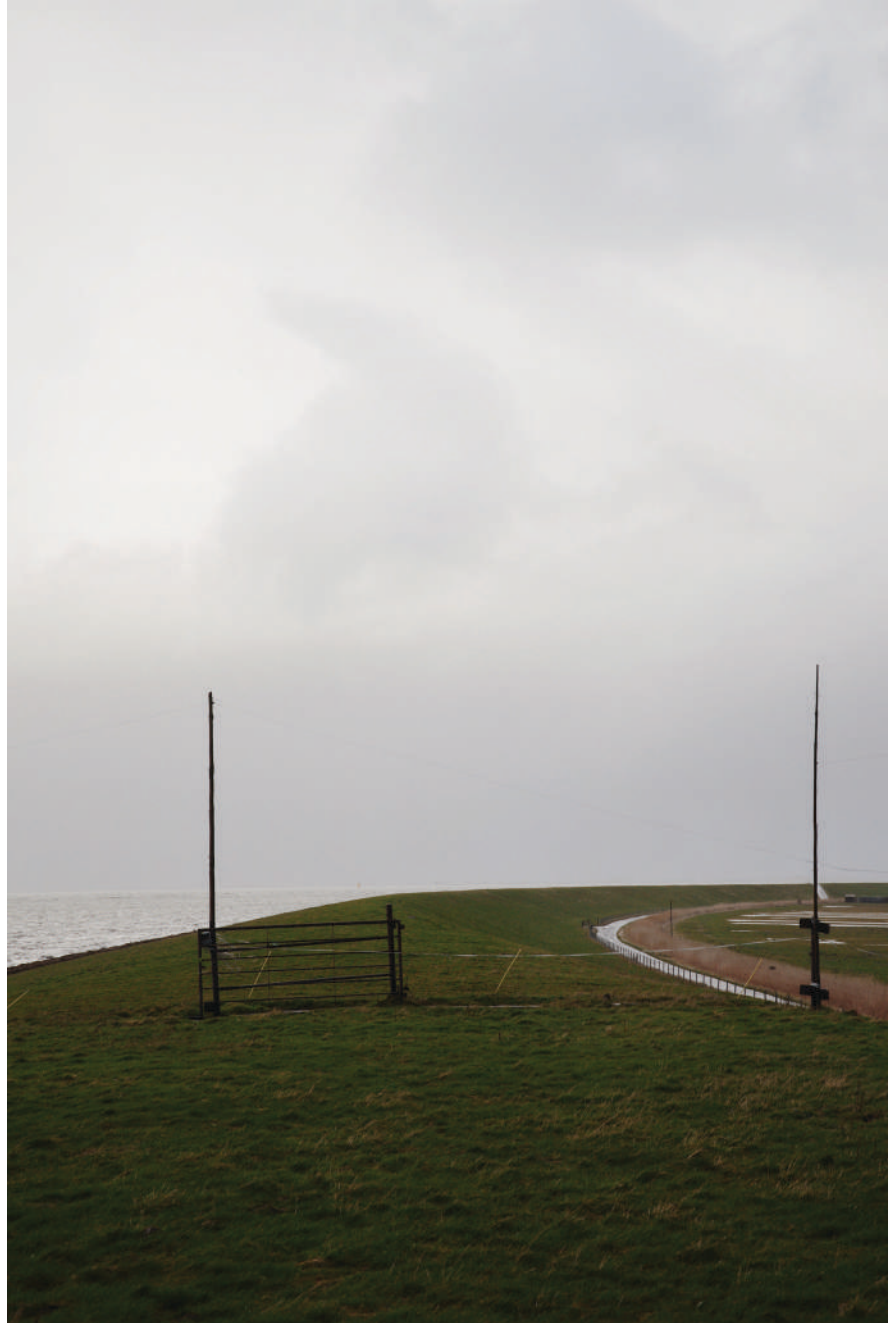
Wie weit sich Deiche erhöhen lassen, ist real dennoch von mehreren Parametern abhängig (Thorenz 2020): Einerseits sind hier die gegebenen räumlichen Möglichkeiten zu nennen, da bei einer Erhöhung auch der Deichquerschnitt und somit der Bedarf an Flächen steigt. Andererseits gilt es auch auf der baulich-technischen Seite Aspekte wie den Umgang mit der Stabilität des Untergrundes zu beachten.

#### *Schwierigkeit: Flächenbedarf*

Die Gebiete entlang der Tideelbe, in denen Deicherhöhungen vorgenommen werden müssten, sind sehr verschieden strukturiert und bieten daher unterschiedlich große Flächenreserven für Deichverbreiterungen. Besondere Herausforderung sind hier die Teilabschnitte in urbaneren Bereichen. Bereits eine Erhöhung der Deiche um 2 – 3 m unter Beibehaltung der Neigung und Radien der Bauwerke würde dort zu großen Schwierigkeiten führen. Auf der Binnenseite müsste dann Bebauung entfernt werden. (Ast/Niemann 2020) Verschärft wird das Problem dadurch, dass weite Teile der Gebiete außendeichs Naturschutzgebiete sind, deren Inanspruchnahme ebenfalls schwierig wäre. Dies müsste an anderer Stelle ausgeglichen werden, wodurch ein weiterer Flächenbedarf entstünde, dem eine geringe Verfügbarkeit gegenüber steht. (Thorenz 2020) In diesen dichtbesiedelten Gebieten könnte hier gegebenenfalls eine Lösung erreicht werden, indem anstatt Deichen vermehrt senkrechte Bauwerke errichtet werden (Thorenz 2020), wobei dann über Fragen, wie die Integration in Stadt- und Landschaftsbild, nachzudenken wäre.

#### *Schwierigkeit: Materialbedarf und Wirtschaftlichkeit*

Neben der Frage des begrenzten Raumes stellt sich ab einem gewissen – jedoch noch weit entfernten – Punkt zudem die Frage, ob ein weiteres Erhöhen der Deiche die wirtschaftlichste Lösung ist. (Simon/Nohme 2020) Zum technischen Aufwand



**Abb. 55** Auch im Sturmflutfall sind die Deiche weiterhin in der Lage, das Hinterland zu schützen, wie hier bei Otterndorf

kommt hier hinzu, dass die Beschaffung von Klei, des Marschbodens, welcher für Erddeiche primär verwendet wird, nicht mehr unbegrenzt möglich ist. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass viele Gewinnungsgebiete unter Naturschutz stehen. Es müssen raumordnerische Festlegungen getroffen werden, um weiterhin genügend Baumaterial beschaffen zu können. (Ast/Niemann 2020)

#### *Möglichkeit: Vorlanderhöhung als (Teil)lösung*

Eine Möglichkeit, den Deich zu schonen und ihn selbst gleichzeitig weniger erhöhen zu müssen, ist, das Deichvorland zu erhöhen. Dies könnte



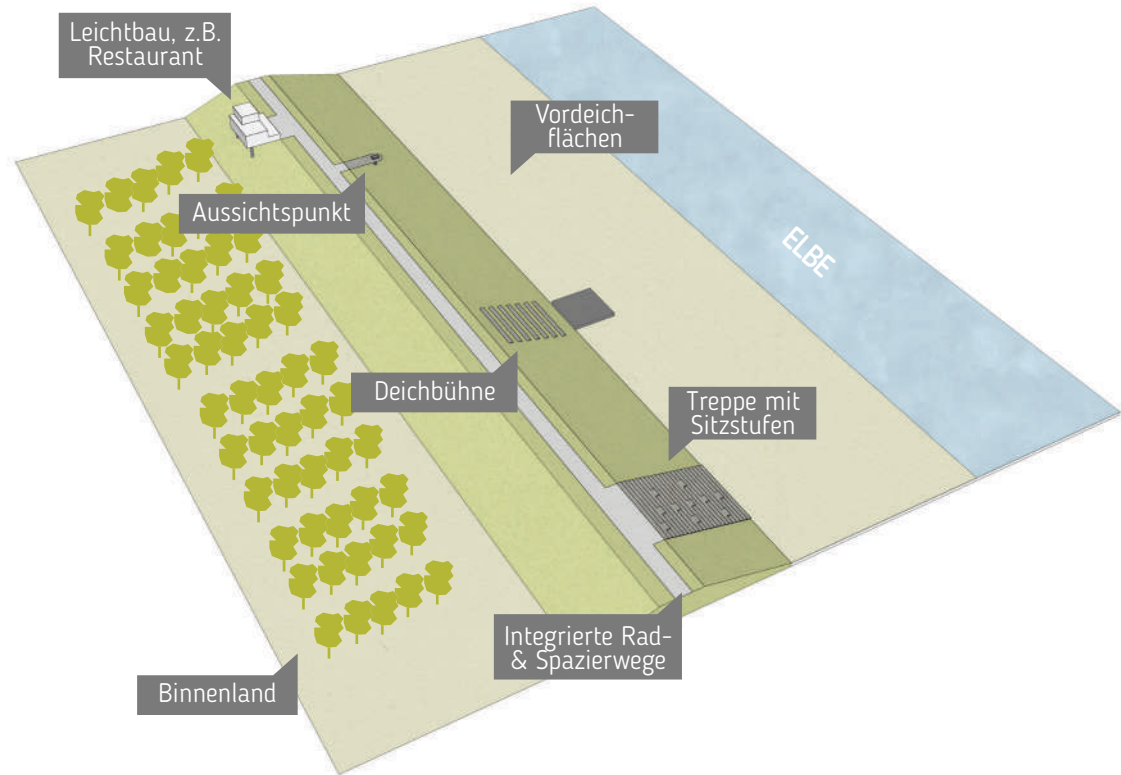


Abb. 56 Prinzipienhafte Darstellung unterschiedlicher Optionen, Deiche multifunktional zu gestalten

auch durch den Eintrag von Sedimenten durch die Tidedynamik geschehen. Die Wellen würden durch ein höheres Vorland gebremst und den Deich mit weniger Energie treffen sowie niedriger auflaufen. (Ast/Niemann 2020) Auch hier würde sich jedoch gegebenenfalls ein Konflikt mit dem Naturschutz der Vorländer einstellen. (Thorenz 2020)

#### *Möglichkeit: Multifunktionalität*

In verdichteten Bereichen, vor allem in Hamburg, wird es angesichts der Flächenknappheit immer wichtiger werden, die Deiche stärker multifunktional zu gestalten. Vielerorts besteht hier noch

ein großes Potential für Aufwertungen der Deiche, selbst eine Begehbarkeit ist an zahlreichen Stellen heute nicht gegeben. (Stokman 2020)

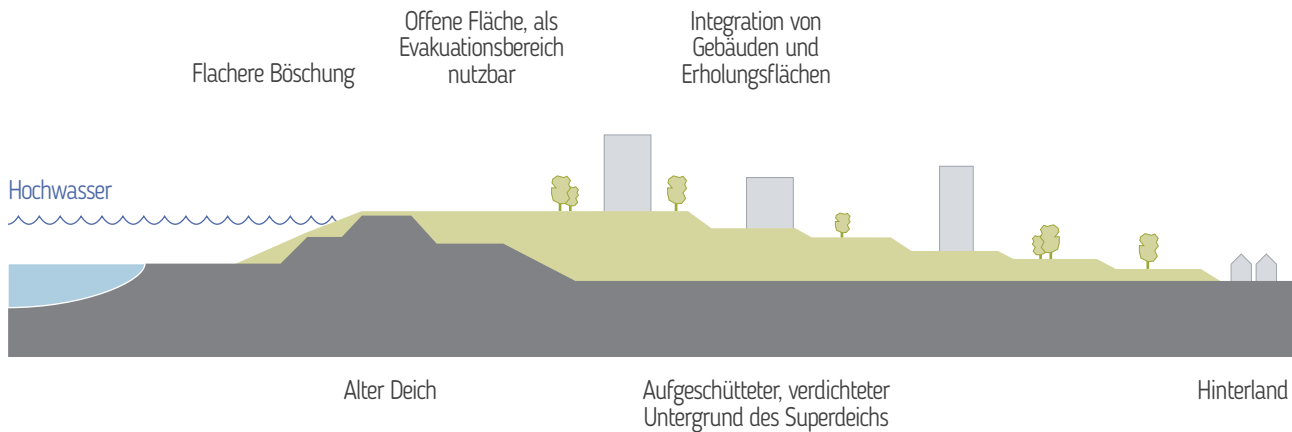
Denkbare Funktionen und Ausprägungen von Deichen, die über den reinen Schutz hinaus gehen und teilweise bereits heute schon erprobt werden, umfassen eine skulpturale Bauform, die Integration von Spazier- und Radwegen, die Einbeziehung von Wohnnutzungen am und in den Deich, extensive Landwirtschaft in Form von Wiesen- und Weidenutzung sowie das Schaffen von Aussichtspunkten (IBA Hamburg 2008: 135).

Neben gesteigerten stadträumlichen und land-

Abb. 57, 58 Skulptural gestaltete Hochwasserschutzanlage Niederhafen (Hamburg)







**Abb. 59** Bauweise eines Superdeichs (Beispiel aus Tokio, Arakawa River)

schaftlichen Qualitäten ist so auch eine weitere wirtschaftliche Nutzung der immer weitere Flächen in Anspruch nehmenden Deiche möglich. Auch in der Innenböschung der Deiche wäre Raum für weitere Funktionen denkbar, beispielsweise als Stall oder Lagermöglichkeit. Grundlage dieses Vorgehens muss jedoch immer sein, dass die Sicherheit durch die Multifunktionalität nicht beeinträchtigt wird. Hierzu sollten zusätzliche Baukörper entfernbar und beispielsweise auf Stelzen oder Leichtbauweise ausgeführt sein, bei Nutzungen im Deich selber ist der deutlich höhere Instandhaltungsaufwand zu bedenken. Die abschließende Entscheidung über weitere Nutzungen sollte zudem immer bei den Stellen des Küstenschutzes liegen. (Reise 2015: 105–106)

Ein gelungenes Beispiel für die Einbeziehung von Architekt\*innen und die Durchführung von Wettbewerben ist die in der Hamburger Innenstadt gelegene Hochwasserschutzanlage Niederhafen zwischen Baumwall und den Landungsbrücken (vgl. Abb. 57 und 58). Auf 625 m wurde hier nach dem Entwurf von Zaha Hadid Architects eine Promenade errichtet, welche die Treppen zur Stadt hin als zentrales Gestaltungselement auffasst und zur Elbe hin an mehreren Stellen Aussichtspunkte in Form von Amphitheatern schafft. (Mac 2019)

#### *Möglichkeit: Superdeiche*

Eine weitere, radikalere Möglichkeit, die bestehenden Küstenschutzlinien zu stärken und auszubauen wären die sogenannten „Superdeiche“. Sie sind nicht nur höher, sondern mit bis zu 100 m auch deutlich breiter als die bestehenden Deiche. Hier-

durch besteht die Möglichkeit, sie multifunktional auszugestalten und Gebäude, Infrastrukturen oder auch Parkhäuser in den Deichkörper mit aufzunehmen. (Meyer et al. 2010: 136) Auch landschaftliche Nutzungen sind als weitere Funktion auf Superdeichen denkbar. Durch ihre Bauform ist es möglich, die Böschungen sehr flach auszugestalten. Zudem sind sie extrem stabil, da sie auch im Falle eines Überströmens nicht brechen. Das Wasser kann stattdessen langsam ins Hinterland abgeleitet werden. (IBA Hamburg 2011: 130)

Problematisch ist jedoch der große Flächen- und Materialbedarf für einen derartigen Superdeich. Selbst wenn die Fläche beschaffbar wäre, würden Kosten in die Höhe getrieben und aufwendige Verhandlungen mit Grundstückseigentümer\*innen oder gar Enteignungen nötig. (IBA Hamburg 2011: 139) Allein durch ihre Größe kann sich zudem die Integration der Superdeiche in die Landschaft – vor allem in städtischen, verdichteten Bereichen – als schwierig bis unmöglich gestalten. Sollte eine derartige Anpassungsstrategie verfolgt werden, bestünde somit die große Gefahr, dass Gebiete und Bauten von historischem und kulturellem Wert einem Superdeich weichen müssten. (Meyer et al. 2010: 137)

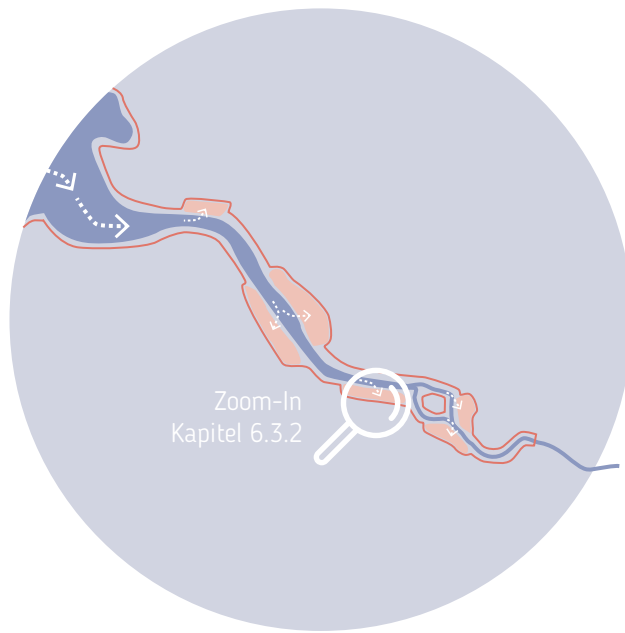


Abb. 60 Wirkweise der Option 2

### 6.2.2 Option 2: Sturmflutpolder

Eine weitere mögliche Strategie für die Zukunft ist das Schaffen bzw. Wiedereinrichten von Polderflächen, die als Puffermöglichkeit dienen. Eine Sturmflut kann in diese Bereiche einströmen und ihre Energie so gedämpft werden. Zum Einstauen von Wasservolumen aus Sturmfluten kommt die Möglichkeit hinzu, das Wasser aus den künftig stärker ausfallenden Regengüssen schwammartig aufnehmen und dann zeitlich versetzt wieder abgeben zu können (Reise 2015: 129).

