

# **Wilhelmsburg im Klimawandel**

## **Ist-Situation und mögliche Veränderungen**

Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 4

K. Heinke Schlünzen, Marita Linde  
(Hrsg.)

TuTech Verlag, Hamburg

## Impressum:

Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel – Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 4.

Hinweis zum Zitieren aus diesem Bericht:

Name des Leitautors, Namen der beitragenden Autoren in alphabetischer Reihenfolge (2014): Titel des Kapitels. in Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel – Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 4, TuTech Verlag, Hamburg.

TuTech Verlag  
TuTech Innovation GmbH  
Harburger Schloßstr. 6-12  
21079 Hamburg



Tel.: +49 40 76626-6121  
E-Mail: [verlag@tutech.de](mailto:verlag@tutech.de)  
[www.tutechverlag.de](http://www.tutechverlag.de)

ISBN: 978-3-941492-70-7

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LR0805 gefördert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch  
die Förderfonds der Metropolregion Hamburg.

**Herausgeber: Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita**

Druck: Lehmann  
Offsetdruck GmbH  
Gutenbergring 39  
22848 Norderstedt

Papier: Circle matt White  
100 % Altpapier

Layout: TuTech Agentur  
Harburger Schloßstr. 6-12  
21079 Hamburg  
[www.tutech.de/agentur](http://www.tutech.de/agentur)

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder -verwertungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von TuTech Innovation GmbH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus dem Band 4 „Wilhelmsburg im Klimawandel – Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten“ zum Zweck der gewerblichen Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten.  
© TuTech Innovation GmbH



Kurzfassung .....	1
-------------------	---

<b>1</b> Einleitung .....	3
---------------------------	---

<b>2</b> Akteursbefragung .....	5
---------------------------------	---

*Anna-Gesa Meier, Marita Linde, Julia Kowalewski, Frieso Kipsch*

2.1 Befragte Institutionen .....	6
2.2 Befragungsgegenstand .....	6
2.3 Ergebnisse der Befragung .....	6
2.3.1 Klimawandel – Wahrnehmung und Anpassung .....	7
2.3.2 Verwundbarkeit und Indikatorparameter .....	9
2.3.3 Wünsche der Akteure an die Ergebnisaufbereitung .....	10
2.4 Fazit .....	12

<b>3</b> Wilhelmsburg heute .....	13
-----------------------------------	----

3.1 Besonderheiten des Klimas .....	14
<i>K. Heinke Schlünzen, Peter Hoffmann, Frieso Kipsch, Marita Linde, Mohamed Salim, Bernd Leitl</i>	
3.1.1 Temperaturen .....	14
3.1.2 Niederschläge .....	16
3.1.3 Wind .....	16
3.2 Wasserstands- und Sturmflutverhältnisse der Elbe .....	18
<i>Annette Büscher, Ariane Paesler, Elisabeth Rudolph, Norbert Winkel</i>	
3.2.1 Elbeästuar .....	18
3.2.2 Wasserstände an den Pegeln St. Pauli und Bunthaus .....	18
3.2.3 Entwicklung der Wasserstände in der Tideelbe .....	20
3.2.4 Sturmfluten .....	21
3.3 Hydrologie und Wasserwirtschaft .....	23
<i>Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider</i>	
3.3.1 Oberflächengewässer und Entwässerung .....	23
3.3.2 Grundwasser .....	28
3.3.3 Besonderheiten der Oberflächengewässer und des Grundwassers auf der Großen Elbinsel und im Vergleich zu anderen Regionen .....	32
3.4 Sozioökonomische Faktoren .....	32
<i>Julia Kowalewski, Sabine Schempp</i>	
3.4.1 Bevölkerung .....	32
3.4.2 Wirtschaftliche Entwicklung .....	36
3.4.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	38
3.5 Stadtstruktur .....	38
3.5.1 Oberflächenbedeckungsarten .....	38
<i>Mohamed Salim</i>	
3.5.2 Stadtstrukturen in Wilhelmsburg .....	40
<i>Mohamed Salim</i>	
3.5.3 IBA Hamburg – Städtebauliche und energetische Betrachtung der Großen Elbinsel .....	40
<i>Anke Hansing, Caroline König</i>	
3.5.4 Besonderheiten der Stadtraumtypen im Stadtteil Wilhelmsburg im Vergleich zu anderen Regionen .....	42
<i>Mohamed Salim</i>	

# 4

## Wilhelmsburg – zukünftige Veränderungen ..... 43

4.1	Klimaänderungen .....	44
	<i>Marita Linde, Peter Hoffmann, Frieso Kipsch, Juliane Petersen, Diana Rechid, K. Heinke Schlünzen, Robert Schoetter</i>	
4.1.1	Datengrundlage .....	44
4.1.2	Änderung der klimatologischen Jahresmittel .....	44
4.1.3	Änderungen der Tageswerte .....	46
4.1.4	Änderungen der Kenntage .....	49
4.1.5	Bedeutung der Klimaänderungen für das Klima der Großen Elbinsel .....	50
4.2	Einfluss möglicher Klimaänderungen auf mittlere Tide- und Sturmflutverhältnisse .....	50
4.2.1	Änderungen der mittleren Wasserstandsverhältnisse sowie der Trübungs- und Brackwasserzone .....	50
	<i>Annette Büscher</i>	
4.2.2	Änderungen der Sturmflutverhältnisse .....	53
	<i>Annette Büscher, Elisabeth Rudolph</i>	
4.2.3	Bedeutung der Klimaänderungen für Tide- und Sturmflutverhältnisse .....	55
	<i>Annette Büscher, Elisabeth Rudolph</i>	
4.3	Hydrologische und wasserwirtschaftliche Veränderungen .....	56
	<i>Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider</i>	
4.3.1	Wirkungszusammenhänge Klimawandel und Grundwasser .....	56
4.3.2	Ergebnisse aus anderen Marschgebieten .....	57
4.3.3	Grundwassermodellierung .....	57
4.3.4	Veränderungen der Grundwasserpotenziale .....	58
4.3.5	Veränderungen der Entwässerung .....	59
4.3.6	Bedeutung der Klimaänderungen für Grundwasser und Entwässerung .....	60
4.4	Sozioökonomische Veränderungen .....	60
	<i>Julia Kowalewski, Sabine Schempp, Mohamed Salim</i>	
4.4.1	Entwicklung von Szenarien .....	60
4.4.2	Szenarien für den Stadtteil Wilhelmsburg .....	61
4.5	Veränderungen der Stadtstruktur und resultierende lokalklimatische Einflüsse .....	62
4.5.1	Änderungen des Klimas der Großen Elbinsel durch Veränderungen der Bebauungsstruktur Hamburgs .....	62
	<i>Marita Linde</i>	
4.5.2	Lokale Windfeldänderungen im Umfeld neuer Bebauung .....	62
	<i>Mohamed Salim, Frieso Kipsch, K. Heinke Schlünzen</i>	
4.5.3	Einflüsse auf die Durchlüftungssituation .....	64
	<i>Frieso Kipsch, Bernd Leitl</i>	
4.5.4	Bedeutung von Baumaßnahmen für das Lokalklima .....	66
	<i>K. Heinke Schlünzen, Marita Linde, Bernd Leitl, Frieso Kipsch, Mohamed Salim</i>	

# 5

## Wilhelmsburg – handeln für die Zukunft ..... 67

5.1	Empfehlungen zur Bebauung .....	68
	<i>Frieso Kipsch, K. Heinke Schlünzen</i>	
5.2	Empfehlungen zu mittleren Wasserstandsverhältnissen und Sturmfluten .....	69
	<i>Annette Büscher, Elisabeth Rudolph, K. Heinke Schlünzen</i>	
5.3	Empfehlungen zu Grundwasser und Entwässerung .....	69
	<i>Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider</i>	
5.4	Empfehlungen zur Planung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien .....	70
	<i>Sabine Schempp, Julia Kowalewski</i>	

# 6

## Schlussbemerkungen ..... 73

*K. Heinke Schlünzen, Marita Linde*

Danksagung .....	77
Abbildungsverzeichnis .....	78
Tabellenverzeichnis .....	82
Glossar .....	83
Literaturverzeichnis .....	89
Beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen .....	96



## Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD wurden Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel für die Metropolregion Hamburg untersucht und für einzelne Gebiete detailliert aufgearbeitet. Der vorliegende Bericht befasst sich mit dem gegenwärtigen Klima, dem Klimawandel und den Veränderungen für die Zukunft auf der Großen Elbinsel mit Schwerpunkt auf Wilhelmsburg, gelegen im Stromspaltungsgebiet der Elbe und inmitten der Hansestadt Hamburg.

Die Sensitivität einer Region mit ihren bestehenden Strukturen gegenüber klimatischen Veränderungen und ihre Anpassungsfähigkeit an Veränderungen, wodurch potenzielle Schäden gemindert werden, sind stark von der Sozial- und Wirtschaftsstruktur abhängig. Die Bevölkerung des Stadtteils Wilhelmsburg ist verglichen mit dem Durchschnitt der Stadt Hamburg von höherer Arbeitslosigkeit, mehr Schulabgängern ohne Abschluss und einem geringeren (Durchschnitts-) Einkommen geprägt. Zudem liegt der Bevölkerungsanteil der unter 18-Jährigen höher als der städtische Durchschnitt und es gibt einen höheren Prozentsatz von Personen mit Migrationshintergrund. Die Wirtschaftsstruktur im Stadtteil Wilhelmsburg ist geprägt vom Hamburger Hafen. Dabei finden sich außer einigen Großbetrieben überwiegend kleine Betriebe in diesem Stadtteil. Die Berücksichtigung der sozialen und wirtschaftsstrukturellen Gegebenheiten ist die Voraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung effektiver Anpassungsmaßnahmen sowie für ihre Akzeptanz in der Bevölkerung. Bei der Erstellung von Anpassungskonzepten sollten die Sozial- und Wirtschaftsstruktur berücksichtigt und die Strategie entsprechend ausgerichtet werden.

Eine im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Befragung der örtlichen Akteure zeigte, dass insbesondere hinsichtlich wasserwirtschaftlicher Fragestellungen ein großes Interesse an den Ergebnissen und Untersuchungen für die Große Elbinsel besteht. Als potenziell verwundbare Systeme wurden von den Akteuren der Baubestand, die Verkehrsinfrastruktur und die Entwässerung herausgearbeitet.

Im zukünftigen Klima sind auf der Großen Elbinsel höhere Temperaturen zu erwarten, insbesondere im Winter, wobei der Temperaturanstieg bis zur Mitte dieses Jahrhunderts nur geringfügig von den verschiedenen potenziellen globalen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen abhängt (Anstieg um 0,9 - 2 K). Zum Ende des Jahrhunderts weisen die Szenarien mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen (A1B und A2) stärkere Temperaturanstiege

auf (Anstieg um 2,3 - 3,3 K) als das Szenario mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen (B1; Anstieg um 1,9 - 2,1 K). Insgesamt lässt sich sagen, dass der Klimawandel die Temperaturen regional erhöht. Die geplante und z.T. schon erfolgte Bebauung sorgt für lokale Veränderungen mit teilweise zusätzlich höheren Temperaturwerten. Diese lokalen Wärmespitzen sollten durch dezentrale Grünbereiche und ausreichend Belüftung vermieden werden.

Auch die Jahresniederschlagssumme wird den Klimaprojektionen zufolge steigen. Dabei werden die Sommerniederschläge wahrscheinlich leicht abnehmen, die Winterniederschläge hingegen leicht zunehmen. Im Sommer wird außerdem mit einer höheren Anzahl von Starkniederschlagsereignissen gerechnet. Für Wilhelmsburg ist dieses insbesondere in Hinblick auf die Entwässerung relevant (s.u.). Die klimatisch bedingten Veränderungen des Windes sind regional gesehen relativ gering gegenüber den Veränderungen, die durch Bebauung ausgelöst werden. Die veränderte Bebauung auf der Großen Elbinsel wird auch die Durchlüftungssituation des Stadtteils beeinflussen. Baumaßnahmen sollten daher vorab in Hinblick auf Veränderungen im Windkomfort und ihre Belüftungswirkung eingeschätzt werden.

Der Anstieg des mittleren Meeresspiegels in der Nordsee verändert die mittleren Tideverhältnisse so, dass als Folge der Tidenhub im Elbeästuar und im Bereich der Großen Elbinsel zunehmen kann. Durch die zukünftig noch verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich der stromaufwärts gerichtete Sedimenttransport. Die Trübungszone sowie die Brackwasserzone werden dadurch stromaufwärts verschoben. Die Sturmflutscheitelwasserstände werden in erster Näherung um den Betrag des Meeresspiegelanstiegs angehoben werden. Höhere Oberwasserzuflüsse heben die Sturmflutscheitelwasserstände zusätzlich an. Außerdem können die Sturmflutscheitelwasserstände früher eintreten und hohe Wasserstände länger anhalten.

Durch den zu erwartenden Elbwasseranstieg wird auch das Grundwasserpotenzial im Stadtteil Wilhelmsburg steigen. Das bestehende Entwässerungssystem kann zwar den Anstieg um bis zu 70 % mindern, allerdings ergibt sich dadurch eine höhere Gesamtdrainagerate. Bei Baumaßnahmen ist zu beachten, dass die Weichschichten, die den Grundwasserleiter abdecken, nicht entfernt oder in ihrer Mächtigkeit erheblich reduziert werden dürfen, da sonst ein ungebremster Austritt von Grundwasser möglich ist. Beachtet werden muss auch, dass sich durch den zukünftigen Anstieg des Elbwasserspiegels die Schöpfwerkszeiten und Sielzugzeiten reduzieren können.





# 1 Einleitung

Der Stadtteil Wilhelmsburg liegt im Zentrum des Bundeslandes Hamburg (Bezirk Mitte) im Hamburger Stromspaltungsgebiet der Elbe. Mit 35,4 km<sup>2</sup> ist er der größte Stadtteil Hamburgs. Zur Unterscheidung von der Gemarkung Wilhelmsburg (Abb. 1) wird er in diesem Text als „Wilhelmsburg (Stadtteil)“ bezeichnet; in Abbildung 1 ist er grün markiert. Wilhelmsburg (Stadtteil) besteht aus den Gemarkungen Neuhof, Kattwyk, Moorwerder und Wilhelmsburg. Die Gemarkung Wilhelmsburg ist vollständig von Deichen umschlossen und wird in diesem Text verkürzt als „Wilhelmsburg (Gemarkung)“ bezeichnet.

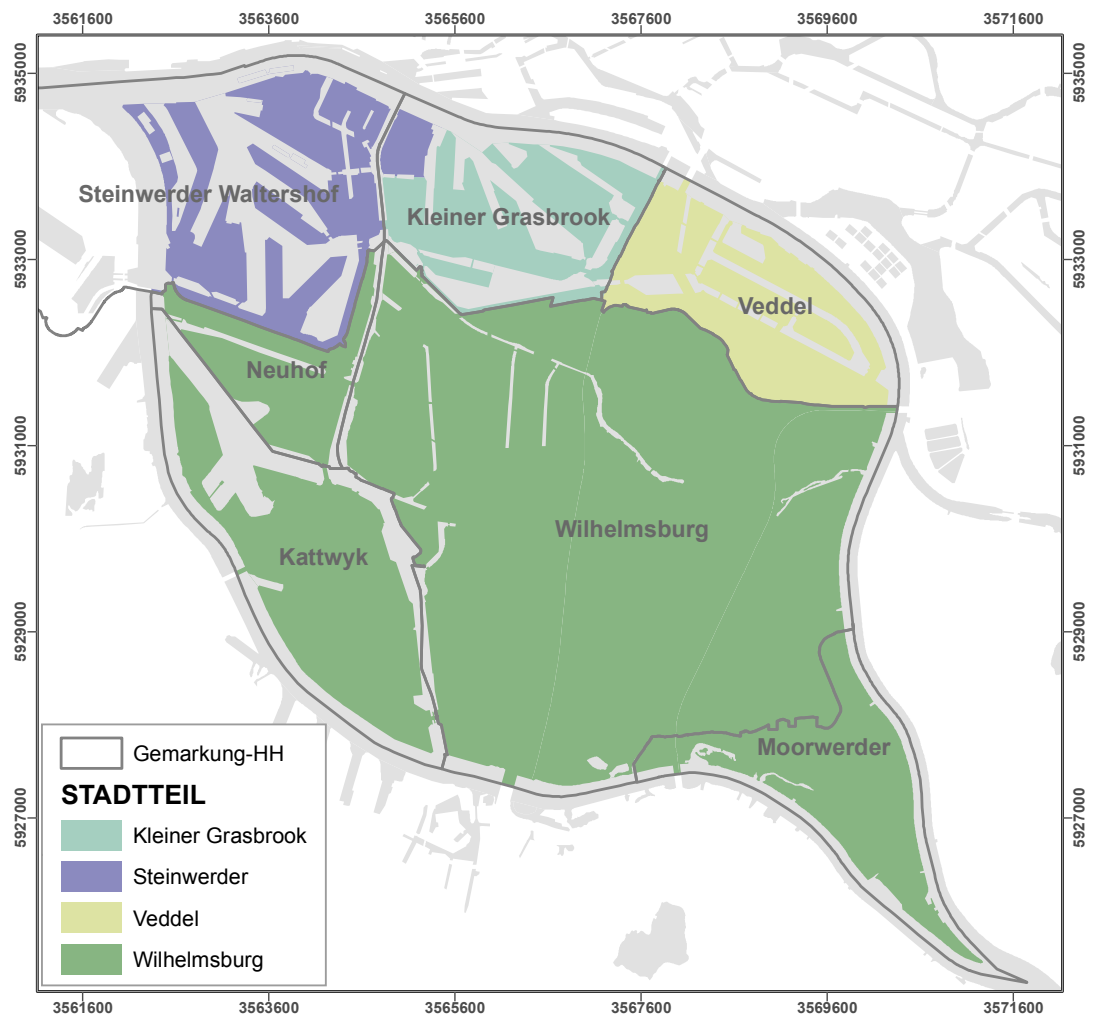


Abb. 1: Große Elbinsel umgeben von Norder- und Süderelbe mit den Stadtteilen und Gemarkungen unter Einschluss von Wilhelmsburg (Gemarkung) (Datenquelle: BSU Hamburg, Geologisches Landesamt; eigene Darstellung Meier).

Wilhelmsburg (Stadtteil) liegt gemeinsam mit den Stadtteilen Veddel und den durch das Hafengewerbe geprägten Stadtteilen Steinwerder/Waltershof und Kleiner Grasbrook auf Inseln im Hamburger Stromspaltungsgebiet der Elbe. Dieses von Nordereibe und Südereibe umschlossene Gebiet wird im vorliegenden Text als „Große Elbinsel“ bezeichnet.

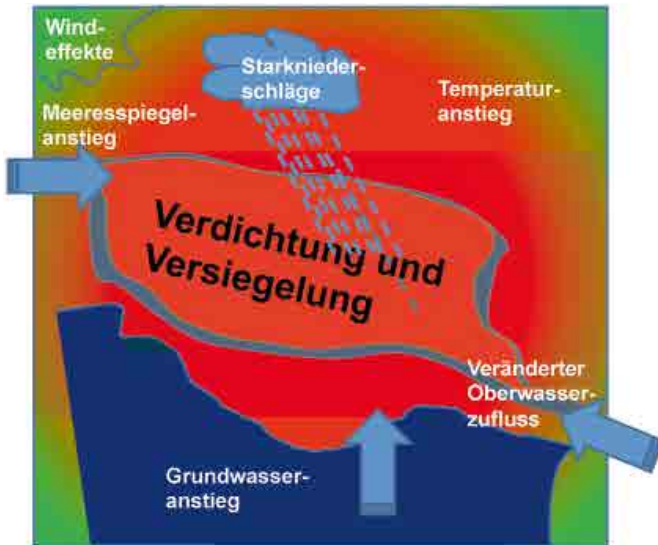


Abb. 2: Stressfaktoren für die Große Elbinsel und Wilhelmsburg (eigene Darstellung Schlünzen).

Die Große Elbinsel und insbesondere Wilhelmsburg (Gemarkung) gehören zu den sich am stärksten verändernden Quartieren Hamburgs. Mit der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg und der internationalen Gartenschau (igs) 2013 hat der Stadtumbau begonnen und damit verbunden eine zusätzliche städtebauliche Verdichtung und Versiegelung. Aber nicht nur städtebauliche Veränderungen werden das Leben auf der Großen Elbinsel weiter verändern, sie ist auch dem Klimawandel in besonderem Maße ausgesetzt. Meeresspiegelanstieg, ein veränderter Oberwasserzufluss, ein möglicher Grundwasseranstieg, Starkniederschläge sowie andere regionale Klimaänderungen wirken als Stressfaktoren auf die Große Elbinsel (Abb. 2). Tatsächlich werden die Auswirkungen dieser Veränderungen in den dicht besiedelten urbanen Räumen für viele Menschen wahrnehmbar und sie werden in ihrer lokalen Ausprägung durch Planungs- und Strukturentwicklungsmaßnahmen beeinflusst.

Dieser Bericht ist ein Ergebnis des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes KLIMZUG-NORD (Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg; [www.klimzug-nord.de](http://www.klimzug-nord.de)). Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurde für Wilhelmsburg von einem interdisziplinären Team untersucht, wie Klima- und Strukturwandel sowohl das Stadtklima als auch die hydrologischen und sozioökonomischen Gegebenheiten verändern können. Dabei werden folgende Fragen beantwortet:

- Welches Anpassungspotenzial hat ein Stadtgebiet durch zukünftige von Klima- und Strukturwandel bedingte Herausforderungen?

- Wie groß können die durch stadtplanerische Maßnahmen verursachten Veränderungen des Lokalklimas ausfallen?
- Wie kann Starkwindereignissen, Extremniederschlägen, Sturmflutgefahr, Grundwasseranstieg und Veränderungen in den Oberflächenabflüssen der Elbe gemeinsam begegnet werden?
- Wie kann der wasserumgebene Stadtteil klimagerecht weiterentwickelt werden?

Beteiligt an diesem Bericht sind Hydrogeologen, Ökonomen, Städteplaner, Meteorologen, Geografen, Küstenwasserbauer und Ozeanografen von der Technischen Universität Harburg-Harburg, der Universität Hamburg, dem Hamburgischen WeltWirtschaftsinstitut gemeinnützige GmbH, dem Climate Service Center Hamburg, dem Max-Planck-Institut für Meteorologie, der Bundesanstalt für Wasserbau und der Internationalen Bauausstellung Hamburg.

Der vorliegende Bericht soll Politik, Verwaltung und Wirtschaft, Planern, Bauherren, Bürgerinitiativen und der interessierten Öffentlichkeit als Informationsgrundlage bezüglich des Ist-Zustandes des Untersuchungsgebietes dienen und dabei helfen, die auf Wilhelmsburg zukommenden Änderungen infolge des Klimawandels einschätzen zu können. Der Bericht soll außerdem als Grundlage für die Planung und Durchführung von speziellen Anpassungsmaßnahmen und -strategien, aber auch von generellen Planungen dienen.

Die Kurzfassung dient den eiligen Lesern als Einstieg, die dort zusammengefassten Hauptergebnisse sind in Kapitel 6 bewertend ausgeführt. An Details, Gründen und Hintergründen der gezogenen Schlüsse interessierte Leser können sowohl mehr erfahren über die Interessenlage der für die Große Elbinsel und den Stadtteil Wilhelmsburg relevanten Akteure (Kap. 2), als auch über den gegenwärtigen Zustand des Klimas, der hydrologischen Situation, sozioökonomischer Faktoren sowie der Stadt- und Raumstruktur (Kap. 3). Zukünftige potenzielle Änderungen des Klimas und der Stadt- und sozioökonomischen Struktur und ihrer Folgen für die Große Elbinsel und den Stadtteil Wilhelmsburg werden in Kapitel 4 beschreiben. Eingeschätzt und, wo möglich quantifiziert werden Veränderungen bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts. Vor allem für die Leser, die sich mit Planungen für Wilhelmsburg befassen, können die Empfehlungen zu „Veränderungen für die Zukunft“ in Kapitel 5 interessant sein. Hier werden die Empfehlungen für die einzelnen Handlungsfelder zusammengefasst (Bebauung: Abschnitt 5.1; Wasserstandsverhältnisse und Sturmfluten: Abschnitt 5.2; Grundwasser und Entwässerung: Abschnitt 5.3; Planung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen: Abschnitt 5.4). Schlussfolgerungen und Bewertungen stehen in Kapitel 6. Begriffe, die unklar sein könnten, sind im Glossar erläutert. Wer weiter in die Tiefe gehen will, findet eine Liste der beteiligten Autoren und der verwendeten Literatur am Ende dieses Berichtes.

## 2 Akteursbefragung

*Anna-Gesa Meier, Marita Linde,  
Julia Kowalewski, Frieso Kipsch*

Für Wilhelmsburg (Stadtteil) wurde eine Akteursbefragung durchgeführt, um die Untersuchungen und gewonnenen Erkenntnisse an die Fragen und den Bewusstseinsstand der Akteure anpassen zu können. Ferner sollte auf die Expertise der Akteure zurückgegriffen und bestehende Probleme in die laufenden Untersuchungen einbezogen werden. Aufgrund der Lage von Wilhelmsburg (Stadtteil) wurde die Erhebung auf Akteure der Stadt Hamburg eingegrenzt und nicht die gesamte Metropolregion Hamburg einbezogen. Die Befragung wurde auf zuständige Behörden und Verbände beschränkt, um relevante Aussagen für die stadtplanerische Praxis gewinnen zu können. Die Durchführung sowie die Ergebnisse der Erhebung werden in den nächsten Abschnitten erläutert.

## 2.1 Befragte Institutionen

Die Auswahl der befragten Institutionen erfolgte zum einen aufgrund der Zuständigkeit für der Große Elbinsel, zum anderen wurden Interessengruppen einbezogen, die sich aus Projektsicht für die Große Elbinsel interessieren müssten. Sechs Behörden sowie acht Verbände und Vereine wurden befragt, die alle vornehmlich dem Sektor Wasserwirtschaft und Hafenmanagement zuzuweisen sind. Zusätzlich wurden auch Planungsinstitutionen und Akteure des Verkehrswesens befragt. Der wasserwirtschaftliche Fokus ergibt sich aus der Lage der Großen Elbinsel im Stromspaltungsgebiet der Elbe und seiner offensichtlichen Beeinflussung durch die Elbe. Ferner war das Interesse, an der Befragung teilzunehmen, innerhalb dieses Sektors besonders groß. Akteure mit anderen thematischen Schwerpunkten wurden ebenfalls angesprochen, jedoch waren diese zum Teil nicht interessiert, fühlten sich nicht zuständig oder waren nicht erreichbar und haben dadurch nicht zu den Ergebnissen der Befragung beigetragen.

Hintergrund der Befragung war, herauszuarbeiten, inwieweit die Ergebnisse aus KLIMZUG-NORD in die städtebauliche Planung der Hansestadt Hamburg in der Gemarkung Wilhelmsburg einfließen können. Eine Befragung der örtlichen Bevölkerung erschien nicht zielführend, da aufgrund einer großen Anzahl von Projekten im Stadtteil Wilhelmsburg in den vergangenen Jahren, wie beispielsweise der Internationalen Bauausstellung (IBA) sowie der internationalen Gartenschau 2013 (igs), die interessierte Bevölkerung bereits häufig in Planungs- und Entscheidungsfindungen sowie Befragungen einbezogen wurde. Daher wurde das Interesse der Bevölkerung an weiteren Befragungen als eher gering angenommen. Ferner werden die Interessen der Bevölkerung teilweise durch die befragten Verbände und Vereine vertreten. Dies gilt insbesondere für den Themenbereich Entwässerung, der in Wilhelmsburg (Stadtteil) eine übergeordnete Rolle spielt. Aus diesem Grund wurden die zuständigen Behörden und Institutionen in das Zentrum der Befragung gestellt.

## 2.2 Befragungsgegenstand

Die Informationserhebung fand anhand eines einheitlichen Fragebogens telefonisch im Spätsommer 2012 statt. Es wurden Fragen zur Wahrnehmung des Klimawandels sowie zu den erwarteten Folgen als auch zu den bereits bestehenden und angewendeten Anpassungsmaßnahmen gestellt. Außerdem sollten die Befragten die Verwundbarkeit ihres Zuständigkeitsfeldes aus ihrer Sicht einschätzen. Als mögliche Folgen des Klimawandels, welche zu einem Schaden im System oder einer Beeinträchtigung führen können, wurden beispielsweise Starkniederschläge, steigende Wasserstände sowie zunehmende Hitze und Winde als wählbare Möglichkeiten in der Befragung genannt. Darüber hinaus wurden von den Akteuren weitere Einflüsse angegeben. Neben der Auskunft hinsichtlich zukünftig zu erwartender Entwicklungen wurden auch Situationen in der Vergangenheit abgefragt, in denen es bereits zu Problemen gekommen war. Auf diese Weise sollten Hinweise und Erfahrungswerte zu kritischen Situationen gewonnen werden, die auch in der Zukunft unter der Wirkung des Klimawandels zu Schwierigkeiten führen könnten. Dazu sollten Schwellenwerte genannt

werden, die dabei überschritten wurden und die auch in die Untersuchungen der Zukunft einfließen können. Das Interesse an den in KLIMZUG-NORD gewonnenen Ergebnissen wurde erfragt. Dabei galt es zu beantworten, welche konkreten Themen für die Befragten und deren Tätigkeitsfeld von Interesse sind und in welcher zeitlichen sowie räumlichen Auflösung die Informationen für die Weiterverarbeitung vorliegen sollten. Ferner sollte Auskunft darüber gegeben werden, ob allgemeine Planungsgrundlagen oder konkrete Handlungsempfehlungen aus KLIMZUG-NORD für die Akteure abgeleitet werden sollten. Schließlich wurden Fragen über das Optimierungspotenzial der klimaangepassten Stadtentwicklung und über die zukünftige sozio-ökonomische Entwicklung des Stadtteils gestellt. Zusätzlich zur telefonischen Datenerhebung fand für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder und die Themenschwerpunkte „Grund-/Bodenwasser“ und „Entwässerung“ ein Akteurstreffen im September 2012 statt, bei welchem die Ergebnisse der Telefonbefragung vertieft und ergänzt wurden.