Eine größere Effektivität ergibt sich jedoch erst bei der Anlage von mehreren Poldern, die insgesamt eine relativ große Fläche umfassen. Unter optimalen Bedingungen könnten dann die weiteren Deicherhöhungen aufgrund des Meeresspiegelanstiegs um mehrere Dezimeter reduziert erfolgen. Bei den Pufferflächen würde es sich um Bereiche zwischen der ersten und der zweiten Deichlinie handeln. Letzterer kommt somit eine wichtige Bedeutung zu. In Teilen sind diese zweiten Deichlinien als „Schlafdeiche“ noch vorhanden und können reaktiviert werden. Ihr Zustand ist jedoch vielerorts schlecht, sie sind oft zu niedrig oder sogar abgetragen worden. Dies führt dazu, dass sie an zahlreichen Stellen gezielt wieder neu angelegt werden müssten, wobei auch hier auf eine Multifunktionalität zurückgegriffen werden sollte. Bei neuen Binnendeichen wäre beispielsweise auch

denkbar, ihre Errichtung mit Verkehrswegen auf Dämmen zu koppeln. (Reise 2015: 107–108)

Die Flächen zwischen den beiden Schutzlinien müssen durch die stetige Möglichkeit einer temporären Überflutung angepasst genutzt werden. Hiermit würde ein umfangreicher Eingriff in die Landschaft einhergehen, auch Nutzungskonflikte sind zu erwarten. (von Lieberman 2011: 295–297)

Hiermit könnte auch einher gehen, heute bestehende bauliche Nutzungen entweder zu entfernen oder ihren Bestand durch Ringdeiche zu schützen. Dieses Vorgehen wurde auch beim Beispielprojekt Ruimte voor de Rivier angewandt (siehe Kapitel 5.1.3) und eignet sich primär als Strategie für dünner besiedelte, ländliche Bereiche. (Ast/Niemann 2020)

Eine weitere Option für Bauten auf Pufferflächen ist das Errichten von Warften. Hier lässt sich der gezielte Objektschutz mit ästhetischen Qualitäten verbinden, wie auch das Beispiel Overdiepse Polder zeigt. Problematisch ist jedoch neben den auch hier hohen Kosten, die eventuell durch die Eigentümer\*innen der Gebäude zu tragen wären, der Umstand, dass die Methode im Regelfall nur bei Neubauten anwendbar ist. (von Lieberman 2011: 297).

„Ist es möglich, den Küstenschutz als ein flexibleres System zu denken, welches dann eine andere Art von Umgang mit der Dynamik als nur einen hart verbarrikadierten Deich verfolgt? Dies wäre eher etwas Gestaffeltes, mit mehreren Linien, wo es auch Flutpolder und so weiter gibt, aber dafür bräuchte man natürlich sehr, sehr große Flächen, sodass das dann wirklich eine große Herausforderung ist.“

(Stokman 2020)

Als Standorte für Maßnahmen zur Polderflächenschaffung kommen in erster Linie diejenigen Bereiche in Betracht, die durch das Forum Tideelbe ausgemacht wurden. Hierzu stellt die Hamburger Bürgerschaftsdrucksache von 2012 fest: „Die Fluträume können Synergien mit dem Schutz vor Sturmfluten leisten, wenn Aufweitungen des Flusslaufs genügend Fläche und Sturmflutvo-

## AUSGESTALTUNGSOPTIONEN FÜR POLDERFLÄCHEN

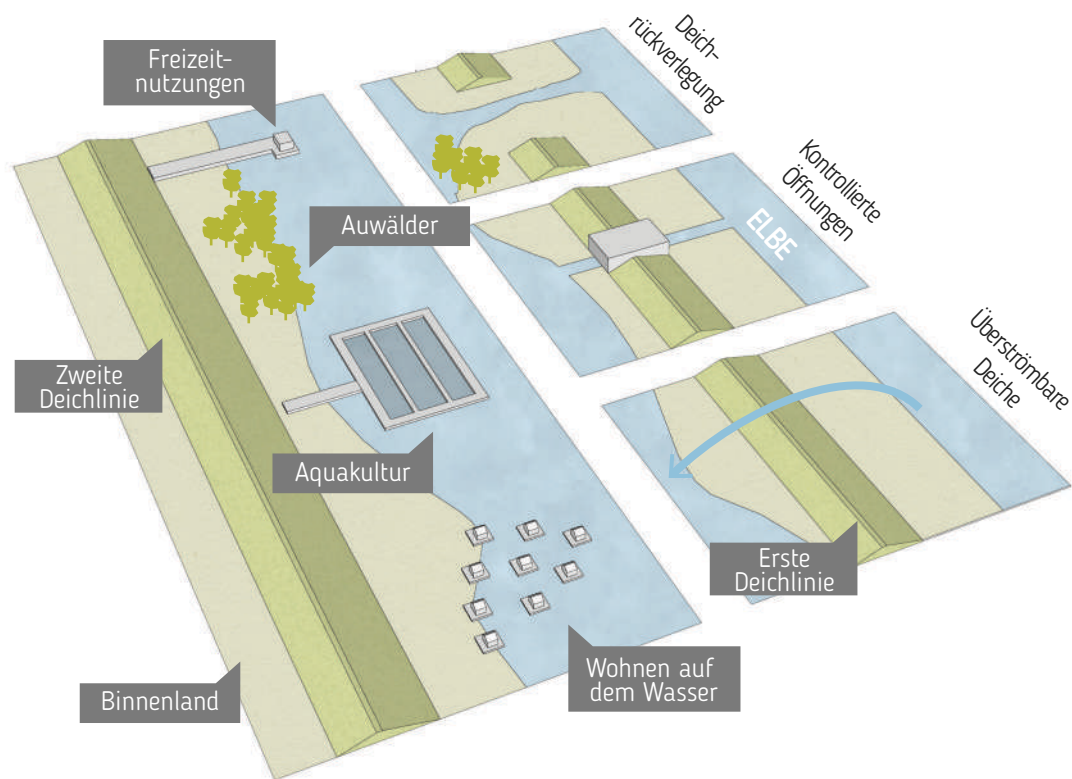


Abb. 61 Prinzipienhafte Darstellung verschiedener Möglichkeiten, Polderflächen anzubinden und zu nutzen

lumen umfassen“ (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14)

Der Fokus des Forum Tideelbe liegt hier bisher jedoch auf dem Tidegeschehen im Normalzustand, welches gedämpft werden soll. Eine Verbesserung für den Hochwasserschutz als Alternativstrategie zu Deicherhöhungen wird hier nicht verfolgt. (Simon/Nohme 2020)

In keinem Fall würde eine derartige, flächenhafte Schutzstrategie bedeuten, generelle Rückdeichungen vorzunehmen oder das Land völlig ungesteuert einer freien Dynamik zu überlassen. Denkbar ist vielmehr ein kontrolliertes Vorgehen, nach dem unter Ausnutzung neuer technischer Möglichkeiten und präziser Vorhersagen bestimmten Räumen temporär und gesteuert eine Puffer- und Einstaufunktion zukommt. (Stokman 2020) Ein Vorteil durch das Einströmen von Wasser kann hierbei auch darin bestehen, dass wieder Sediment in die Flächen eingebracht wird und sich das Land somit zumindest bis zur zweiten Deichlinie hin wieder mit dem Meeresspiegel erhöhen kann.

(Ast/Niemann 2020)

### Verschiedene Baumöglichkeiten

Konkret könnte ein derartiges Schaffen von Sturmflutpoldern auf unterschiedliche Art und Weise geschehen (vgl. Abb. 61).

#### 1. Rückverlegung von Deichen

Bei der Deichrückverlegung werden bestimmte Teile der Deichlinie entfernt, um diese insgesamt zu verkürzen. Hierdurch entstehen neue Vorlandflächen, die nicht mehr vom Deich geschützt sind und in die sich die Sturmflutwelle ausbreiten kann. Die Herstellungskosten sind zwar hoch, durch die verkürzte Deichlinie lassen sich jedoch Instandhaltungskosten sparen. (von Lieberman 2011: 297) Ein Beispiel für eine bereits erfolgte Deichrückverlegung im Elbeästuar ist das Projektbeispiel Kreetzand (vgl. Kapitel 5.3).

#### 2. Kontrollierte Öffnungen

Im Rahmen von kontrollierten Öffnungen würde die Hauptdeichlinie ins Hinterland verlegt. Die alte Deichlinie bleibt weiterhin bestehen und wird um Flutpolderklappen ergänzt. Diese können





**Abb. 62** Apfelplantage bei Hamburg-Moorburg. Zahlreiche der als Polder in Frage kommenden Flächen werden heute durch den Obstbau genutzt, wodurch Konflikte äußerst wahrscheinlich wären.

bei einer Sturmflut geöffnet werden, um beim höchsten Wasserstand den Polder gesteuert zu fluten. (IBA Hamburg 2011: 152)

### 3. Überströmungssichere Deiche

Als dritte Möglichkeit könnten auch die Deiche entlang der gegenwärtigen Linie bestehen bleiben, aber in einer Form ausgestaltet werden, dass sie einer Überströmung standhalten. Das Wasser würde dann im Extremfall über sie hinweglaufen, ohne dass es zu einer Erosion der Rückseite kommt, was momentan der Fall wäre. (Ast/Niemann 2020)

#### *Schwierigkeit: Effektivität*

Ein großes Hindernis für die Implementierung von Pufferflächen als Hochwasserschutzstrategie ist die Fraglichkeit ihrer Wirkung.

Ein Beispiel für das erfolgreiche großflächige Schaffen von Sturmflutpoldern, die im Zusammenspiel einen merklichen Entlastungseffekt ermöglichen, ist das Ruimte voor de Rivier-Programm. Bei dessen Betrachtung ist jedoch stets zu beachten, dass es in erster Linie auf Binnenhochwasser abzielte und sich somit nicht direkt mit dem Elbeästuar vergleichen lässt. Im Binnenland, so auch bei Ruimte voor de Rivier, sind die Wassermengen, welche von oben zulaufen, begrenzt. Durch Aufweitungen und Pufferflächen lassen sich regionale Effekte erzielen, die sich entlang des Flusslaufs fortsetzen. Dies kann bei der Abmilderung der Folgen von Regenerereignissen

an der Elbe hilfreich sein.

Im Gegensatz hierzu ist jedoch die Wassermasse, die bei Sturmfluten vom Meer aus in das Ästuar hineindrängt, prinzipiell unendlich. Das Konzept breiterer Querschnitte hat hierdurch keinen vergleichbaren Effekt. (Thorenz 2020) Zu beachten ist auch, dass sich die Bereiche hinter der ursprünglichen Deichlinie bei einer Rückdeichung umso schneller füllen würden, je stärker der Meeresspiegel ansteigt. (Simon/Nohme 2020)

Dennoch gibt es durch verschiedene morphologische Ausprägungen des Flussraums durchaus unterschiedliche Möglichkeiten, wie sich eine Sturmflutwelle über das Ästuar verteilt. Es kann also durchaus zu einer Dämpfung oder Bremsung der Energie kommen. Eine positive Wirkung stellt sich nicht pauschal bei der Schaffung von Polderflächen an allen Orten ein, sondern die exakte Positionierung ist fundamental für eine Effektivität. Das Verwenden hydrodynamischer Modellierungen wäre hier demnach Grundlage für die Bestimmung geeigneter Flächen. (Thorenz 2020)

In jedem Fall würde ein verstärktes Schaffen von Flutraum den Gesamtzustand des Flusses verbessern, da sich die ökologische Qualität erhöhen und eine Abschwächung des Tidal Pumping-Effekts erfolgen würde. (Simon/Nohme 2020)

#### *Schwierigkeit: Flächenbedarf*

In der Hamburger Bürgerschaftsdrucksache von





**Abb. 63** Schwimmende Häuser, wie hier in den Niederlanden, könnten auch auf den Polderflächen installiert werden und so zu einer Mehrfachnutzung beitragen.

2012 wurde festgestellt, dass für das Erzielen eines messbaren Effekts Flächen in einem Ausmaß erforderlich sind, der nicht in Hamburg allein gedeckt werden kann. Für das Verfolgen dieser Strategie ist demnach ein trilateraler Ansatz nötig, da das „Rückdeichungspotenzial [in Niedersachsen und Schleswig-Holstein] sowohl räumlich als auch hinsichtlich seiner Relevanz [als] unvergleichlich höher“ eingestuft wird (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14). Somit stünden hier wieder Abstimmungsaufwände an.

Real sind – zumindest kurzfristig – keine größeren Flächen in der Ästuarregion als Sturmflutpolder verfügbar. Zu den hohen Kosten für den Grunderwerb käme außerdem, dass ansässige landwirtschaftliche Betriebe vor Existenznöten gestellt würden. (Simon/Nohme 2020)

Auf die Umsiedlung von Ortslagen würde bei einem Verfolgen der Strategie grundsätzlich nicht geschaut werden, stattdessen würden schwach oder gar nicht besiedelte Bereiche im Fokus stehen. Dies hängt auch mit dem momentan und in absehbarer Zukunft geringen Problemdruck zusammen, der solch weitreichende Maßnahmen nicht rechtfertigen würde. (Thorenz 2020)

Mit den Nutzungskonflikten einher geht auch eine zu erwartende Problematik durch eine mangelnde Akzeptanz für die Maßnahmen: Eine Bereitschaft zur Verfügbarmachung von Flächen als Sturmflutpolder ist bei vielen Menschen in der Tideelberegion heute noch nicht gegeben,

auch weil das Land zuvor auf mühselige Weise dem Fluss abgerungen werden musste (IBA Hamburg 2011: 155). Besonders im Falle einer kleinen oder nur schwer ersichtlichen Wirkkraft der Flutraumschaffung wäre die Unterstützung der Anlieger\*innen nur äußerst gering (Simon/Nohme 2020).

Die großen Hürden für eine Durchführung von Dynamisierungsmaßnahmen haben sich bereits bei Vorhaben des Forums Tideelbe gezeigt. Die Konflikte mit dem Obstbau an der Borsteler Binnenelbe und mit dem Wassersport an der Dove-Elbe zeigen die Sensibilität bestehender Nutzungen gegenüber weiterer Flächenansprüche auf.

Zusätzlich zu der Akquise und Pflege der Flächen selbst ergibt sich auch die Notwendigkeit eines erhöhten Bau-, Erhöhungs- und Instandhaltungsaufwands an der zweiten Deichlinie, der bei einem derartigen, kaskadierenden System eine große Bedeutung zukäme. Möglichen Einsparungen bei insgesamt niedrigeren Deichen würden diese Mehrkosten gegenüberstehen. (von Lieberman 2011: 295)

#### *Chance: Multifunktionalität*

Wie beim Erhöhen der vorhandenen linearen Strukturen stellt sich durch den Flächenbedarf und die Flächenkonkurrenz auch hier die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer Monofunktionalität. Es sind große Synergien möglich, wenn nicht nur auf die Schutzfunktion abgezielt wird, sondern

die Bereiche, die als Pufferflächen dienen, auch weiteren Nutzen bringen können. Alle in Kapitel 5 vorgestellten Projektbeispiele zeigen den Erfolg einer derartigen Verbindung verschiedener Ziele der Stadt- und Landschaftsentwicklung mit dem Küstenschutz.

Vor allem in der ökologischen Dimension wären deutliche positive Effekte erzielbar: Ziele, die beispielsweise durch den Integrierten Bewirtschaftungsplan Elbeästuar für die Natura2000-Bereiche ausgegeben wurden, ließen sich mittels der Strategie von mehr Polderflächen erreichen. Es wären mehr Flachwasserbereiche und tidebeeinflusste Zonen vorhanden, die als Habitat fungieren und auch die Sauerstoffproblematik abmildern könnten. Auf moorigen Böden könnte zudem CO<sub>2</sub> gespeichert werden, im Gegensatz zur heutigen Entwässerung, die das Treibhausgas freisetzt (Reise 2015: 129).

Den neu vernässten Flächen könnten neben der Ökologie noch weitere Rollen zukommen: Einerseits sind städtebaulich-rekreative Nutzungen zu nennen, wozu Freizeitmöglichkeiten auf dem Wasser und Wassersport oder die Nutzung der Wasserflächen als öffentliche Räume zählen. Gebäude könnten auf Pfählen, Warften oder schwimmend errichtet werden, und so einer Wohn- oder auch Feriennutzung zugeführt werden. Hierdurch bieten sich Möglichkeiten für neue Einkünfte der Landbesitzer\*innen. (Reise 2015: 107)

Andererseits können die Polderflächen auch landwirtschaftlich genutzt werden und so eine erhöhte Produktivität erreichen. Denkbar sind hier zum Beispiel Aquakulturen, welche der Ernährung der Bewohner\*innen der Region dienen könnten und verschiedene weitere amphibisch-aquatische Systeme der Landwirtschaft wie der Anbau von Algen oder Reet. (Stokman 2020)

Die Etablierung einer Multifunktionalität ermöglicht auch im Rahmen dieser Strategie die Einbindung der Küstenschutzvorrichtungen in das Netz regionaler Landschaftsinfrastruktur. Im Gegensatz zur Option des Verstärkens der Deiche kann dies hier nicht nur in linearer, sondern in flächenhafter Ausgestaltung geschehen, wodurch eine größere Bandbreite an Landschaftsnutzungen Raum finden kann. Dieser Mehrwert kann letzten Endes auch dabei helfen, die Akzeptanz der Bevölkerung für diese Form des Küstenschutzes zu erhöhen.

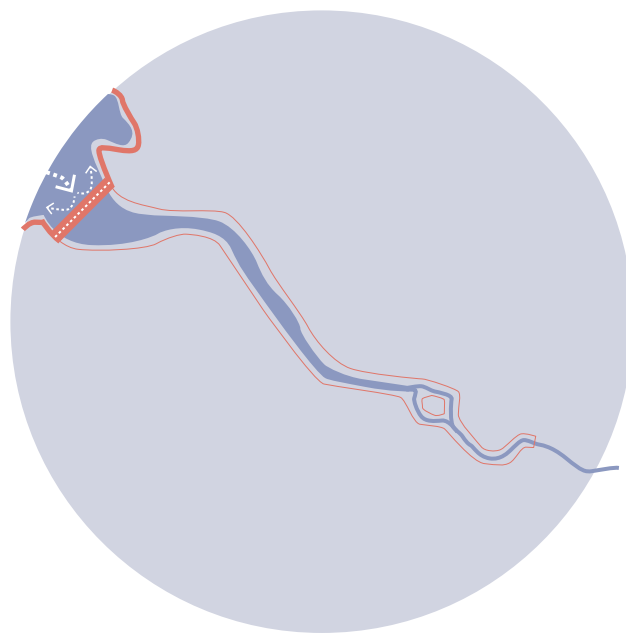


Abb. 64 Wirkweise der Option 3

### 6.2.3 Option 3: Bauwerk in der Mündung

Ein dritter, zu den beiden bereits genannten Strategien konträrer Weg besteht darin, außerhalb der Tideelbe im Mündungsbereich bauliche Maßnahmen zu verfolgen. Die dortige Errichtung eines Bauwerks würde bedeuten, den primären Küstenschutz aus dem Ästuar hinaus zu verlegen und die Dynamik verstärkt auszusperren. Eine Sturmflut würde dann gar nicht mehr ins Ästuar hinein gelassen und die Metropolregion würde nicht mehr direkt mit ihr in Berührung kommen.

Eine Möglichkeit wäre der Bau eines tideoffenen Sperrwerks, dessen Schließung sich auf extreme Ereignisse beschränken würde, während die regulären Tiden weiterhin einströmen könnten. Sollte es nicht zu einer Verlegung des Hamburger Hafens in die Elbmündung kommen, was langfristig durchaus eine Option sein könnte (Reise 2015: 168), müsste die Schifffahrt bis Hamburg weiterhin möglich sein. Damit diese nicht behindert wird, müsste das Sperrwerk jedoch mit sehr großen Abmessungen gebaut werden. Der Konflikt zwischen der Leichtigkeit der Schifffahrt und dem Küstenschutz zeigte sich auch bei der vorangegangenen Sperrwerksdiskussion der 1980er Jahre, in der die resultierenden, erheblichen Beeinträchtigungen der Schifffahrt ein Hauptgrund für die Einstellung

der Planung waren. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 13)

Der Bau eines Sperrwerks in der Elbmündung entspräche dem Vorgehen der Niederlande seit den 1950er Jahren mit mehreren großen Bauwerken wie der Oosterscheldekering (vgl. Abb. 65), aber auch demjenigen Großbritanniens mit der Thames Barrier.

Diese Bauwerke sind jedoch mit der Situation in der Elbe nicht direkt vergleichbar. Der Querschnitt der Elbmündung ist größer als bei den Vorbildern. Hierdurch und durch die weiterhin zu ermöglichende Schifffahrt müsste ein Sperrwerk von einer deutlich größeren Dimension errichtet werden. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14) Eine derartige Struktur gibt es heute weltweit noch nicht, hinzu kommt die besondere Situation durch Tiden und Strömungsgeschwindigkeiten, an die sich der Bau anzupassen hätte. (Ast/Niemann 2020)

Ein bedeutender Vorteil durch ein Sperrwerk wäre dennoch die Möglichkeit, auf große Teile der Deiche entlang der Tideelbe verzichten zu können oder sie zumindest nicht weiter erhöhen zu müssen, da die Deichlinie stark verkürzt wäre und nur noch entlang der Nordseeküste verlaufen würde. (Ast/Niemann 2020)

Zur genauen Bestimmung eines Standorts für eine derartige Großinvestition müssten komplexe digitale Modellierungswerkzeuge zum Einsatz kommen, um den Effekt bestmöglich voraussagen zu können. (Thorenz 2020) Für die Positionsbestimmung ist zusätzlich zu beachten, dass Niedersachsen und Schleswig-Holstein von einem Sperrwerk nur profitieren, wenn es direkt im Bereich der Elbmündung errichtet wird. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14) Andererseits potenzieren sich die Kosten mit größerer Breite, hinzu kommen Restriktionen durch Siedlungen und weitere Nutzungen am Ufer (Ast/Niemann 2020).

Die bereits weit fortgeschrittenen Sperrwerksplanungen der 1980er Jahre, welche bis hin zu einem konkreten Bauwerk gingen, nahmen im Gegensatz dazu einen Standort in Hamburg-Finkenwerder in den Blick, welcher heute durch intensivere Nutzungen am Ufer nicht mehr zur Verfügung steht (vgl. Abb. 66). Auch an anderen Stellen auf Hamburger Gebiet ist ein Bau aus dem gleichen Grund nicht möglich. (Bürgerschaft der



**Abb. 65** Das 1986 fertiggestellte Sperrwerk Oosterscheldekering in Zeeland, Niederlande. Ein mögliches Vorbild für die Elbmündung?

Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14)

*Schwierigkeit: Wasserstände vor dem Sperrwerk*

Durch die Errichtung eines Bauwerks in der Mündung wird die Welle einer Sturmflut reflektiert. Dies führt auf der Meeresseite zu erhöhten Wasserständen. Je nach Standort eines Sperrwerks könnte dieser Effekt stärker oder schwächer ausfallen. Eine günstige Positionierung würde somit bewirken, dass dies nur stark abgemindert eintreten würde. (Thorenz 2020)

Mit diesen höheren Wasserständen ginge in jedem Fall die Notwendigkeit einher, die küstenseitigen Deiche in noch größerem Maße zu verstärken und zu erhöhen, um auch in diesen Bereichen die Uferbereiche weiterhin angemessen schützen zu können. (Ast/Niemann 2020) Dies würde neben weiteren Kosten und Flächenbedürfnissen auch dazu führen, dass die Küstenlinie hier weiter verbarrikadiert wird und die Trennwirkung der Deiche steigt.

*Schwierigkeit: Ökologie*

Je größer der Verbau im Stromquerschnitt der Elbe durch ein Sperrwerk ausfallen würde, desto gravierender würde auch die Tidedynamik eingeschränkt (Thorenz 2020). Hierdurch würden sich morphologische Änderungen für das gesamte Ästuar ergeben. Da die Biosphäre der Tideelbe auf das Wechselspiel von Ebbe und Flut angewiesen ist, könnten starke Eingriffe hier äußerst negative Effekte für Flora und Fauna verursachen. Naturschutzverbände lehnen daher den Bau eines Sperrwerks als die „ökologisch problematischste Lösung“ (NABU Schleswig-Holstein 2019) des



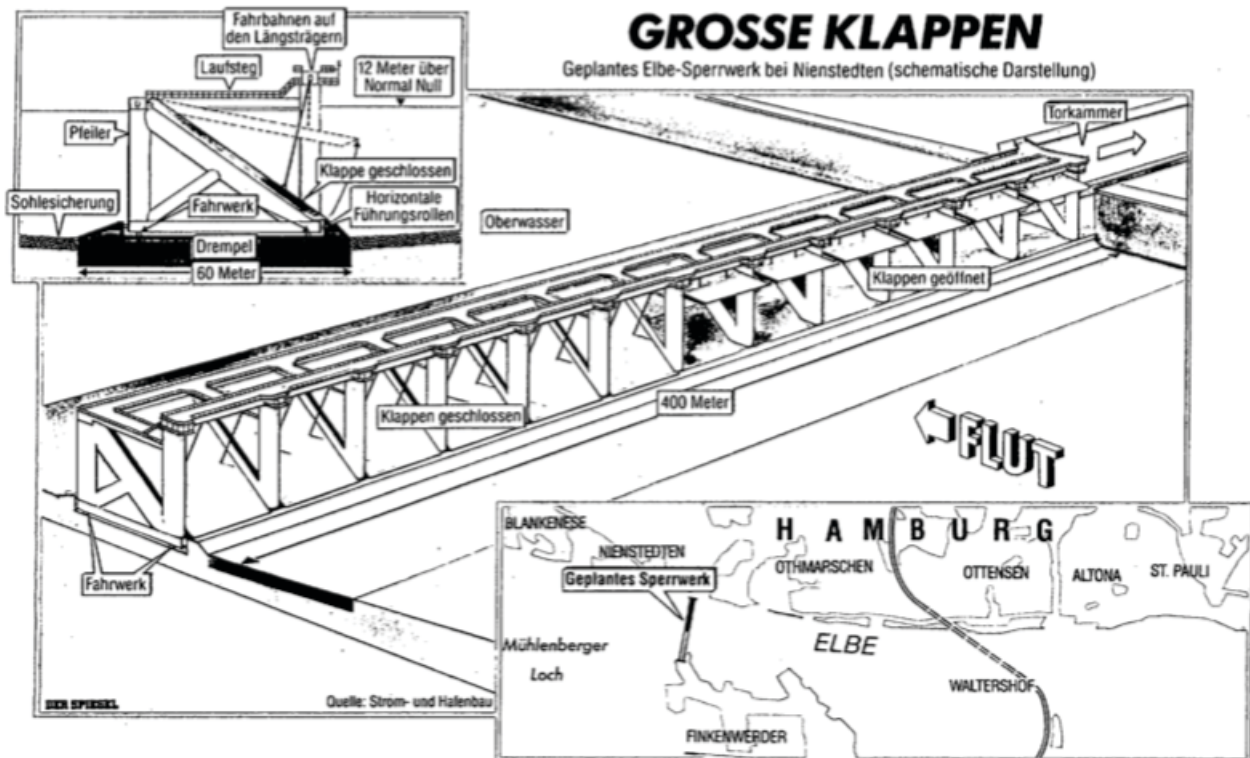


Abb. 66 Wieder verworfene Hamburger Sperrwerksplanungen der 1980er Jahre. Grafik des „Spiegel“ aus dem Jahr 1987.

Problems höherer Sturmflutwasserstände ab.

Zudem sind die Auswirkungen eines Sperrwerks auf das Wattenmeer ungeklärt. Es stellt sich die Frage, ob das Wattenmeer, welches durch den Meeresspiegelanstieg gegebenenfalls in seiner Existenz gefährdet ist, bei einer harten Ausgestaltung der direkt an der Küste konzentrierten Schutzvorrichtungen untergehen könnte, wozu Reflektionen von Flutwellen oder eingeschränkte Tidebewegungen beitragen könnten. (Stokman 2020).

*Schwierigkeit: Kosten und Administrative Abstimmung*

Durch die Betroffenheit aller Bundesländer müssten zumindest diese drei Akteure eine Abstimmung und Einigung über den Bau bewältigen. Hierbei bestehen durchaus unterschiedliche Interessenlagen. Da der Deichbau in dicht besiedelten Bereichen deutlich teurer ist, könnte vor allem für Hamburg somit früher ein Punkt erreicht sein, an dem die Verantwortlichen eine Sperrwerkslösung dem weiteren Erhöhen von Deichen vorziehen. (Ast/Niemann 2020)

Gleichzeitig ist es jedoch äußerst wahrscheinlich, dass ein derart veränderter Küstenschutz nicht mehr durch Städte oder Bundesländer allein bewältigt werden könnte und wohl eine nationale Aufgabe wäre (Stokman 2020). Ein Bauwerk in der Mündung würde etliche Milliarden Euro kosten. Vor diesem Hintergrund müsste durch alle Beteiligten eine Kosten-Nutzen-Rechnung gegenüber Deicherhöhung oder anderen Strategien durchgeführt werden, bevor eine derart teure Einzelinvestition getätigt wird. (Ast/Niemann 2020)

„Im Administrativbereich wären die Schwierigkeiten noch größer als bei der technischen Seite“

(Ast/Niemann 2020)

Die einem möglichen Bau zugrunde liegenden rechtlichen Rahmenbedingungen und Fragestellungen wären zudem äußerst komplex. Da nicht nur der Küstenschutz, sondern auch die Bundeswasserstraße betroffen wäre, würde sich hier die Frage nach der Zuständigkeit von Akteur\*innen





**Abb. 67** Als Reaktion auf die Sturmflut, welche durch den Hurrikan „Sandy“ ausgelöst wurde, entwickelten WXY Architecture und West8 das Konzept der „Blue Dunes“, einer Reihe künstlicher Inseln, welche die Metropolregion New York vor Überflutungen schützen könnten.

stellen. Da der Veranlasser in der Regel auch die Verantwortlichkeit als Maßnahmenträger innehat, könnte ein Sperrwerk sowohl als Küstenschutzbauwerk der Länder als auch als eine Anlage in einer Wasserstraße des Bundes betrachtet werden. (Thorenz 2020) In jedem Falle wäre eine langfristige Vorbereitung durch Diskussion und Planung, die Jahrzehnte in Anspruch nehmen, nötig. (Ast/Niemann 2020)

#### *Alternative: Damm oder künstliche Inseln*

Neben einem Sperrwerk bestünden noch weitere Möglichkeiten, den Küstenschutz aus dem Ästuar heraus in die Mündung zu verlegen.