## 2.3 Ergebnisse der Befragung

Aus den Antworten der Befragten ergaben sich die Themengebiete „Grund-/Bodenwasserschutz“, „Entwässerung“, „Elbe/Deiche/Hochwasserschutz“, „Infrastruktur“, „Bausubstanz“, „Katastrophenschutz“ und „Planungsbehörden“. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung hinsichtlich der Klimawandelwahrnehmung, der bestehenden Anpassungsmaßnahmen, konkreter Verwundbarkeiten und Indikatorparameter bzw. Schwellenwerte auf die

jeweiligen Themengebiete bezogen zusammengefasst. Anschließend werden die allgemeineren Fragen nach der Verwundbarkeit und die für KLIMZUG-NORD relevanten Ergebnisse themengebietsübergreifend dargestellt.

## 2.3.1 Klimawandel – Wahrnehmung und Anpassung

### 2.3.1.1 Grund-/Bodenwasser

Als zukünftige klimawandelbedingte Änderungen wurden von den Akteuren allgemein saisonal veränderte Grundwasserstände, eine veränderte Ausprägung von Nass- und Trockenperioden und eine damit einhergehende saisonale Veränderung der Grundwasserneubildung angeführt. Erwartet wird, dass die Grundwasserneubildung zukünftig in anderen Zeiträumen als bisher und auch quantitativ verändert auftreten wird.

Um Änderungen frühzeitig erkennen und diesen begegnen zu können, wird gegenwärtig im Hamburger Raum die Grundwasserüberwachung flächendeckend ausgebaut und weitere Maßnahmen, wie beispielsweise eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser, in Betracht gezogen. Die getroffenen Aussagen beziehen sich auf das gesamte Hamburger Stadtgebiet. Grundsätzlich wird das Grund- und Bodenwassersystem von den zuständigen Akteuren als sensibel hinsichtlich möglicher Klimaänderungen eingeschätzt. Als mögliche Anpassungsmaßnahmen werden insbesondere für Gebiete mit einem zukünftig ansteigenden Grundwasserspiegel punktuelle Grundwasserabsenkungen genannt.

Diese können beispielsweise in Gebieten mit einem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels infolge von Brunnenabstellungen oder auch in Gebieten mit einem klimawandelbedingt ansteigenden Grundwasserspiegel eingesetzt werden. Diese Maßnahme ist auch für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder von Interesse, da hier die Grundwasserpotenziale im oberen Grundwasserleiter aufgrund des Kontaktes zur Elbe und infolge eines Elbwasseranstiegs unter der Wirkung des Klimawandels ansteigen würden. Dies hätte ebenfalls Auswirkungen auf die örtliche Entwässerung.

Als für die Akteure interessante Ergebnisse werden alle das Grundwasser betreffenden Ergebnisse angeführt. Diese umfassen die Veränderung der Grundwasserpotenziale, Austauschraten zwischen dem Grundwasser und der Elbe, zwischen dem Grundwasser und dem Entwässerungssystem, sowie eine mögliche Veränderung der Grundwasserströmung. Ferner besteht Interesse an den in das Grundwasserströmungsmodell eingeflossenen Eingangsparametern sowie eine Dokumentation der durchgeführten Modelluntersuchungen.

### 2.3.1.2 Entwässerung

Für das Interessensgebiet „Entwässerung“ wurde von den Akteuren die Veränderung der Niederschläge und insbesondere der Extremniederschläge als relevante Klimawandelereignisse genannt. Alle Aussagen beziehen sich explizit auf die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder, da sich diese in der Hamburger Elbmarsch befinden und aufgrund hoch anstehender Grundwasserpotenziale und einer tief liegenden Geländeoberfläche bereits in der Gegenwart kontinuierlich entwässert werden müssen (Abschnitt 3.3). Stärkere und häufigere Starkniederschläge führen zu erhöhten Oberflächenabflüssen und zunehmenden Entwässerungsraten. Insbesondere können erhöhte Niederschläge im Winter zu einer zusätzlichen Belastung der Gewässer und Schöpfwerke führen, da diese im vollen Maße abzuführen sind. Ferner wurden als Belastung für das Entwässerungssystem ansteigende Grundwasserpotenziale genannt, die sich aus dem Anstieg des Meeresspiegels und daraus resultierend des Elbwasserstands ergeben (Abschnitt 2.3.1.1).

Als bisher übliche und auch in der Zukunft geltende Anpassungsmaßnahme wurde insbesondere die Optimierung des bestehenden Systems genannt. Diese Optimierung bezieht sich auf Gewässerquerschnitte und die Hydraulik des Systems. Laut den Akteuren muss außerdem die Gewässerunterhaltung, die zum Teil von der örtlichen Bevölkerung zu erbringen ist, verbessert werden. Schließlich können auch an der Steuerung der Schöpfwerke und Stauanlagen Anpassungen vorgenommen werden. Nach Aussage der Befragten bedarf es

einer reibungslosen und unmissverständlichen Zusammenarbeit der verschiedenen zuständigen Akteure. Als zukünftige Anpassungsmaßnahme wurde die Schaffung zusätzlicher Retentionsräume beispielsweise durch die Doppelnutzung von Infrastrukturanlagen genannt. Des Weiteren erscheint das Schaffen redundanter Systeme sinnvoll, um im Falle des Ausfalls einzelner Anlagen auf vergleichbare Komponenten ausweichen zu können. Dies gilt insbesondere für das Schöpfwerk Kuckuckshorn, welches das leistungsfähigste Schöpfwerk des Systems ist. Das Entwässerungssystem der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder wurde von allen Akteuren als sensibel bezüglich zukünftiger Klimaänderungen und insbesondere hinsichtlich der Änderung der Niederschläge und deren saisonaler Verschiebung eingeschätzt.

Die befragten Akteure sind an den Klimawandelprojektionen hinsichtlich der Niederschlags- und der zukünftigen Elbwasserstandsentwicklung interessiert. Außerdem besteht ein Interesse an der Quantifizierung und Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern des Entwässerungssystems.

### 2.3.1.3 Elbe/Deiche/Hochwasserschutz

Die befragten Akteure waren für den Klimawandel und die Folgen desselben für die Elbe, die Deiche und den Hochwasserschutz sensibilisiert. Jedoch verwiesen die Akteure darauf, dass die Bevölkerung hierfür wenig sensibilisiert ist. Als mögliche Auswirkungen des Klimawandels wurden die Verschiebung der Brackwassergrenze elbaufwärts sowie die Zunahme der Elbtemperaturen genannt. Des Weiteren führt ein erhöhter Meeresspiegel zu einem verstärkten Sedimenttransport und infolgedessen zu einer Verringerung der Brückendurchfahrtshöhe. Durch eine von den Akteuren vermutete Zunahme von Starkwindereignissen kann auch die Windlast auf im Hafen befindliche Containerlagerplätze, die Hafeninfrasturktur (z. B. Kräne) und auf Schiffe steigen. Zusätzlich müssen Folgen für die aus Gründen des Hochwasserschutzes aufgehöhten Hafentflächen erwartet werden. Außerdem wird erwartet, dass auch der Korrosionsschutz aufgrund des Klimawandels

erhöht werden muss. Im Deichbau wird bereits heute ein säkularer Meeresspiegelanstieg berücksichtigt (Details zu angepassten Bemessungswasserständen in Abschnitt 3.2.4). Ferner werden Anpassungsmaßnahmen in dem Hochwassermanagementplan geregelt.

Interesse seitens der Akteure besteht an Informationen zu möglichen Vernässungen infolge des Klimawandels sowie an empfohlenen Managementmaßnahmen. Des Weiteren sind Aussagen zur Entwicklung der Wasserstände und Abflüsse sowie daran angepasste Deichhöhen erwünscht.

### 2.3.1.4 Infrastruktur

Grundsätzlich waren die Akteure für den Klimawandel und mögliche auftretende Folgen sensibilisiert. Erhöhte Niederschläge, die zu Bahnsteigüberschwemmungen und möglichen Verspätungen im Personennahverkehr führen können, wurden als eine Klimawandelauswirkung genannt. Des Weiteren können höhere Windgeschwindigkeiten zu Windwurf und daraufhin zu Verzögerungen im Verkehr führen. Ferner kann bei starkem Wind die Passierbarkeit einiger Strecken eingeschränkt sein. Zusätzlich wird die

klimawandelbedingte Temperaturzunahme als möglicher Auslöser für Ausfälle in der Elektronik genannt.

Konkrete Konzepte oder Anpassungsstrategien gibt es im Bereich der Infrastruktur derzeit noch nicht. Diese müssen zukünftig auch in Zusammenarbeit mit anderen Behörden erarbeitet werden. Daher besteht seitens der Akteure Interesse an Klimawandelprojektionen für Hamburg.

### 2.3.1.5 Bausubstanz

Eine Zunahme von Starkwindereignissen kann zu vermehrten Schäden an öffentlichen und privaten Gebäuden führen. Für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder kann weiterhin der Anstieg der Grundwasserpoteztiale als eine Folge des Klimawandels zu Flächen- und Kellervernässungen führen.

Konkrete Konzepte oder Anpassungsstrategien gibt es in diesem Bereich derzeit noch nicht. Diese müssen zukünftig auch in Zusammenarbeit mit anderen Behörden erarbeitet werden. Daher besteht Interesse an Klimawandelprojektionen für Hamburg seitens der Akteure.

### 2.3.1.6 Katastrophenschutz

Die angesprochenen Akteure waren grundsätzlich für den Klimawandel und seine Folgen sensibilisiert. Mögliche Anpassungsstrategien werden im Masterplan Hamburg und in einem Aktionsplan „Anpassung an den Klimawandel“ zusammengefasst.

Ein Beispiel ist die Berücksichtigung des Meeresspiegelanstiegs und die daher notwendige Deicherhöhung um weitere 80 cm bis 2050 (siehe auch Abschnitt 3.2.4).

Aus dem KLIMZUG-NORD Projekt sind nur partielle Ergebnisse von Interesse. Diese beziehen sich auf die allgemeinen Auswirkungen des Klimawandels auf das

Stadtklima. Die Akteure wiesen darauf hin, dass Klimawandel keine Katastrophe ist und daher nur untergeordnet der Zuständigkeit des Katastrophenschutzes unterliegt.

## 2.3.1.7 Planungsbehörden

Die Akteure der Planungsbehörden waren für den Klimawandel und die daraus resultierenden Folgen sensibilisiert. Konkrete Aussagen zu möglichen Folgen des Klimawandels auf das Tätigkeitsfeld der Befragten wurden jedoch nicht getroffen. Als Informationsquelle wurde das Gutachten Stadtklima genannt. Des Weiteren wurde deutlich gemacht, dass Klimawandelprojektionen nur

untergeordnet betrachtet werden und vorrangig der Wohnungsbau vorangetrieben werden soll. Jedoch sollen die entstehenden Neubauten nach den Regeln der Technik ausgeführt werden. Als Beispiele für klimaschonende Maßnahmen im Wohnungs- und Siedlungsbau wurden die Energieeinsparverordnung, Dachbegrünung und Regenwasserversickerung genannt.

## 2.3.2 Verwundbarkeit und Indikatorparameter

In Abhängigkeit von der Belastbarkeit durch den Klimawandel und daraus resultierender Änderungen ergibt sich die Verwundbarkeit. Reichten in der Vergangenheit bereits geringe Änderungen aus, um das betrachtete System an seine Grenzen zu bringen, so wurde dieses System als verwundbar bezeichnet.

Neben den klimatisch veränderten Randbedingungen wird als Ursache für mögliche Schäden an Eigenheimen auch das Fehlen von Bauhinweisen für Grundstückseigentümer genannt. Von den Akteuren wurden keine besonders gefährdeten Bereiche innerhalb des Stadtteils Wilhelmsburg ausgewiesen. Jedoch wurden Marschen bzw. Niederungen, wie die Hamburger Elbmarsch, als grundsätzlich verwundbar und gefährdet eingestuft. Weiterhin wurden Gebiete mit einer hohen Flächenversiegelung oder Freiflächen, die niedriger als stark versiegelte Flächen liegen, als sensible Bereiche beschrieben. Hinsichtlich des Hochwasserschutzes wurden der Hafen und Flächen im unmittelbaren Deichhinterland genannt. Auch die Verkehrsinfrastruktur wurde als allgemein verwundbar eingestuft. Bezüglich der Entwässerung gelten Bereiche mit unzureichend gepflegten Oberflächengewässern als gefährdet, sowie einige bestehende Einfamilienhaus- und Kleinsiedlungen.

Für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder lassen sich aus den Ergebnissen der Befragung drei konkrete, verwundbare Systeme ableiten:

- Nach Aussagen der Akteure wird der **Baubestand** durch mögliche Keller- und Flächenvernässungen aufgrund ansteigender Grundwasserpotenziale betroffen sein. Ferner könnten zunehmende Starkwindereignisse Schäden an Häusern verursachen.
- Für den Bereich **Verkehr** sind aufgrund von Bahnsteigüberschwemmungen und Schäden durch Windwurf oder den Ausfall der Elektronik bei hohen Temperaturen Verspätungen zu erwarten. Des Weiteren können einige Straßen aufgrund extremer Winde nicht passierbar sein. Hinzu kommt eine mögliche Tiefgangsbeschränkung für die Schifffahrt bei zunehmender Sedimentation in der Elbe und im Hafen.

- Die **Entwässerung** ist nur mit einer einfachen Sicherheit ausgestattet. Bei einem Ausfall dieses Systems oder einer Überlastung des leistungsstärksten Schöpfwerks kann es bei Starkniederschlägen zu Flächenvernässungen kommen. Des Weiteren können ausgeprägte Trockenperioden und ein daraus resultierender geringer Elbwasserabfluss zu Problemen bei der Vorhaltung der Wasserstände kommen, die zur Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen und für den Naturschutz erforderlich sind.

Grundsätzlich wird von allen Akteuren und in allen Bereichen von einer Erhöhung der Unterhaltungs- und Instandhaltungskosten für die bestehenden Systeme ausgegangen. Als Ursachen dafür wurden folgende, sich aus dem Klimawandel ableitende Gründe genannt:

- Niedrigwasserabfluss in der Elbe bei lang anhaltenden Trockenperioden im Sommer,
- Sturmfluten und Kettentiden,
- Grundwasserpotenzialanstieg,
- Starkniederschläge,
- veränderte Starkniederschläge und saisonale Umverteilung von Niederschlägen,
- Temperaturanstieg.

Als mögliche Indikatorparameter, die eine Änderung der bestehenden Verhältnisse feststellen lassen, wurde das Grundwasserpotenzial beziehungsweise die Lage der gesättigten Zone unterhalb der Geländeoberkante genannt.

Die Leitparameter für die Entwässerung sind Starkniederschläge, wie sie beispielsweise im Januar und Februar 2011 und 2012 auftraten, sowie lang anhaltender Regen. Diese Ereignisse führen zu einer hohen Abflussspende und daraus resultierend hohen Entwässerungsvolumina.

Des Weiteren wurde der Elbwasserspiegel als Parameter zur Indikation genannt. Insbesondere bei Binnenhochwasser, Kettentiden und Sturmfluten, bei welchen andauernde hohe Wasserstände in der Elbe zu erwarten sind, kann das Entwässerungssystem unter Stress geraten, da die Schöpfwerkspumpen nur eine definierte geodätische Förderhöhe überwinden können. Ist diese Höhe überschritten, kann kein Wasser aus dem Deichhinterland in die Elbe gefördert werden. Als Schwellenwert für diesen Zustand wurde ein Elbwasserstand über 3,5 m NN für das Schöpfwerk Kuckuckshorn genannt. Des Weiteren müssen die Wasserstände in den Wettern aus Gründen des Naturschutzes eine Mindestwassertiefe von 40 cm aufweisen. Dazu wird über die Siele Wasser aus der Elbe in das System geleitet. Das eingelassene Wasser dient auch der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. Diese Mindesttiefe könnte im Sommer zu Zeiten ausgeprägter Trockenperioden aufgrund geringer Abflüsse und niedrigerer Wasserstände in der Elbe zum Teil nicht gewährleistet werden. Ein Mindestabfluss für diesen Zustand wurde nicht genannt.

Weiterhin wurde der Gewässerzustand als Indikator genannt, da die Hydraulik und die Leistungsfähigkeit des Systems maßgeblich von der Gewässerunterhaltung abhängen. Bei einem stark verkrauteten Gewässer oder durch Unrat verengten Fließquerschnitt kommt es zu einer erhöhten Rauigkeit an der Böschung sowie der Gewässersohle und somit zu einer verringerten Fließgeschwindigkeit und einem erhöhten Wasserstand, der zu möglichen Überschwemmungen der angrenzenden Flächen führen kann.

Weiterhin wurde der Oberwasserzufluss aus der Mittelelbe in die Tideelbe als Indikator genannt. Liegen die Abflüsse nach Aussage der Akteure bei einem Wert unter 500 m<sup>3</sup>/s, kommt es bei einem gleichzeitigen Meeresspiegelanstieg zu einem erhöhten Salzgehalt in der Elbe. Außerdem nimmt der elbaufwärts gerichtete Sedimenttransport zu und führt in der Folge zu einer Tiefgangsbeschränkung im Hafengebiet. Schließlich kann anhand der Wassertemperaturen die Produktion von Biomasse und der damit einhergehende Sauerstoffverlust abgeleitet werden. Bei einer Wassertemperatur höher als 10 °C ist nach Aussage der Akteure die Biomasseproduktion in Gewässern aktiv.

## 2.3.3 Wünsche der Akteure an die Ergebnisaufbereitung

Als wesentliches Interesse an Ergebnissen aus dem KLIMZUG-NORD Projekt wurden allgemeine Klimaprojektionen sowie die Entwicklung der Elbwasserstände als auch die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima genannt. Des Weiteren besteht Interesse an den sich aus dem Klimawandel ergebenden Folgen

für die wasserwirtschaftliche und ökonomische sowie stadtplanerische Situation. Die verschiedenen befragten Sektoren bedürfen einer individuellen räumlichen Auflösung. Auch die Art und die Aufbereitung der Ergebnisse unterscheiden sich.

### 2.3.3.1 Räumliche Auflösung

Eine allen Akteuren gerecht werdende einheitliche räumliche Auflösung der in KLIMZUG-NORD erarbeiteten Ergebnisse konnte nicht gefunden werden. Je nach Tätigkeit und Zuständigkeitsgebiet der Akteure wurden verschiedene räumliche Ausdehnungen als auch Auflösungen gefordert. Sowohl großräumige, die Tideelbe von der Nordsee bis Geesthacht umfassende, als auch gebäudescharfe Betrachtungen wurden vereinzelt gewünscht. Mehrfach wurde jedoch eine Darstellung der

Ergebnisse für die Große Elbinsel als Übersicht oder in einzelne Organisationsbereiche unterteilte Bereiche von den Akteuren genannt. Der Detaillierungsgrad wurde zwischen einem 1 km-Raster und einer sich aus den Ergebnissen und Methoden der Untersuchungen ergebenden Genauigkeit abgeleitet. Auf einzelne Gewässer bezogene Ergebnisse sind ebenso von Interesse.

### 2.3.3.2 Art der Ergebnisse

Die Aufbereitung und Kommunikation der Ergebnisse aus KLIMZUG-NORD wurde zur Weiterverwendung durch mögliche Interessengruppen an diese angepasst. Ergebnisbandbreiten können für die Planung verwendet werden. Maximal mögliche Belastungen und Extremereignisse sowie Häufigkeiten sind für politische Entscheidungen

von Interesse. Ferner sind die Dokumentation und Kommunikation von Unsicherheiten der erzielten Resultate von großer Wichtigkeit für die Entscheidungsträger in Politik und Verwaltung. Hinsichtlich der Ausprägung der Planungs- und Handlungsempfehlungen gab es unterschiedliche Ansichten. 50 % der Befragten empfanden es



als ausreichend, allgemeine Handlungsempfehlungen an die Hand gegeben zu bekommen, in denen die Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimawandel und den Folgen hinsichtlich ihres betrachteten Systems aufgezeigt und grundsätzliche Anpassungsmöglichkeiten genannt werden. Die konkrete Planung sollte in diesem Fall den zuständigen Behörden und Verbänden unterliegen und die Erkenntnisse aus KLIMZUG-NORD als Entscheidungshilfe dienen. Die andere Hälfte der befragten Akteure war jedoch der Meinung, dass es bereits ausreichend viele allgemeine Empfehlungen gebe und dass im Rahmen von KLIMZUG-NORD konkrete Planungsvorschläge erar-

beitet werden sollten. Als Beispiel wurde eine künstliche Grundwasserabsenkung als Anpassung an steigende Elbwasserstände und Grundwasserpotenziale genannt. Diese konkreten Planungsentwürfe können dann als Grundlage beratend in die Planung durch die zuständigen Behörden und Verbände eingebunden werden. Unterstützend könnten konkrete Maßnahmen in die Untersuchungen einfließen und ihre Auswirkungen dargestellt werden. Dies gilt insbesondere für Impactmodelle, mit denen unterschiedliche Szenarien gerechnet und ausgewertet werden können. Eine Ausweisung von Unsicherheiten ist in diesem Zusammenhang von großer Wichtigkeit.

### **2.3.3.3 Voraussetzungen für die Empfehlungen**

Als eine Voraussetzung für mögliche Empfehlungen aus dem KLIMZUG-NORD Projekt für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder wird die Vereinbarkeit mit anderen Regularien wie beispielsweise der Wasserrahmenrichtlinie und dem Wasserhaushaltsgesetz erwähnt.

Es wurde ferner darauf hingewiesen, dass einige dieser Verordnungen und Pläne nur wenig Spielraum bieten, was zukünftig zu Problemen führen könnte. Darunter fallen die Bauordnung und der Bebauungsplan.

### **2.3.3.4 Optimierung der klimaangepassten Stadtentwicklung**

Als optimierungsbedürftig wurden das Regenwassermanagement sowie die Freigefälleentwässerung aus dem Entwässerungssystem für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder in die Elbe beschrieben. Mehrfach wurde auch auf die Ergebnisse des RISA-Projektes verwiesen, in welchem die Möglichkeiten zur Schaffung von Retentionsräumen im städtischen Kontext untersucht werden. Ferner wurde die Bauordnung genannt, welche an die neuen Bedingungen, die sich aus den Folgen des Klimawandels ergeben, angepasst werden muss. Hier sind beispielsweise steigende Grundwasserpotenziale sowie das Regenwassermanagement bei Starkniederschlägen

und bei lang andauernden Niederschlägen geringerer Intensität zu nennen. Von Bereichen in unmittelbarer Deichnähe wurde berichtet, dass die Bauordnung bereits an erhöhte Risiken angepasst wird. Auch wurde darauf hingewiesen, dass für eine Optimierung der klimaangepassten Stadtentwicklung eine unmissverständliche Kommunikation und ein verbesserter Informationsfluss zwischen den zuständigen Behörden und Verbänden vonnöten sind.

### **2.3.3.5 Rahmenszenarien**

Unter sozio-ökonomischen Rahmenszenarien werden in KLIMZUG-NORD angenommene zukünftige Entwicklungen der gesellschaftlichen und ökonomischen Situation verstanden. Diese beinhalten Veränderungen in der gesellschaftlichen Zusammensetzung sowie qualitative Aussagen zur energetischen, ökonomischen und städtebaulichen Situation.

Als wichtige Informationen hinsichtlich der gewählten sozio-ökonomischen Rahmenszenarien wurden die Entwicklung der Bevölkerung und der zukünftig auf der großen Elbinsel vorhandenen Vermögenswerte sowie die Nachverdichtung und die damit einhergehenden Versiegelungen und Flächenumnutzungen genannt.

## 2.4 Fazit

Das Ziel der KLIMZUG-NORD Akteursbefragung war es, das vorhandene Bewusstsein hinsichtlich des Klimawandels und seiner möglichen Folgen zu erfahren. Ferner sollten bestehende Probleme und die Erfahrung der befragten Akteure in die Untersuchungen innerhalb des Untersuchungsgebietes einfließen, sodass Ergebnisse und Empfehlungen an die Bedürfnisse möglicher Nutzer angepasst und aufbereitet werden konnten. Es wurden verschiedene zuständige Behörden und Ämter sowie Vereine und Verbände in die Datenerhebung einbezogen.

Die Umfrage hat ergeben, dass bereits ein deutliches Bewusstsein für den Klimawandel innerhalb der befragten Institutionen besteht. Lediglich von den wasserspezifischen Interessengruppen werden jedoch bereits Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt. Im Bereich der Stadtplanung und im Verkehrswesen werden den befragten Akteuren nach noch keine konkreten Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in die Planungen einbezogen.

Insbesondere bei den wasserwirtschaftlichen Akteuren war das Interesse an den Ergebnissen und den Untersuchungen für die Große Elbinsel groß. Dies lässt sich zum einen auf die Auswahl der befragten Institutionen und die Rückläufe der Fragebögen als auch auf die Lage des Untersuchungsgebietes im Stromspaltungsgebiet der Elbe zurückführen. Ferner erfordert die Nutzbarmachung der Elbmarsch ein Entwässerungssystem, ein weiterer Grund für die wasserbezogene Interessenlage. Insbesondere die Änderungen der saisonalen Niederschläge sowie die Entwicklung der Starkniederschläge und Elbwasserstände waren für die Akteure von Interesse. Dies gilt auch für die daraus resultierenden Veränderungen im oberflächennahen Grundwasser und die Oberflächenabflussverhältnisse. Veränderungen in der Wassertemperatur wurden vornehmlich in ihrer Auswirkung auf die Bioaktivität als interessant erachtet. Des Weiteren wurde das Interesse an Informationen zu erhöhten Windgeschwindigkeiten und extremen Windereignissen geäußert.

Aus den Angaben der Befragten ließen sich der Baubestand, der Verkehr sowie die Entwässerung als mögliche und potenziell verwundbare Systeme herausarbeiten. Die Verwundbarkeit lässt sich auf definierte Indikatorparameter wie den Elbwasserspiegel und Sturmfluten sowie klimatische Extremereignisse zurückführen. Die Verwundbarkeit dieser Systeme, und auch die zu der Beurteilung herangezogenen Parameter wurden aus Problemsituationen der Vergangenheit abgeleitet.

Eine einheitliche Aussage hinsichtlich der räumlichen Auflösung und der Bevorzugung von allgemeinen Empfehlungen gegenüber konkreten Planungsvorschlägen konnte aus den Antworten nicht herausgearbeitet werden. Eine Kombination aus beidem erscheint als Kompromiss sinnvoll.

# 3 **Wilhelmsburg heute**

In diesem Kapitel wird die Ist-Situation für die Große Elbinsel mit Wilhelmsburg beschrieben. Gegliedert ist das Kapitel in die Teile Klima (Abschnitt 3.1), Wasserstands- und Sturmflutverhältnisse (3.2), Hydrologie und Wasserwirtschaft (3.3), sozioökonomische Faktoren (3.4) und Stadtstruktur (3.5).

## 3.1 Besonderheiten des Klimas

K. Heinke Schlünzen, Peter Hoffmann, Frieso Kipsch, Marita Linde, Mohamed Salim, Bernd Leitl

Der Begriff Klima beschreibt die mittlere Verteilung verschiedener Zustandsgrößen (z.B. Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Feuchte, Bewölkung und Sonnenscheindauer) der Atmosphäre an einem Ort. Zur Betrachtung des Klimas wird ein Zeitraum von mindestens 30 Jahren herangezogen. Das Klima wird dabei nicht nur durch den Mittelwert einer Größe beschrieben, sondern auch durch die Häufigkeit einzelner Werte dieser Größe, wie beispielhaft Abbildung 3 für die Häufigkeit der Tagesmitteltemperaturen zeigt (Einzelheiten dazu in Abschnitt 3.1.1).

Hamburg mit der Großen Elbinsel befindet sich im Bereich der Westwindzone, in der kalte Luftmassen aus polaren und subpolaren Regionen mit warmen Luftmassen aus subtropischen Regionen aufeinandertreffen. Tiefdruckgebiete, die meist von West nach Ost ziehen und für unbeständiges Wetter sorgen, bestimmen das Klima, das zudem aufgrund der Nähe zur Nord- und Ostsee maritim geprägt ist.

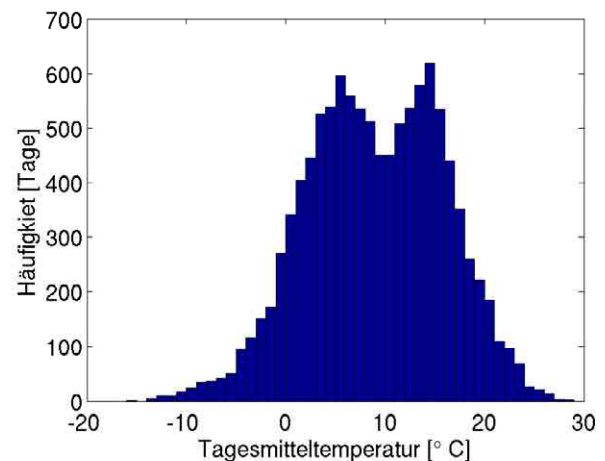


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen für das gesamte Jahr im Zeitraum 1971 - 2000 auf Basis der Messwerte des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg Fuhlsbüttel (Klimastation) (Daten: Deutscher Wetterdienst, eigene Darstellung Linde).

### 3.1.1 Temperaturen

Aus den Messdaten von 1971 bis 2000 ergibt sich für Hamburg-Fuhlsbüttel eine Jahresmitteltemperatur von 9,1 °C. Die Winter sind mild (Mittlere Temperatur im kältesten Monat Januar 1,3 °C; Abb. 4d) und die Sommer gemäßigt-warm (Mittlere Temperatur im wärmsten Monat Juli 17,4 °C; Abb. 4b). Frühling und Herbst sind recht ähnlich, wobei die häufigsten Temperaturen im Herbst gegenüber dem Frühling zu leicht höheren Werten verschoben sind (Abb. 4a, c). Auch in diesen Jahreszeiten können Temperaturen unter 0 °C auftreten. Die Temperaturspanne liegt insgesamt zwischen einer Tiefsttemperatur von -20,8 °C, gemessen am 1. Januar 1979 und einer Höchsttemperatur von 37,3 °C, gemessen am 9. August 1992. Diese Extremwerte fallen auf der Großen Elbinsel eher geringer aus, da die Nähe zu Norder- und Süderelbe sowie zu den Hafenbecken und anderen Wasserflächen den Tages- und Jahresgang der Temperatur dämpft.