Als ebenfalls langfristig zu verfolgende Alternative zu einem Sperrwerk wurde 2012 durch den Hamburger Senat auch die Errichtung einer mit Deichen verbundenen Schleuse vorgeschlagen. Diese Struktur würde sich leichter an den Meeresspiegelanstieg anpassen lassen und würde den Zugang zum Hamburger Hafen weiterhin ermög-

lichen. (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2012: 14) Auch hier würden sich jedoch die Fragen der Auswirkungen auf die Tidedynamik und die hydromorphologischen Fragen der Tideelbe insgesamt stellen.

Traditionell fungierte das Wattenmeer als natürlicher Schutz für das Ästuar. Hier konnten sich die Sturmflutwellen in der Struktur aus Prielen und Sandbänken abschwächen. Eine weitere Möglichkeit, eine Schutzwirkung außerhalb des Ästuars zu erreichen, wäre folglich, das Wattenmeer in seiner Pufferfunktion zu stärken. Hierzu könnten Maßnahmen wie Sandvorspülungen ergriffen werden. (Schirmer 2018: 368)

Ein Weiterdenken dieser Strategie könnte auch darin münden, künstliche Inseln in der Elbmündung zu schaffen, die neben der Pufferwirkung auch ökologische und touristische Funktionen erfüllen würden. Eine derartige Strategie wird in den Niederlanden und den USA (vgl. Abb. 67) ebenfalls untersucht. (IBA Hamburg 2011: 159)

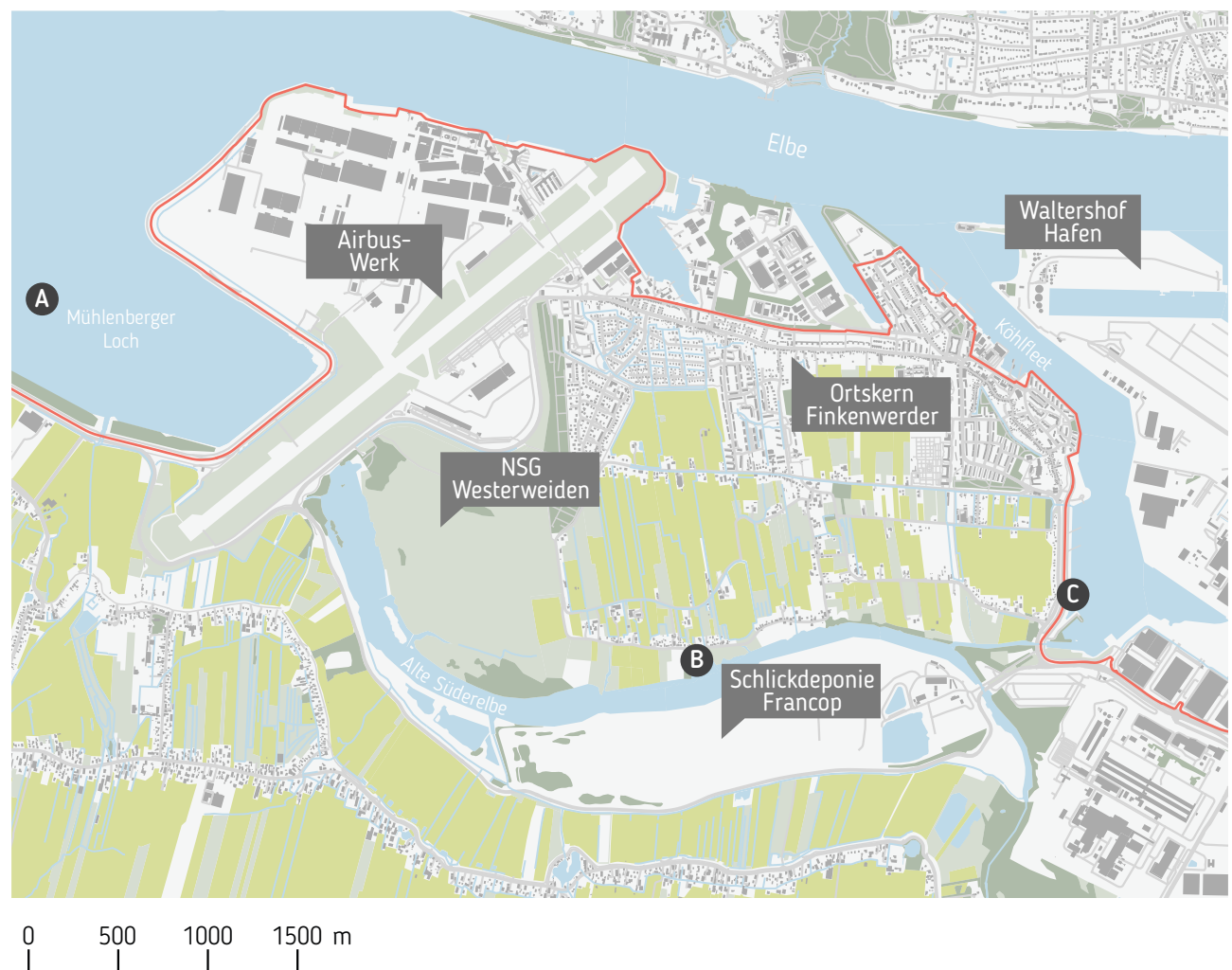
## 6.3 Zoom-In

Anhand eines Zoom Ins soll an einer konkreten Fläche vorgestellt werden, wie die verschiedenen, in Kapitel 6.2 vorgetellten Maßnahmen wirken und konkret baulich bzw. landschaftlich ausgestaltet sein könnten. Die verschiedenen Umgangsprinzipien sollen so illustriert werden. Hierbei ist wichtig, dass es sich nur um eine beispielhafte Szenarienentwicklung handelt, da konkrete Anordnungen der Schutzmaßnahmen durch hydrodynamische Modelle geprüft werden müssten. Welche Maßnahmen umgesetzt werden können und sollten, ist von den sich stetig veränderten Rahmenbedingungen abhängig. Auch wenn der Zoom-In die Option Deicherhöhung einerseits und Polderflä-

chen andererseits getrennt illustriert, bedeutet dies nicht, dass diese beiden Zukunftswege sich gegenseitig ausschließen. Im Gegenteil erscheint es plausibel, dass sie kombiniert implementiert werden. Beiden Optionen sind zudem gemein, dass sie im Sinne einer Landschaftsinfrastruktur (vgl. Kapitel 3.3.1) einen multifunktionalen und interdisziplinären Ansatz verfolgen, auch um das Landschaftsbild positiv zu beeinflussen. Zudem sollen sie hierdurch einen Beitrag dazu leisten, zwischen den unterschiedlichen Dynamiken der Layer (vgl. Kapitel 3.2.1), welche gerade im Areal des Zoom-Ins sehr deutlich werden, zu vermitteln.

Als Fläche für das Zoom-In wurde das Gebiet um die Alte Süderelbe in Hamburg-Finkenwerder ausgewählt. Dieser ehemalige Nebenarm der

**Abb. 68** Übersichtskarte des Zoom-Ins in Finkenwerder. Im Norden die Tideelbe, im Süden der abgetrennte Nebenarm „Alte Süderelbe“. Dazwischen liegt der Ortskern Finkenwerders, welcher nach Westen hin vom Airbus-Werk begrenzt wird.





Elbe wurde nach der Sturmflut 1962 im Zuge von Hochwasserschutzmaßnahmen vom Elbstrom beidseitig abgedämmt. Das Binnengewässer (vgl. Abb. 70) wird für eine Stunde pro Tide über ein Siel mit der Elbe verbunden. (BIOCONSULT 2016: 11) Die Uferbereiche bestehen heute zumeist aus Grünlandflächen, zudem auch aus Röhrichten und Ufergehölzen. Ein ökologischer Wert wird als gegeben, aber entwicklungsfähig gesehen. Beiderseits der Ufer der Alten Süderelbe sind zwei Naturschutzgebiete ausgewiesen. (BIOCONSULT 2016: 31–40).

„Tidebeeinflusste Süßwasserlebensräume, die naturräumlich nur in diesen Übergangsbereichen der Nordsee-Ästuarare vorkommen können, sind dadurch großflächig zerstört worden. Die Alte Süderelbe bietet durch die spezifische Situation in Hamburg die vermutlich einzige Möglichkeit, in diesem Raum großflächig Teilfunktionen solcher Lebensräume wieder herzustellen.“

(BIOCONSULT 2016: 143)

Gleichzeitig weist das Areal um die Alte Süderelbe herum ein Mosaik verschiedener Flächennutzungen auf, darunter Wohnen, Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Obstbau, wodurch sich hier wie unter einem Brennglas die unterschiedlichen Nutzungsansprüche in der Ästuarregion konzentrieren. Dieses Aufeinanderprallen wird in Abb. 68 deutlich. Der Ortskern Finkenwerders wird nach Norden hin vom Elbufer und zwei Häfen begrenzt, im Osten liegt der Köhlfleet, hinter dem die weitläufigen Anlagen des Hamburger Hafens beginnen. Der südliche Teil der ehemaligen Insel wird von Obstbauflächen dominiert, punktuell finden sich Siedlungen entlang der alten Deichlinie. Am Südufer der Alten Süderelbe setzt sich der Obstbau fort, unterbrochen durch die Erhebung der Schlickdeponie Francop, auf welche das Baggergut aus Tideelbe und Hafen verbracht wird. Zwischen Alter Süderelbe und Mühlenberger Loch befindet sich heute die Landebahn des Airbus-Werks, welches Finkenwerder



Abb. 69–71 (von oben nach unten) Von der Alten Süderelbe getrenntes Mühlenberger Loch mit Airbus-Werk im Hintergrund; Grünflächen, das Stillgewässer Alte Süderelbe und Schlickdeponie Francop; Deichlinie am Köhlfleet mit Blick auf die Hafenanlagen in Waltersshof

als Gesamttraum nach Westen hin begrenzt und eine trennende Wirkung entfaltet (vgl. Abb. 69).

Im Kleinen kann in diesem vielfältigen Areal somit ausprobiert werden, wie die ästuarweiten Strategien angewandt werden könnten. Unter anderem könnte die Alte Süderelbe künftig als Pufferfläche fungieren. Dies wird auch durch den Maßnahmenkatalog des Forum Tideelbe abgebildet, wobei Studien hierzu eine Flutung nur bei normalem Tidehochwasser, nicht aber als Pufferfläche bei Sturmfluten betrachten (BIO-CONSULT 2016: 117).

Wird dieser Ansatz weiter gedacht, könnte sich auch eine größere Veränderung des Küstenschutzes und als Resultat der Stadtlandschaft ergeben. Die Flächen ließen sich in großem Maße wiedervernässen und als tidebeeinflusste Areale nutzen. Eine hydrodynamische Wirksamkeit, die technisch

ermittelt werden müsste, vorausgesetzt, könnte hier eine neue, weiche Strategie des Schutzes Anwendung finden. Doch auch die Weiterentwicklung der bestehenden Deichlinie könnte, in Ergänzung oder als Alternativoption, in Finkenwerder stattfinden, was ebenfalls im Rahmen des Zoom-Ins aufgezeigt wird.

### 6.3.1 Optimierte Multifunktionsdeiche

Als eine Handlungsoption ließe sich die bestehende Deichlinie im Rahmen der Notwendigkeiten durch den Meeresspiegelanstieg weiterhin erhöhen. Hierdurch würde auch in Zukunft der Schutz vor Sturmfluten sichergestellt.

Die Küstenschutzlinie in Finkenwerder ist in überwiegendem Maße hart ausgestaltet und umfasst vor allem Spundwände und in geringerem

Abb. 72 Übersicht der Handlungsoption Optimieren der linearen Schutzbauwerke

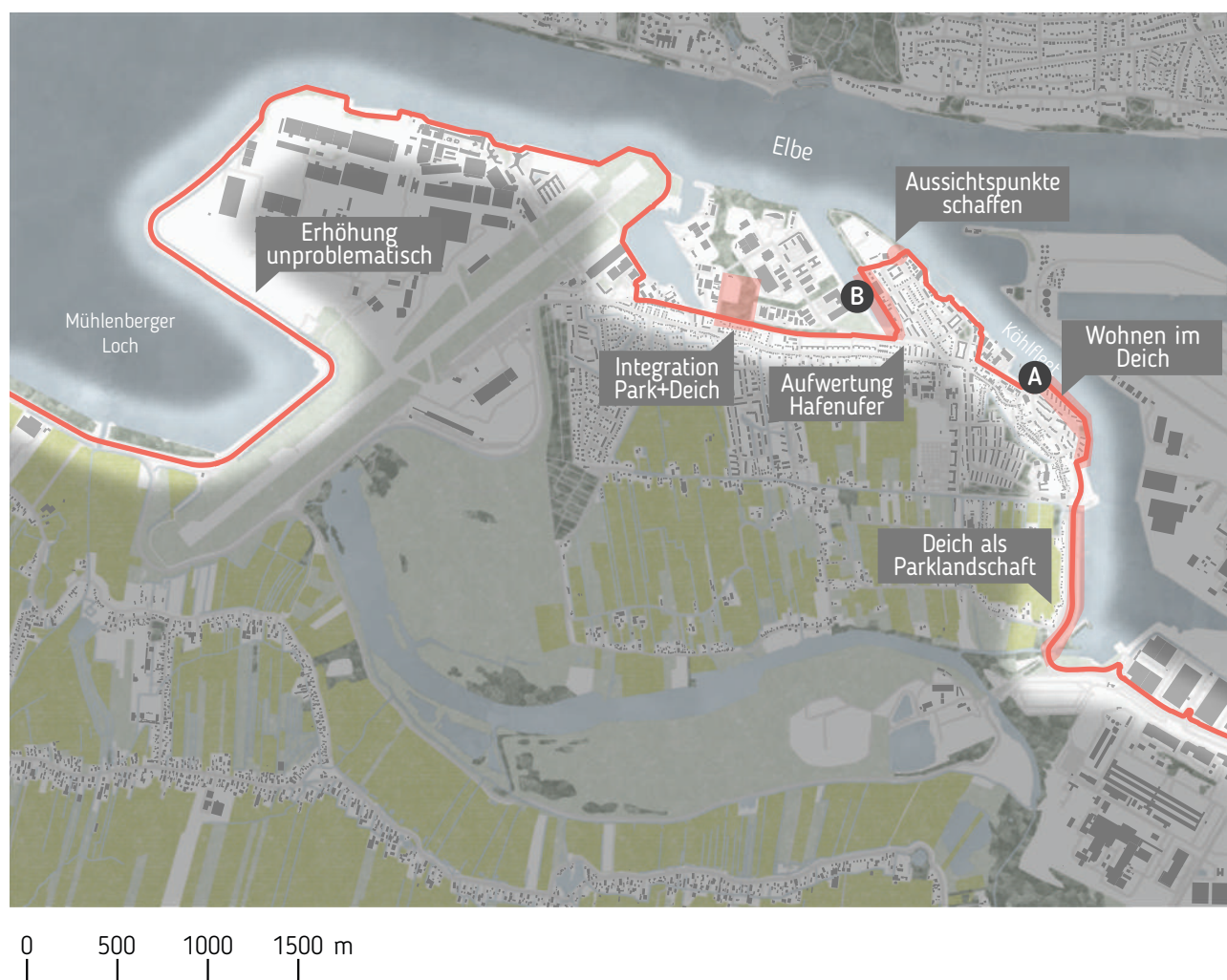






Abb. 73 Möglichkeit eines Superdeichs mit integrierten Wohngebäuden an der Ostseite Finkenwerders



Abb. 74 Möglichkeit einer aufgewerteten Uferzone am Steendieckkanal nahe des Ortskerns Finkenwerders

Maße auch Erddeiche mit Steinschüttungen. An einigen Orten bestehen Möglichkeiten, bis ans Ufer zu gelangen und es ergeben sich Ausblicke auf den Fluss und ans gegenüberliegende Ufer nach Othmarschen und Teufelsbrück. In weiten Teilen versperren jedoch auch Industrie- und Gewerbeflächen den Zugang zum Fluss oder der Uferbereich weist keine größeren Aufenthaltsqualitäten auf.