Die charakteristischen Temperaturverteilungen der einzelnen Jahreszeiten ergeben eine bimodale Verteilung der Tagesmitteltemperaturen im gesamten Jahr (Abb. 3). Die am häufigsten auftretenden Tagesmitteltemperaturen betragen etwa 5,5 °C und etwa 14,5 °C. Die Jahresmitteltemperatur von 9,1 °C tritt dagegen vergleichsweise selten auf.

Das städtische Klima wird hinsichtlich der Temperatur allerdings durch anthropogen bedingte Veränderungen der Oberflächenbedeckung deutlich beeinflusst (Linde et al., 2014). Die am Tag durch Sonneneinstrahlung den massiven Baukörpern und versiegelten Flächen zugeführte Wärme wird in den Materialien gespeichert und abends und nachts wieder an die Luft abgegeben. Stehen die

Gebäude eng zusammen, so wird die Wärme zudem zwischen den Baukörpern zurückgehalten. Aus diesem Grund ist die Temperatur abends und nachts in den bebauten und versiegelten Bereichen (z.B. Hafengelände und mehrstöckig bebaute Bereiche) relativ höher als zum Beispiel in den landwirtschaftlich genutzten Regionen der Elbinsel in Moorwerder. Dies gilt besonders nach windschwachen, wolkenfreien Tagen. Abbildung 5a zeigt die gegenwärtige mittlere sommerliche Wärmeüberhöhung Hamburgs in den Abendstunden und wie sie sich durch Stadtentwicklung und Anpassungsmaßnahmen (Abschnitt 4.1.5) verändern könnte (Abb. 5b). Deutlich zeigt sich, dass die Temperaturen nächtlich im Sommer im Ist-Zustand im Bereich der westlichen Elbinsel ähnlich überhöht sind wie im versiegelten Zentrum Hamburgs. Ursache hierfür sind die versiegelten Hafenflächen. Zusätzlich erhöht würde die Temperatur durch lokale anthropogene Wärmeemissionen in den gewerblich genutzten Bereichen der Insel. Dies wurde hier nicht berücksichtigt, da sie über Energieeinsparungen relativ leicht reduziert werden können.

Bebauung reduziert die mittlere Windgeschwindigkeit innerhalb der Stadtstruktur (Abschnitt 3.1.3), wodurch die in die Straßenschluchten eingetragene Wärme schlechter abtransportiert wird. Auch die direkte Abwärme durch menschliche Aktivitäten, wie beispielsweise die Abwärme von Fabriken, Heizungen oder Klimaanlage, tragen zur Erhöhung der Lufttemperatur innerhalb eines Stadtquartiers bei. Die vielen Wasserflächen dämpfen den Tagesgang, sodass es nächtlich hier wärmer ist als in anderen Teilen Hamburgs.

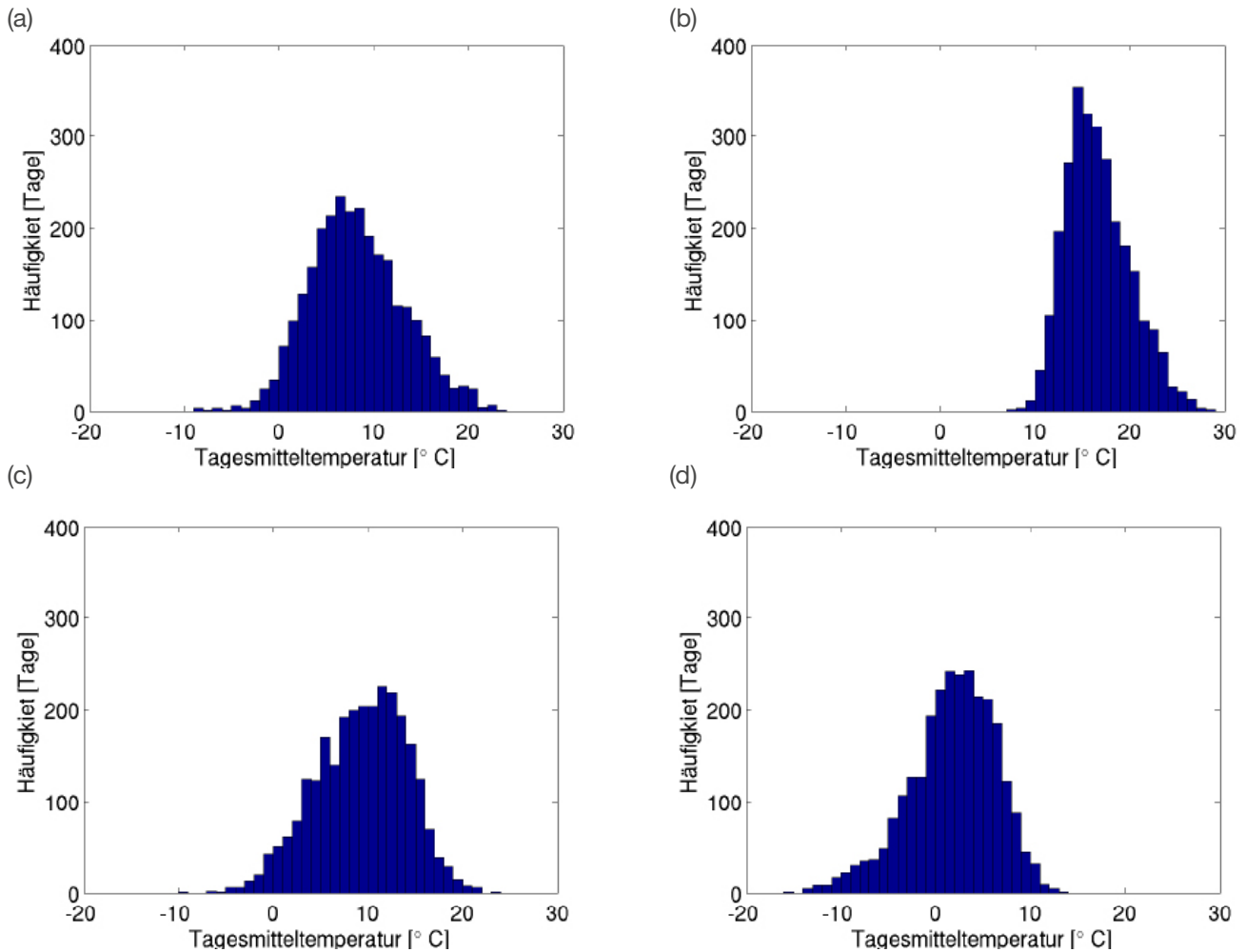


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen für (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter im Zeitraum 1971 - 2000 auf Basis der Messwerte in Hamburg Fuhlsbüttel (Klimastation) (Daten: Deutscher Wetterdienst, eigene Darstellung Linde).

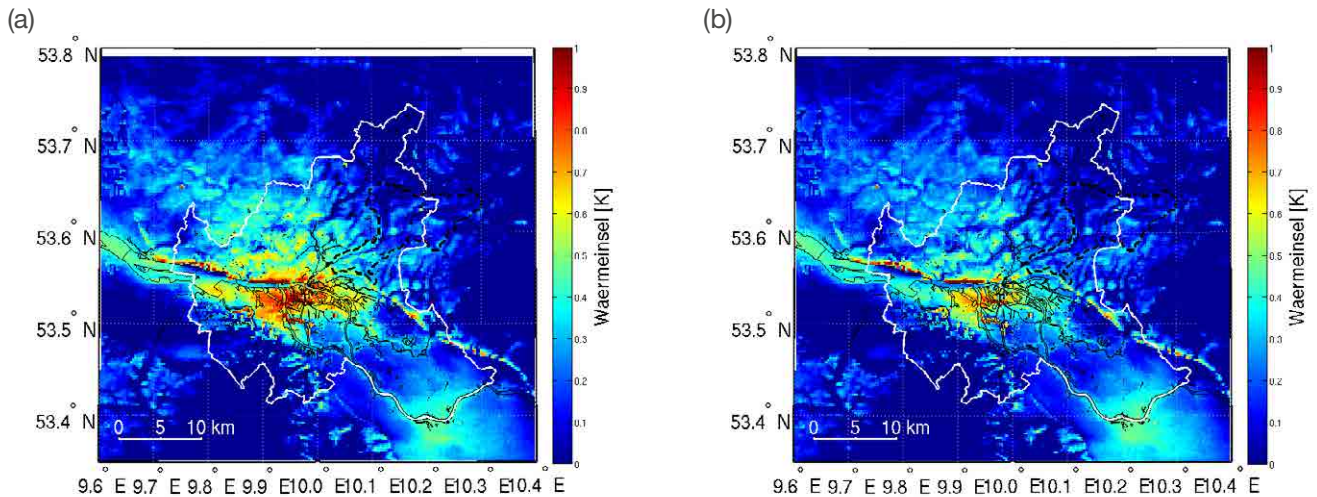


Abb. 5: Mittlere nächtliche Wärmeinsel im Sommer für (a) den Ist-Zustand und (b) bei flächendeckender Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Die Werte wurden auf einem 250 m Raster mit dem Modell METRAS (Schlünzen, 1990; Grawe et al., 2013; Schoetter et al., 2013) aus halbstündlichen Mittelwerten für die Zeit von 20 bis 24 Uhr errechnet (Linde et al., 2014).

Wasser kann große Mengen Wärme speichern und gibt diese bei niedrigerer Umgebungstemperatur verzögert wieder ab, sodass die Minimaltemperaturen der Luft auf der Großen Elbinsel von der Wassertemperatur beeinflusst sind. Verlässliche Messungen der bodennahen Lufttemperatur liegen auf der Elbinsel zwar nicht vor, eine Analyse der Verbreitung wärmeliebender Pflanzen als Indikatoren für die Temperatur hat gezeigt, dass so-

wohl im stark von der Hafenvirtschaft genutzten Bereich im Westen der Großen Elbinsel als auch in anderen mit großen Wasserflächen versehenen Teilen Hamburgs wärmeliebende Pflanzen so häufig sind wie in stark versiegelten Bereichen des Stadtbezirks Hamburg-Mitte (Bechtel und Schmidt, 2011).

## 3.1.2 Niederschläge

Die Niederschläge mit mehr als 0,1 mm fallen ganzjährig an durchschnittlich 193 Tagen im Jahr. Der mittlere jährliche Gesamtniederschlag beträgt 773 Millimeter (= 773 Liter pro Quadratmeter), bezogen auf den Zeitraum von 1971 bis 2000. Der Sommerniederschlag (Juni, Juli, August) ist mit 225 Millimetern der höchste, der Frühlingsniederschlag (März, April, Mai) mit 162 Millimeter der niedrigste. Der Februar hat mit 42 mm Niederschlag sowohl die geringste absolute Niederschlagssumme als auch die geringste Niederschlagssumme pro Tag. Der Niederschlag ist in Hamburg räumlich nicht gleich verteilt. Die räumliche Verteilung wird beeinflusst durch die Harburger Berge und die Geestrücken an den Ufern der Elbe (Abb. 6). Die Hauptwindrichtung Süd-West führt dazu, dass vor allem Neugraben, Harburg, die Große Elbinsel sowie die Vier- und Marschlande im Niederschlagsschatten der südlich gelegenen Berge liegen. Das Niederschlagsminimum im Süd-Osten zeigt den zunehmend kontinentalen Einfluss an.

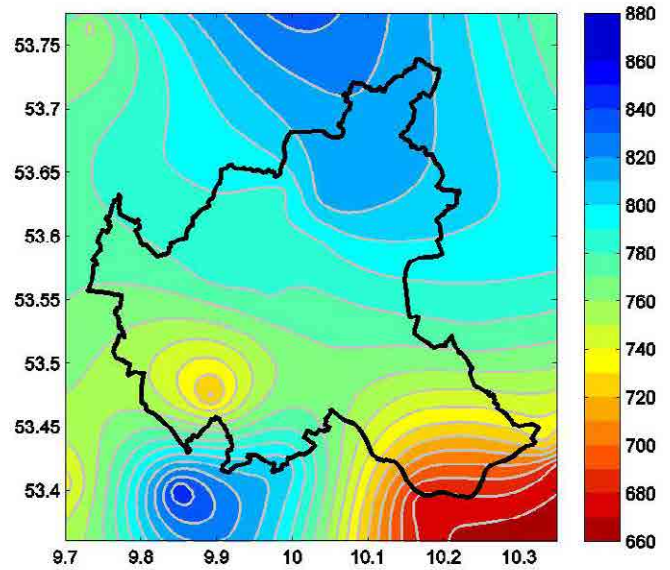


Abb. 6: Mittlere Niederschlagsverteilung für Hamburg auf Basis der DWD Niederschlagsmessstationen (Ertl, 2009).

## 3.1.3 Wind

Zur Betrachtung der windklimatischen Verhältnisse in Hamburg werden die meteorologischen Daten der Klimastation des Deutschen Wetterdienstes in Fuhlsbüttel sowie die vom Meteorologischen Institut der Universität Hamburg am Hamburger Wettermast am Standort Billwerder erhobenen Wetterdaten herangezogen (Abb. 7 a). Zu beiden Stationen existieren detaillierte Auswertungen (Fuhlsbüttel: Cappel und Kalb (1976), Riecke und Rosenhagen (2010), Schlünzen et al. (2010), Billwerder: Lange (2001), Brümmer et al. (2012)). Da die Oberflächenstruktur (Bebauung, Topografie) die Windverhältnisse in Stadtgebieten stark beeinflusst, werden zu einer allgemeinen Einschätzung zunächst die Daten einer Höhenstufe weit oberhalb der Stadt (175 m) an der Station Billwerder betrachtet.

Mittels der Windrose in Abbildung 7b wird die relative Häufigkeit der gemessenen Windstärken und -richtungen dargestellt. Die Datengrundlage bilden die Zeitschriebe der Jahre 2007 - 2009. Ähnliche Windverhältnisse werden auch in den Folgejahren beobachtet. Abbildung 7b zeigt eine Dominanz der westlichen Windrichtungen (Hauptwindrichtung) mit den im Mittel höchsten Windgeschwindigkeiten. Ein zweites Maximum existiert in der Häufigkeitsverteilung für östliche/südöstliche Windrichtungen, für die im Mittel geringere Windgeschwindigkeiten registriert werden.

Wird bei der Windstatistik in hohe und niedrige mittlere Windgeschwindigkeiten unterschieden, so ergeben sich die in Abbildung 8 dargestellten Verhältnisse. Die Abbildung zeigt wiederum eine Dominanz westlicher

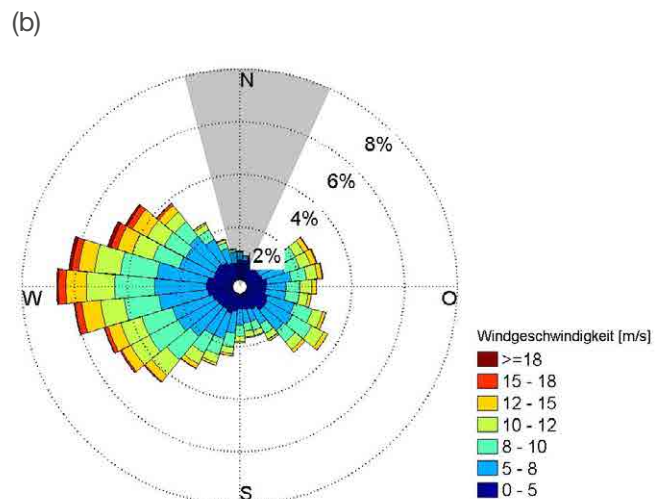
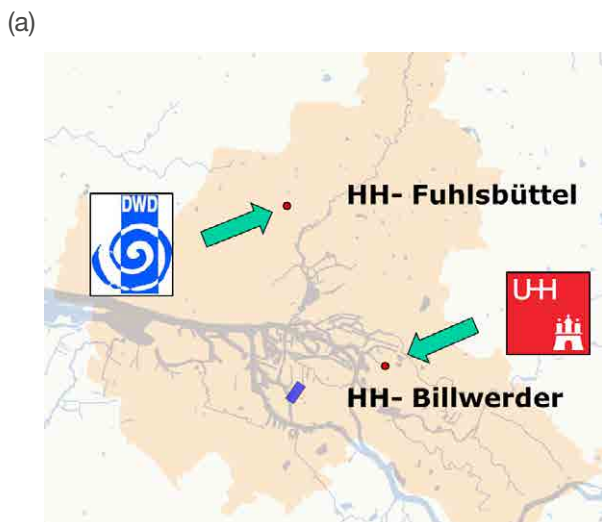


Abb. 7: (a) Schematische Darstellung der Lage der betrachteten Klimastationen in Hamburg, (b) Häufigkeitsverteilung der mittleren Windverhältnisse (Windrose) am Standort Billwerder in 175 m Höhe, Datengrundlage: 2007 - 2009.

Windrichtungen bei Starkwindsituationen ( $> 10$  m/s), jedoch eine annähernde Gleichverteilung bei Schwachwinden ( $< 3$  m/s). Zusätzlich wurde in den Grafiken der Windrichtungsbereich grau unterlegt, für den eine Beeinflussung der Messergebnisse durch den NDR-Sendemast nicht ausgeschlossen werden kann. In den Messdaten wird eine ausgeprägte jahreszeitliche Abhängigkeit der Windstatistik festgestellt. Während in den Wintermonaten eine ungefähre Gleichverteilung der Hauptwindrichtungen Südwest und Südost beobachtet wird, verschieben sich in den Sommermonaten die Hauptwindrichtungen in eine dominante West-Nordwestrichtung sowie eine seltenere östliche Windrichtung (Lange, 2001).

Die in 175 m Höhe gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten repräsentieren jedoch nur bedingt die Windverhältnisse im Stadtgebiet Hamburgs. Die mittleren Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe sind deutlich geringer als in 175 m Höhe. Die verringerte Windgeschwindigkeit in Bodennähe resultiert aus dem Rauigkeitseinfluss der städtischen Bebauung. Abbildung 9b zeigt ein typisches mittleres Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit:

je geringer der Abstand zur Erdoberfläche, desto geringere mittlere Windgeschwindigkeiten werden gemessen. Die mittlere Windgeschwindigkeit von 7 m/s in 175 m Höhe wird durch den Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf eine mittlere Windgeschwindigkeit von 3 m/s in 10 m Höhe reduziert.

Abbildung 9a zeigt die Windrichtungsverteilung und -häufigkeit in 10 m Höhe am Standort Hamburg-Billwerder. Die Windrichtungen West/Südwest sowie Ost/Südost treten in der bodennahen Messung des Windfelds relative häufiger als andere Windrichtungen auf. Es wird eine stärkere Variation der Windrichtung beobachtet, welche durch den Rauigkeitseinfluss bzw. die Hindernisstruktur der Stadtgeometrie erzeugt wird. Ähnliche Verhältnisse werden auch am Standort Hamburg Fuhlsbüttel beobachtet. Abbildung 9a zeigt ein deutliches Maximum der Häufigkeitsverteilung für Wind aus südöstlicher Richtung. Da der Messort südöstlich der Innenstadt gelegen ist, wertet Lange (2001) auf Basis ähnlicher Untersuchungen dieses als ein Indiz für eine städtische Wärmeinsel. Während die Starkwindsituationen in 10 m Höhe ein vergleichbares Muster wie

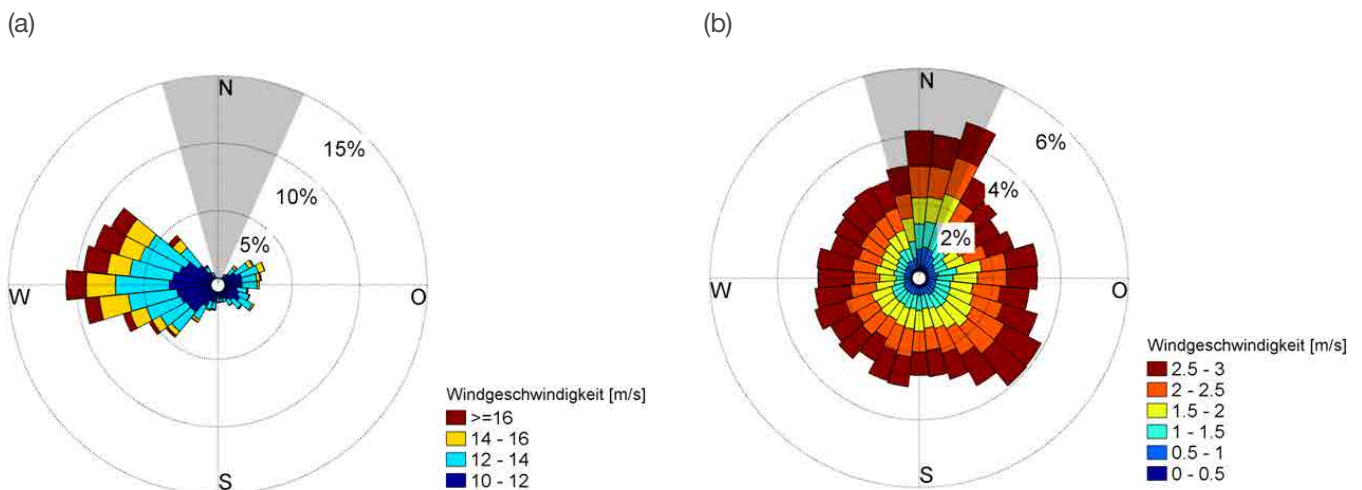


Abb. 8: (a) Windrichtungsverteilung in 175 m Höhe bei Starkwindverhältnissen und (b) Schwachwindverhältnissen, Datengrundlage: 2007 - 2009.

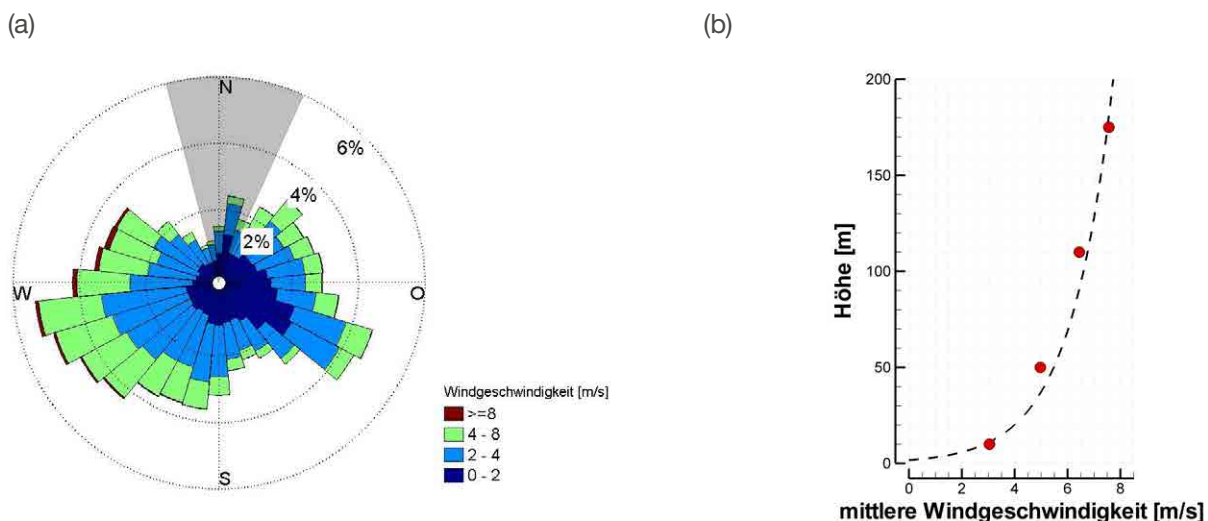


Abb. 9: (a) Windrichtungsverteilung in 10 m Höhe und (b) Profil der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Billwerder, Datengrundlage: 2007 - 2009.

Abbildung 8a aufweisen, unterscheiden sich seine Ergebnisse für die Schwachwindsituationen deutlich von denen in Abbildung 8b.

Bei einer Betrachtung des bodennahen Windfelds muss die Umgebungsbebauung berücksichtigt werden. Sowohl die Dichte der Bebauung als auch deren Orientierung, die mittlere Gebäudehöhe sowie die Verteilung der Bauwerkshöhen wirken sich auf Windgeschwindigkeit und -richtung aus. Deshalb müssen oberflächennah erhobene Messdaten differenziert betrachtet werden. Weitere Effekte wie beispielsweise die Geländeneigung sind ebenfalls zu berücksichtigen. Zusammenfassend kann das innerstädtische Windfeld als Resultat eines komplexen Zusammenspiels großräumiger Windverhältnisse, der vorherrschenden Bebauung und der Topografie angesehen werden.

## Fazit zum Stadtklima

Auch das Klima der Großen Elbinsel wird durch Bebauung verändert. Die am Tag durch Sonneneinstrahlung den massiven Baukörpern und versiegelten Flächen zugeführte Wärme wird in den Materialien gespeichert und abends und nachts an die Luft wieder abgegeben. Stehen die Baukörper eng zusammen, so wird die Wärme zudem zwischen ihnen zurückgehalten. Aus diesem Grund ist die Temperatur abends und nachts in den bebauten und versiegelten Bereichen (z.B. Hafengelände und mehrstöckig bebaute Bereiche) relativ höher als in den landwirtschaftlich genutzten Regionen der Großen Elbinsel (z.B. in Moorwerder). Dies gilt besonders an schwachwindigen, wolkenfreien Tagen.

## 3.2 Wasserstands- und Sturmflutverhältnisse der Elbe

Annette Büscher, Ariane Paesler, Elisabeth Rudolph, Norbert Winkel

### 3.2.1 Elbeästuar

Die Elbe ist vom Wehr Geesthacht bis zum ca. 23 km entfernten Bunthaus zwischen 300 m und 500 m breit. Bei Bunthaus (Elbe-km 609N), teilt sich der Fluss in Norder- und Süderelbe auf, wobei jeder Arm anfangs nur noch ca. 200 m breit ist (Abb. 10). Die Breiten nehmen jedoch nahezu kontinuierlich zu, sodass beim Aufeinandertreffen (Elbe-km 626) der beiden Arme die Norderelbe ca. 400 m und die Süderelbe ca. 300 m breit sind und die nun wiedervereinigte Elbe eine Breite von ca. 500 m hat. Vom Wehr Geesthacht bis zum Beginn des Hamburger Stromspaltungsgebietes bei Bunthaus wird die Elbe durch Stacks in einem festen Flussbett gehalten. Die Sohle ist dort grobsandig bis kiesig. Im Bereich des Hamburger Hafens ist der Fluss durch Hafenanlagen wie Spundwände und durch befestigte Böschungen eingefasst. Naturnahe Ufer sind nur selten zu finden. Die Sohle im Fahrwasser ist sandig, in den Hafenbecken schlickig. Abbildung 10 zeigt einen Ausschnitt der Topografie des numerischen Modells des Elbeästuars der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) mit den Pegelstandorten St. Pauli (Elbe-km 623N) und Bunthaus (Elbe-km 609N).

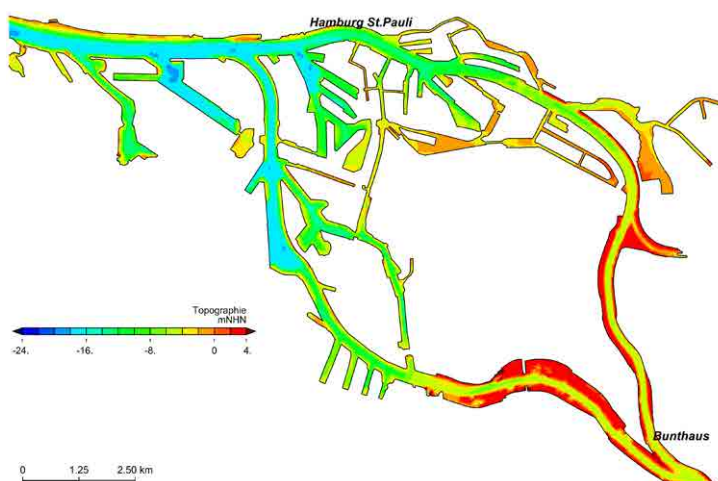


Abb. 10: Modelltopografie des Elbeästuars der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Teilgebiet Große Elbinsel mit den Pegelstandorten St. Pauli und Bunthaus.

### 3.2.2 Wasserstände an den Pegeln St. Pauli und Bunthaus

Die Abbildung 11 zeigt die gemessenen Wasserstände an den Pegeln St. Pauli und Bunthaus Anfang Juni 2006 bezogen auf Meter über Normalhöhennull (NHN). Deutlich wird, dass sich die Tidekurve auf dem Weg von St. Pauli nach Bunthaus verformt. Sowohl das mittlere Tideniedrigwasser (MTnw) als auch das mittlere Tidehochwasser (MThw) steigen an, der mittlere Tidehub (MThb) ist in St. Pauli größer als in Bunthaus. Im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch (DGJ, 2013) sind 5-Jahres-Mittelwerte des Wasserstandes an den Was-

serstandspegeln entlang der Elbe aufgeführt. Beispielfhaft finden sich in Tabelle 1 die 5-Jahres-Mittelwerte von 2006 bis 2010 der Pegel St. Pauli und Bunthaus. Das mittlere Tidehochwasser (MThw) am Pegel St. Pauli beträgt für diesen Zeitraum NHN +2,12 m, am Pegel Bunthaus NHN +2,27 m. Das mittlere Tideniedrigwasser (MTnw) bei St. Pauli beträgt NHN -1,54 m, bei Bunthaus NHN -1,09 m. Das höchste Tidehochwasser (HThw), das in diesem Zeitraum am Pegel St. Pauli aufgezeichnet wurde, trat am 09.11.2007 mit NHN +5,65 m auf. 6 cm



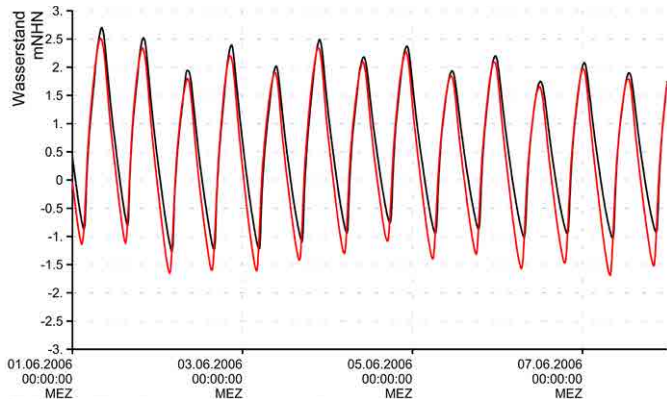


Abb. 11: Gemessene Wasserstände an den Pegeln Bunthaus (schwarz) und St. Pauli (rot) im Juni 2006.