In den Bereichen des Finkenwerder Ortskerns, in denen Wohnnutzungen und öffentliche Räume bis ans Ufer heran ragen, bestünde die Möglichkeit, das Stadt- und Landschaftsbild aufzuwerten, in dem die Deichlinie bei Erhöhungen attraktiver und multifunktionaler gestaltet wird. Der Rüsckpark könnte in den Deich integriert werden, die Hafenufer skulpturale Bauformen anstatt Spundwänden erhalten. Im Osten der Insel könnte die

Wohnnutzung im Sinne eines Superdeichs in den Küstenschutz integriert werden und ein breiterer Querschnitt somit mit einer Mehrfachnutzung verbunden werden. Hieran anschließend könnten die bestehenden Geh- und Radwege entlang des Köhlfleets auf die Deichlinie verlegt werden, um Ausblicke auf den Hafen zu schaffen.

### 6.3.2 Polderflächen auf der Südseite

Als alternative Handlungsoption würde ein Wiederanbinden der Alten Süderelbe an den Tidestrom fungieren. Hierdurch könnten Uferbereiche als Polderflächen fungieren, in denen sowohl Tideströmungen als auch Sturmfluten einschwingen könnten. An den Uferbereichen, die hierdurch wiedervernässt werden würden, könnten Auwälder als ursprüngliche Vegetati-

Abb. 75 Übersicht der Handlungsoption Schaffung von Polderflächen





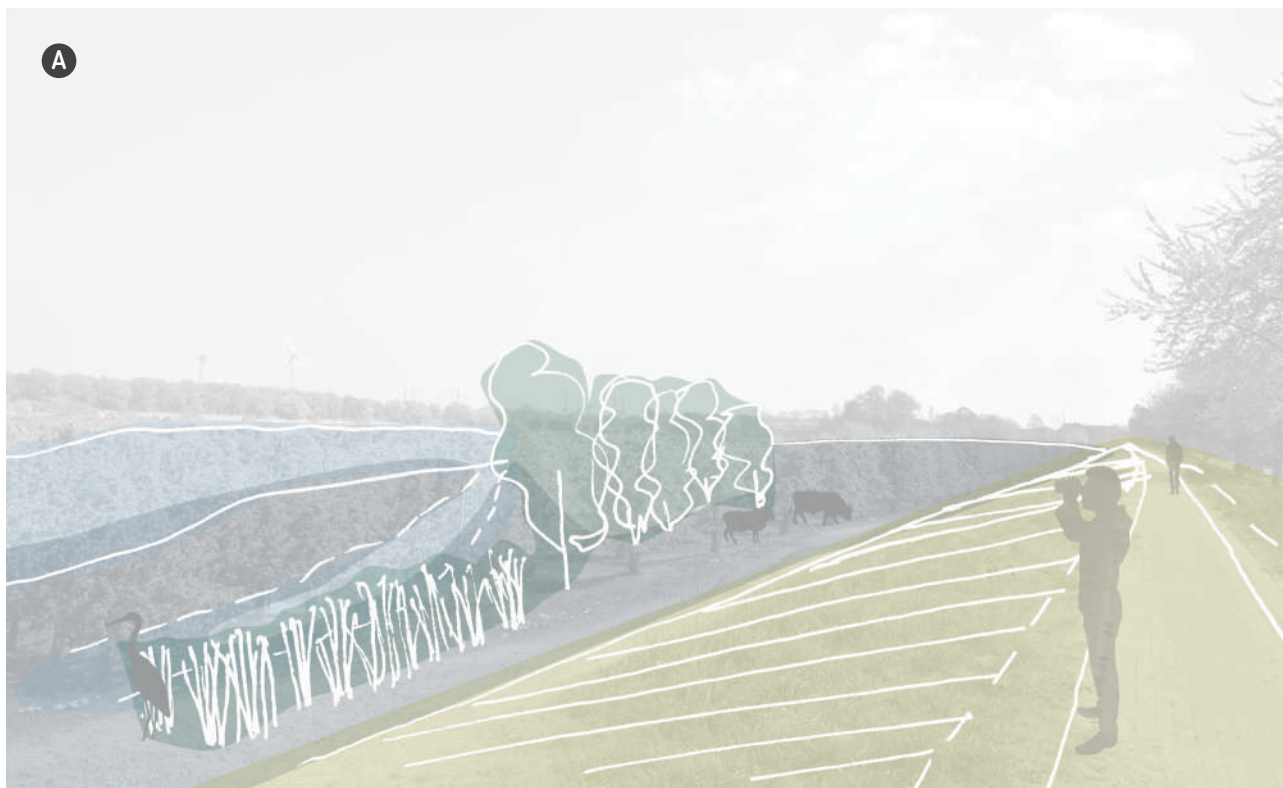


Abb. 76 Möglichkeit der Schaffung von Überflutungspoldern auf landwirtschaftlich genutzten Flächen



Abb. 77 Möglichkeit der Wiedervernässung und Multifunktionalität von Flächen an der Alten Süderelbe.

onsform des Ästuars zurückkehren. Gleichzeitig ließen sich die Polderflächen auch dazu nutzen, das Flutvolumen von Sturmfluten einzustauen und den Pegel somit (bei positiver hydrodynamischer Wirkung) abzusenken. Dies könnte auch technisch gesteuert geschehen.

Die Verbindung mit der Elbe, welche Finkenwerder auch wieder zur Insel machen würde, ließe sich an mehreren Stellen realisieren. Im Westen zum Mühlenberger Loch unter der Airbus-Landebahn hindurch oder alternativ um die Flughafenfläche herum, im Osten entweder zum Köhlfleet oder alternativ auch unter der Autobahn A7 hindurch bis zur Süderelbe in Moorbург (abseits des Kartenausschnitts in Abb. 75).

Durch die stärkere Präsenz des Wassers würde sich der Charakter Finkenwerders jedoch auch stark verändern und andere Nutzungsformen in der Fläche notwendig. Nach Süden hin müsste die bestehende, schlafende Deichlinie reaktiviert werden, sollten nur die unmittelbaren Uferflächen, welche heute als Naturschutzgebiet geschützt sind, vernässt werden. Es bestünde jedoch auch die Möglichkeit, die heutigen Obstbauflächen mit einzubeziehen und eine völlig neue Schutzlinie für den Ortskern nach Süden hin zu errichten. In diesem Falle müsste über alternative Landwirtschaftsformen in den Polderflächen nachgedacht werden, z.B. über Aquakulturen. Auch die Wohnnutzungen, welche punktuell im Areal bestehen, müssten anders vor Überflutungen geschützt werden. Hier würde sich ein Warftenkonzept anbieten.



► Abb. 78 Apfelblüte in Finkenwerder







# 7



**Wie geht es weiter?  
Fazit und Ausblick**

*Die Bachelorthesis setzt sich mit dem Küstenschutz im Elbeästuar und Perspektiven für seine künftige Entwicklung auseinander. Hierbei zeigt sich die komplexe gegenwärtige Struktur, wie auch die Vielzahl an offenstehenden Zukunftswegen, die jedoch von einer großen Unsicherheit über die perspektivisch herrschenden Rahmenbedingungen überschattet werden.*

Abschließend soll daher nun nochmals auf die leitenden Forschungsfragen der Arbeit eingegangen werden, um die Ergebnisse der Arbeit greifbar zusammenzutragen. Zudem werden die Grenzen dargelegt, die sich in der Bearbeitung der Thematik offenbaren und ein Ausblick unter Einbeziehung derjenigen Felder, in denen eine weitere Forschung lohnenswert erscheint, eröffnet.

## **7.1 Beantwortung der Forschungsfragen**

Die vier sekundären, in Kapitel 1.1 aufgeworfenen Fragestellungen konkretisieren und untergliedern die Hauptfragestellung der Arbeit (*Wie kann der Küstenschutz in der Elbeästuarregion angesichts steigender Meeresspiegel und eines erhöhten Risikos durch Sturmfluten zukünftig gestaltet werden?*). Sie dienen daher nun dazu, die Ergebnisse der Forschung zusammenzufassen.

### **Wie ist der Küstenschutz gegenwärtig ausgestaltet und welche Verantwortlichkeiten gibt es?**

Der Küstenschutz im Elbeästuar wird gegenwärtig durch eine geschlossene Schutzlinie in Form von Deichen unterschiedlicher Bauart und Sperrwerken an den Nebenflüssen sichergestellt. Die Schutzfunktion ist heute und in naher Zukunft ausreichend, es bestehen allerdings in jedem Szenario Restrisiken, die sich nicht eliminieren lassen. Prägend für die momentane Ausgestaltung, welche sich über die vergangenen Jahrhunderte entwickelte und somit in großem Maße durch ihre Geschichte erklären lässt, ist aus einer landwirtschaftlichen Perspektive die Monofunktionalität

der Anlagen. Sie wirken daher prägend, aber auch trennend in den Marschgebieten der Ästuarregion.

Die Verantwortlichkeit für den Küstenschutz ist komplex und umfasst unterschiedliche Akteur\*innen. Die Europäische Union sowie die Bundesrepublik als supranationale und nationale Ebene werden in erster Linie im Bereich der Gesetzgebung und des Schaffens sonstiger übergeordneter Rahmen, beispielsweise im Bereich des Naturschutzes, tätig. Hinzu kommt das Beisteuern von Finanzmitteln für den Küstenschutz. Die wesentlichen Entscheidungen zur Strategie und Ausgestaltung werden auf der Ebene der Bundesländer in den jeweils zuständigen Ministerien getroffen. Hierdurch ergibt sich der Umstand, dass die Entscheidungsfindung auf die drei Anliegerländer aufgeteilt ist und keine Stelle zentrale Richtungsentscheidungen treffen kann. Insbesondere die Expert\*inneninterviews zeigten jedoch, dass trotzdem eine Abstimmung der Stellen untereinander stattfindet. Unterhalb der Länder sind bis auf die lokale Ebene in unterschiedlichem Ausmaß weitere Akteur\*innen eingebunden, darunter Landesbetriebe und Deichverbände. Letztere sind durch die ursprüngliche Selbstverwaltung der Deiche durch die Bewohner\*innen der geschützten Gebiete entstanden. Dieses Gesamtsystem der Akteur\*innen ist in dieser Form einmalig und reagiert auf die besondere Struktur der Region.

### **Wo lässt sich zukünftiger Küstenschutz zwischen den Paradigmen „Dynamisieren“ und „Regulieren“ im Umgang mit dem Fluss verorten?**

In der Betrachtung verschiedener Projektbeispiele, aber auch in der Erkundung möglicher Zukunftswege hat sich gezeigt, dass die Paradigmen in „Dynamisieren“ und „Regulieren“ in

allen möglichen Szenarien verfolgt werden müssen und sich nicht gegenseitig ausschließen können.

Ein in der Vergangenheit zu einseitiger Fokus auf die Regulation des Flusses erzeugte hingegen viele Probleme. Sich selbst verstärkende Prozesskomplexe, darunter die Abkopplung des Hinterlandes von der Sedimentierung sowie immer stärkere Strömungen und höhere Wasserstände, prägten einen Kampf, der gegen die Natur geführt wurde. Ein weiteres Zulassen von Dynamik ist daher wichtig, um hieraus auszubrechen und „*Building by Nature*“ (siehe Kapitel 3.3.2) als Möglichkeit und neues Handlungsmotiv zu etablieren.

Es hat sich jedoch auch gezeigt, dass dies nicht das Aufgeben jeglicher Kontrolle und Regulierung der Naturkräfte bedeutet, allein schon durch die Menschenleben und Sachwerte, die in der Region sonst zur Disposition stehen würden. Im Gegenteil ist erst durch ein Zusammenwirken der beiden Paradigmen Dynamisieren und Regulieren eine Partnerschaft mit der Natur und das gleichzeitige Sicherstellen des Schutzes möglich.

### **Wie kann der zukünftige Küstenschutz gestalterisch und technisch aussehen?**

Eine Antwort auf die Frage nach der Zukunft des Küstenschutzes wird je nach Zeitraum, der betrachtet wird, unterschiedlich ausfallen. In den nächsten Jahrzehnten sind die gegenwärtigen Anlagen und hier vor allem die Deiche ausreichend. Zwar besteht an einigen Streckenabschnitten ein Erhebungsbedarf, der jedoch gedeckt werden kann. Ein kurzfristiger Systemwechsel hin zu einer anderen Option, also dem Nutzen von Polderflächen als Puffer oder der Errichtung eines Bauwerks in der Mündung bei gleichzeitigem Zurückfahren des Deichbaus würde deutlich mehr Nachteile als Vorteile bringen. Als Begründung ist zunächst die Wirtschaftlichkeit, aber auch der Flächenbedarf, die Ökologie oder die Akzeptanz seitens der Bewohner\*innen der Region zu nennen.

Nichtsdestotrotz ist es mindestens ebenso wichtig, einen Blick auch ins 22. Jahrhundert und darüber hinaus zu werfen und zu ergründen, welche Notwendigkeiten und Antworten bestehen könnten.

Denkbar scheinen drei verschiedene, kombinierbare Varianten: ein *Weiterbauen der Deiche mit Optimierungspotentialen*, eine *Schaffung von*

*Polderflächen*, was zumindest unter anderen Voraussetzungen im Ausland bereits erfolgreich war, sowie die *Errichtung eines Bauwerks in der Mündung*. Vergleichbare Strukturen für letzteres sind ebenfalls im Ausland bereits existent, auch wenn es sich unter vielen Gesichtspunkten um einen folgeschweren Eingriff handeln würde. Als Ultima Ratio könnte er dennoch notwendig werden.

Nach der Sturmflut von 1962 wurde – rückblickend – überstürzt gehandelt, wodurch sich heute deutlich sichtbare, negative Folgen im Ästuar ergeben haben. Eine Wiederholung bei steigenden Meeresspiegel und Sturmfluten gilt es jedoch zu vermeiden. Ein Vorgehen in Partnerschaft mit der Natur braucht jedoch viel Zeit, wodurch frühzeitig die nötigen Weichen gestellt werden müssen.

### **Was sind Zusammenhänge zwischen der Akteursstruktur der Region und einer veränderten Ausrichtung des Küstenschutzes?**

Dadurch, dass momentan keine genaue Route an Maßnahmen vorgegeben werden kann, sind auch seitens der Akteur\*innen die genauen Bedürfnisse unklar.