Tab. 1: Charakteristische Werte des Wasserstandes. 5-Jahres-Mittelwerte (2006 - 2010) des Wasserstandes in m NHN an den Pegeln St. Pauli und Bunthaus (Daten aus: DGJ, 2013), Erläuterungen zu den Abkürzungen im Glossar.

	St. Pauli	Bunthaus
NTnw	-2,86 (14.12.2008)	-2,25 (03.02.2009)
NThw	+0,35 (04.01.2008)	+0,43 (04.01.2008)
MNThw	+0,51	+0,63
MNTnw	-2,73	-2,03
MThw	+2,12	+2,27
MTnw	-1,54	-1,09
MHThw	+4,47	+4,57
MHTnw	+0,76	+1,10
HTnw	+1,88 (01.03.2008)	+1,93 (01.03.2008)
HThw	+5,65 (09.11.2007)	+5,59 (09.11.2007)

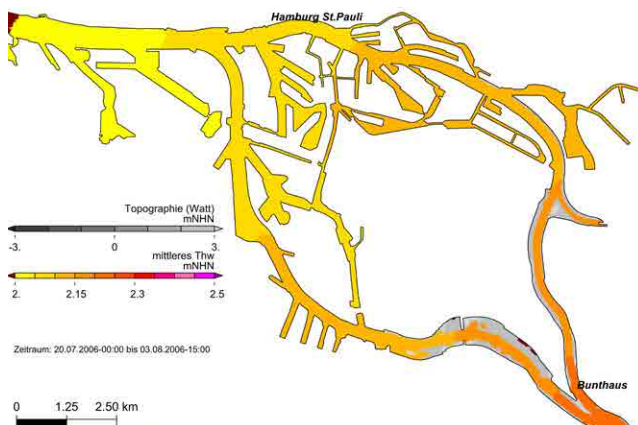


Abb. 12: Berechnetes mittleres Tidehochwasser, gemittelt über den Analysezeitraum mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .

weniger wurden am gleichen Tag am Pegel Bunthaus gemessen. Der niedrigste Wasserstand wurde am 14.12.2008 festgestellt, am Pegel St. Pauli sank das Niedrigwasser bis auf NHN -2,86 m ab.

Der Einsatz räumlich und zeitlich hochaufgelöster hydrodynamisch-numerischer Modelle ermöglicht ein vertieftes Verständnis der hydrodynamischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet. Für die vorgestellten Untersuchungen wird das 3-dimensionale hydrodynamisch-numerische Modell UnTRIM (Casulli und Walters, 2000) benutzt. Es eignet sich aufgrund des verwendeten unstrukturierten orthogonalen Gitters besonders für Anwendungen in geometrisch komplexen Ästuaren mit regelmäßigem Überfluten und Trockenfallen. Beispielhaft sind ausgewertete flächenhafte Ergebnisse (Tidekennwerte: Tidehochwasser Thw, Tideniedrigwasser Tnw sowie Tidehub Thb) einer numerischen Simulation für die Große Elbinsel in Abbildung 12 bis Abbildung 14 dargestellt. Die Tidekennwerte sind für einen Spring-Nippzyklus im Sommer 2006 mit einem Oberwasserzufluss  $Q=350 \text{ m}^3/\text{s}$  errechnet worden. Der Tidehub ist nicht überall gleich, sondern an einigen Stellen der Nordereibe und der Südereibe bis zu 25 cm höher als an der Bunthäuser Spitze (Abb. 14).

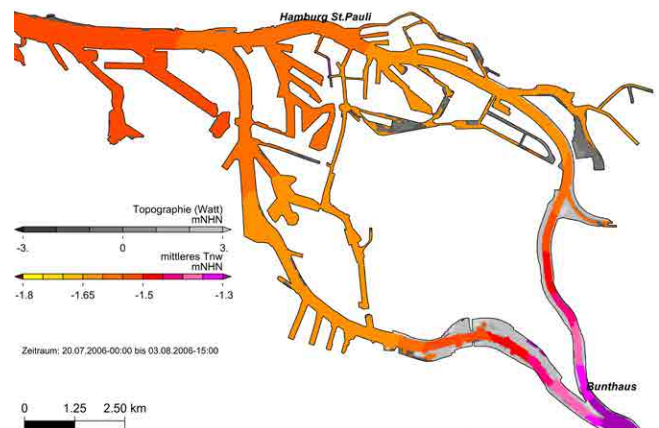


Abb. 13: Berechnetes mittleres Tideniedrigwasser, gemittelt über den Analysezeitraum mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .

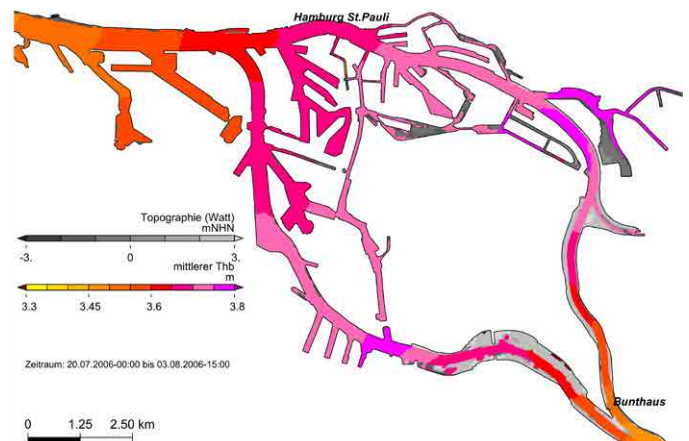


Abb. 14: Berechneter mittlerer Tidehub, gemittelt über den Analysezeitraum mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.2.3 Entwicklung der Wasserstände in der Tideelbe

Boehlich und Strotmann (2008) haben die Monatswerte der mittleren Tidehoch- und Tideniedrigwasserstände am Pegel Cuxhaven-Steubenhöft und in Hamburg-St. Pauli seit 1880 ermittelt und analysiert. Diese Analysen sind von der BAW aktualisiert und in Abbildung 15 dargestellt worden. Während am Pegel Cuxhaven-Steubenhöft nur ein geringer positiver Trend des Tidehoch- und Tideniedrigwassers zu beobachten ist, ist am Pegel St. Pauli in den vergangenen 50 Jahren das MTnw um ca. 1 m abgesunken und das MThw um ca. 0,5 m angestiegen. Dabei ist der Unterschied zwischen dem MTnw in Cuxhaven und dem in Hamburg im Laufe der letzten 30 Jahre ständig kleiner geworden. Gegenwärtig ist er fast nicht mehr vorhanden. Diese Wasserstandsentwicklung schreiben Boehlich und Strotmann (2008) in erster Linie der Veränderung des Flussbettes der Elbe zu. Welche einzelnen Maßnahmen zu welcher Veränderung führten, ist dabei nicht immer eindeutig.

Dücker et al. (2006) und Gönnert et al. (2007) haben die Entwicklung des Wasserstandes am Pegel Hamburg-St. Pauli seit 1870 im zeitlichen Zusammenhang zu den anthropogenen Aktivitäten und der Entwicklung der Wasserflächen im Hamburger Hafen grafisch dargestellt. Nach Rohde (1971) haben die Zunahmen der Wasserflächen im Hamburger Hafen bis ca. 1915 ein stärkeres Absinken des Tideniedrigwassers zu der Zeit verhindert. Siefert (1998a) hat die Wasserstandsentwicklung

in der Tideelbe von 1950 bis 1997 analysiert. Er zeigt, dass sich menschliche Eingriffe vornehmlich zwischen Stadersand und Brunsbüttel stark auf das Tideregime ausgewirkt haben, weniger dagegen oberhalb von Stadersand. Künstliche und natürliche Veränderungen im Elbebereich bis Cuxhaven wirken ebenfalls, aber schwächer. Den Eindeichungsmaßnahmen weisen Siefert und Havnoe (1988) insgesamt eine Erhöhung der Sturmflutscheitelwasserstände von ca. einem halben Meter in Hamburg zu. Außerdem hat Siefert (1998a) die Entwicklung der Flut- und Ebbedauern (nach DIN 4049-3 1994) in Hamburg seit 1950 untersucht. Diese Trenduntersuchungen für die Zeit ab 1900 erbrachten für Hamburg 18 Minuten Flutdauer-Verlängerung für ein Jahrhundert. WSA Hamburg (2007) sowie Fickert und Strotmann (2007) geben an, dass die Dauer einer mittleren Flutphase am Pegel Hamburg-St. Pauli in der Zeit von 1960 bis 2005 um etwa 13 Minuten von 298 Minuten auf 311 Minuten zugenommen hat. Die Dauer der Ebbedauer hat in gleichem Maße von 447 Minuten auf 434 Minuten abgenommen. Ähnliche Verhältnisse in Bezug auf die Entwicklung der Dauer von Flut- und Ebbedauer werden nach Fickert und Strotmann (2007) auch an anderen Pegeln im Revier beobachtet. Die Verhältnisse in Helgoland seien hingegen gleich geblieben. Gönnert et al. (2004) haben am Pegel St. Pauli für das Jahr 1955 eine mittlere Flutdauer von ca. 293 Minuten ermittelt und für das Jahr 1998 ca. 310 Minuten.

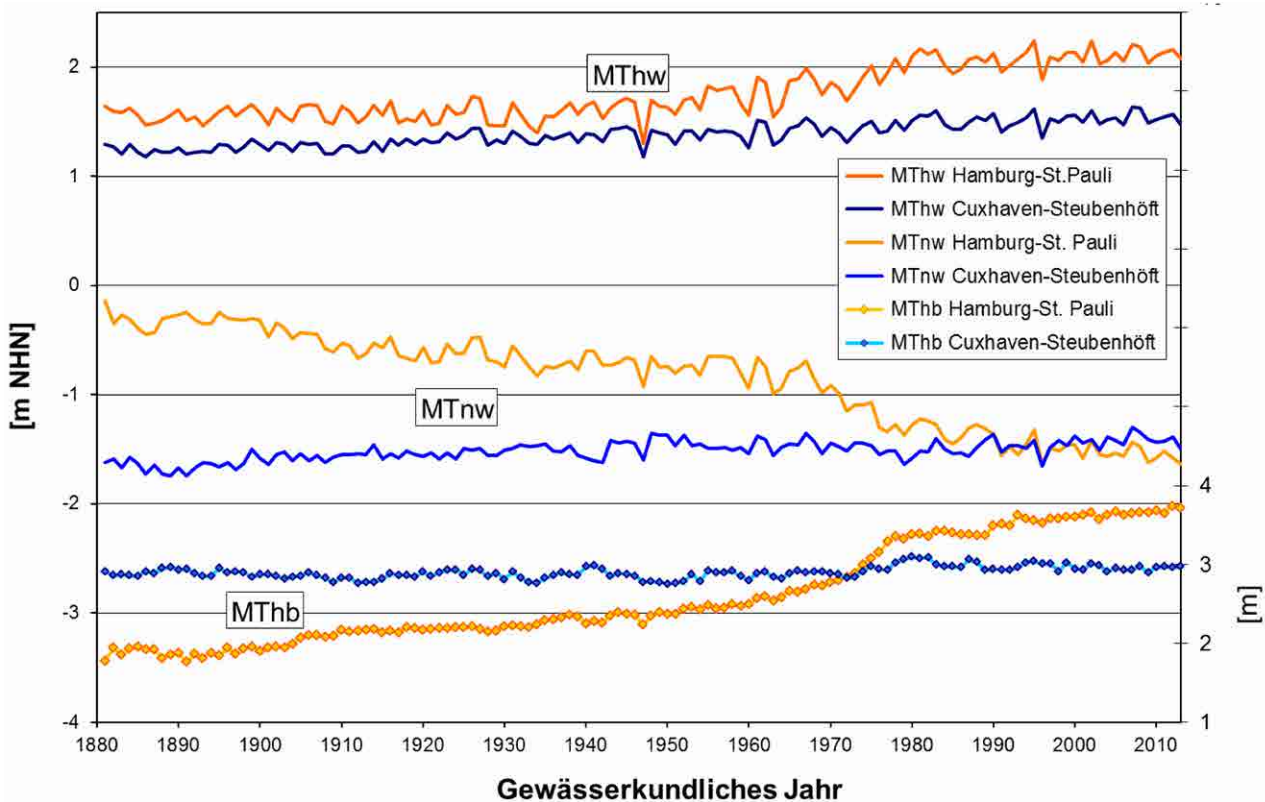


Abb. 15: Entwicklung der Tidewasserstände seit 1880 an den Pegeln Cuxhaven-Steubenhöft und Hamburg-St. Pauli. Mittleres Tideniedrigwasser (MTnw), mittleres Tidehochwasser (MThw) jeweils bezogen auf m NHN, mittlerer Tidehub (MThb) in Metern (Achse rechts).

## 3.2.4 Sturmfluten

Die Wasserstände entlang der Elbe werden nicht nur durch die Gezeitendynamik in der Nordsee beeinflusst. Starke Stürme über der Nordsee und der Deutschen Bucht mit nordwestlichen Windrichtungen, die besonders im Herbst und Winter auftreten, führen zu einer Erhöhung der Tidewasserstände entlang der Elbe. Auch in Hamburg, ca. 100 km entfernt von der Elbmündung bei Cuxhaven, sind die Auswirkungen von Sturmfluten zu beobachten. Die Wasserstände liegen deutlich über dem mittleren Tidehochwasser (MThw). Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) warnt bei Wasserständen von 1,5 m bis 2,5 m über MThw vor Sturmflut, bei 2,5 m bis 3,5 m vor einer schweren Sturmflut und bei Wasserständen höher als 3,5 m über MThw vor einer sehr schweren Sturmflut.

Die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE, 2005) zeigt in einer Sturmflutstatistik für alle Sturmfluten mit Wasserständen höher NHN + 5,00 m in Hamburg-St. Pauli (zum Vergleich MThw: NHN + 2,20 m (DGJ, 2013)), dass es in den letzten Jahrzehnten neben einer Erhöhung der Sturmflutscheitel auch zu einer Häufigkeitszunahme der Sturmflutereignisse gekommen ist. Zwischen 1775 und 1962 erreichen vier Sturmfluten Wasserstände höher als NHN + 5,00 m, während zwischen 1962 und 2002 19 Sturmfluten Wasserstände höher als NHN + 5,00 m erreichen. Nach den katastrophalen Auswirkungen der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 hat Hamburg die öffentlichen Hochwasserschutzanlagen verstärkt (Buss, 2012). Nach 1962 gab es mehrere Sturmfluten mit höheren Sturmflutscheitelwasserständen als am 16./17. Februar 1962. Dabei ist es zu keinen gravierenden Schäden an der Hauptdeichlinie gekommen. Hamburg besitzt heute einen effektiven Schutz vor Sturmfluten (Buss, 2012). Bis zum Jahr 2013 betrug der Bemessungswasserstand in Hamburg-St. Pauli NHN + 7,30 m (Länderarbeitsgruppe, 1988). Zur Erhaltung und Verbesserung des hohen Schutzniveaus hielt der Hamburger Senat eine frühzeitige Berücksichtigung möglicher zukünftiger Veränderungen, insbesondere der Folgen des Klimawandels, für erforderlich (BSU, 2012). Der Bemessungswasserstand wurde deshalb 2013 in Hamburg-St. Pauli auf NHN + 8,10 m und in Bunthaus auf NHN + 8,20 m erhöht (BJG, 2013). Diese Erhöhung beinhaltet einen Klimazuschlag für den zu erwartenden Anstieg des Meeresspiegels.

Neben der Gezeitendynamik und dem Windstau in der Deutschen Bucht werden die Sturmflutwasserstände in der Elbe auch von der lokalen Windwirkung über der Elbe, vom Oberwasserzufluss in die Tideelbe sowie der Topografie des Ästuars beeinflusst. Mithilfe des 3-dimensionalen hydrodynamisch-numerischen (HN-) Modells UnTRIM (Casulli und Walters, 2000) wurden die Wirkung des Windes und erhöhter Oberwasserzuflüsse auf den Wasserstand und die Strömung untersucht. Eingangsdaten zum lokalen Windfeld über der Elbe liefert ein meteorologisches diagnostisches Modell des DWD (MKW, Schmidt und Pätsch, 1992). So können sowohl historische Sturmfluten als auch mögliche zukünftige Sturmflutszenarien (Abschnitt 4.2.2) untersucht werden. Aus den Simulationsergebnissen sind tideunabhängige Kennwerte des Wasserstandes (BAW, 2002) wie z.B. Sturmflutscheitelwasserstände (wichtig für die Deichsicherheit), Dauer hoher Wasserstände (wichtig für die Entwässerung und Sielzugzeiten) und Eintrittszeiten der Scheitelwasserstände (wichtig für das Risikomanagement) ermittelt worden.

Im Rahmen einer Sensitivitätsuntersuchung wurde die Bedeutung hoher Abflüsse auf die Sturmflutscheitelwasserstände HW entlang der Tideelbe und im Bereich der Großen Elbinsel in der heutigen Topografie der Elbe untersucht (Sensitivitätsstudie über mögliche zukünftige Verhältnisse, in Abschnitt 4.2). Grundlage der Untersuchung sind zwei Sturmflutszenarien unterschiedlicher Charakteristik SF76 und SF94 auf Basis der historischen Sturmfluten vom 3. Januar 1976 und vom 28. Januar 1994. Die Sturmflut vom 3. Januar 1976 erreichte in Hamburg die höchsten hier beobachteten Wasserstände (Hamburg-St. Pauli HHThw mit NHN + 6,45 m (DGJ, 2013)) bei einem Abfluss Q bei Neu Darchau von 500 m<sup>3</sup>/s. Die Sturmflut vom 28. Januar 1994 erreichte in Hamburg-St. Pauli NHN + 6,02 m bei einem Abfluss Q bei Neu Darchau von 1350 m<sup>3</sup>/s. Für die Oberwasserszenarien wurden zusätzlich Abflüsse von 2000 m<sup>3</sup>/s, 3000 m<sup>3</sup>/s und 4000 m<sup>3</sup>/s untersucht. Tabelle 2 gibt zur Einordnung der gewählten Werte einen Überblick zu den Abflüssen der Elbe bei Neu Darchau.

Tab. 2: Abflüsse der Elbe bei Neu Darchau (Elbe-km 536) bezogen auf den Zeitraum 1926 bis 2010 (DGJ, 2013, Länderarbeitsgruppe, 1988, sowie pers. Mitteilungen WSA Lauenburg).

MNQ (mittlerer niedrigster Abfluss)	275 m <sup>3</sup> /s
MQ (mittlerer Abfluss)	710 m <sup>3</sup> /s
HQ (höchster Abfluss 1926 bis 2010, 31.03.1940)	3620 m <sup>3</sup> /s
HHQ (höchster bekannter Abfluss, 07.04.1895)	3840 m <sup>3</sup> /s
Elbehochwasser 2002: 22.08.2002	3425 m <sup>3</sup> /s
Elbehochwasser 2011: 23.01.2011	3600 m <sup>3</sup> /s
Abfluss während der Sturmflut 16.02.1962	1050 m <sup>3</sup> /s
Abfluss während der Sturmflut 03.01.1976	500 m <sup>3</sup> /s
Abfluss während der Sturmflut 28.01.1994	1350 m <sup>3</sup> /s
Abfluss der Bemessungsturmflut	2200 m <sup>3</sup> /s

Abbildung 16 zeigt beispielhaft für den Bereich der Großen Elbinsel die Wasserstandsentwicklung während SF94 bei Hamburg-St. Pauli sowie 14 km stromauf bei Bunthaus. Eine Erhöhung des Abflusses  $Q$  führt an beiden Orten in der Vortide zu einer Erhöhung des Tidehochwassers Thw und des Tideniedrigwassers Tnw. Jedoch wird bei Bunthaus das Tnw deutlich stärker angehoben und somit der Tidehub  $Thb$  gedämpft. Eine Zunahme des Abflusses  $Q$  hebt ebenfalls an beiden Orten den Sturmflutscheitelwasserstand. Die Länderarbeitsgruppe (1988) nennt für Hamburg-St. Pauli einen Anstieg des Sturmflutscheitelwasserstandes von rund 10 cm je  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  Abflusszunahme und für Bunthaus von 10 cm bis 20 cm je  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  Abflusszunahme. In dieser Größenordnung liegen auch die für Szenario SF94 mit dem HN-Modell berechneten Zunahmen.

Der Sturmflutscheitelwasserstand tritt bei höheren Abflüssen sowohl in St. Pauli als auch in Bunthaus ca. 10 Minuten früher ein. Wasserstände höher als z. B.  $\text{NHN} + 5,00 \text{ m}$  treten bei höherem Abfluss länger auf. Bei einem Abfluss von  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  verlängert sich die Dauer von Wasserständen höher als  $\text{NHN} + 5,00 \text{ m}$  in diesem Szenario bei St. Pauli um ca. 40 Minuten und bei Bunthaus um ca. 70 Minuten. Der Sturmflutscheitelwasserstand entlang der Elbe zwischen der Mündung bei Cuxhaven und Bleckede ist für die Szenarien SF94 und SF76 für verschiedene Abfluss-szenarien in Abbildung 17 dargestellt. Eine Erhöhung des Abflusses verändert den Sturmflutscheitelwasserstand im Mündungsbereich geringfügig. Im mittleren Bereich des Ästuars zwischen Brunsbüttel und St. Pauli wird der Sturmflutscheitelwasserstand um mehrere Zentimeter und im Bereich stromauf von St. Pauli um mehrere Dezimeter angehoben (Rudolph et al., 2011).

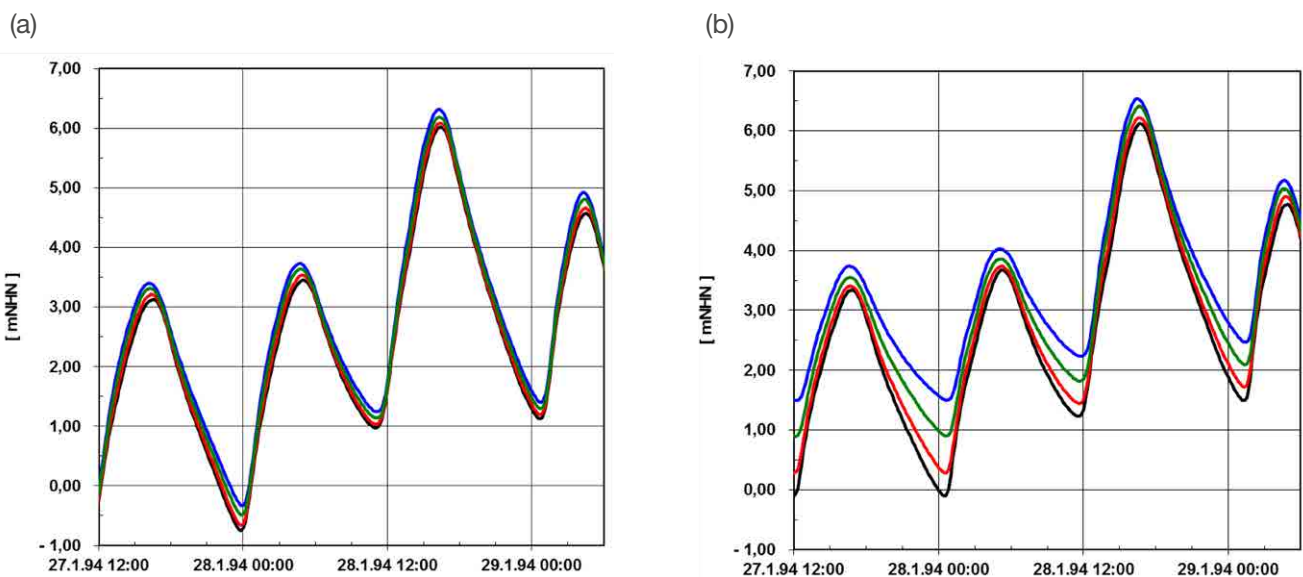


Abb. 16: Wasserstandsentwicklung für SF94 in (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) bei einem Oberwasserzufluss von  $1350 \text{ m}^3/\text{s}$  (schwarz),  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (rot),  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  (grün) und  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  (blau).

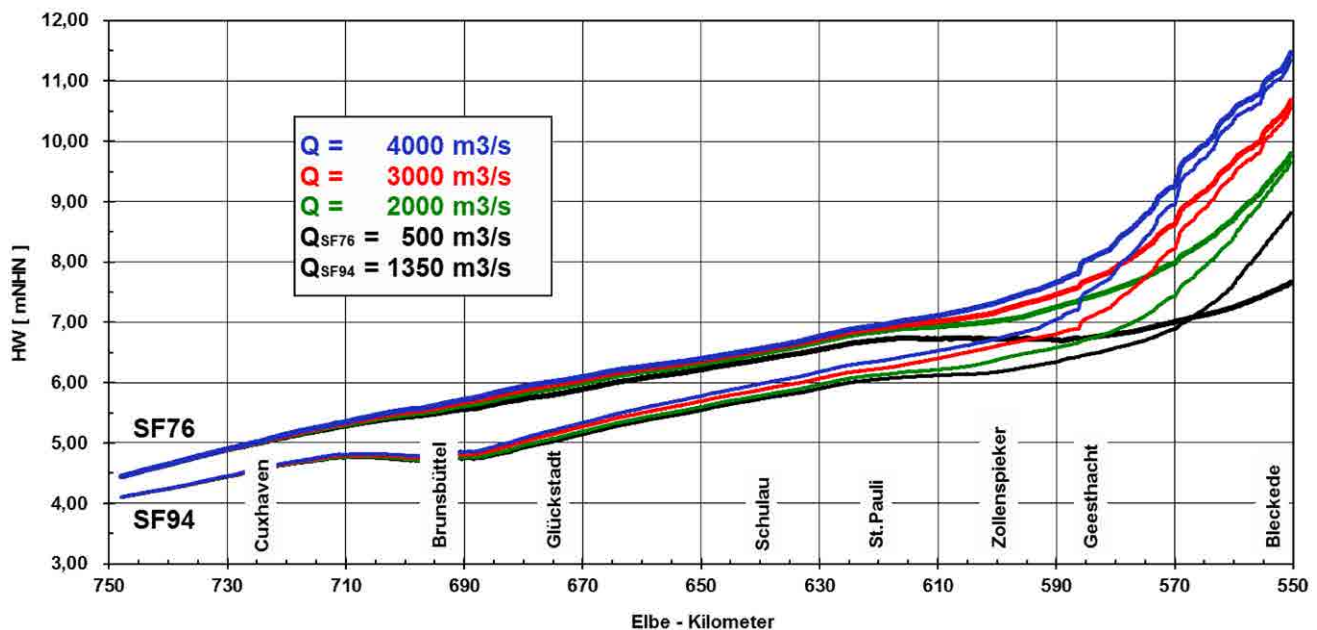


Abb. 17: Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang des Elbefahrwassers zwischen der Elbmündung und Bleckede für die Sturmflutszenarien SF76 (schwarz, fett) und SF94 (schwarz, dünn) sowie mit erhöhtem Oberwasserzufluss von  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (grün),  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  (rot) und  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  (blau).

Für die Große Elbinsel ist der Sturmflutscheitelwasserstand für das Szenario SF94 mit  $Q = 1350 \text{ m}^3/\text{s}$  (SF94Q1350) und  $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  (SF94Q4000) in Abbildung 18 dargestellt. Zur Sturmflutmodellierung wird die in Abbildung 10 dargestellte Modelltopografie um alle überflutbaren Bereiche des Hamburger Hafens erweitert. Die Bedeutung des

Oberwasserzuflusses für die Höhe der Sturmflutscheitelwasserstände nimmt sowohl entlang der Nordereibe als auch der Südereibe zwischen St. Pauli und Bunthaus zu. In St. Pauli erhöht sich der Scheitelwasserstand um ca. 30 cm, während er in Bunthaus um ca. 40 cm ansteigt.

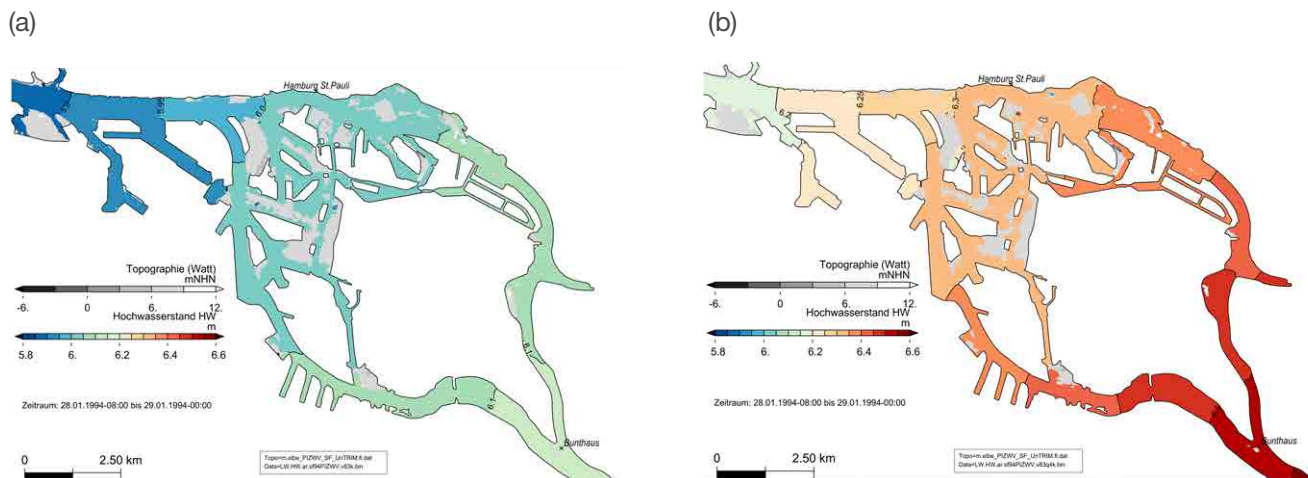


Abb. 18: Sturmflutscheitelwasserstand HW im Stromspaltungsgebiet für die Sturmflutszenarien (a) SF94Q1350 und (b) SF94Q4000. Eine Farbstufe entspricht einer Änderung des Sturmflutscheitelwasserstandes um 5 cm.