Es besteht eine auf das gegenwärtige System abgestimmte Akteursstruktur, die funktioniert und prinzipiell keinen unmittelbaren Änderungsbedarf aufweist. Unter veränderten Vorzeichen kann dies jedoch anders sein. Ein Blick ins Ausland zeigt andere Strukturen der Governance, die insbesondere in solchen Fällen hilfreich sein könnten, wenn bedeutende Richtungsentscheidungen anstehen oder durch Entscheidungsträger\*innen beschlossen wurden und anschließend viele Beteiligte mitgenommen werden müssen. Bei einer stärkeren Bedrohung durch Sturmfluten muss auch die Zusammenarbeit der Länder intensiviert werden, um schnell die richtigen Antworten zu finden und sich zu einigen. Ob das Zusammenziehen der Entscheidungsmacht an einer einzigen Stelle jedoch sinnvoll wäre, ist fraglich. Dennoch könnte eine koordinierende Plattform dabei hilfreich sein, ein konsistentes Handeln aller beteiligten Akteur\*innen zu bewirken. Ein Blick auf das Projektbeispiel „*Ruimte voor de Rivier*“ beweist die Effektivität eines solchens Ansatzes.

Vor allem da wahrscheinlich ist, dass ein künftig



weiterhin ausreichender Küstenschutz mehr Platz benötigen wird, wird zudem eine Verzahnung mit der Raumplanung immer wichtiger. Wenn Küstenschutzziele mit weiteren Ambitionen verbunden werden sollen, ist eine Abstimmung fundamental, wie auch die ausländischen Projektbeispiele zeigen. Hierfür müssen künftig in der Elbeästuarregion weitere Wege gefunden werden.

Es zeigt sich in der Gesamtschau, dass es durchaus unterschiedliche Wege gibt, den Küstenschutz in der Elbeästuarregion künftig zu gestalten und hierbei auf die veränderten Anforderungen durch den Klimawandel einzugehen. Ihnen allen ist gemein, dass sie praktikable Möglichkeiten beinhalten, das Zusammenspiel der verschiedenen Elemente des komplexen Systems der Ästuarlandschaft neu zu ordnen. Hierbei kann insbesondere das Verhältnis menschlicher und natürlicher Dynamiken verbessert und die Landschaftsbild aufgewertet werden, wobei die Schutzwirkung der Anlagen keinesweges beeinträchtigt ist.

## 7.2 Grenzen

Die Arbeit vermag grundlegende Perspektiven und Optionen zu Zukunftswegen aufzuzeigen. Gleichwohl ist es aus unterschiedlichen Gründen nicht möglich, hier abschließende Aussagen zu treffen.

Langfristige, genaue Handlungserfordernisse im Küstenschutz kann kein\*e Expert\*in heute konkret benennen. Der Klimawandel ist menschgemacht, deswegen hat jede einzelne Aktion zum heutigen Tage einen Einfluss auf seine künftige Entwicklung und damit am Ende einer langen Kette an Effekten auch auf das Bedürfnis nach einem verstärkten Küstenschutz im Elbeästuar. Es liegt somit auch tagtäglich in unserer eigenen Hand, welchen Herausforderungen wir – oder unsere Kinder – uns einmal stellen müssen.

Als weitere Grenze kommt die Schwierigkeit hinzu, im Rahmen dieser Arbeit technische Machbarkeiten zu untersuchen. Dies ist in erster Linie Aufgabe des Wasserbauingenieurwesens und gestaltet sich umfangreich und langwierig. Die Auswirkungen weiterer Deicherhöhungen und Veränderungen an der Uferlinie wären zu klären. Ebenso könnte betrachtet werden, welche Pol-

derflächen wie zusammenwirken und bei welcher Anordnung eine bestmögliche Dämpfung der Auswirkungen von Sturmfluten erreicht werden kann. Und nicht zuletzt bieten sich auch in der Untersuchung verschiedener Bauwerke im Mündungsbereich weite Felder für detaillierte Studien.

Da durch diese ungeklärten Fragen in der Wirksamkeit der Maßnahmen noch keine Option definitiv benannt werden kann, ist auch für die Governance unklar, wie weit vom heutigen Vorgehen abgewichen werden muss. Beispiele wie Thames Estuary 2100 belegen jedoch, dass auch im Umgang mit dieser Ungewissheit Gestaltungsspielräume bestehen. Im Elbeästuar besteht somit auch akteursseitig ein großes Potential, alternative Organisations- und Kommunikationsformen für den Küstenschutz detaillierter in den Blick zu nehmen.

## 7.3 Ausblick

Angesichts des stetigen Fortschreitens des Klimawandels ist es wichtig, kontinuierlich das Thema Küstenschutz und seine Entwicklungsmöglichkeiten aus den unterschiedlichsten Perspektiven im Blick zu behalten, wie zahlreiche Akteur\*innen der Region dies bereits tun.

Aufbauend auf den drei im Kapitel 6.1 dieser Arbeit entwickelten, unterschiedlichen Optionen Deicherhöhungen, Sturmflutpolder oder Bauwerk in der Elbmündung ließe sich die Wirkkraft der Maßnahmen genauer unter die Lupe nehmen. Hier könnte auch kontinuierlich auf Prognoseaktualisierungen zur Entwicklung von Meeresspiegel und Sturmfluthöhen sowie hiervon ausgelöst, weiteren Prozessen im Ästuar eingegangen werden.

Mit der Offenheit für verschiedene Optionen einher geht die Möglichkeit, weiter darüber nachzudenken, was Erwartungen an die Küstenlandschaften der Ästuarregion sein könnten. Dies muss auf interdisziplinäre Weise und unter Einbeziehung unterschiedlicher Stakeholder\*innen geschehen. Es ließe sich beispielsweise genauer definieren, wie eine Multifunktionalität entlang der Deichlinien ermöglicht werden könnte, um einen Mehrwert zu ermöglichen, ohne gleichzeitig die Schutzfunktion zu beeinträchtigen. Auch die Polderflächen könnten genauer beleuchtet werden, um zu ermitteln wie die Nutzungen aussehen könnten.

Weiterhin ließe sich aus ganz unterschiedlichen Perspektiven begleiten, wie einzelne Flächen auch landschaftlich qualifiziert werden können, wenn sie in das Tidegeschehen einbezogen werden und auch hier eine Multifunktionalität gestaltbar ist.

Wie bereits seit Jahrhunderten zeigt sich daher in der Gesamtschau, dass der Küstenschutz eine Daueraufgabe ist und bleibt, die niemals abgeschlossen sein wird. Die Antwort auf die zu Beginn der Arbeit aufgeworfene Frage nach seiner Ausgestaltung ist somit auch nie durch eine einzelne Generation abschließend zu treffen, sondern entwickelt sich kontinuierlich weiter.

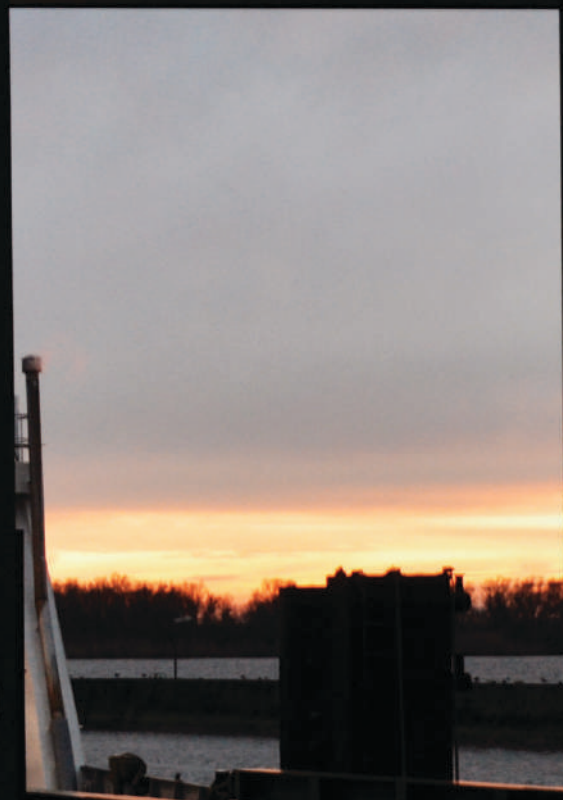


► **Abb. 79** Am Anleger der Elbfähre in Glückstadt (Schleswig-Holstein)

GLÜCKSTADT



WISCHHAFEN





# Literaturverzeichnis

Ast, Martin/Niemann, Karsten – Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Referat 22: Küstenschutz, Hochwasserschutz, Abwasser, wassergefährdende Stoffe (2020): Expert\*inneninterview. Interview am 9. Januar 2020, Hannover.

BBC – British Broadcasting Corporation (2007): Thames Gateway: Explained. Kent. Maps & Facts. [http://www.bbc.co.uk/kent/thamesgateway/maps\\_facts/thames\\_gateway\\_facts\\_whos\\_who\\_feature.shtml](http://www.bbc.co.uk/kent/thamesgateway/maps_facts/thames_gateway_facts_whos_who_feature.shtml) (Zugriff am 7.4.2020).

Bevir, Mark (2011): Governance as Theory, Practice, and Dilemma. In: The SAGE Handbook of Governance. London: SAGE Publications, 1–16.

BIOCONSULT (2016): Ist die Anbindung der Alten Süderelbe an die Tideelbe ökologisch sinnvoll? Studie zu den Vor- und Nachteilen verschiedener Anbindungsvarianten. <https://www.forum-tideelbe.de/files/download/endfassung-bericht-anbindung-alte-suederelbe-20160427.pdf> (Zugriff am 22.5.2020).

Birkmann, Jörn/Büscher, Dirk/Fleischhauer, Mark/Frommer, Birte/Janssen, Gerold/Overbeck, Gerhard/Schanze, Jochen/Schlipf, Sonja/Stock, Manfred/Vollmer, Maike (2010): Planungs- und Steuerungsinstrumente zum Umgang mit dem Klimawandel. Arbeitskreis Klimawandel und Raumplanung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

Blackbourn, David (2010): Die Eroberung der Natur. In: Valentien, Donata/MacLean, Alex S. (Hrsg.), Wiederkehr der Landschaft: Berlin: Jovis, 30–41.

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland. Nationale Strategie für ein integriertes Küstenzonenmanagement. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. [https://www.ikzm-strategie.de/dokumente/endbericht\\_kabinettversion\\_\\_30032006.pdf](https://www.ikzm-strategie.de/dokumente/endbericht_kabinettversion__30032006.pdf) (Zugriff am 2.3.2020).

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2017): Die Klimakonferenz in Paris. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/> (Zugriff am 8.3.2020).

BSU HH – Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg/  
NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz/  
MELUR SH – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein/WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes/  
HPA – Hamburg Port Authority (2011): Integrierter Bewirtschaftungsplan Elbeästuar. Teil A – Gesamträumliche Betrachtung. [https://www.natura2000-unterelbe.de/media/ibp\\_endfassung/A-Gesamtraum-Schirm-2012-08-09.pdf](https://www.natura2000-unterelbe.de/media/ibp_endfassung/A-Gesamtraum-Schirm-2012-08-09.pdf) (Zugriff am 26.2.2020).

Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. [https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf) (Zugriff am 7.3.2020).

Bundesregierung (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/847984/5b8bc23590d-4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> (Zugriff am 30.3.2020).

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2012): Drucksache 20/5561. Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft: Hochwasserschutz für Hamburg. [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/38251/hochwasserschutz\\_fuer\\_hamburg.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/38251/hochwasserschutz_fuer_hamburg.pdf) (Zugriff am 24.2.2020).

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2019): Drucksache 21/17908. Mitteilung des

Senats an die Bürgerschaft: Neustrukturierung Hafenmanagement und Änderung des Gesetzes über die Hamburg Port Authority sowie Nachbewilligung nach §35 Landeshaushaltsordnung – Haushaltsplan 2019/2020. [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/67516/neustrukturierung\\_hafenmanagement\\_und\\_aenderung\\_des\\_gesetzes\\_ueber\\_die\\_hamburg\\_port\\_authority\\_sowie\\_nachbewilligung\\_nach\\_35\\_landeshaushaltsordnung\\_hau.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/67516/neustrukturierung_hafenmanagement_und_aenderung_des_gesetzes_ueber_die_hamburg_port_authority_sowie_nachbewilligung_nach_35_landeshaushaltsordnung_hau.pdf) (Zugriff am 1.3.2020).

Dale, V. H./Brown, S./Haeuber, R. A./Hobbs, N. T./Huntly, N./Naiman, R. J./Riebsame, W. E./Turner, M. G./Valone, T. J. (2000): Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land. In: Ecological Applications, 10 (3), 639–670.

Deutscher Bundestag (2019): Wissenschaftliche Dienste: Sachstand. Einzelfragen zum Küstenschutz. <https://www.bundestag.de/resource/blob/651448/751a4ee-a3029871374c222264686eb81/WD-8-042-19-pdf-data.pdf> (Zugriff am 27.2.2020).

Engels, Anita/Wickel, Martin/Knieling, Jörg/Kretschmann, Nancy/Walz, Kerstin (2018): Lokale Klima-Governance im Mehrebenensystem: formale und informelle Regelungsformen. In: von Storch, Hans/Meinke, Insa/Claußen, Martin (Hrsg.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin, Heidelberg: Springer, 265–281.

Environment Agency (2012): Thames Estuary 2100 Plan. Managing flood risk through London and the Thames estuary. London. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/322061/LIT7540\\_43858f.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/322061/LIT7540_43858f.pdf) (Zugriff am 21.2.2020).

Europäische Kommission (2011): Stellungnahme der Kommission vom 6.12.2011 auf Ersuchen Deutschlands nach Artikel 6 Absatz 4 Unterabsatz 2 der Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen: Verbreiterung und Vertiefung der Fahrrinne Unter- und Außenelbe bis zum Hamburger Hafen

(Deutschland). [https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/art6/1\\_DE\\_ACT\\_part1\\_v4%5B1%5D.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/art6/1_DE_ACT_part1_v4%5B1%5D.pdf) (Zugriff am 1.4.2020).

Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. In: Amtsblatt der Europäischen Union,.

Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union (2002): Empfehlung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2002 zur Umsetzung einer Strategie für ein integriertes Management der Küstengebiete in Europa (2002/413/EG). In: Amtsblatt der Europäischen Union.

Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EU-HWRM-RL). In: Amtsblatt der Europäischen Union.

Fellmer, Mareike (2014): Bürgerschaftliches Engagement und Sturmfluten: Ausprägungen und Einflussfaktoren am Beispiel des Flussgebiets der Tideelbe. Detmold: Rohn.

Folke, Carl/Biggs, Reinette/Norström, Albert/Reyers, Belinda/Rockström, Johan (2016): Social-Ecological Resilience and Biosphere-Based Sustainability Science. In: Ecology and Society, The Resilience Alliance, 21 (3), 41.

Forum Tideelbe (2018): Forum Tideelbe: „Werkstattbericht“. Prozess und Inhalte der AG-Vorauswahl. <https://www.forum-tideelbe.de/files/download/werkstattbericht-ag-vorauswahl-forumtideelbe-2017.pdf> (Zugriff am 3.4.2020).

Forum Tideelbe (o. J.): Borsteler Binnenelbe. <https://www.forum-tideelbe.de/massnahmen/ausgewaehlte-massnahmen?id=3> (Zugriff am 3.4.2020).

Forum Tideelbe (o. J. a): Das Forum. <https://www.forum-tideelbe.de/das-forum/geschaeftsstelle> (Zugriff am 3.4.2020).

Gemeente Nijmegen (2014): Room for the river Waal Nijmegen. A brief sketch of the plan to relocate the dike. <http://www.ruimtevoordewaal.nl/en/more-information>.

GG: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland (GG) in der Fassung vom 23.05.1949, zuletzt geändert am 15.11.2019. In: <https://www.gesetze-im-internet.de/gg/BJNR000010949.html> (Zugriff am 31.3.2020).