### 3.3 Hydrologie und Wasserwirtschaft

*Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider*

Nachfolgend werden ausschließlich die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder betrachtet. Aufgrund des ebenen und tief liegenden Geländes sind beide Gemarkungen von einem Ringdeich zum Schutz vor täglichen und saisonalen Überflutungen umgeben. Im Hinterland der Deiche sowie im Untergrund nimmt Was-

ser eine besondere Bedeutung für die Nutzung der Insel ein. Sowohl das aufgrund des Kontaktes mit der Elbe hoch anstehende Grundwasser als auch ein Großteil des anfallenden Niederschlags müssen über ein dichtes Grabensystem aufgenommen und anhand technischer Entwässerungsbauwerke in die Elbe abgeleitet werden.

#### 3.3.1 Oberflächengewässer und Entwässerung

Die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder sind im Urstromtal der Elbe gelegen und Teil der Hamburger Elbmarsch. Als Marsch werden Landschaften bezeichnet, deren Geländeoberkante sich in etwa auf Höhe des Meeresspiegelniveaus befindet und die an Wattenküsten oder im tidebeeinflussten Bereich von Flüssen entstanden sind (Scheffer et al., 2010). Die Entstehung der Marschen ist auf nacheiszeitliche Meeresspiegelanstiege und Ruhephasen sowie den Einfluss der Gezeiten zurückzuführen (Müller,

1985). Mit dem Beginn der Eindeichung konnten diese tief liegenden Gebiete vor täglichen Überflutungen der angrenzenden tidebeeinflussten Elbe geschützt werden. Ohne den Schutz der Deiche würde das Marschgebiet überflutet und die Marschböden bei Überflutungen entweder aufgrund mitgeführter feiner Sedimente verschlickt oder erodieren (Müller, 1985). In den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder begann die Eindeichung im 14. Jahrhundert (Reinstorf, 2003).

##### 3.3.1.1 Funktion und Bedeutung des Entwässerungssystems

Um die tief liegenden Flächen dauerhaft nutzen zu können, muss neben der Eindeichung auch eine funktionierende Entwässerung gewährleistet werden, damit die Marschböden nicht in Oberflächenwasser aus Niederschlägen ertrinken oder durch den Einfluss aufsteigenden Grund-

wassers vermooren (Müller, 1985). Bei den in der Marsch vorkommenden tonigen und zum Teil stark organischen Böden kommt es aufgrund der geringen hydraulischen Durchlässigkeit und den damit einhergehenden geringen Infiltrationsraten zu einem oberflächigen Aufstau

des fallenden Niederschlags und einem oberflächigen Abfluss (Ritzema, 1994). Des Weiteren kann in den tief liegenden Marschgebieten ein Grundwasserpotenzial beobachtet werden, das nur wenige Dezimeter unterhalb der Geländeoberkante ansteht. Aus diesem Grund sind die Böden dauerhaft sehr feucht und zum Teil wassergesättigt. Durch Entwässerungssysteme kann die Lage der gesättigten Bodenzone gesteuert (Ritzema, 1994) und somit die landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit gesteigert werden (Scheffer et al., 2010).

Für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder wurde anhand der Wasserbilanz eines mittleren Jahres für die Klimanormalperiode 1961 - 1990 festgestellt, dass etwa 35 % des fallenden Jahresniederschlags über das bestehende Entwässerungssystem abgeführt werden muss (Amt für Wasserwirtschaft, 1998), wobei vornehmlich im Winter wegen der sehr geringen Verdunstung eine positive klimatische Wasserbilanz festgestellt werden kann. Somit müssen insbesondere die im Winter anfallenden Niederschläge abgeführt werden. Aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte ist die Landschaft der Gemarkungen weitestgehend flach und ein natürliches Gefälle ist größtenteils nicht vorhanden. Das Entwässerungssystem beider Gemarkungen besteht daher aus einem engen Netz aus Gräben und Dränagen, mit deren Hilfe Oberflächenwasser sowie aufsteigendes Grundwasser gesammelt und über Deichsiele und Schöpfwerke aus dem Hinterland in die Elbe geleitet wird (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Abbildung 19 illustriert die Funktionsweise des Entwässerungssystems.

Die meisten landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Grünlandflächen im Süden und im Zentrum der Insel werden über parallele Beetgräben entwässert. Diese sind in einem regelmäßigen Abstand von etwa 20 Meter angeordnet (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Das Wasser wird anschließend in sogenannte Wettern eingeleitet und darüber den Auslässen in den Deichen (Siele, Schöpfwerke) zugeführt. Wettern sind größere Wasserläufe oder Hauptgräben, die ständig mit Wasser gefüllt sind und aufgrund ihrer Funktion auch als Sammler bezeichnet werden. Beetgräben hingegen sind nur nach Niederschlägen oder bei sehr hohem Grundwasserspiegel mit Wasser gefüllt und dienen als sogenannte Sauger (Widmoser, 2001).

Die Grundstücksentwässerung der Siedlungsgebiete geschieht durch die Sauger, teilweise auch über unterirdisch verlegte Dränrohre, die ebenfalls in das Wetternsystem einleiten. Die Wasserstände in den Wettern werden über abschnittsweise installierte Staubaauwerke im Gewässer nahezu konstant gehalten. Diese Wehre oder Schütze sind auf einen definierten Wasserstand eingestellt, sodass nur überschüssiges Wasser den Schöpfwerken und Deichsiele zugeführt wird (Bezirksamt Harburg als Wasserbehörde, 2001). Bei Tideniedrigwasser in der Elbe kann aufgrund des hydraulischen Gefälles zwischen den Binnenwasserständen und dem Elbwasserstand über Deichsiele frei entwässert werden (Abb. 20). Liegen die Wasserstände der Elbe über den Binnenwasserständen im Wetternsystem, kann eine Entwässerung nur über Schöpfwerke erfolgen und das Wasser muss in die Elbe gepumpt werden (Abb. 19) (Amt für Wasserwirtschaft, 1998).

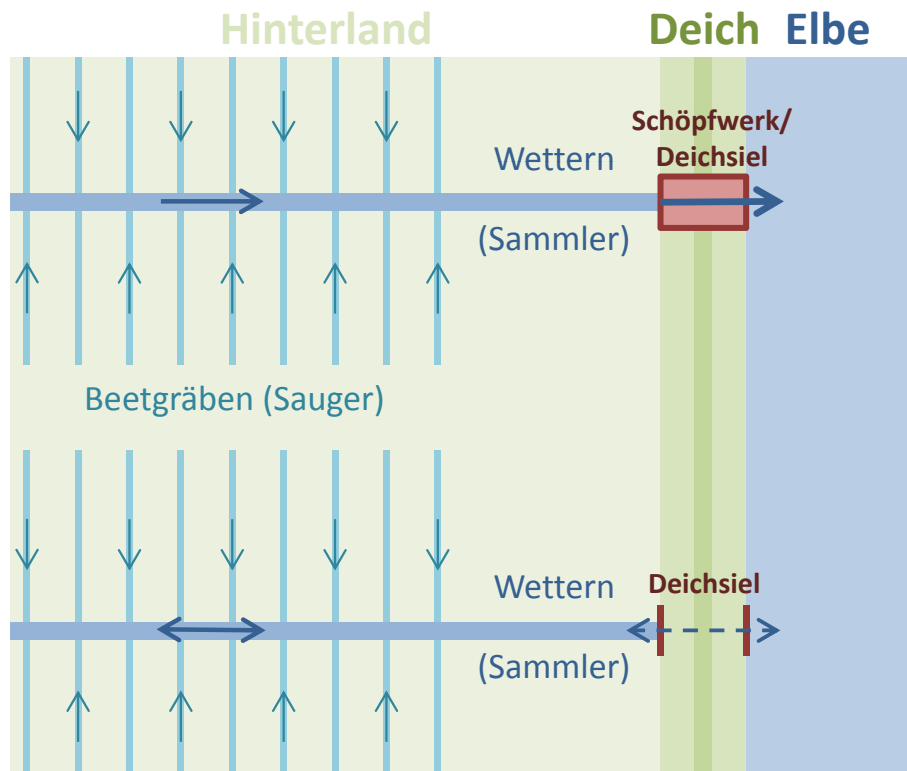


Abb. 19: Funktion des Entwässerungssystems der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (eigene Darstellung Meier, nach Studio Urbane Landschaften, 2008).



Be- und Entwässerung

Abb. 20: Beispiel eines Entwässerungsbauwerks; Deichsiel Goetjensort (Bildquelle: eigene Bilder).

### 3.3.1.2 Gliederung und Organisation der Entwässerung

Das Entwässerungssystem der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder ist insgesamt in acht Teileinzugsgebiete, sogenannte Polder (Amt für Wasserwirtschaft, 1998), unterteilt (Abb. 21). Die Lage der einzelnen Deichsiele und Schöpfwerke sind in Abbildung 22 dargestellt. Im Westen der Gemarkung Wilhelmsburg werden die Gebiete rund um den Veringkanal und den Schmidtkanal über Kanäle entwässert, die das Wasser in den Reiherstieg einleiten. Der restliche westliche Teil der Insel wird sowohl über das Schöpfwerk Kuckuckshorn, das Schöpfwerk Groß-Sand als auch die Ernst-August-Schleuse im Norden der Insel in den Reiherstieg entwässert. Die Entwässerung im Nordosten erfolgt über das Schöpfwerk Spersdeich in die Rhee. Diese dient als Zwischenspeicher und leitet das Wasser dem Deichsiel Stackort zu, über welches es

in die Norderelbe abgeleitet wird. Das anfallende Wasser des Gebiets der Norddeutschen Affinerie wird ebenfalls in die Rhee eingeleitet. Das Zentrum der Gemarkung Wilhelmsburg wird über das Deichsiel und Schöpfwerk Finkenriek sowie das frei entwässernde Deichsiel Goetjensort in die Süderelbe respektive Norderelbe entwässert. Aus der im Südosten befindlichen Gemarkung Moorwerder wird über das gleichnamige Schöpfwerk und Deichsiel überschüssiges Wasser aus den Wettern in die Norderelbe geleitet. Zusätzlich findet sich hier ein Deichsiel, das Siel Bunthaus, mit Hilfe dessen Wasser zu Bewässerungs- und Spülungszwecken von der Elbe in das System gespeist werden kann (Amt für Wasserwirtschaft, 1998).

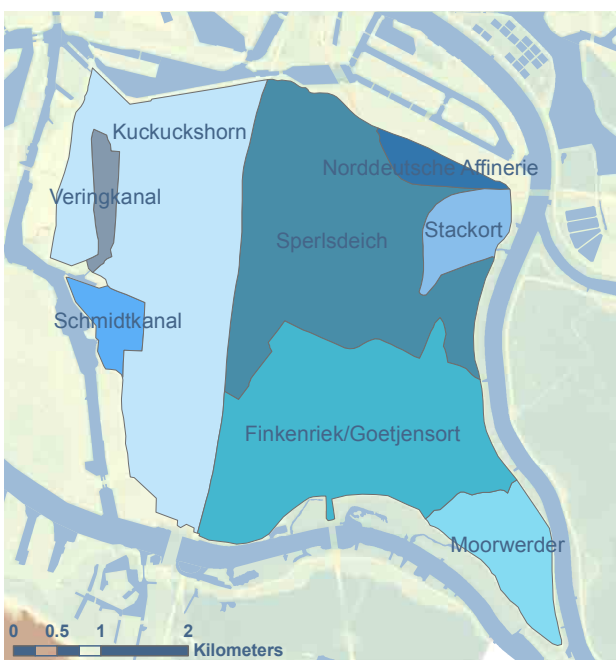


Abb. 21: Einzugsgebiete der Siele und Schöpfwerke in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).



Abb. 22: Deichsiele und Schöpfwerke in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).

Zuständig für die Wartung und Funktionstüchtigkeit der Entwässerungsanlagen sind zum einen Wasser- und Bodenverbände, wie beispielsweise der Wasserverband „Wilhelmsburger Osten“ im Zentrum der Insel, zum anderen der Bezirk Mitte (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Die Verteilung der Zuständigkeitsgebiete auf verschiedene Institutionen kann Abbildung 23 entnommen werden. Zu den Aufgaben der Pflege zählen das Mähen der Böschungen, das Ausräumen der Wettern sowie die Kontrolle der Regelwasserstände (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Die Instandhaltung und Wartung der Schöpfwerke sowie der meisten Deichsiele fällt in den Aufgabenbereich städtischer Institutionen (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Hamburg). Einige Siele befinden sich jedoch auch in Verbandshänden (Amt für Wasserwirtschaft, 1998).

Abb. 23: Organisation und Verwaltung der Gewässer, 1 = Bezirk Hamburg Mitte, 2 = Sielverband Moorwerder, 3 = Wasserverband Wilhelmsburger Osten, 4 = Wassergenossenschaft der Anlieger des Schmidtkanals auf Wilhelmsburg, 5 = Wassergenossenschaft der Anlieger des Veringkanals auf Wilhelmsburg; (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung)



### 3.3.1.3 Wasserstände im Entwässerungssystem

Die Regulierung der Wasserstände in den Wettern erfolgt automatisch (wasserstandsgesteuert), sodass nur kurzzeitige Wasserspiegelschwankungen in den Gewässern auftreten und nahezu gleichbleibende Wasserstände vorherrschen. In allen Wettern müssen sogenannte Regelwasserstände vorgehalten werden, die anhand ökologischer als auch nutzungsorientierter Aspekte bestimmt werden (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Die in den einzelnen Gewässern einzuhaltenden Wasserstände werden in einer wasserrechtlichen Erlaubnis durch die Hansestadt Hamburg festgelegt. Ein Mindestwasserstand von 0,4 m über Grabensohle soll zu jeder Zeit in den Wettern vorhanden sein (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Des Weiteren werden für einige Wettern Sommer- und Winterregelwasserstände festgelegt (Amt für Wasserwirtschaft, 1998). Dabei sind die Winterwasserstände niedriger als die Sommerwasserstände, da im Sommer auch eine Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen stattfindet.

In Abbildung 24 sind die Regelwasserstände für die Wettern in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (Stand 1998) dargestellt. Es wird deutlich, dass die Wasserstände im Zentrum der Insel am geringsten sind und die Wasserstände von Südosten (Moorwerder) nach Nordwesten abnehmen. Dieser Trend hängt zum einen mit den flussabwärts abnehmenden Elbwasserständen zusammen. Zum anderen muss aufgrund des infolge der Entwässerung allseitig nach innen gerichteten Grundwasserstroms sowie des Grundwasseraufstiegs in die holozänen Deckschichten der Marsch die stärkste Entwässerung im Zentrum erfolgen. Auf die Grundwasser- verhältnisse wird in Abschnitt 3.3.2 näher eingegangen.

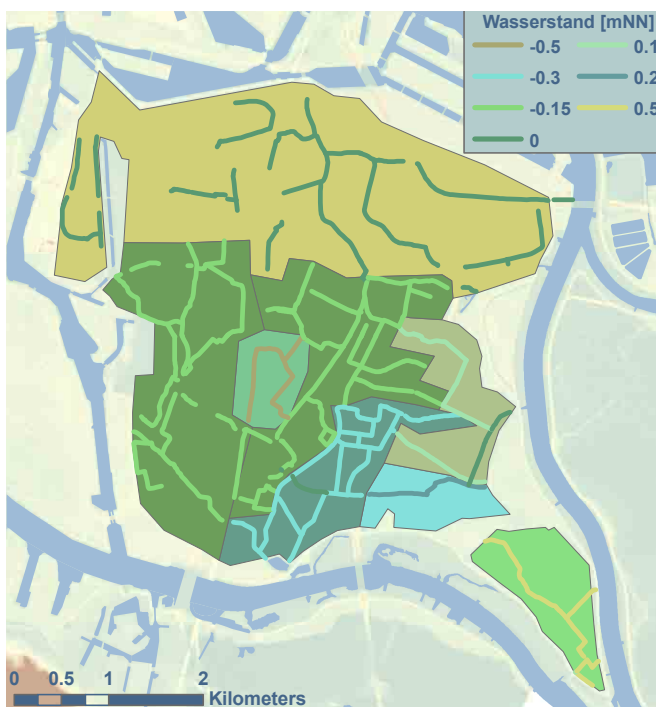


Abb. 24: Regelwasserstände in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder, Stand 1998 (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).



Für den Oberflächenwasserpegel 99422 (Siedenfelder Weg; Bewässerungsgraben) sind in Abbildung 25 aufgezeichnete Wasserstände sowie Tagesniederschlagsmengen der Station Neuwiedenthal des Deutschen Wetterdienstes für das Jahr 2007 exemplarisch dargestellt. Im betrachteten Oberflächengewässer sind die mittleren Wasserstände im Winter etwa 10 cm geringer als im Sommer. Des Weiteren wird deutlich, dass bei erhöhten täglichen Niederschlagssummen größer als 20 mm kurzzeitig erhöhte Wasserstände im Oberflächengewässer gemessen werden, teilweise jedoch mit zeitlicher Verzögerung.

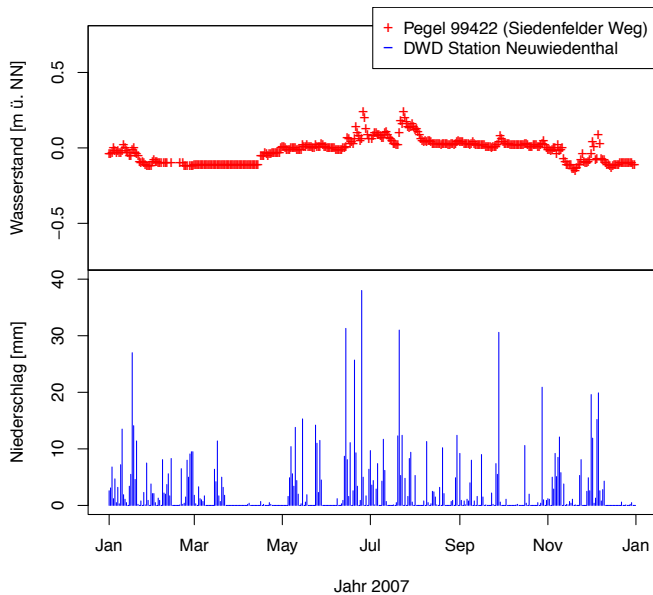


Abb. 25: Wasserstandsregulierung am Beispiel Siedenfelder Weg (Oberflächenwasserpegel 99422) im Jahr 2007 (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung).

Keine zeitliche Verzögerung gegenüber den täglichen Niederschlägen zeigt sich in den Pumpvolumina am Schöpfwerk Finkenriek (Abb. 26). Bereits am Tag der höchsten Niederschlagssummen kann eine deutliche Erhöhung der Schöpfraten beobachtet werden, eine weitere Zunahme der Schöpfraten erfolgt am Folgetag. Es ist davon auszugehen, dass zum Ausgleich steigender Wetterwasserstände infolge einer erhöhten Niederschlagsmenge aufgrund der Retention im System etwa zwei Tage benötigt werden.

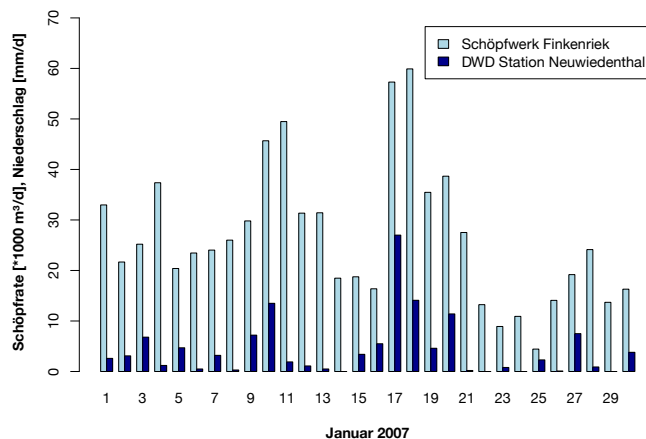


Abb. 26: Vergleich der Pumpraten am Schöpfwerk Finkenriek im Vergleich zum Niederschlag der DWD Station Neuwiedenthal für den Januar 2007 (Datenquellen: LSBG Hamburg, DWD; eigene Darstellung).

In Abbildung 27 sind die mittleren Grabenwasserstände in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge dargestellt. Ein linearer Zusammenhang zwischen Niederschlagsmengen und Grabenwasserständen lässt sich daraus nicht herstellen, da neben der Oberflächenrauigkeit auch die Niederschlagsintensität Einfluss auf die Abflussspende der angrenzenden Flächen hat und Niederschläge zum Teil erst mit einer gewissen Verzögerung in das Grabensystem eingeleitet werden. Allein bei erhöhten Niederschlagssummen (größer als 20 mm pro Tag) ist ein Zusammenhang feststellbar. In diesem Fall steigen aufgrund der erhöhten Niederschläge die Wasserstände im Entwässerungssystem gleichzeitig an.

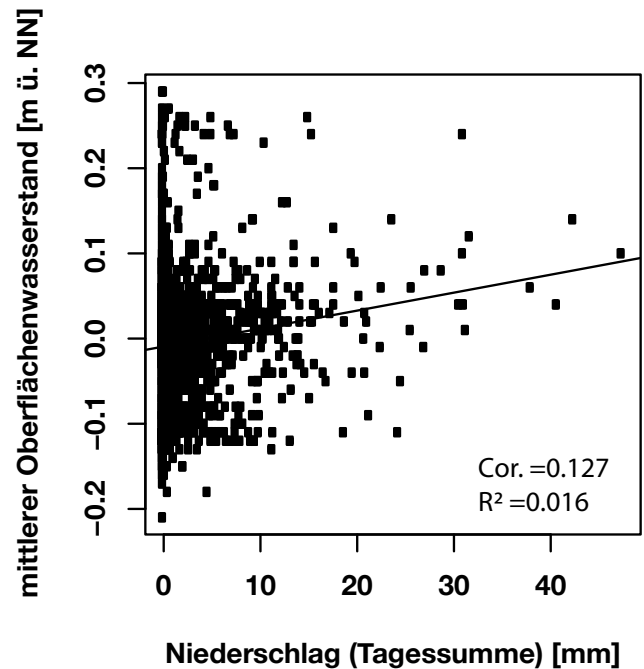


Abb. 27: Mittlere Oberflächenwasserstände am Pegel 99422 (Siedenfelder Weg) in Abhängigkeit von Tagesniederschlagsmengen der Station Neuwiedenthal (Datenquelle: BSU Hamburg, DWD; eigene Darstellung).

## 3.3.2 Grundwasser

Im Rahmen des KLIMZUG-NORD Projektes wird zur Untersuchung des Klimawandeleinflusses auf das Grundwasser der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder ausschließlich der obere Grundwasserleiter betrachtet.

Dieser wird aufgrund des bestehenden Kontaktes zur Tideelbe von dem als Folge des Klimawandels zu erwarteten Meeresspiegelanstieg deutlich beeinflusst werden.

### 3.3.2.1 Geologie

Der obere Grundwasserleiter ist durch den Wechsel quartärer Warm- und Kaltzeiten entstanden (Ehlers, 1993). Abbildung 28 zeigt einen hydrostratigrafischen Profilschnitt durch die Große Elbinsel. Darin wird zwischen wasserleitenden (L) und wasserhemmenden (H) Schichten unterschieden. Der abgebildete erste Hauptgrundwasserleiter besteht aus groben Schmelzwassersanden, die von feinen Sanden überlagert werden und insgesamt 20 bis 30 Meter mächtig sind. Über dem Grundwasserleiter befinden sich die für Marschen typischen Ablagerungen aus Klei, Torf und Mudde, die im Hamburger Sprachgebrauch zusammenfassend auch holozäne Weichschichten genannt werden. Diese Weichschichten wurden während des holozänen Meeresspiegelanstiegs und durch das Wirken der Gezeiten im Elbe-Urstromtal abgelagert. Aufgrund der sich häufig ändernden Ablagerungsverhältnisse ist die Mächtigkeit der Deckschicht sehr ungleichmäßig und nimmt vom Nordwesten zum Südosten hin ab (nicht dargestellt). Teile der Großen Elbinsel sowie die Hafenge-

biere im Norden wurden im Laufe der Nutzbarmachung zum Teil stark aufgehöhht. Diese Aufhöhungen erfolgten mit den unterschiedlichsten Materialien und wurden insbesondere im Hafen zum Schutz vor Sturmfluten und Binnenhochwasser vorgenommen.

Da die im Grundwasserleiter messbaren Grundwasserpotenziale oberhalb der sandigen und wasserführenden Schichten in der holozänen Weichschicht liegen und diese gering wasserdurchlässig ist, wird von gespanntem Grundwasser gesprochen (DIN 4049-3, 1994). Aufgrund der Entwässerung über Gräben in dem betrachteten Gebiet und der niedrigeren Grabenwasserstände stellt sich ein hydraulisches Gefälle zwischen dem Grundwasser und den darüber liegenden Weichschichten ein. In diesem Fall drückt das Grundwasser von unten in die Deckschicht hinein, steigt darin auf und wird schließlich als grundwasserbürtiger Drainageabfluss über das Entwässerungssystem abgeleitet.

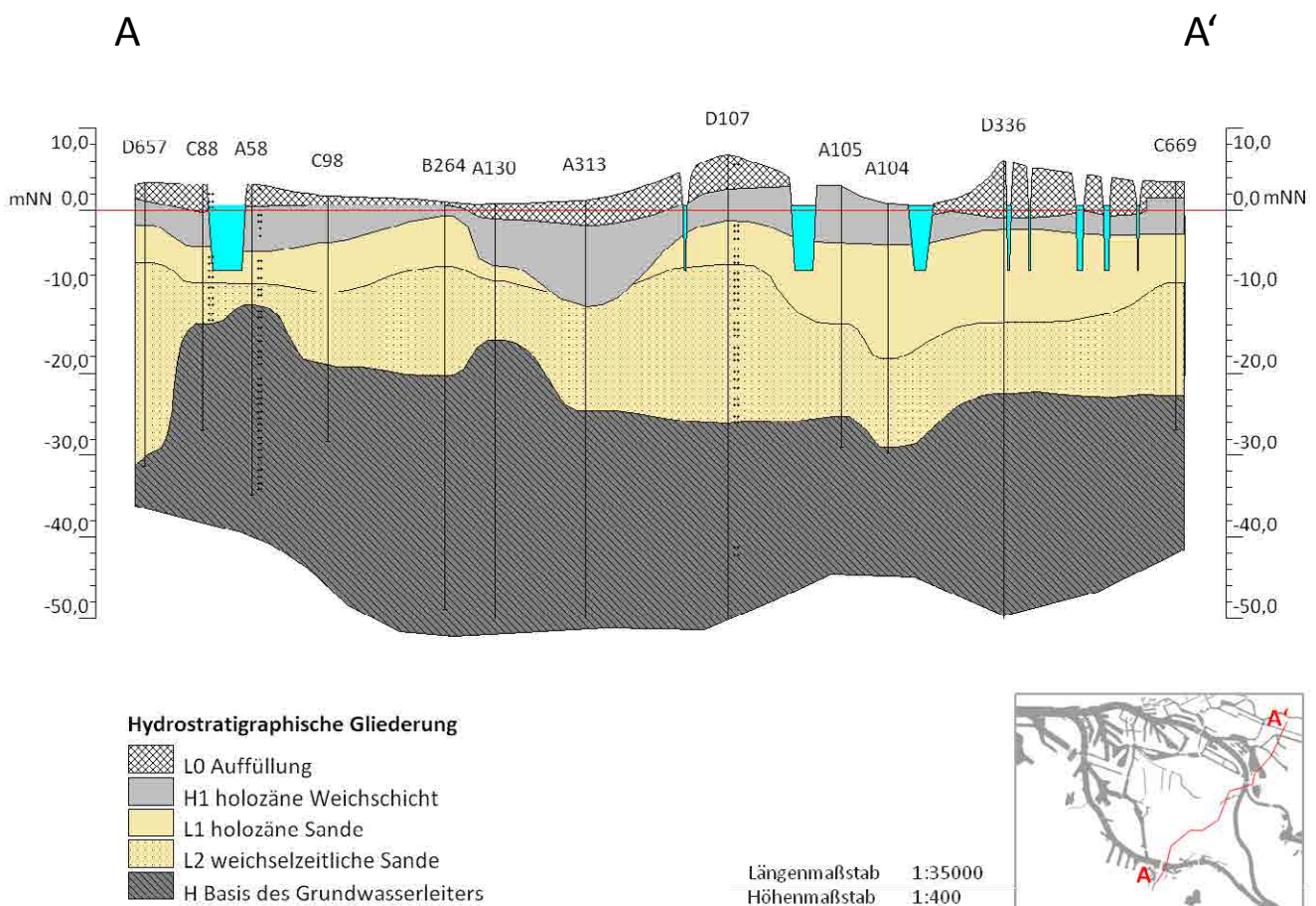


Abb. 28: Hydrostratigraphischer Profilschnitt durch die Große Elbinsel (stark überhöht) (Datenquelle: BSU Hamburg, Geologisches Landesamt; eigene Darstellung Meier).

### 3.3.2.2 Grundwassereinflüsse

Das hydrologische System der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder ist geprägt durch die Insellage des Standorts sowie die Besonderheiten der Elbmarsch und das der Nutzbarmachung dienende Entwässerungssystem. Die verschiedenen Einflüsse werden nachfolgend erläutert und konkretisiert.

#### Einfluss der Elbe auf das Grundwasser

Die Elbe hat einen wesentlichen Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder. Aus Abbildung 28 geht hervor, dass die Elbarme sowie einige der Hafenanlagen die holozänen Marschenablagerungen der Deckschicht durchtrennen und somit ein direkter Kontakt zwischen dem Grundwasserleiter und der Elbe sowie anderen Oberflächengewässern (z. B. Hafenbecken) besteht. Auf diese Weise kann ein unmittelbarer Austausch zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser stattfinden. Die Wasserbewegung bei influenten Verhältnissen basiert dabei auf dem hydraulischen Gradienten zwischen der Elbe (im Mittel höhere Wasserstände) und dem Grundwasser (niedrigere Wasserstände). Das System ist in Abbildung 29 schematisch dargestellt.

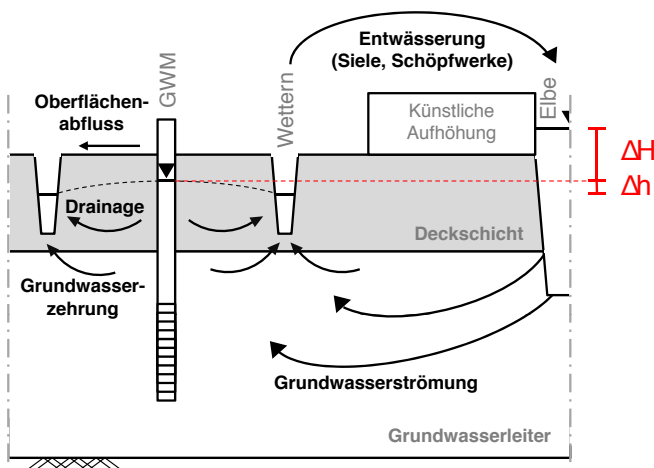


Abb. 29: Zusammenhang zwischen den Elbwasserständen, dem Grundwasser und den Wasserständen des Entwässerungssystems der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder;  $\Delta H$  bezeichnet die Wasserstands-differenz zwischen der Elbe und dem Grundwasser;  $\Delta h$  gibt die Wasserstands-differenz zwischen dem Grundwasser und dem Entwässerungssystem an (eigene Darstellung Meier).

Der Einfluss der Elbe wird durch die Betrachtung der Grundwasserpotenziale im Vergleich mit den Elbwasserständen deutlich. In Abbildung 30 sind Tagesmittelwerte der Elbwasserstände des Pegels Bunthaus in der Gemarkung Moorwerder in der Norderelbe gegen gemessene Grundwasserpotenziale der Grundwassermessstelle 751 (174 m Entfernung zur Elbe) und der Grundwassermessstelle 7548 (2000 m Entfernung zur Elbe) aufgetragen. Dabei wurden Tagesmittelwerte der Wasserstände in der Elbe und im Grundwasser betrachtet.

Aus der Abbildung 30b geht hervor, dass mit zunehmenden Elbwasserständen auch die Grundwasserpotenziale ansteigen. Es besteht demnach ein unmittelbarer linearer Zusammenhang zwischen den Elbwasserständen und den Grundwasserpotenzialen der betrachteten Messstellen. Mit zunehmendem Abstand zur Elbe nimmt dieser Zusammenhang ab. Dies lässt sich zum einen auf die zunehmende zeitliche Verzögerung zwischen den Elbwasserständen und den Grundwasserpotenzialen aufgrund der Aquiferpassage zurückführen. Zum anderen nehmen andere Einflüsse wie beispielsweise die Entwässerung und andere stehende Gewässer ebenfalls Einfluss auf die Grundwasserpotenziale, sodass sich diese ggf. überlagern.

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Betrachtung der Grundwasserpotenziale als Funktion des Oberwasserabflusses der Elbe am Pegel Neu Darchau oberhalb des Wehres (Abb. 30a). Die betrachtete Punkt wolke ist weit gestreut und es besteht keine Korrelation bei geringen bis mittleren Elbabflüssen zwischen dem Abfluss der tideunbeeinflussten Mittel-elbe und dem Grundwasser der Elbinsel. Allein bei erhöhten Elbabflüssen (größer 2000 m<sup>3</sup>/s) ist ein Zusammenhang sichtbar. Dieser Zusammenhang lässt sich möglicherweise damit erklären, dass bei erhöhten Oberwasserabflüssen das Wehr bei Geesthacht gelegt wird und somit die Elbwasserstände der oberen Tideelbe auch vom Oberwasserabfluss abhängen.

#### Einfluss von Niederschlägen auf das Grundwasser

Der Vollständigkeit halber sei hier auch der Einfluss des lokalen Niederschlags auf das Grundwasser dargestellt. Abbildung 31 zeigt Tagesniederschlagsmengen der Messstation Neuwiedenthal des Deutschen Wetterdienstes im Süden Hamburgs im Vergleich mit mittleren Grundwasserpotenzialen der elbnahen Grundwassermessstelle (GWM) 751. Insbesondere bei geringen Tagesniederschlagssummen, aber auch bei höheren Tagesniederschlägen ist kein Zusammenhang zwischen gefallenem Niederschlagssummen und dem Grundwasser erkennbar.

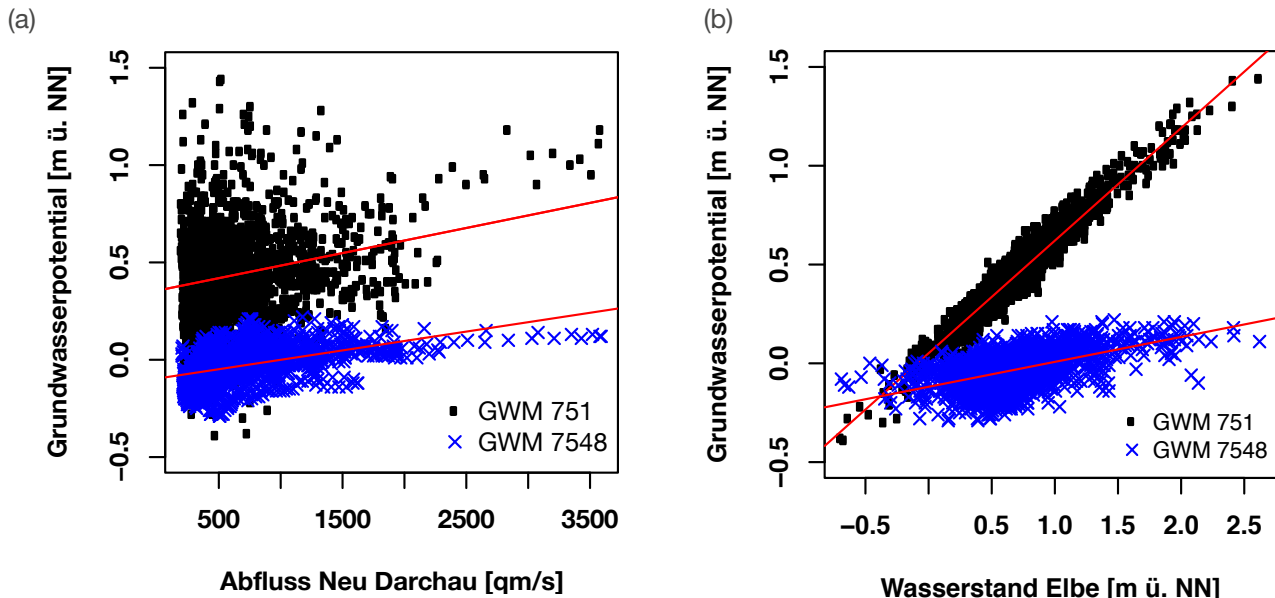


Abb. 30: Einfluss (a) des Abflusses der Elbe am Pegel Neu Darchau und (b) des Elbwasserstands am Pegel Bunthaus auf die Grundwasserpotenziale der Messstellen 751 (174 m zur Elbe) und 7548 (2000 m zur Elbe); (Datenquellen: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).

Der fehlende Einfluss des Niederschlags lässt sich darauf zurückführen, dass die Durchlässigkeit der holozänen Weichschichten sehr gering ist. Des Weiteren wird über die Entwässerung das in den Boden infiltrierende Wasser oberflächennah in die Gräben und Wettern geleitet, sodass keine signifikante Grundwasserneubildung stattfindet.

Das übergeordnete Ziel der Entwässerung ist daher das Absenken des Potentials und die Trockenlegung des Bodens. Dabei schneiden tiefere Wettern des Entwässerungssystems mehrere Dezimeter in die Deckschicht der holozänen Marschenablagerungen ein (Abb. 29).

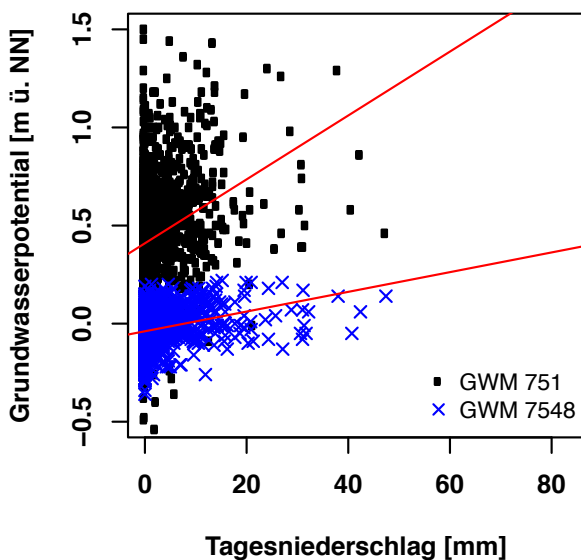


Abb. 31: Einfluss des Niederschlags auf das Grundwasser an der Grundwassermessstelle 751 (174 m zur Elbe); (Datenquellen: BSU Hamburg, DWD; eigene Darstellung Meier).

### Einfluss der Entwässerung auf das Grundwasser

In Abschnitt 3.3.1 wurde bereits auf die Notwendigkeit einer funktionierenden Entwässerung im Hinterland der Deiche sowie den Einfluss dieser Entwässerung auf das hydrologische System der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder hingewiesen. Ohne eine Entwässerung würde sich das Grundwasser aufgrund des Einflusses der Elbe langfristig auf mittlerem Elbwasserniveau befinden und insbesondere die tief liegenden Flächen vernässen.

Zur Entwässerung werden die Wasserstände der Wettern so eingestellt, dass sie unterhalb des gemessenen Grundwasserpotentials liegen. Dabei bildet sich eine Wasserkuppe zwischen zwei parallel verlaufenden Gräben aus und es kommt zu einer Wasserbewegung aus dem Boden in die Gräben. Auf diese Weise wird das Grundwasserpotenzial auf einem Niveau unterhalb der Geländeoberkante gehalten und die Lage der gesättigten Bodenzone kontrolliert. Ein Vergleich gemessener Oberflächenwasserstände mit aufgezeichneten Grundwasserpotenzialen zeigt, dass die Grundwasserpotenziale ganzjährig über den Oberflächenwasserständen liegen und somit eine kontinuierliche Entwässerung aufgrund dieses hydraulischen Gradienten stattfindet (Abb. 32).

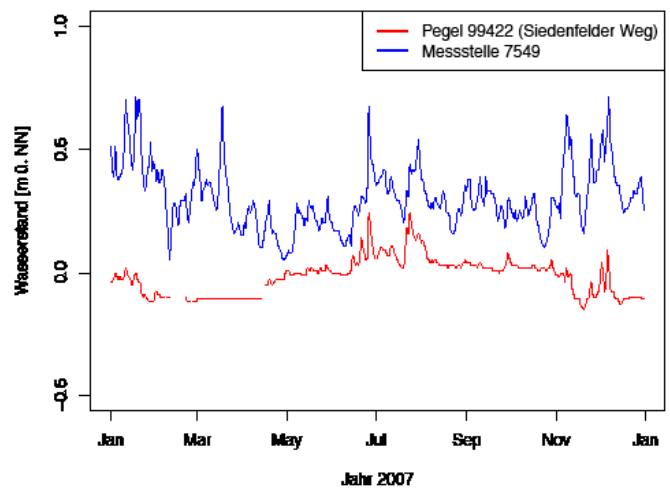


Abb. 32: Vergleich Grundwasserstände der Grundwassermessstelle 7549 (740 m Abstand zur Elbe) und Oberflächenwasserstände am Wetterpegel 99422 (Siedenfelder Weg); (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung Meier).

### 3.3.2.3 Grundwasserpotenziale und Grundwassergleichen

Die Grundwasserpotenziale der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder befinden sich aufgrund des Entwässerungssystems zwischen NHN +0,75 m und NHN +0,25 m und damit unter dem Niveau des mittleren Elbwasserspiegels. Dies wird in Abbildung 33 deutlich, in der Grundwasserstände in verschiedenen Abständen zur Elbe im Vergleich zu den Elbwasserständen am Pegel Bunthaus (Norderelbe) dargestellt werden. Während die Wasserstände im unmittelbaren Uferbereich nur geringfügig von den Elbwasserständen abweichen (Grundwassermessstelle 751), nehmen mit größer werdendem Abstand zur Elbe die Grundwasserstände ab (GWM 7549/ GWM 798). Auch werden die im Grundwasser erkennbaren Schwankungen der Elbe mit Abstand zum Ufer gedämpft. In Elbnähe können sogar die Tideschwankungen der Elbe im Grundwasser beobachtet werden, die sich mit zunehmender Entfernung zur Elbe abschwächen und zeitlich verzögert auftreten.

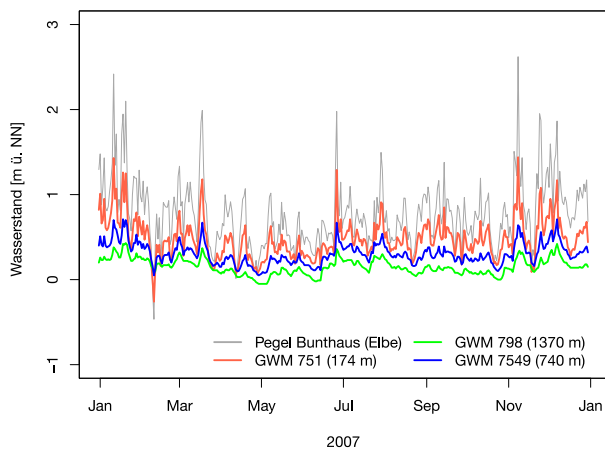


Abb. 33: Grundwasserstände der Grundwassermessstellen 751 (174 m von der Elbe), 798 (1370 m von der Elbe) und 7549 (740 m von der Elbe) im Vergleich zu Elbwasserständen am Pegel Bunthaus (Tagesmittelwerte); (Datenquelle: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).

Neben den kurzzeitigen Schwankungen pflanzen sich auch saisonale Mittelwasserstandsänderungen im Grundwasser fort. Dies wird insbesondere deutlich, wenn Monatsmittelwerte der Elbe und des Grundwassers verglichen werden (Abb. 34). Darin ist erkennbar, dass im Winter die Wasserstände der Elbe und auch des Grundwassers

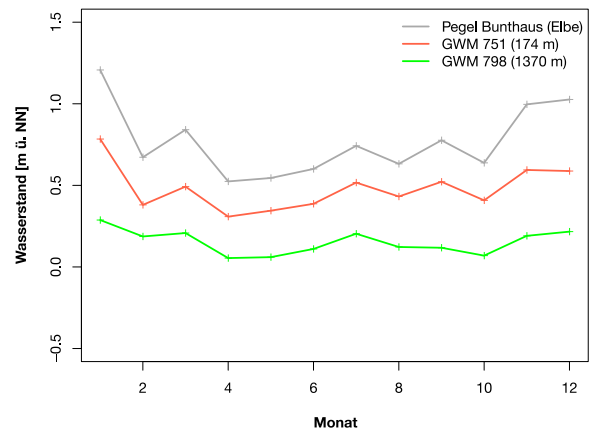


Abb. 34: Einfluss des Mittelwasserstandes (Monatsmittelwerte für 2007) der Elbe am Pegel Bunthaus auf das Grundwasser der Messstellen 751 (174 m von der Elbe) und 798 (1370 m von der Elbe); (Datenquelle: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).

einige Zentimeter höher liegen als in den Sommermonaten. Es wird ferner deutlich, dass auch diese saisonalen Schwankungen mit zunehmendem Abstand der Elbe gedämpft werden.

Die räumliche Verteilung der Grundwasserpotenziale zeigt die Bedeutung des Entwässerungssystems für das Grundwassersystem auf. In Abbildung 35 sind exemplarisch für den Sommer und Winter Grundwassergleichenpläne der Monate Januar (a) und Juli (b) des Jahres 2007 dargestellt. Grundwassergleichen sind Linien gleicher Grundwasserpotenzialhöhe, sie wurden hier anhand einer einfachen Splineinterpolation erstellt. Dabei sind Elbwasserstände entlang der Norder- und Süderelbe als Randpotenziale verwendet worden. Die Grundwasserpotenziale nehmen im Sommer als auch im Winter zum Zentrum der Großen Elbinsel ab. Diese Abnahme lässt sich für die Gemarkung Wilhelmsburg auf die Wirkung des Entwässerungssystems zurückführen. In den Hafengebieten, wo keine explizite Entwässerung stattfindet, können lokale Absenkungen der Grundwasserpotenziale infolge von Grundwasserentnahmen über Brunnen beobachtet werden. Der zunehmende Einfluss der Entwässerung im Zentrum der Großen Elbinsel lässt sich auch anhand der Regelwasserstände in den Wettern begründen (Abb. 24), die in diesem Gebiet am geringsten sind.

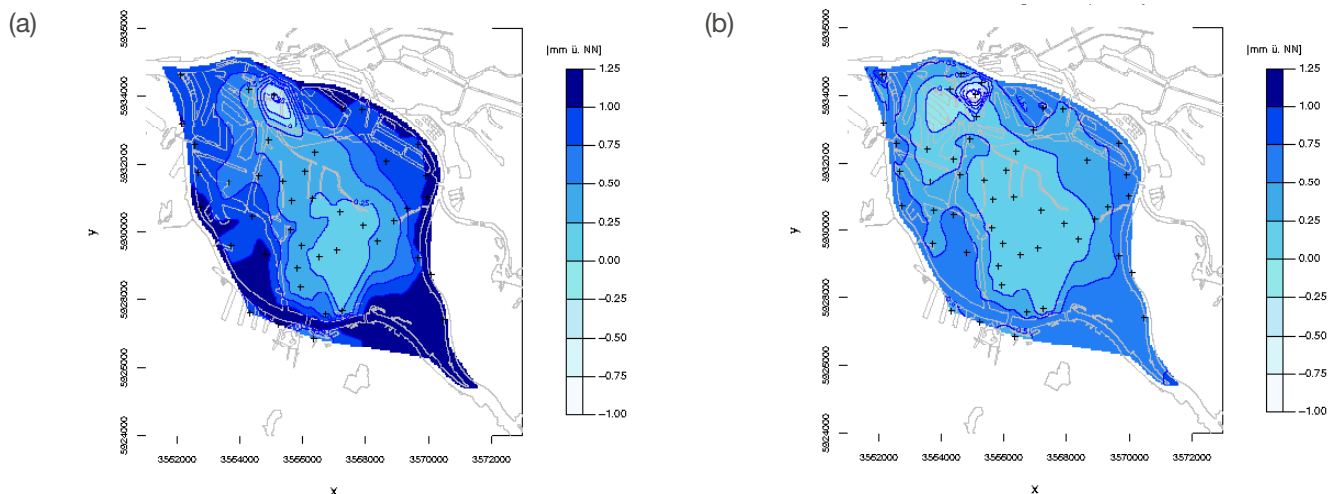


Abb. 35: Grundwassergleichenpläne anhand von Monatsmittelwerten im Jahr 2007; (a) Januar, (b) Juli; (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung Meier).

### 3.3.3 Besonderheiten der Oberflächengewässer und des Grundwassers auf der Großen Elbinsel und im Vergleich zu anderen Regionen

Die Große Elbinsel ist Teil der Hamburger Elbmarsch. Aufgrund des nur gering durchlässigen Bodens der holozänen Weichschichten, hoch anstehender Grundwasserpotenziale und einer tief liegenden, flachen Geländeoberkante muss im Hinterland der Deiche eine gut funktionierende Entwässerung zur Nutzbarmachung der Flächen vorhanden sein. Ähnliche Situationen finden sich auch in anderen Marschgebieten entlang von Ästuaren (Elbe, Weser, Ems) sowie an der deutschen und niederländischen Nordseeküste. Wie auch auf der Großen Elbinsel spielen in diesen Gebieten der Einfluss des Meeres oder der Flüsse als auch das Entwässerungssystem eine maßgebliche Rolle und prägen das Leben hinter den

Deichen in diesen Regionen. Jedoch stellt die Große Elbinsel auch eine Besonderheit unter den genannten Gebieten dar. Gelegen im Stromspaltungsgebiet der Elbe ist das untersuchte Gebiet nicht nur allseitig von Wasser umgeben, sondern wird aufgrund der Hafenanlagen auch weiter gegliedert. Dagegen grenzen andere Marschgebiete, wie beispielsweise das Alte Land, nur einseitig an die Tideelbe und werden auf der anderen Seite durch die hohe Geest begrenzt. Aus diesen Gründen lassen sich die für die Große Elbinsel ermittelten Informationen zum Grundwasser nur mit Einschränkungen auch auf andere Marschgebiete übertragen.

## 3.4 Sozioökonomische Faktoren

Julia Kowalewski, Sabine Schempp

Der Stadtteil Wilhelmsburg ist seit der Errichtung des Freihafens im Jahr 1888 durch die hafennahe Wirtschaft geprägt. Die günstigen infrastrukturellen Gegebenheiten haben dazu geführt, dass sich dort rohstoffverarbeitende Betriebe, Logistik- und Transportunternehmen sowie Großhandel und Lagereibetriebe ansiedelten und mit ihnen die Arbeiter, die in den eigens für sie errichteten Geschosswohnbauten Wohnraum fanden. Aufgrund starker Zerstörungen während des Zweiten Weltkriegs und während der schweren Sturmflut im Jahr 1962 verlor

der Stadtteil vor allem als Wohnstandort an Attraktivität. Infolge eines Senatsbeschlusses aus dem Jahr 1967, der auf eine Erweiterung der Hafen- und Industrieflächen im Nordwesten der Großen Elbinsel abzielte, kam es zu weiteren Bevölkerungsverlusten. Aufgrund des gesunkenen Wohnwertes wurde die Bausubstanz häufig vernachlässigt. Diese Gebäude wurden laut der Handelskammer Hamburg (2004, S. 8) hauptsächlich von Arbeitsimmigranten und ihren Familien bezogen.

### 3.4.1 Bevölkerung

Der Abschnitt bezieht sich überwiegend auf Daten der Stadtteildatenbank des Jahres 2011 des Statistischen

Amts für Hamburg und Schleswig-Holstein.

#### 3.4.1.1 Bevölkerungsstruktur

Im Jahr 2010 lebten in Wilhelmsburg (Stadtteil) 50.472 Menschen. Dies entspricht 2,9 % der gesamten Bevölkerung im Stadtstaat Hamburg. Wie Abbildung 36 zeigt, ist die Bevölkerungszahl in Wilhelmsburg (Stadtteil) mit 14,6 % im Vergleich zur gesamten Stadt (6,5 %) seit 1987 überdurchschnittlich gestiegen. Dabei konnte der Stadtteil im Zeitraum von 1987 bis 2010 einen Zuwachs von 6425 Personen verzeichnen. Ein besonders großer Anstieg konnte seit dem Jahr 2000 festgestellt werden. Der sprunghafte Anstieg der Bevölkerungszahl des Bezirks Hamburg-Mitte 2007/2008 ist auf eine Veränderung der Bezirksgrenzen zurückzuführen. So gehört unter anderem der Stadtteil Wilhelmsburg erst seit dem 01.01.2008 zum Bezirk Hamburg-Mitte. Zuvor war er Teil des Bezirks Harburg.

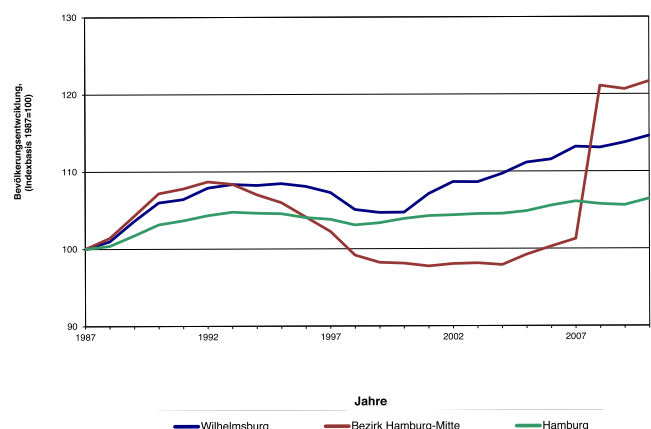


Abb. 36: Bevölkerungsentwicklung 1987 - 2010 in Wilhelmsburg (Stadtteil), Bezirk Hamburg Mitte und Hamburg im Vergleich (Indexbasis 1987=100) (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).

Die Bevölkerungsdichte lag im Stadtteil Wilhelmsburg im Jahr 2010 mit 1420 Einwohnern/km<sup>2</sup> trotz eines Anstieges von 13,7 % seit 1987 noch immer deutlich unter dem Hamburger Durchschnitt von 2313 Einwohnern/km<sup>2</sup>. Im gesamten Hamburger Stadtgebiet stieg die Bevölkerungsdichte im gleichen Zeitraum um 6,4 % (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011). Die geringere Bevölkerungsdichte in Wilhelmsburg (Stadtteil)

kann größtenteils auf den relativ hohen Anteil an Industrieflächen und landwirtschaftlich genutzten Gebieten zurückgeführt werden. Gleichzeitig bieten brachliegende, zuvor industriell oder landwirtschaftlich genutzte Flächen ein großes Potenzial zur Nachverdichtung insbesondere durch den Wohnsektor oder eine Kombination von Wohn- und Arbeitsflächen.

### 3.4.1.2 Sozialstruktur

Im Vergleich zur Stadt Hamburg wie auch zum Bezirk Hamburg-Mitte zeichnet sich Wilhelmsburg (Stadtteil) durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil der

unter 18-Jährigen an der Bevölkerung aus (Tab. 3). Zugleich liegt der Anteil der über 65-Jährigen mit 14,1 % unter dem Hamburger Durchschnitt (19,0 %).

Tab. 3: Altersstruktur der Bevölkerung bezogen auf das Jahr 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2011, eigene Tabelle).

	Insgesamt	unter 18-Jährige		18-64-Jährige		65 Jahre und älter	
		Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%
Wilhelmsburg (Stadtteil)	50 472	10 746	21,3	32 618	64,6	7 108	14,1
Bezirk Hamburg-Mitte	282 781	44 437	15,7	195 881	69,3	42 463	15,0
Land Hamburg	1 746 813	272 747	15,6	1 142 921	65,4	331 145	19,0

Der Anteil der Ausländerinnen und Ausländer an der Gesamtbevölkerung liegt im Stadtteil Wilhelmsburg deutlich über dem Hamburger Durchschnitt (Abb. 37). Im Jahr 1987 betrug der Ausländeranteil 22,8 %, während er im gesamten Hamburger Stadtstaat bei 11,5 % lag. Bis zum Jahr 2010 stieg der Anteil in Hamburg auf 13,6 %, der in Wilhelmsburg (Stadtteil) auf 33,6 % an. Zu einem besonders großen Anstieg kam es in Wilhelmsburg (Stadtteil) zwischen 1987 und 1997. Seitdem gibt es nur geringe Veränderungen des Anteils (Abb. 37). In Hamburg ist insgesamt eine leichte Abnahme zu verzeichnen (Stand 2011).

Auch der Anteil der Personen mit Migrationshintergrund ist im Stadtteil Wilhelmsburg mit 56,8 % fast doppelt so hoch wie im Hamburger Durchschnitt (29,6 %) und liegt deutlich über dem Durchschnitt des Bezirks Hamburg-Mitte mit 44,5 % (Abb. 38).

Das Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2012) gibt darüber hinaus auch Auskunft darüber, wie hoch der Anteil der wichtigsten Bezugsländer<sup>1</sup> an der Bevölkerung mit Migrationshintergrund in Prozent in den einzelnen Stadtteilen ist (Stand 28.01.2012). Für Wilhelmsburg (Stadtteil) werden folgende Angaben gemacht: Türkei (39,4 %), Polen (8,4 %), Russland und weitere Staaten der ehemaligen Sowjetunion (4,5 %).

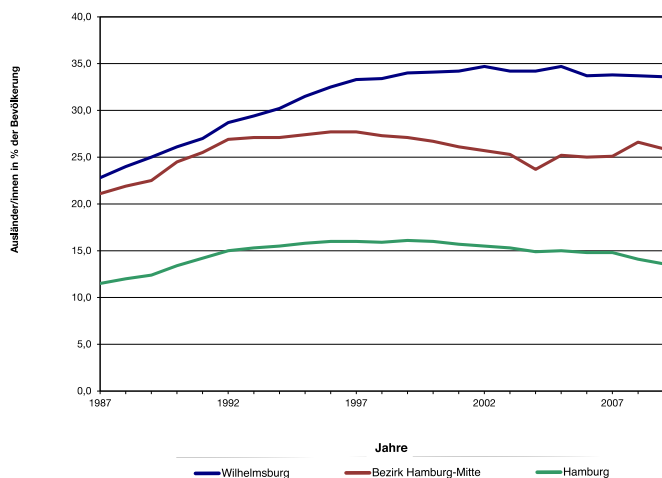


Abb. 37: Anteil der Ausländerinnen und Ausländer an der Bevölkerung in % (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).

1 Die Aussage „wichtigste Bezugsländer“ bezieht sich auf die ganze Stadt Hamburg und nicht den Stadtteil Wilhelmsburg. Die wichtigsten Bezugsländer sind die Türkei, Polen sowie Russland und weitere Staaten der ehemaligen Sowjetunion (Armenien, Aserbaidschan, Estland, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Lettland, Litauen, Moldawien, Russische Föderation, Tadschikistan, Turkmenistan, Ukraine, Usbekistan, Weißrussland). Angaben über weitere Bezugsländer werden nicht gemacht (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2012).

Bei genauerer Betrachtung ist zu sehen, dass der Anteil der Ausländer und der Personen mit Migrationshintergrund nicht gleichmäßig über Wilhelmsburg (Stadtteil) verteilt ist. Die Gebiete mit einem geringeren Anteil an Personen mit Migrationshintergrund liegen hauptsächlich im östlichen Bereich, der zum Teil städtisch und zum Teil ländlich geprägt ist. Die Gebiete mit einem Anteil von über 60 % liegen eher im westlichen Bereich des städtisch geprägten Gebiets sowie in den Industriegebieten (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011a). Die Industriegebiete zeichnen sich durch eine sehr geringe Anzahl von Bewohnern aus. Es kann vermutet werden, dass es sich bei diesen Einwohnern zumindest zum Teil um Arbeiter handelt, die in der unmittelbaren Nähe zu ihrem Arbeitsplatz wohnen.