Glindemann, Heinz/Dücker, Hans Peter/Witte, Hanz-Heinrich/Thode, Karsten (2006): Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg. Ein Diskussionsbeitrag der Hamburg Port Authority und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Hamburg Port Authority / Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. [https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Projekte/StromundSediTideelbe/anlagen/110915\\_strategiepapier\\_tideelbe\\_deu.pdf](https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Projekte/StromundSediTideelbe/anlagen/110915_strategiepapier_tideelbe_deu.pdf) (Zugriff am 14.10.2019).

Greiving, Stefan (2011): Methodik zur Festlegung raum- und raumplanungsrelevanter Risiken. In: Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung, Bd. 357. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 22–30.

Groeskamp, Sjoerd/Kjellsson, Joakim (2020): NEED The Northern European Enclosure Dam for if climate change mitigation fails. In: Bulletin of the American Meteorological Society, American Meteorological Society.

Grosse-Bächle, Lucia (2008): Dynamische Medien. Wasser und Vegetation in prozessorientierten Entwürfen. In: Seggern, Hille/Werner, Julia/Grosse-Bächle, Lucia (Hrsg.), Creating Knowledge. Innovationsstrategien im Entwerfen urbaner Landschaften. 1. Aufl. Berlin: Jovis, 412–433.

Haasnoot, Marjolijn/Bouwer, Laurens/Kwadijk, Jaap (2017): Als de zeespiegel sneller stijgt... : resultaten van een Policy Hackathon naar knik-

punten en mijlpalen bij adaptatie aan extreme zeespiegelstijging in Nederland. Delft: Deltares. <https://www.deltares.nl/app/uploads/2017/04/Hackathon-resultaten-rapport.pdf> (Zugriff am 24.3.2020).

Hamburger Abendblatt (2019): Extreme Sturmflut gefährdet Millionen Menschen im Norden. <https://www.abendblatt.de/region/article226670599/Bundesregierung-Extreme-Sturmflut-gefaehrde-Millionen-Menschen.html> (Zugriff am 24.3.2020).

Hamburger Abendblatt (2019a): Umweltschützer demonstrieren für Erhalt der Dove Elbe. <https://www.abendblatt.de/hamburg/article227284819/Umweltschuetzer-protestieren-fuer-Erhalt-der-Dove-Elbe.html> (Zugriff am 3.4.2020).

Hamburger Hafen und Logistik AG (2019): Markt und Wettbewerb. HHLA Geschäftsbericht 2018. <https://bericht.hhla.de/geschaeftsbericht-2018/lagebericht/konzern-im-ueberblick/markt-und-wettbewerb.html> (Zugriff am 30.3.2020).

Hamburger Morgenpost (2019): Angst vor der „Super-Sturmflut“: Viele Deiche zu niedrig – Kommunen machen Druck. <https://www.mopo.de/im-norden/niedersachsen/angst-vor-der--super-sturmflut--viele-deiche-zu-niedrig---kommunen-machen-druck-33083162> (Zugriff am 24.3.2020).

Hansen, Rieke/Dennis, Born/Lindschulte, Katharina/Rolf, Werner/Bartz, Robert/Schröder, Alice/Becker, Carlo/Kowarik, Ingo/Pauleit, Stephan (2018): Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung, Bd. 503. Bonn – Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.

Hargreaves, George (1993): Most Influential Landscapes. In: Landscape Journal, 12 (2), 177.

Hirschfeld, Jesko/Hansen, Gerrit/Messner, Dirk (2017): Die klimaresiliente Gesellschaft – Transformation und Systemänderungen. In: Brasseur, Guy P./Jacob, Daniela/Schuck-Zöllner, Susanne (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland: Entwick-



lung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer, 315–324.

HPA – Hamburg Port Authority/WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2008): Strombau- und Sedimentmanagementkonzept für die Tideelbe. [https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine\\_\\_Informationen/Publikationen/Datencontainer/H/SuSmanagementkTideelbe.pdf](https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Allgemeine__Informationen/Publikationen/Datencontainer/H/SuSmanagementkTideelbe.pdf) (Zugriff am 23.2.2020).

Hung, Ying-Yu (2013): Landscape Infrastructure: Systems of Contingency, Flexibility, and Adaptability. In: The Infrastructure Research Initiative at SWA (Hrsg.), Landscape Infrastructure. Case Studies by SWA. Basel: Birkhäuser, 14–19.

HWaG: Hamburgisches Wassergesetz (HWaG) in der Fassung vom 29.03.2005, zuletzt geändert am 04.12.2012. In: <http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bshaprod.psml?-nid=0&showdoccase=1&doc.id=jlr-WasGHA-2005rahmen&st=null> (Zugriff am 31.3.2020).

IBA Hamburg – Internationale Bauausstellung Hamburg (Hrsg.) (2008): Wasseratlas: Wasser-Land-Topologien für die Hamburger Elbinsel. Berlin: Jovis.

IBA Hamburg – Internationale Bauausstellung Hamburg (2010): Pilotprojekt Kreet sand: Mehr Flutraum für die Elbe! In: IBA Blick. Magazin der Internationalen Bauausstellung Hamburg, 3/2010. Oktober 2010. [http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/9154/pdf/iba\\_blick\\_1003.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2011/9154/pdf/iba_blick_1003.pdf) (Zugriff am 23.2.2020).

IBA Hamburg – Internationale Bauausstellung Hamburg (Hrsg.) (2011): Deichpark Elbinsel. IBA-Machbarkeitsstudie.

IBA Hamburg – Internationale Bauausstellung Hamburg (o. J.): Pilotprojekt Kreet sand. <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/projekte/deichpark-elbinsel/pilotprojekt-kreet-sand/projekt/pilotprojek-kreet-sand.html> (Zugriff am 23.2.2020).

IM SH – Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2010): Landesentwick-

lungsplan Schleswig-Holstein 2010. [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/landesplanung\\_raumordnung/Downloads/landesentwicklungsplan/landesentwicklungsplan\\_sh\\_2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/landesplanung_raumordnung/Downloads/landesentwicklungsplan/landesentwicklungsplan_sh_2010.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (Zugriff am 1.3.2020).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): Global Warming of 1.5°C (IPCC). An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Hauptautoren H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (Hrsg.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jain, Anab (2017): Why we need to imagine different futures: TED Talk. <https://superflux.in/index.php/work/why-we-need-to-imagine-different-futures-ted-talk/> (Zugriff am 29.3.2020).

Johnson, Bart R./Silbernagel, Janet/Hostetler, Mark/Mills, April/Ndubisi, Forster/Fife, Edward/Rossiter Hunter, MaryCarol (2002): The Nature of Dialogue and the Dialogue of Nature. In: Johnson, Bart R./Hill, Kristina (Hrsg.), Ecology and Design: Frameworks for Learning. Washington, DC: Island Press, 133–172.

- Karr, James R. (2002): Ecology's Relevance to Design and Planning. In: Johnson, Bart R./Hill, Kristina (Hrsg.), *Ecology and Design: Frameworks for Learning*. Washington, DC: Island Press, 133–172.
- Kaspar, F./Friedrich, K. (2020): Rückblick auf die Temperatur in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung. Deutscher Wetterdienst. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200102\\_bericht\\_jahr2019.pdf;jsessionid=DFDD1CB3D-D272E539D780108F05600CF.live11054?\\_\\_blob=-publicationFile&v=5](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200102_bericht_jahr2019.pdf;jsessionid=DFDD1CB3D-D272E539D780108F05600CF.live11054?__blob=-publicationFile&v=5) (Zugriff am 6.3.2020).
- Klein, Birgit/Seiffert, Rita/Gräwe, Ulf (2018): Deutsche Bucht mit Tideelbe und Lübecker Bucht. In: von Storch, Hans/Meinke, Insa/Claußen, Martin (Hrsg.), *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Berlin, Heidelberg: Springer, 56–88.
- KLIMZUG–Nord Verbund (Hrsg.) (2014): *Kursbuch Klimaanpassung: Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg*. Hamburg: TuTech Verlag.
- Knieling, Jörg (2011): Planerisch–organisatorische Anpassungspotenziale an den Klimawandel. In: von Storch, Hans/Claußen, Martin (Hrsg.), *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Berlin, Heidelberg: Springer VS, 251–290.
- Koolwijk, Jürgen van/Wieken–Mayser, Maria (1974): *Erhebungsmethoden: Die Befragung*. München: Oldenbourg.
- Krems, Burkhardt (2011): Best Practice. Online–Verwaltungslexikon olev.de. <https://olev.de/b/best-practice.htm#Definition> (Zugriff am 7.4.2020).
- Kulp, Scott A./Strauss, Benjamin H. (2019): New Elevation Data Triple Estimates of Global Vulnerability to Sea–Level Rise and Coastal Flooding. In: *Nature Communications*, Nature Publishing Group, 10 (1), 1–12.
- Lamnek, Siegfried/Krell, Claudia (2010): *Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch*. 5., überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz.
- Leichenko, Robin (2011): Climate Change and Urban Resilience. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3 (3), 164–168.
- von Lieberman, Nicole (2011): Technische Potenziale zur Anpassung an den Klimawandel. In: von Storch, Hans/Claußen, Martin (Hrsg.), *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Berlin, Heidelberg: Springer VS, 291–298.
- Lowe, J.A./Howard, T./Pardaens, A./Tinker, J./Holt, J./Wakelin, S./Milne, G./Leake, J./Wolf, J./Horsburgh, K./et al. (2009): *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Exeter: Met Office Hadley Centre.
- LWG: Landeswassergesetz (LWG) des Landes Schleswig–Holstein in der Fassung vom 13.12.2019. In: <http://www.gesetze-rechtsprechung.sh.juris.de/jportal/?quelle=jlink&query=WasG+S-H&psml=bssshoprod.psml&max=true> (Zugriff am 31.3.2020).
- Mac, Duy (2019): *Hochwasserschutz in Hamburg: Niederhafen River Promenade von Zaha Hadid Architects*. detail.de. <https://www.detail.de/blog-artikel/hochwasserschutz-in-hamburg-niederhafen-river-promenade-von-zaha-hadid-architects-34608/> (Zugriff am 26.4.2020).
- McHarg, Ian L. (1969): *Design with nature*. 1. Auflage. Garden City, New York: The Natural History Press.
- McLoughlin, John Brian (1969): *Urban and regional planning. A systems approach*. London: Faber, Faber.
- MELUR SH – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig–Holstein (2013): *Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig–Holstein*. Fortschreibung 2012.
- Meyer, Han (2014): *Urban Deltas in Transition*. In: *Urban Deltas in Transition*. Amsterdam: Techne Press, 6–9.

- Meyer, Han/Bobbink, Inge/Nijhuis, Steffen (2010): *Delta Urbanism. The Netherlands*. Chicago, Washington DC: American Planning Association Planners Press.
- Meyer, Han/Nijhuis, Steffen (2013): Delta urbanism: planning and design in urbanized deltas – comparing the Dutch delta with the Mississippi River delta. In: *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 6 (2), 160–191.
- MLNDS – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen (LROP-VO) in der Fassung vom 26. September 2017. Anlage 1 (Beschreibende Darstellung). In: *Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt*, 71 (20), 380–406.
- NABU Schleswig-Holstein (2019): Kein Sperrwerk in der Elbmündung! Deutschland darf Fehler der Niederlande nicht wiederholen. <https://schleswig-holstein.nabu.de/news/2019/27089.html> (Zugriff am 26.4.2020).
- Neumann, Dirk (2014): *Elbe Estuary*. In: *Urban Deltas in Transition*. Amsterdam: Techne Press, 59–66.
- Niedersächsische Staatskanzlei (2017): Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen (LROP). *Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt*, 378–407.
- Niedersächsischer Landtag (2019): Drucksache 18/3830. Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung gemäß § 46 Abs. 1 GO LT mit Antwort der Landesregierung. Wann wird der Generalplan Küstenschutz überarbeitet? [https://www.landtag-niedersachsen.de/drucksachen/drucksachen\\_18\\_05000/03501-04000/18-03830.pdf](https://www.landtag-niedersachsen.de/drucksachen/drucksachen_18_05000/03501-04000/18-03830.pdf) (Zugriff am 1.3.2020).
- Niedersächsisches Landesamt für Statistik (Hrsg.) (2007): *Niedersachsen – das Land und seine Regionen: Land, Bezirke, Landkreise, kreisfreie Städte*. Hannover.
- Nijhuis, Steffen/Jauslin, Daniel (2015): Urban landscape infrastructures. Designing operative landscape structures for the built environment. In: *Flowscales. Designing infrastructure as landscape*. Delft: TU Delft, 13–34.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2007): *Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/ Bremen –Festland–*.
- Norddeutscher Rundfunk (2019): Weltklimarat-Prognose: Kerstan will mehr Küstenschutz. <https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Weltklimarat-Prognose-Kerstan-will-mehr-Kuestenschutz,klimawoche140.html> (Zugriff am 17.10.2019).
- NWG: Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) in der Fassung vom 19.02.2010, zuletzt geändert am 20.05.2019. In: <http://www.nds-voris.de/jportal/portal/t/upu/page/bsvorisprod.psml/media-type/html?action=controls.jw.MaxMinDocument&showdoccase=1&max=true> (Zugriff am 31.3.2020).
- Pauleit, Stephan/Hansen, Rieke/van Lierop, Martina/Rall, Emily L./Rolf, Werner (2019): Grüne Infrastruktur – ein innovativer Ansatz für die Landschaftsplanung. In: Kühne, Olaf/Weber, Florian/Berr, Karsten/Jenal, Corinna (Hrsg.), *Handbuch Landschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 781–794.
- Penning-Rowsell, Edmund C./Haigh, Nick/Lavery, Sarah/McFadden, Loraine (2013): A Threatened World City: The Benefits of Protecting London from the Sea. In: *Natural Hazards*, 66 (3), 1383–1404.
- Pohl, Jürgen (2011): Risikovorsorge, Risikoprävention und Raumplanung. In: *Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung*, Bd. 357. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 11–21.
- Pohl, Jürgen/Rother, Karl-Heinz (2011): Risiken und Raumplanung – ein komplexes Verhältnis. In: *Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung*, Bd. 357. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 3–10.