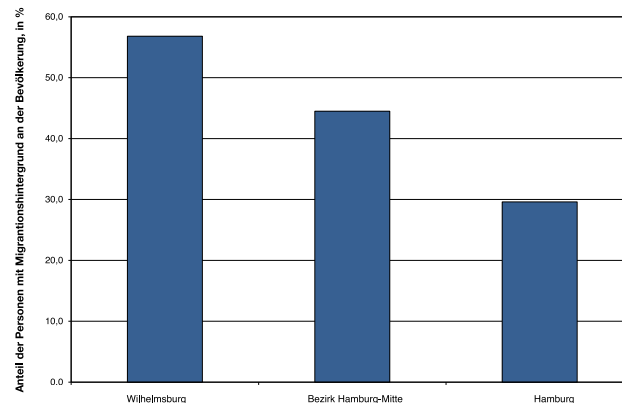


Abb. 38: Anteil der Personen mit Migrationshintergrund an der Bevölkerung (2010) (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung)

### 3.4.1.3 Wohnsituation

Die durchschnittliche Wohnungsgröße lag im Jahr 2010 im Stadtteil Wilhelmsburg mit 67,8 m<sup>2</sup> fast 5 m<sup>2</sup> unter dem Hamburger Durchschnitt (72,4 m<sup>2</sup>), aber über dem Durchschnitt des Bezirks Hamburg-Mitte (64,1 m<sup>2</sup>). Die durchschnittliche Wohnungsgröße ist in Wilhelmsburg (Stadtteil) von 1987 - 2010 mit +2,4 m<sup>2</sup> fast genauso gewachsen wie im gesamten Hamburger Stadtgebiet (+3,3 m<sup>2</sup>).

Die Wohnfläche pro Einwohner liegt in Wilhelmsburg (Stadtteil) mit 28 m<sup>2</sup>/Person deutlich unter dem Hamburger Durchschnitt (37 m<sup>2</sup>/Person). Dies ist auch auf die durchschnittlich größere Anzahl von Personen pro Wohnung zurückzuführen, die bei 2,1 Personen/Haushalt in Wilhelmsburg (Stadtteil) und bei 1,8 Personen/Haushalt in Hamburg (Stadtstaat) liegt. Jedoch gibt es auch innerhalb des Stadtteils Wilhelmsburg Gebiete mit deutlich abweichenden durchschnittlichen Haushaltsgrößen, die 1,0 Personen in den industriell geprägten Gebieten z.B. im Nordosten und 2,6 Personen in den ländlicheren östlichen Gebieten betragen (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011a).

Der Anteil der Sozialwohnungen an der Gesamtzahl der Wohnungen lag im Jahr 2011 im Stadtteil Wilhelmsburg bei 29,4 %. Dies entspricht 6.128 Wohnungen (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011). Damit beträgt der Anteil fast das Dreifache des Hamburger Durchschnitts von 10,7 %. Allerdings haben 28,3 % der Sozialwohnungen in Wilhelmsburg (Stadtteil), dies entspricht 1736 Wohnungen, einen Bindungsauslauf bis 2016 (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011b). Im Stadtteil Wilhelmsburg befinden sich insgesamt 6,4 % der Hamburger Sozialwohnungen. Wie Abbildung 39 zeigt, hat der Anteil der Sozialwohnungen von 1994 bis 2010 von 43,3 % auf 29,4 % abgenommen. Dies entspricht dem Trend für Hamburg (Stadtstaat), bedeutet aber nicht automatisch, dass die Gesamtzahl der Sozialwohnungen abgenommen hat, sondern kann auch auf einen im Verhältnis größeren Neubau von Nicht-Sozialwohnungen zurückzuführen sein.

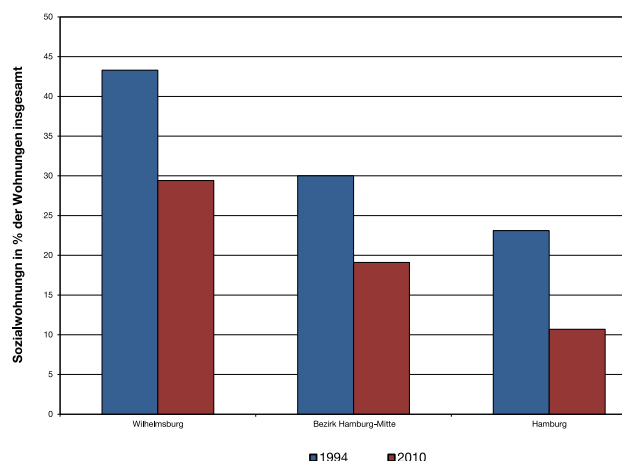


Abb. 39: Anteil der Sozialwohnungen 1994 und 2010 in % an der Gesamtzahl der Wohnungen (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).

Die Daten des Statistischen Amtes für Hamburg und Schleswig-Holstein zeigen, dass die Immobilienpreise in Wilhelmsburg (Stadtteil) im Jahr 2011 deutlich unter dem Hamburger Durchschnitt lagen (Tab. 4). Die niedrigen Preise machen den Stadtteil Wilhelmsburg dementsprechend nicht nur für Empfänger von Transferleistungen, sondern auch beispielsweise für junge Familien attraktiv, die dort verhältnismäßig günstig Eigentum in Stadtnähe erwerben können. Dies wiederum führt insgesamt zu einer sozialen Durchmischung des Stadtteils, mit allerdings nach wie vor starker kleinräumiger Differenzierung innerhalb des Stadtteils.

Gegenwärtig liegt der Anteil der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern am gesamten Wohnungsbestand in Wilhelmsburg (Stadtteil) trotz der vorhandenen Flächen in Form von ländlichen Gebieten und Industriebrachen mit 16 % unter dem Hamburger Durchschnitt von 21 % (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011).



Tab. 4: Grundstücks- und Immobilienpreise 2011 in Euro/m<sup>2</sup> (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Tabelle).

Preise in Euro/m <sup>2</sup> (2011)	Wilhelmsburg (Stadtteil)	Bezirk Hamburg-Mitte	Hamburg
Grundstück	145	171	336
Ein- u. Zweifamilienhäuser	1 507	1597	2 371
Eigentumswohnungen	1 308	2 134	2 391

### 3.4.1.4 Infrastruktur

Die Verkehrsinfrastruktur im Stadtteil Wilhelmsburg ist an die Anforderungen eines Handelsplatzes angepasst. So ist der Stadtteil durch Autobahnen (A1, A7 und A255), Bundesstraßen sowie Fern- und S-Bahntrassen an überregionale Verkehrswege angebunden (Handelskammer Hamburg, 2004).

In anderen Bereichen der öffentlichen Infrastruktur schneidet der Stadtteil Wilhelmsburg im Vergleich zu Hamburg insgesamt weniger gut ab. Mit 753 Einwohnern je Arzt liegt die ärztliche Versorgung deutlich unter dem Hamburger Durchschnitt (397 Einwohner/Arzt). Auch besitzen die Bewohner des Stadtteils Wilhelmsburg weniger Pkw als die Bevölkerung im Hamburger Durchschnitt (236 private Pkw/1000 Einwohner in Wilhelmsburg (Stadtteil) im Vergleich zu 340 Pkw/1000 Einwohner in Hamburg insgesamt) (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011). Dies könnte zum einen aus einem vergleichsweise geringen Einkommensniveau resultieren. Zum anderen könnte dies auf andere Faktoren wie beispielsweise eine höhere Urbanität oder den hohen Anteil der unter 18-Jährigen an der Bevölkerung zurückzuführen sein. Dies würde bedeuten, dass insbesondere im Vergleich zu weniger urban geprägten Stadtteilen ein geringerer Bedarf für einen privaten PKW aufgrund einer besseren Anbindung an die öffentlichen Verkehrsmittel wie auch

eine stärkere Durchmischung der Funktionen Wohnen, Einkaufen und Arbeiten besteht. Eine genaue Untersuchung der tatsächlichen Gründe liegt bisher nicht vor.

Abbildung 40 zeigt, dass in Wilhelmsburg (Stadtteil) der Anteil der Schüler, die ein Gymnasium besuchen, im Vergleich zu Hamburg insgesamt sehr gering ist. So erlangten, laut der Handelskammer Hamburg (2004) nur 10 % der Schüler die Allgemeine Hochschulreife. Der Großteil der Wilhelmsburger Schüler (40 %) verließ die Schule mit einem Hauptschul- und 25 % der Schüler die Schule ohne jeglichen Abschluss (Handelskammer Hamburg, 2004). Hier scheint sich eine Änderung abzuzeichnen: 2011 besuchten 75,1 % der Schüler/innen der Sekundarstufe I eine Haupt-, Real- oder Gesamtschule, 24,9 % ein Gymnasium (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011b). Es bleibt abzuwarten, ob die Einführung der sogenannten Stadtteilschulen in Hamburg (im Stadtteil Wilhelmsburg gibt es drei) und des im Rahmen der Internationalen Bauausstellung Hamburg erarbeiteten Querschnittprojektes „Bildungsoffensive Elbinseln“ (IBA Hamburg, 2009) zu einer Erhöhung der Schulabschlüsse führen wird.

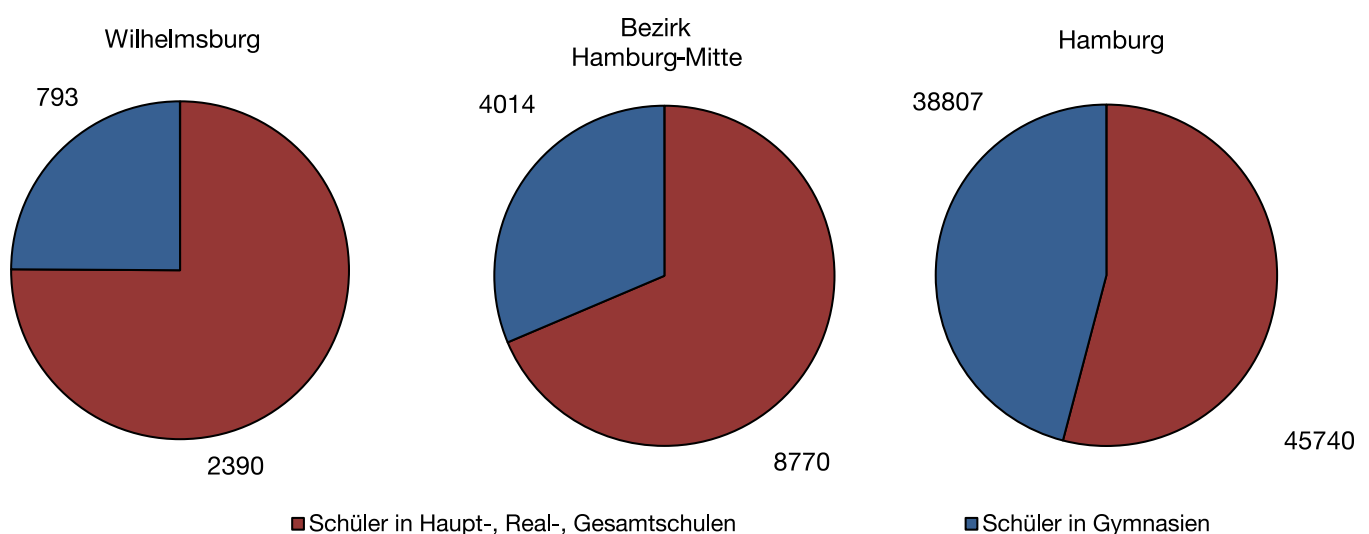


Abb. 40: Anteil der Schüler in den verschiedenen Schulformen für 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).

## 3.4.2 Wirtschaftliche Entwicklung

### 3.4.2.1 Wirtschaftsstruktur

Die in diesem Abschnitt enthaltenen Angaben sind vorwiegend den Daten der Handelskammer Hamburg (2010) entnommen.

Die Wirtschaftslandschaft in Wilhelmsburg (Stadtteil) ist geprägt von kleinen bis sehr kleinen Gewerbebetrieben. Innerhalb der Deichgrenzen waren im Jahr 2010 insgesamt 2 085 angemeldete Gewerbe registriert. Von diesen beschäftigen 94 % jeweils eine bis neun Personen und gehören damit zu den Kleinstbetrieben (Abb. 41). Vor allem im Bausektor und in einigen Dienstleistungssektoren, wie dem Wirtschaftszweig Grundstücks-, Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen und dem Handel, machen die Gewerbe mit einem bis drei beschäftigten Personen einen großen Anteil an allen Betrieben aus (knapp 90 %). Hierzu zählen auch Einzelpersonen, die ein Gewerbe zum Beispiel als Bauhelfer, Taxifahrer, Fensterreiniger, Büroservicekraft oder Anbieter logistischer Dienstleistungen angemeldet haben. Abgesehen von diesen Gewerbebetrieben zeigt sich ein ausgewogenes Bild zwischen der Anzahl von Klein- (10 bis 49 Beschäftigte) und Kleinstbetrieben. Zusammen machen sie einen Anteil von knapp 10 % an allen Betrieben aus. Weiterhin gibt es 13 mittelgroße Gewerbebetriebe (50 bis 199 Beschäftigte) und sieben Großbetriebe (200 bis 4 999 Beschäftigte).

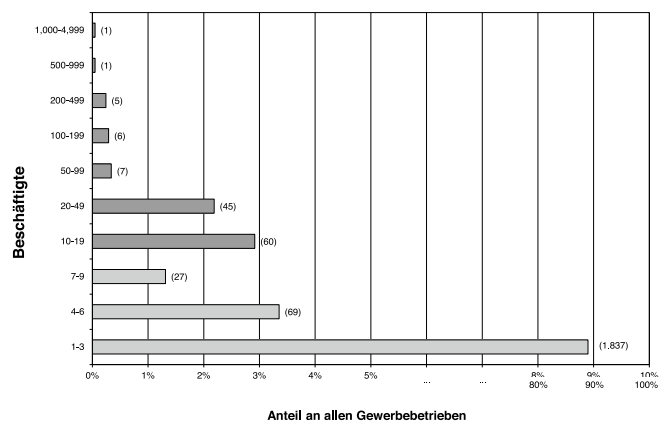


Abb. 41: Betriebsgrößenklassen in Wilhelmsburg (Stadtteil) 2010 (Datenquelle: Handelskammer Hamburg, 2010; eigene Darstellung).

Die geografische Lage des Stadtteils Wilhelmsburg auf den Elbinseln hat dazu geführt, dass sich der Stadtteil von einem ursprünglich landwirtschaftlich geprägten Gebiet hin zu einem Industrie- und Wohnstandort entwickelt hat. Die Nähe zum Hafen spielte für diese Entwicklung eine entscheidende Rolle. Dies zeigt sich unter anderem daran, dass rund 78 % der ausgewiesenen Industrie- und Gewerbefläche (insgesamt 680 Hektar) innerhalb des Hafengebiets liegen. Dementsprechend ist ein Großteil der Betriebe im Stadtteil Wilhelmsburg in ihrer Tätigkeit direkt oder indirekt mit dem Hafenbetrieb verbunden. Tabelle 5 zeigt, dass mehr als 800 Betriebe (rund 40 %) den Sektoren Handel und Verkehr zuzuordnen sind. Neben Einzelhandelsbetrieben, Kurierdiensten

und anderen Wirtschaftsaktivitäten, die nicht direkt vom Hafenbetrieb abhängig sind, ist der Großteil der Betriebe der Hafenwirtschaft zuzuordnen. Beispielsweise finden sich hier Großhandelsbetriebe, Speditionen, Betriebe der Lagerei oder logistische Dienstleistungen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Kleinbetriebe. Einzelne Speditionen und Großhandelsbetriebe zählen zu den mittelgroßen und Großbetrieben, wie die Hellmann Worldwide Logistics GmbH & Co. KG mit rund 600 Beschäftigten (Handelskammer Hamburg, 2004). Zudem hat sich die Gesamthafenbetriebsgesellschaft mbH auf die Vermittlung von Arbeitskräften in den Hafenbetrieb spezialisiert. Mittlerweile ist sie mit 1 050 Beschäftigten größte Arbeitgeberin in der Branche Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen.

Das verarbeitende Gewerbe ist ebenfalls von großer wirtschaftlicher Bedeutung für den Stadtteil Wilhelmsburg. Die chemische Industrie und die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren sind hier besonders hervorzuheben. Einzelne Großunternehmen tragen dazu bei, dass mehr als 1.000 Personen in diesen Branchen beschäftigt sind. Aufgrund der infrastrukturellen Gegebenheiten haben sich zudem Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie im Stadtteil Wilhelmsburg angesiedelt, die ihre Rohstoffe zu großen Teilen auf dem Wasserweg beziehen.

Tab. 5: Betriebe und geschätzte Anzahl der Beschäftigten im Stadtteil Wilhelmsburg nach Wirtschaftszweigen für 2010 (Datenquelle: Handelskammer Hamburg, 2010; eigene Tabelle).

Wirtschaftszweig	Beschäftigte	Betriebe
Grundstücks-, Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen usw.	4 956	541
Verkehr und Nachrichtenübermittlung	2 378	291
Handel, Instandhaltung u. Reparatur von Kfz u. Gebrauchsgütern	2 295	514
Baugewerbe	739	193
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	722	7
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	688	10
Erbringung sonstiger öffentlicher u. persönlicher Dienstleistungen	535	224
Gastgewerbe	257	99

Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	244	9
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bergbau	212	45
Maschinenbau	129	9
Metallerzeugung u. -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	92	12
Kredit- und Versicherungsgewerbe	79	33
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	74	29
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	54	9
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	47	4
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	23	5
Erziehung und Unterricht	22	11
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstru-menten usw., Recycling	17	7
Holzgewerbe (ohne Herstel-lung von Möbeln)	6	3
Energie- und Wasserversor-gung	4	2
Fahrzeugbau	2	1
Kokerei, Mineralölver-arbeitung, Herstellung von Brutstoffen	0	0
Glasgew., Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden	0	0
Herstellung von Büro-masch., DV-Geräte u. -Ein-richtungen, Elektrotechnik	0	0
<b>Insgesamt</b>	<b>13571</b>	<b>2058</b>

Anmerkung: Im Sektor Grundstücks-, Wohnungs-wesen, Vermietung beweglicher Sachen sind die Be-schäftigten von zwei großen Personalvermittlungen mit Sitz im Stadtteil Wilhelmsburg eingerechnet, die nicht zwangsläufig in diesem Stadtteil arbeiten.

Die Landwirtschaft wurde im Zuge des Strukturwandels im Stadtteil Wilhelmsburg wie im gesamten Bundesgebiet von Industrie und Dienstleistungen verdrängt und hat ihre herausragende Bedeutung für den Stadtteil verloren. Ins-gesamt beschäftigten die 45 landwirtschaftlichen Betriebe auf der Elbinsel im Jahr 2010 zusammen 212 Personen. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Klein- und Kleinstbetriebe, die auf den wenig flächenintensiven und hoch produktiven Garten- und Landschaftsbau spezialisiert sind. Sie tragen damit teilweise zu einer verbrauchernahen Produktion und Vermarktung für die Stadtbewohner bei.

### 3.4.2.2 Arbeitslosigkeit

Der Abschnitt bezieht sich überwiegend auf Daten der Stadtteildatenbank des Jahres 2011 des Statistischen Amts für Hamburg und Schleswig-Holstein.

Im Stadtteil Wilhelmsburg herrscht im Vergleich zum Durchschnitt der Stadt Hamburg eine hohe Arbeitslo-sigkeit. Im Jahr 2010 waren 10,7 % (3684 Personen) der 15- bis unter 65-Jährigen in Wilhelmsburg (Stadtteil) arbeitslos. Im Vergleich dazu belief sich der entspre-chende Anteil in Hamburg insgesamt auf 6,1 % und im Bezirk Hamburg-Mitte auf 8,4 %. Seit 1995 ist der Anteil der Arbeitslosen an der erwerbsfähigen Bevölkerung damit um 1,9 % gestiegen, während dieser in Hamburg und im Bezirk Mitte um 0,4 % beziehungsweise 0,6 % zurückgegangen ist (Abb. 42).

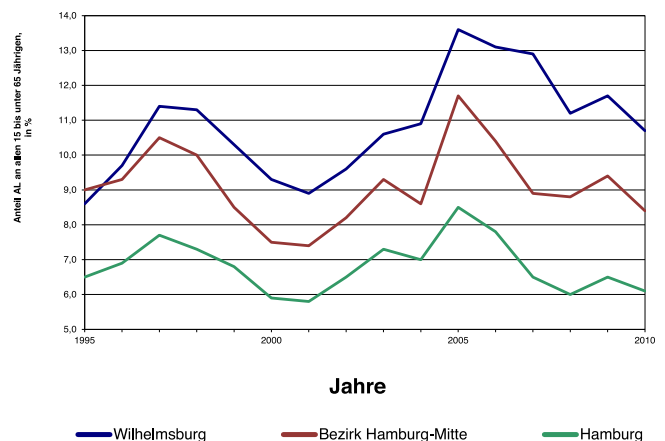


Abb. 42: Anteil der Arbeitslosen (AL) an der erwerbsfähigen Bevölkerung, 1995 - 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011).

Die Jugendarbeitslosigkeit ist dem Trend der Stadt Ham-burg folgend zurückgegangen. Von 7 120 Personen im Alter von 15 bis unter 25 Jahren waren im Stadtteil Wil-helmsburg im Jahr 2010 rund 5 % arbeitslos. Im Jahr 1995 waren es noch 7,5 %, und in den Folgejahren bis 1997 kletterte der Anteil jugendlicher Arbeitsloser so-gar auf einen Höchststand von 10,5 %. Im Vergleich zu Hamburg mit einem entsprechenden Anteil von 3,4 % (2010) ist das Niveau im Stadtteil Wilhelmsburg allerdings immer noch hoch.

Bei einer genaueren geografischen Betrachtung der Arbeitsmarktlage zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gebieten innerhalb des Stadtteils Wilhelmsburg. Eine Studie der Handelskammer Hamburg, die allerdings nur für 2004 vorliegt, zeigt, dass in den Quartieren Kirchdorf-Süd, Reiherstiegviertel und Georgswerder sich die Anteile der Arbeitslosen an der erwerbsfähigen Bevölkerung auf über 12 % beliefen. Gleichzeitig war hier der Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von 39,3 % in Kirchdorf-Süd bis 31,2 % in Teilen des Reiherstiegviertels deutlich unterdurchschnittlich. Andere Gebiete, insbesondere im östlichen Teil des Stadtteils Wilhelmsburg, waren dagegen durch eine geringere Arbeitslosigkeit von 2,5 % bis 5,0 % und teilweise unter

1,5 % geprägt. Die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nahmen in diesen Quartieren entsprechend einen höheren Anteil von 45 % bis hin zu 60 % an der erwerbsfähigen Bevölkerung ein. Während andere Teile der Elbinsel aufgrund von Großwohnprojekten durch Hochhaussiedlungen geprägt sind, sind hier vorwiegend Bauernhäuser und Einfamilienhäuser mit großen Gärten vorzufinden (Handelskammer Hamburg, 2004). Inwieweit sich in den vergangenen 10 Jahren Veränderungen ergeben haben, lässt sich nicht sagen. Jedoch hat sich z.B. der Anteil Arbeitsloser von 10,9 % in 2004 auf 10,7 % in 2010 etwas verringert (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011).

### 3.4.2.3 Einkünfte

Der Stadtteil Wilhelmsburg gehört zu den ärmeren Stadtteilen Hamburgs. Die Einkünfte sind im Vergleich zur Stadt Hamburg unterdurchschnittlich. Je Steuerpflichtigen wurde in 2004 im Durchschnitt ein Einkommen von 20 354 Euro erzielt – rund 38 % weniger als in Hamburg insgesamt. Damit ist auch die Kaufkraft vergleichsweise gering. Gleichzeitig zeigt sich auch bei dem Anteil der

Sozialhilfeempfänger ein deutlicher Unterschied zwischen dem Stadtteil Wilhelmsburg und dem restlichen Stadtgebiet. Im Jahr 2004 lebten 14,1 % der Bevölkerung des Stadtteils Wilhelmsburg von Sozialhilfe. Im Hamburger Durchschnitt waren es zum gleichen Zeitpunkt lediglich 7,2 % (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011).

## 3.4.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Neben dem im Vergleich zur gesamten Stadt Hamburg hohen Anteil von Einwohnern ausländischer Herkunft und von Einwohnern mit Migrationshintergrund zeichnet sich der Stadtteil Wilhelmsburg hinsichtlich der Bevölkerungsstruktur auch durch einen höheren Anteil der unter 18-Jährigen sowie einen fast dreimal so hohen Anteil an Sozialwohnungen aus. Außerdem ist der Stadtteil durch eine überdurchschnittlich hohe Arbeitslosigkeit gekennzeichnet. Obwohl nur 2,9 % (im Jahr 2010) der Hamburger Bevölkerung in diesem Stadtteil wohnen, leben hier 5,1 % der Arbeitslosen. Außerdem ist der Anteil der Leistungsempfänger vergleichsweise hoch, wodurch auch die Kaufkraft im Stadtteil entsprechend geringer ist als in anderen Stadtteilen Hamburgs (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011).

Neben der Exposition gegenüber (Natur-) Gefahren haben auch die sozioökonomischen Gegebenheiten einen Ein-

fluss auf die lokale Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels. Um die Kapazität der Akteure (u.a. Bevölkerung, Wirtschaft und Verwaltung), sich gegen (Natur-)Gefahren zu wappnen, detailliert untersuchen zu können, sind genaue Kenntnisse über die Wirtschaftsstruktur, die Bevölkerung sowie ihre Sozialstruktur und Wohnsituation notwendig. Insbesondere ein geringes Einkommensniveau, eine schlechte Infrastruktur oder ein geringes Bildungsniveau bzw. nicht ausreichende Kenntnisse der Sprache, in der die Risiken in der Regel kommuniziert werden, können dazu führen, dass weder ein angemessenes Risikobewusstsein ausgebildet wird, noch der Bevölkerung die Mittel zur Verfügung stehen, um sich an mögliche Folgen anzupassen. Kenntnisse über diese Strukturen sind für die Entwicklung und (sozialverträgliche) Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen unabdingbar.

## 3.5 Stadtstruktur

### 3.5.1 Oberflächenbedeckungsarten

*Mohamed Salim*

Analysen von Geodaten aus der Biotopkartierung und dem ATKIS-Projekt (Amtliches Topografisch-kartografisches Informationssystem für Deutschland) und Auswertung von Satellitendaten zeigen für die Große Elbinsel eine Vielzahl an Oberflächenbedeckungsarten und -charakteristika.

In Abbildung 43 werden die hauptsächlichen Oberflächenbedeckungen in 14 Gruppen zusammengefasst für die Große Elbinsel dargestellt, wobei kleinere Flächen sowie Straßenbäume und -büsche vernachlässigt werden.

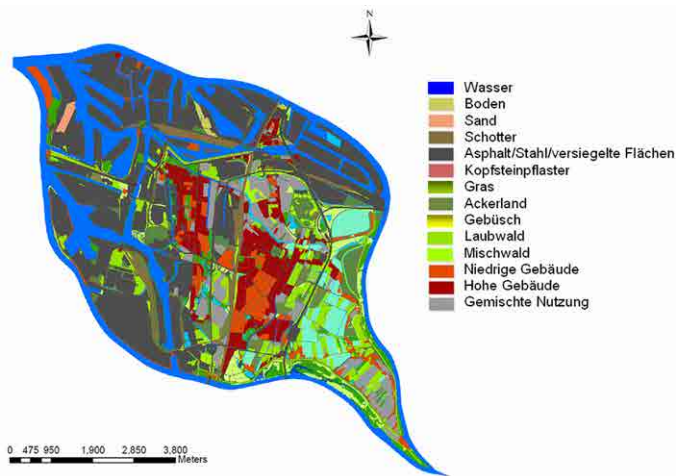


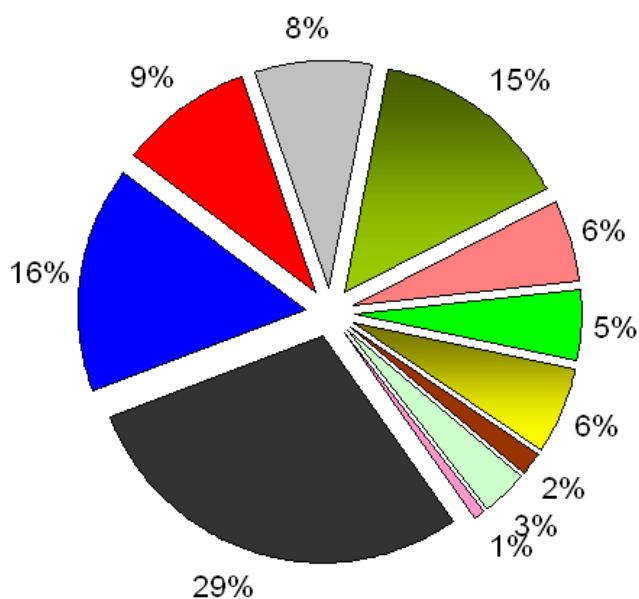
Abb. 43: In Gruppen zusammengefasste Oberflächenbedeckungsarten auf der Großen Elbinsel (Datenbasis: ATKIS Basis DLM aus Jahren 2007 bis 2009; eigene Darstellung Salim).

Prägend sind Wasserflächen und Gewässer, die überall auf der Großen Elbinsel zu finden sind, sowie die hohen Versiegelungsgrade im westlichen und nördlichen Bereich. Die östlichen und südlichen Teile sind von eher ländlicher Struktur, während die meisten der nördlichen

und westlichen Teile Hafen- und Industriegebiete sind, die sich durch starke Versiegelung auszeichnen (Abb. 43). Im Stadtteil Wilhelmsburg finden sich Bereiche mit durchgehender und unterbrochener städtischer Prägung, Verkehrsflächen, aber auch Grünland wie Gras, Ackerland, Gebüsch, Misch- und Laubwald sowie unbedeckte Böden, Sand- und Wattflächen (Süderelbe). In Abbildung 43 sind die Oberflächenbedeckungen, die das Stadtklima in ähnlicher Weise beeinflussen, zusammengefasst. Für das Stadtklima haben versiegelte Flächen gleicher Art (z.B. 15 m hohe Flachdachgebäude aus Beton) dieselbe Wirkung, unabhängig davon, ob darin Menschen leben, Maschinen betrieben oder Rohstoffe gelagert werden. Unterschiede entstehen durch die an die Umwelt abgegebene anthropogene Wärme (z. B. Maschinen, Heizung).