- Prominski, Martin/Stokman, Antje/Zeller, Susanne/Stimberg, Daniel/Voermanek, Hinnerk (2012): Fluss, Raum, Entwerfen: Planungsstrategien für urbane Fließgewässer. Basel: Birkhäuser.
- Pulliam, H. Ronald/Johnson, Bart R. (2002): Ecology's new paradigm: What does it offer designers and planners? In: Johnson, Bart R./Hill, Kristina (Hrsg.), *Ecology and Design: Frameworks for Learning*. Washington, DC: Island Press, 51–84.
- van Putten, Maurits (2017): Nijmegen omarmt de Waal. <https://www.gebiedsontwikkeling.nu/artikelen/nijmegen-omarmt-de-waal/> (Zugriff am 21.2.2020).
- Ranger, Nicola/Reeder, Tim/Lowe, Jason (2013): Addressing 'Deep' Uncertainty over Long-Term Climate in Major Infrastructure Projects: Four Innovations of the Thames Estuary 2100 Project. In: *EURO Journal on Decision Processes*, 1 (3), 233–262.
- Reise, Karsten (Hrsg.) (2015): *Kurswechsel Küste: Was tun, wenn die Nordsee steigt?* Kiel: Wachholtz, Murmann Publishers.
- Rijke, Jeroen/van Herk, Sebastiaan/Zevenbergen, Chris/Ashley, Richard (2012): Room for the River: Delivering integrated river basin management in the Netherlands. In: *Journal of River Basin Management*, 10 (4), 369–382.
- Rijkswaterstaat (2019): Ruimte voor de Rivierprogramma afgerond. <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/03/ruimte-voor-de-rivierprogramma-afgerond.aspx> (Zugriff am 20.2.2020).
- Rijkswaterstaat Room for the River (2013): *Tailor Made Collaboration. A Clever Combination of Process and Content*. [https://www.un-ihe.org/sites/default/files/13270-rvdr-brochure-governance-engels\\_def-pdf-a.pdf](https://www.un-ihe.org/sites/default/files/13270-rvdr-brochure-governance-engels_def-pdf-a.pdf) (Zugriff am 20.2.2020).
- ROG: Raumordnungsgesetz (ROG) in der Fassung vom 22.12.2008, zuletzt geändert am 20.07.2017. In: [https://www.gesetze-im-internet.de/rog\\_2008/BJNR298610008.html](https://www.gesetze-im-internet.de/rog_2008/BJNR298610008.html) (Zugriff am 31.3.2020).
- Rosenhagen, Gudrun/Schatzmann, Michael (2011): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Berlin, Heidelberg: Springer VS, 19–62.
- Rundblick – Politikjournal für Niedersachsen (2019): Niedersachsens Deiche sind großen Problemen ausgesetzt. <https://www.rundblick-niedersachsen.de/stuerme-hochwasser-wolf-und-nagetiere-die-deiche-sind-grossen-problemen-ausgesetzt/> (Zugriff am 24.3.2020).
- van Schaick, Jeroen/Klaasen, Ina (2011): The Dutch Layers Approach to Spatial Planning and Design: A Fruitful Planning Tool or a Temporary Phenomenon? In: *European Planning Studies*, Routledge, 19 (10), 1775–1796.
- Schirmer, Michael (2018): Küstenschutz bis und nach 2100 in Deutschland und den Niederlanden. In: *Warnsignal Klima: Extremereignisse*. 362–369.
- Schlünzen, Heinke/Riecke, Wolfgang (2018): Stadtklima in Hamburg. In: von Storch, Hans/Meinke, Insa/Claußen, Martin (Hrsg.), *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Berlin, Heidelberg: Springer, 37–54.
- Schmidt, Hauke/Eyring, Veronika/Latif, Mojib/Rechid, Diana/Sausen, Robert/Jacob, Daniela/Kottmeier, Christoph (2017): Globale Sicht des Klimawandels. In: Brasseur, Guy P./Jacob, Daniela/Schuck-Zöller, Susanne (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer, 7–16.
- Shannon, Kelly/Smets, Marcel (2011): Towards Integrating Infrastructure and Landscape. In: *topos*, 74, 64–71.
- Sieweke, Jörg (2010): Vater Rhein: Über Flüsse und Anrainer. In: Valentien, Donata/MacLean, Alex S. (Hrsg.), *Wiederkehr der Landschaft*. Berlin: Jovis, 80–91.
- Simon, Olaf/Nohme, Frank – Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg, Amt für Wasser, Abwasser und Geologie, Referat

- Grundsatz, Wasserwirtschaftliche Grundlagen, Informationssysteme, Hochwasserschutz (2020): Expert\*inneninterview. Interview am 8. Januar 2020, Hamburg.
- Steinhardt, Uta/Barsch, Heiner/Blumenstein, Oswald (2012): Lehrbuch der Landschaftsökologie. 2., überarb. und erg. Aufl. Heidelberg: Spektrum.
- Stokman, Antje – HafenCity Universität Hamburg (2020): Expert\*inneninterview. Interview am 7. Januar 2020, Hamburg.
- Stokman, Antje/von Seggern, Hille/Rabe, Sabine (2009): Designing Tidal Landscapes. In: *topos*, 68, 88–93.
- von Storch, Hans/Meinke, Insa/Claußen, Martin (Hrsg.) (2018): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Thorenz, Frank – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2020): Expert\*inneninterview. Interview am 6. Februar 2020, Norden (Ostfriesland).
- Umweltbundesamt (o. J.): IKZM in Deutschland. IKZM-Berichte. <https://www.ikzm-strategie.de/berichte-deutschland.php>.
- Walkenhorst, Oliver/Stock, Manfred (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland: eine Leseanleitung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung.
- Weiland, Ulrike (2015): Stadtökologie – zum Verhältnis von Stadt und Umwelt. In: Flade, Antje (Hrsg.), *Stadt und Gesellschaft im Fokus aktueller Stadtforschung*. Wiesbaden: Springer VS, 177–209.
- Wernig, Roland/Birkmann, Jörn/Rumberg, Martin (2011): Zusammenfassende Thesen und Vorschläge. In: *Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung*, Bd. 357. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 81–92.
- WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) in der Fassung vom 31.07.2009, zuletzt geändert am 04.12.2018. In: [https://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/WHG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/WHG.pdf) (Zugriff am 31.3.2020).
- WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2019): Baggerarbeiten. Start der Hopperbagger. Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe. <https://www.fahrrinnenanpassung.de/baustellen-nachrichten/baggerarbeiten.html> (Zugriff am 31.3.2020).
- WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2019a): Überblick über die Baumaßnahmen. Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe. <https://www.fahrrinnenanpassung.de/baumaßnahmen.html> (Zugriff am 31.3.2020).
- WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2019b): Hochwasserschutz an der Unterelbe. Stand und Perspektiven. Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe. <https://www.fahrrinnenanpassung.de/baumaßnahmen.html> (Zugriff am 1.4.2020).
- [www.commissiomer.nl](https://www.commissiomer.nl) (2006): Planologische Kernbeslissing deel 1. Ruimte voor de Rivier. <https://www.commissiomer.nl/docs/mer/p12/p1252/1252-107pkb.pdf> (Zugriff am 20.2.2020).
- [www.keep.eu](https://www.keep.eu) (o. J.): Combined Functions in Coastal Defence Zones. EU projects database – Interreg and ENI CBC projects and partners. <https://www.keep.eu/project/313/combined-functions-in-coastal-defence-zones> (Zugriff am 24.3.2020).
- [www.northsearegion.eu](https://www.northsearegion.eu) (o. J.): FRAMES: Interreg VB North Sea Region Programme. <https://www.northsearegion.eu/frames/> (Zugriff am 24.3.2020).
- [www.ruimtevoorderivier.nl](https://www.ruimtevoorderivier.nl) (o. J.): Room for the Waal. Ruimte voor de Rivier. <https://www.ruimtevoorderivier.nl/room-for-the-waal/> (Zugriff am 21.2.2020).
- [www.ruimtevoorderivier.nl](https://www.ruimtevoorderivier.nl) (o. J. a): River Widening of Overdiepse Polder. Ruimte voor de Rivier. <https://www.ruimtevoorderivier.nl/river-widening-overdiepse-polder/> (Zugriff am 20.2.2020).

# Abbildungsverzeichnis

**Cover:** Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 1

**Abb. 1:** Verlauf des Northern European Enclosure Dam. Eigene Darstellung, 2020, nach: Groeskamp/Kjellsson 2020: 16.

**Abb. 2:** Lichtinstallation „Lines“. Pekka Niittyvirta, 2018. <http://www.niittyvirta.com/lines-57-59-n-7-16w/> (Zugriff am 25.5.20).

**Abb. 3:** Vorgehensweise der Bachelorthesis. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 4:** Sturmflut an der Elbe bei Otterndorf. Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 2

**Abb. 5:** Warming Stripes. Ed Hawkins, 2018. <http://www.climate-lab-book.ac.uk/2018/2018-visualisation-update/> (Zugriff am 25.5.20).

**Abb. 6:** Handlungsansätze Adaption und Mitigation. Eigene Darstellung, 2019.

**Abb. 7:** CO<sub>2</sub>-Minderungspfade als Weg der Mitigation. Eigene Darstellung, 2019, nach: IPCC 2018: 8.

**Abb. 8:** Metropole Hamburg am Wasser. Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 3

**Abb. 9:** Sperrwerk an der Elbe. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 10:** A City as a System. Eigene Darstellung, 2020, nach: McLoughlin 1969: 76.

**Abb. 11:** Prinzip der Layer als regionale Analyse-methode. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 12:** Regelkreis Küstenrisikomanagement. Eigene Darstellung, 2020, nach: MELUR SH 2013: 62.

**Abb. 13:** Deich an der Elbe. Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 4

**Abb. 14:** Luftbild des Untersuchungsraums. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, WasserBLick/BfG 2015, Bing Maps.

**Abb. 15:** Landschaftstypen. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019.

**Abb. 16:** Topographie. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, CIGAR-CSI 2004-2019.

**Abb. 17:** Gewässersystem. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, Klein et al. 2018: 70.

**Abb. 18:** Entwicklung des rMSL in Cuxhaven. Eigene Darstellung, 2020. Daten: BSH 2020.

**Abb. 19:** Möglicher Anstieg von Sturmfluten. Eigene Darstellung, 2020. Daten: Klein et al. 2018: 75.

**Abb. 20:** Karte der Tideelbe, Melchior Lorichs, 1567. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elbkarte\\_Melchior\\_Lorichs\\_1567.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elbkarte_Melchior_Lorichs_1567.jpg) (Zugriff am 10.5.20).

**Abb. 21:** Historische Entwicklung der Deichhöhen. Eigene Darstellung, 2020, nach: NLWKN 2007: 19.

**Abb. 22:** Heutiges Küstenschutzsystem. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, LGV Hamburg 2019.

**Abb. 23:** Deich am Krautsand. Eigene Aufnahme, 2019.

**Abb. 24:** Bauformen linearer Küstenschutzelemente. Eigene Darstellung, 2020, nach: WSV 2019b.

**Abb. 25:** Este-Sperrwerk. Eigene Aufnahme, 2020.



**Abb. 26:** Erschließung in der HafenCity. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 27:** Klimadeich in Schleswig-Holstein. Eigene Darstellung, 2020, nach: MELUR SH 2013: 62.

**Abb. 28:** Verkehrswege in der Ästuarregion. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, National Geospatial-Intelligence Agency World Port Index 2020.

**Abb. 29:** Nordrange-Häfen. Eigene Darstellung, 2020, nach: Hamburger Hafen und Logistik AG 2019.

**Abb. 30:** Veränderung des Tidenhubs. Eigene Darstellung, 2020, Daten: Glindemann et al. 2006: 8.

**Abb. 31:** Landschaftsveränderungen entlang der Tideelbe. Eigene Darstellung, 2020. Daten: IBA 2008.

**Abb. 32:** Flächennutzung. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019.

**Abb. 33:** Siedlungsstruktur. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019.

**Abb. 34:** Formell zuständige Akteur\*innen. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 35:** Informelle Governance. Eigene Darstellung, 2020. Daten: GeoBasis-DE / BKG 2019, European Environment Agency 2020, Forum Tideelbe 2018.

**Abb. 36:** Hochwasserschutzanlage in Hamburg. Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 5

**Abb. 37:** Maßnahmen von Ruimte voor de Rivier. Eigene Darstellung, 2020. Daten: Rijkswaterstaat Room for the River 2013.

**Abb. 38:** Handlungsprinzipien des Programms. Eigene Darstellung, 2020, nach: Room for the River 2013: VI.

**Abb. 39:** Teilprojekt Ruimte voor de Waal. Eigene Darstellung, 2020. Daten: [www.schuttevaer.nl](http://www.schuttevaer.nl) 2013.

**Abb. 40:** Landschaftsveränderung durch Ruimte voor de Waal. Eigene Darstellung, 2020, nach: Rijkswaterstaat 2015.

**Abb. 41:** Flussinsel Veur-Lent. Rijkswaterstaat, Ruimte voor de Rivier / Werry Crone, 2016. <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/500587> (Zugriff am 19.5.20)

**Abb. 42:** Teilprojekt Overdiepse Polder. Eigene Darstellung, 2020. Daten: Provincie Noord-Brabant 2009.

**Abb. 43:** Landschaftsveränderung durch das Projekt Overdiepse Polder. Eigene Darstellung, 2020, nach: Rijkswaterstaat 2015.

**Abb. 44:** Terpen im Overdiepse Polder. Rijkswaterstaat, Ruimte voor de Rivier, 2012. <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/498284> (Zugriff am 19.5.20)

**Abb. 45:** Thames Barrier. Peter Trimming, 2009. <https://www.geograph.org.uk/photo/1466865> (Zugriff am 19.5.20)

**Abb. 46:** Anpassungspfade nach TE2100. Eigene Darstellung, 2020, nach: Ranger et al. 2013: 249.

**Abb. 47:** Managed Adaptive Approach. Eigene Darstellung, 2020, nach: Environment Agency 2012: 34.

**Abb. 48:** Indikatoren. Eigene Darstellung, 2020, nach: Environment Agency 2012: 37.

**Abb. 49:** Verortung der TE2100-Front Runner. Eigene Darstellung, 2020. Daten: Environment Agency 2012, OpenStreetMap 2020.

**Abb. 50:** Projekt Kreetsand. Eigene Darstellung, 2020. Daten: BBS Büro Greuner-Pönicke 2020.

**Abb. 51:** Elbstrand Haseldorfer Marsch. Eigene Aufnahme, 2020.

## Kapitel 6

**Abb. 52:** Ausprägungen eines harten oder weichen Küstenschutzes. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 53:** Maßnahmeoptionen. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 54:** Wirkweise der Option 1. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 55:** Deich bei Otterndorf. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 56:** Multifunktionale Deiche. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 57:** Hochwasserschutzanlage Niederhafen. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 58:** Hochwasserschutzanlage Niederhafen. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 59:** Bauweise eines Superdeichs. Eigene Darstellung, 2020. Daten: Hitoshi Nakamura 2016.

**Abb. 60:** Wirkweise der Option 2. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 61:** Optionen für Polderflächen. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 62:** Obstbauflächen in Hamburg-Moorburg. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 63:** Schwimmende Häuser. Marion Golstein, 2015. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gouden\\_Ham\\_watervilla%27s.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gouden_Ham_watervilla%27s.JPG) (Zugriff am 24.5.20)

**Abb. 64:** Wirkweise der Option 3. Eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 65:** Oosterscheldekering. Rijkswaterstaat / Jan van den Broeke, 2010. <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/406290> (Zugriff am 10.5.20)

**Abb. 66:** Bericht über Sperrwerksplanungen der 1980er Jahre im „Spiegel“. <https://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/13527677>

(Zugriff am 20.5.20)

**Abb. 67:** Plan für künstliche Inseln vor New York City. WXY Architecture/West8, 2017. [https://wp-cdn.us-east-1.vip.tn-cloud.net/www.metropolis-mag.com/content/uploads/2017/09/WXY\\_Blue-Dunes\\_02.jpg](https://wp-cdn.us-east-1.vip.tn-cloud.net/www.metropolis-mag.com/content/uploads/2017/09/WXY_Blue-Dunes_02.jpg) (Zugriff am 24.5.20)

**Abb. 68:** Übersicht über den Zoom-In Finkenwerder. Eigene Darstellung, 2020. Daten: OpenStreet-Map 2020.

**Abb. 69:** Mühlenberger Loch. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 70:** Alte Süderelbe. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 71:** Köhlfleet. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 72:** Option lineare Schutzbauwerke im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Darstellung, 2020. Daten: OpenStreetMap 2020.

**Abb. 73:** Superdeich im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Aufnahme und eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 74:** Aufgewertete Uferzone im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Aufnahme und eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 75:** Option Polderflächen im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Darstellung, 2020. Daten: OpenStreetMap 2020.

**Abb. 76:** Überflutungspolder im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Aufnahme und eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 77:** Wiedervernässte Bereiche im Zoom-In Finkenwerder. Eigene Aufnahme und eigene Darstellung, 2020.

**Abb. 78:** Apfelblüte in Finkenwerder. Eigene Aufnahme, 2020.

**Abb. 79:** Elbfähre in Glückstadt. Eigene Aufnahme, 2019.

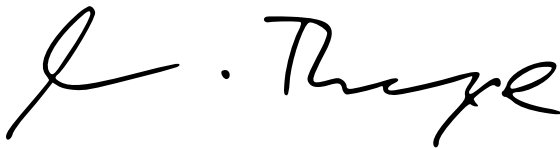




# Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt habe und dass alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht wurden.

Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form, auch nicht in Teilen, keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Theye'.

Maximilian Theye, 27.05.2020