Die prozentualen Anteile dieser Oberflächenbedeckungsarten für die Große Elbinsel und Wilhelmsburg (Stadtteil) ist in Abbildung 44 dargestellt. Der höhere Prozentsatz an fließendem Wasser auf der großen Elbinsel gegenüber dem Stadtteil Wilhelmsburg ist aufgrund des nördlichen Arms der Elbe und der Hafenbecken im Norden und Westen nicht verwunderlich.

### Wilhelmsburg (Stadtteil)



### Große Elbinsel

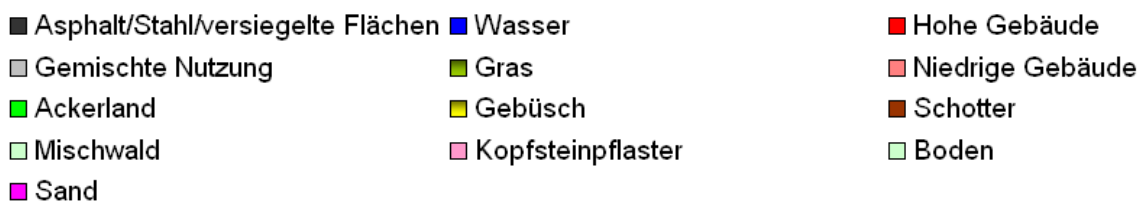
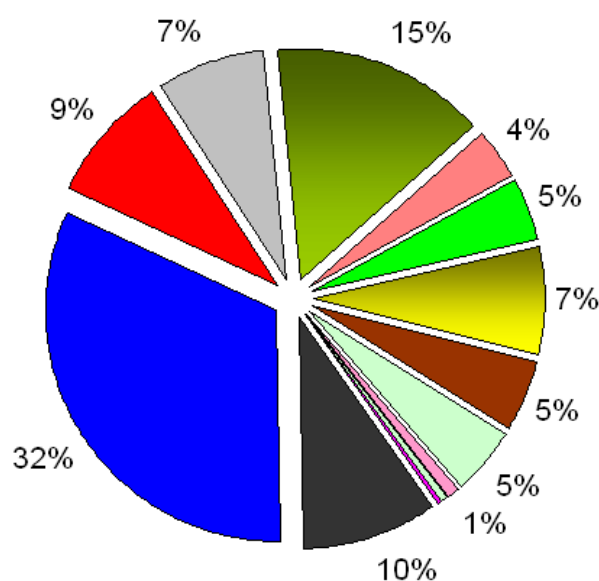


Abb. 44: Prozentuale Anteile der Oberflächenbedeckungsarten in Wilhelmsburg (Stadtteil) und der Großen Elbinsel (Datenbasis: ATKIS Basis DLM 2007 bis 2009, eigene Darstellung Salim).

## 3.5.2 Stadtstrukturen in Wilhelmsburg

Mohamed Salim

Im Stadtteil Wilhelmsburg existieren Gebäude aus unterschiedlichen Bauepochen, dazu zählen auch einige historische Gebäude wie die Windmühle Johanna, der Wasserturm Groß Sand und ein Flakbunker aus dem Zweiten Weltkrieg. Abbildung 45 zeigt die Höhen aller Bauwerke auf der Großen Elbinsel einschließlich Häusern, Brücken, Industrieflächen. Die Rohdaten der Gebäude stammen aus dem digitalen 3-D-Stadtmodell (Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung, Hamburg, LoD2). Die Auswertung dieser Daten gibt wertvolle Informationen über die Art der Bauwerke. So beträgt zum Beispiel die Bebauungsfläche auf der Großen Elbinsel 3,5 km<sup>2</sup> (das

sind 6,4 % der gesamten Fläche der Großen Elbinsel), im Vergleich zu 2,11 km<sup>2</sup> für Wilhelmsburg (Stadtteil) (6 % der Grundfläche des Stadtteils).

Die Gebäudehöhen beeinflussen maßgeblich die Wirkung der Gebäude auf das Windfeld. Dieses gilt sowohl für die mittlere Windgeschwindigkeit als auch für die Böigkeit. Auch Richtungsveränderungen können durch Bebauung induziert werden. Eine Einteilung der Gebäudehöhen in 14 Höhenbereiche ist für Wilhelmsburg (Stadtteil) und die Große Elbinsel in Abbildung 45 dargestellt.

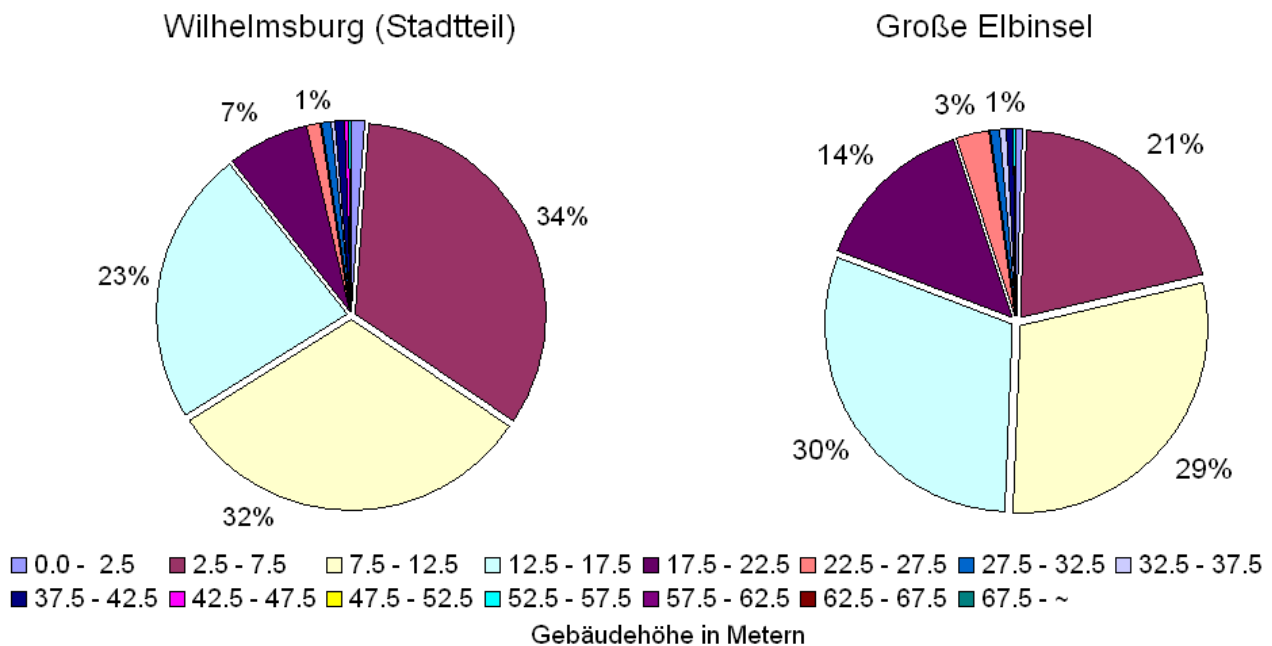


Abb. 45: Gebäudehöhenstatistik für alle Gebäude in Wilhelmsburg (Stadtteil) und auf der Großen Elbinsel. Die Höhenangaben sind in m, die Anteile in Prozent (Datenbasis: ATKIS Basis DLM 2007 bis 2009, eigene Darstellung Salim).

Die durchschnittliche Gebäudehöhe auf der Großen Elbinsel beträgt 12,8 m (mit einer Standardabweichung von 6,67 m), in Wilhelmsburg (Stadtteil) sind die Gebäude dagegen im Mittel niedriger mit einer mittleren Gebäudehöhe von 10,85 m und unterscheiden sich in

der Höhe stärker (Standardabweichung 6,92 m). Die höheren Gebäude auf der Nordseite der Großen Elbinsel, die zur Kläranlage und dem Containerterminal gehören, erhöhen die durchschnittliche Gebäudehöhe auf der Großen Elbinsel im Vergleich zum Stadtteil Wilhelmsburg.

## 3.5.3 IBA Hamburg – Städtebauliche und energetische Betrachtung der Großen Elbinsel

Anke Hansing, Caroline König

Eine Besonderheit des Stadtteils Wilhelmsburg ist die Durchführung der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg. Die Zukunft der Stadt im 21. Jahrhundert gestalten: Dieser Aufgabe stellte sich die IBA Hamburg und lieferte mit ihren Projekten Beiträge zu aktuellen Fragen der Metropolenentwicklung. Mit 70 baulichen, sozialen, kulturellen und ökologischen Projekten und

Programmen zeigte die IBA Hamburg 2006 bis 2013, wie eine Metropole im 21. Jahrhundert ökologisch und sozial ausbalanciert wachsen kann. Das 35 km<sup>2</sup> große IBA-Projektgebiet in den Stadtteilen Wilhelmsburg und Veddel sowie im Harburger Binnenhafen soll zu einem Vorbild für nachhaltige, zukunftsorientierte Innenentwicklung werden. Durch die Neuausrichtung der Hamburger

Stadtentwicklung zu Beginn des 21. Jahrhunderts gelangte die Große Elbinsel in den Fokus der Planungen und stellt nun den wesentlichen Trittstein des „Sprungs über die Elbe“ zwischen der HafenCity im Norden und Harburg im Süden dar.

Im Präsentationsjahr 2013 hatte die IBA Hamburg 1 208 Wohnungen im Bau oder fertig gestellt, zusätzlich wurden 516 Wohnungen modernisiert. Dazu kommen mehr als 100 000 m<sup>2</sup> Gewerbeflächen, acht Bildungseinrichtungen, zwei Seniorenwohn- und Pflegeheime, vier Kindertagesstätten, vier Sporteinrichtungen, ein Gewerbehof, ein Zentrum für Künstler und Kreative und mehr als 70 ha Grünflächen. Durch Prozesse, die die Internationale Bauausstellung anstößt, ergibt sich bis 2020 sogar ein Wohnungsbaupotenzial im Projektgebiet von mehr als 5 000 neuen Wohnungen. Drei Leitthemen wurden zu Beginn der Internationalen Bauausstellung Hamburg entwickelt. Im Leitbild „Kosmopolis“ geht es zum einen um die Frage, wie eine immer internationaler und multikultureller werdende Stadtgesellschaft ihr Potenzial entfalten kann. Mit dem zweiten Leitthema „Metrozonen“ sollen die oft versteckten Potenziale der „inneren Stadtränder“ aufgezeigt werden. Und in ihrem dritten Leitthema „Stadt im Klimawandel“ widmete sich die IBA Hamburg der Frage, wie städtisches Wachstum, Klimaschutz und Klimaanpassung miteinander verbunden werden können.

Ein Kernstück der IBA-Planungen bildet das Projekt „Wilhelmsburg Mitte“. Es grenzt nicht nur an den „Volkspark neuen Typs“ (das ehemalige Gelände der internationalen Gartenschau Hamburg 2013), sondern bildet zusammen mit diesem den zentralen Ausgangspunkt für die zukünftige Entwicklung des Stadtteils. Auf der 30 ha großen, seit Jahrzehnten brachliegenden Fläche zwischen der Wilhelmsburger Straße (B4/75) und der Bahntrasse wurde in einem Masterplan des niederländischen Büros Jo Coen & Co. Architects ein Wohn-, Arbeits- und Freizeitquartier entwickelt. Einen wichtigen Baustein stellt dabei die „Bauausstellung in der Bauausstellung“ dar (Abb. 46b), in der Lösungen für ästhetisch anspruchsvolle und zugleich preiswerte, anpassungsfähige und nachhaltige Bauten präsentiert werden. Gebaut wurden 17 Gebäude auf einer Fläche von circa zwei Hektar – darunter drei Hybrid Houses, vier Smart Material Houses, fünf Smart Price Houses und fünf Water Houses (Abb. 46a). Das Gebäude mit dem Namen „BIQ – das Algenhaus“ ist beispielsweise das weltweit erste Haus mit einer Bioreaktorfassade. In den der Fassade vorgehängten Glaselementen wachsen Algen, die als Biomasse zur Energieerzeugung genutzt werden können. Zusätzlich dienen sie der Beschattung der dahinter liegenden Wohnungen. Eine „Living Wall“ findet sich auch an der Nordwestfassade der neuen Schwimmhalle in Wilhelmsburg Mitte.

Diese „Living Wall“ und die Gründächer auf den Gebäuden der „Bauausstellung in der Bauausstellung“ und den angrenzenden WaterHouses wirken auf das Mikroklima und den Wasserhaushalt des Gebietes ein. Die WaterHouses stehen zudem in einem 4 000 m<sup>2</sup> großen Becken (Abb. 46a). Sie stehen für Konzepte des Bauens in Gebieten mit einem hoch anstehenden Grundwasser. Das Becken,



Abb. 46: (a) Wohnen auf dem Wasser „WaterHouses“ (IBA Hamburg GmbH / Bernadette Grimmstein) und (b) Luftbild Wilhelmsburg Mitte (IBA Hamburg GmbH / Falcon Crest Air).

das als Regenrückhaltebecken dient, ist verbunden mit dem Netz der Kanäle und Wettern (Abschnitt 3.3). Das Thema Wasser wird auch bei weiteren Gestaltungselementen in den insgesamt fünf Gebäuden der WaterHouses aufgegriffen. Es finden sich Terrassen auf dem Wasser, Unterwassergärten, Bootsstege und Wasserwände, die dem Sichtschutz dienen. Sie zeigen somit eine mögliche Bauweise für den Umgang mit überschwemmungsgefährdeten Baugebieten und werden u.a. durch ihren Passivhaus-Standard zum beispielgebenden Projekt für das Bauen im Klimawandel. Ein anderes Gebäude, das neben einem energieeffizienten Konzept eine gute Lösung für das Bauen auf dem Wasser präsentiert, ist das IBA DOCK, das Ausstellungs- und Bürogebäude der Internationalen Bauausstellung Hamburg. Es befindet sich im Stadtteil Veddel im Muggenburger Zollhafen. Das IBA DOCK steigt und fällt mit dem täglichen Tidenhub von ca. 3,5 m und kann auch im Fall einer Sturmflut höheren Wasserständen folgen.

Die benannten Projekte ordnen sich wie alle gebauten IBA-Projekte dem Konzept „Erneuerbares Wilhelmsburg“ unter. Das Konzept zeigt, dass in Städten die Energie effizient und direkt bei den Energieverbrauchern erzeugt werden kann. Das Konzept wird im ENERGIEATLAS (IBA, 2010) detailliert erläutert und zeigt, wie das Ziel des klimaneutralen Stadtteils auf Grundlage regenerativer und lokal erzeugter Energie bis 2050 für Wilhelmsburg erreicht werden kann. (Abb. 47). Das Konzept beruht auf einem räumlich-energetischen Ansatz, bei dem der gesamte Stadtteil in Stadtraumtypen aufgeteilt ist.

Abweichend von den in 3.5.1 dargestellten Stadtraumtypen nach Oberflächenbedeckung werden für den ENERGIE-ATLAS als Grundlage 23 unterschiedliche Stadtraumtypen und drei Landschaftsraumtypen definiert. Jeder dieser Typen ist mit einem eigenen Kennwert wie z. B. einer speziellen Bebauungsdichte und einem spezifischen Wärme- und Strombedarf belegt. Dadurch ist es möglich, Energieräume zu definieren, die eine vertiefende Betrachtung hinsichtlich Strom- und Wärmeverbrauch möglich machen. Auf dieser Grundlage aufbauend zeigt der ENERGIEATLAS wie bereits in 2025 der Strombedarf der Wohngebäude im Stadtteil Wilhelmsburg und bis 2050 auch nahezu der gesamte Wärmebedarf durch erneuerbare und lokal erzeugte Energien gedeckt werden kann. Das Ziel der klimaneutralen Elbinseln setzt die vollständige Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energie voraus. Dieses sind in Wilhelmsburg Sonnen- und Windenergie, geothermische Energie, Biomasse und Biogas (unter anderem aus Holzabfällen, Biomüll und den Abwässern) sowie die Nutzung industri-

eller Abwärme. Zu allererst sind die lokalen Ressourcen zu nutzen, um diesen Prozess nachhaltig zu gestalten, die lokale Wertschöpfung zu steigern und möglichst wenig Energie einführen zu müssen. In dem zugrunde liegenden sogenannten Exzellenzszenario wird von einem verdichteten und nutzungsgemischtem Stadtbild ausgegangen. Bebaute Flächen sollen nicht weiter ausgeweitet werden, flächensparende und energetisch optimierte Neubauten gehen einher mit vielen begrünten Flächen und Durchlüftungachsen. Die Möglichkeiten der Eigenerzeugung von Energie auf allen versiegelten Flächen wie Dächern soll maximal ausgeschöpft werden, z.B. durch die Nutzung für Photovoltaik und Solarthermie.

Die IBA HAMBURG schreibt im Jahr 2014 den ENERGIEATLAS fort und publiziert dann erste Zwischenergebnisse des Konzeptes „Erneuerbares Wilhelmsburg“. Der Erscheinungstermin wird unter [www.iba-hamburg.de](http://www.iba-hamburg.de) veröffentlicht.

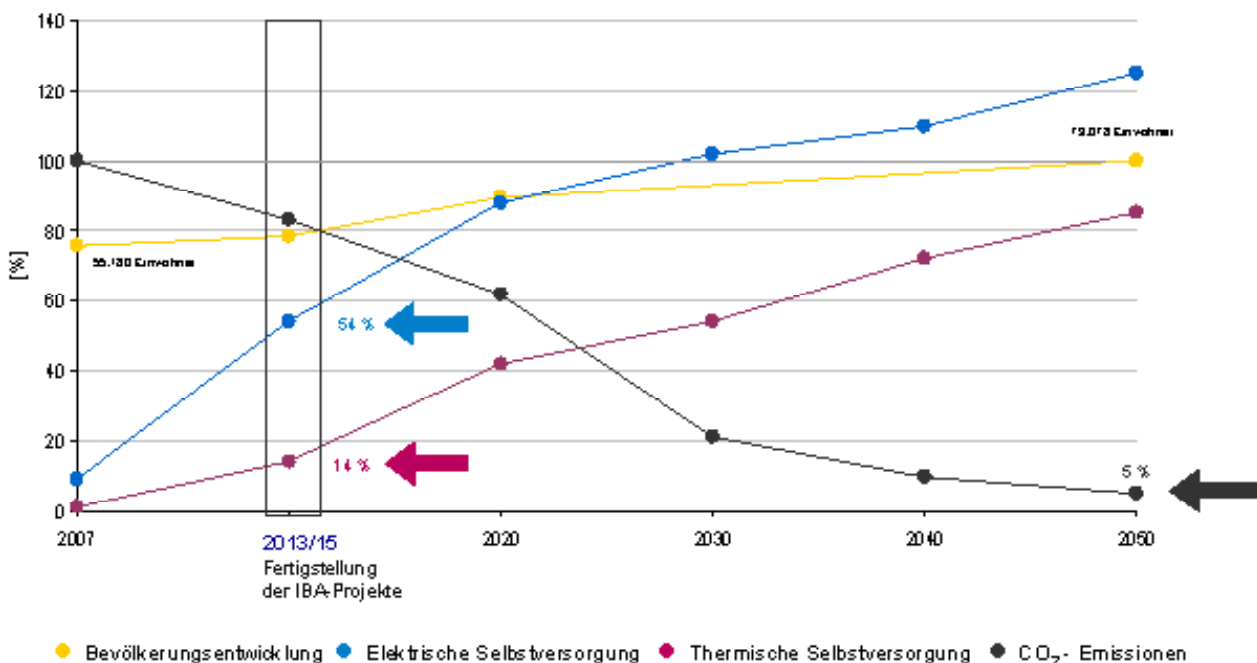


Abb. 47: Exzellenzszenario Energieatlas: Auf dem Weg zur klimaneutralen Elbinsel (IBA Hamburg GmbH).

### 3.5.4 Besonderheiten der Stadtraumtypen im Stadtteil Wilhelmsburg im Vergleich zu anderen Regionen

Mohamed Salim

Der Stadtteil Wilhelmsburg unterscheidet sich von Hamburgs anderen städtischen Gebieten durch viele Faktoren. Zu diesen Faktoren gehören die Größe des Stadtteils, die geografische Position, die Vielfalt der städtischen Strukturen sowie die Nähe zu Industrie- und Hafenanlagen. Weltweit gibt es jedoch einige städtische Gebiete, die ähnliche Eigenschaften haben. Rotterdam in den Niederlanden, Burgas an der bulgarischen Küste des Schwarzen

Meeres und Konstanza in Rumänien sind Beispiele für ähnliche städtische Gebiete in der Welt. Auch wenn die strukturellen Veränderungen besonders scheinen, so sind doch weltweit viele hafennahe Wohnquartiere von Restrukturierungen betroffen, sodass nachhaltiges Bauen wie hier für die IBA exemplarisch durchgeführt auch dort eine Möglichkeit sein könnte.



## **4** **Wilhelmsburg – zukünftige Veränderungen**

Dieses Kapitel kann nur einige mögliche Entwicklungen aufzeigen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Mögliche Veränderungen werden für die Teilgebiete Klima (Abschnitt 4.1), Tide- und Sturmflutverhältnisse (4.2), Hydrologie und Wasserwirtschaft (4.3), Sozioökonomie (4.4) und Stadtstruktur (4.5) dargestellt.

## 4.1 Klimaänderungen

*Marita Linde, Peter Hoffmann, Frieso Kipsch, Juliane Petersen, Diana Rechid, K. Heinke Schlünzen, Robert Schoetter*

In den Sachstandsberichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2007; IPCC, 2013) sind wissenschaftliche Erkenntnisse zu globalen und regionalen Klimaänderungen aufgrund der anthropogenen Treibhausgas- und Aerosolemissionen zusammengefasst. Der globale Temperaturanstieg kann in Beobachtungsdaten und mit Simulationen nachgewiesen werden. Der 5. Sachstandsbericht des IPCC bestätigt eindeutig, dass sich das Klima gegenwärtig ändert und dass dies auf menschlichen Einflüssen beruht (IPCC, 2013). Auch für Hamburg sind Temperaturanstiege sowie Änderungen in der Niederschlagscharakteristik gefunden worden (Schlünzen et al., 2010).

Zur Untersuchung klimatischer Änderungen müssen Mittel über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet werden. Hier werden als Referenzzeitraum die Jahre von 1971 bis 2000 verwendet (sogenanntes Ist-Klima). Klimaänderungen werden zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2036 - 2065) und zum Ende des 21. Jahrhunderts (2071 - 2100) ermittelt. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teil einer Auswertung regionaler Klimamodellergebnisse von REMO (Jacob, 2001) und CLM (Rockel et al., 2008), analysiert für die jeweils verschiedenen Gebiete innerhalb von KLIMZUG-NORD (Rechid et al., 2014). Der Fokus bei der Auswertung der Modellergebnisse liegt dabei auf Änderungen der Temperatur und des Niederschlags.

### 4.1.1 Datengrundlage

Datengrundlage bilden die Ergebnisse der Simulationen mit den regionalen Klimamodellen REMO und CLM. Die Randwerte für diese Modelle stammen aus Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM5-MPIOM (Roeckner et al., 2003, Jungclaus et al., 2006).

Neben natürlichen Variationen im Klimasystem werden Klimaänderungen auch durch anthropogene Emissionen vor allem der sogenannten Treibhausgase verursacht. In den verschiedenen, sogenannten SRES Emissionsszenarien (A1B, A2 und B1) (Nakicenovic et al., 2000), werden verschiedene mögliche globale demografische, sozioökonomische und technische Entwicklungen berücksichtigt. Aus den globalen Emissionsszenarien (siehe Glossar) werden die Konzentrationen der Treibhausgase und Aerosole in der Atmosphäre für das 21. Jahrhundert abgeleitet. Diese Konzentrationen werden globalen Klimamodellen vorgeschrieben, welche die daraus folgenden Veränderungen im Klimasystem abbilden. Diese sogenannten Klimaprojektionen bewegen sich auch für ein bestimmtes Emissionsszenario innerhalb einer natürlichen Schwankungsbreite. Diese natürliche Klimavariabilität wird durch mehrere Realisierungen für die einzelnen Szenarien berücksichtigt, die sich jeweils

im Ausgangszustand des Klimasystems unterscheiden. Um die Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf regionaler Ebene zu untersuchen, werden die globalen Klimaprojektionen mit regionalen Klimamodellen auf eine höhere räumliche Auflösung dynamisch verfeinert. Weitere Details sind in Rechid et al. (2014) zu finden.

Für REMO liegen je drei Realisierungen der Szenarien A1B, A2 und B1 in ca. 10 km horizontaler Auflösung vor (Jacob et al., 2005, Jacob et al., 2008, Jacob et al., 2009, Jacob et al., 2012). Für CLM werden je zwei Realisierungen der Szenarien A1B und B1 in ca. 18 km horizontaler Auflösung genutzt (Hollweg et al., 2008, Lautenschlager et al., 2009, Keuler et al., 2009a, Keuler et al., 2009b). Dieses Ensemble von 13 Simulationen deckt nur einen Teil der Bandbreite möglicher Klimaänderungen ab, denn einerseits können die zukünftigen Treibhausgasemissionen die durch die Szenarien aufgespannte Bandbreite der Emissionen verlassen, andererseits werden nur zwei regionale Klimamodelle, die von demselben globalen Klimamodell angetrieben werden, verwendet. Da unterschiedliche Klimamodelle auf Antriebe verschieden reagieren, decken die Ergebnisse der beiden Modelle nur einen Teil der Modellunsicherheiten ab.

### 4.1.2 Änderung der klimatologischen Jahresmittel

Für die Jahresmittel und die Jahreszeiten sind die projizierten Änderungen der klimatologischen Werte der Temperatur in Abbildung 48 und für den Niederschlag in Abbildung 49 dargestellt. Die Abbildungen zeigen jeweils (a) die Änderungen für die Mitte des 21. Jahrhunderts und (b) für das Ende des 21. Jahrhunderts. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Dabei ist zu beachten, dass für das Szenario A2 im Unterschied zu den anderen beiden Szenarien nur

Simulationen mit REMO vorliegen. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen.

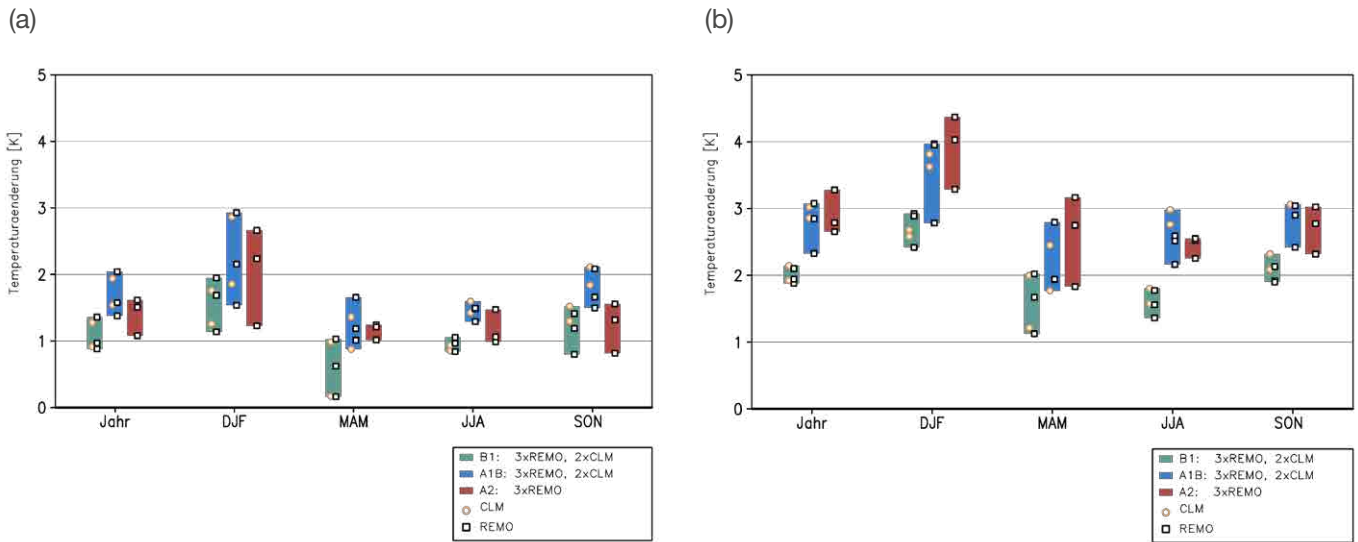


Abb. 48: Projizierte Änderungen der klimatologischen Werte für die Temperatur [K] im Jahr und in den Jahreszeiten für (a) Mitte des 21. Jahrhunderts und (b) Ende des 21. Jahrhunderts. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen. Die Abkürzungen DJF, MAM, JJA und SON stehen für die meteorologischen Jahreszeiten Dezember-Januar-Februar; März-April-Mai; Juni-Juli-August; sowie September-Oktober-November (Quelle: Rechid et al., 2014).

Alle Szenarien zeigen für alle Zielzeiträume einen Anstieg der Temperatur gegenüber dem Ist-Klima (Abb. 48). Der größte Temperaturanstieg wird für den Winter (DJF) projiziert. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts hängt der projizierte Temperaturanstieg mehr vom Modell und der Realisierung als vom Emissionsszenario ab

(Anstieg Jahresmitteltemperatur 0,9 - 2 K). Zum Ende des 21. Jahrhunderts zeigen die Szenarien A1B und A2 mit höheren Treibhausgasemissionen einen deutlich größeren Temperaturanstieg (Anstieg Jahresmitteltemperatur 2,3 - 3,3 K) als das Szenario B1 mit geringen Treibhausgasemissionen (Anstieg Jahresmitteltemperatur 1,9 - 2,1 K).

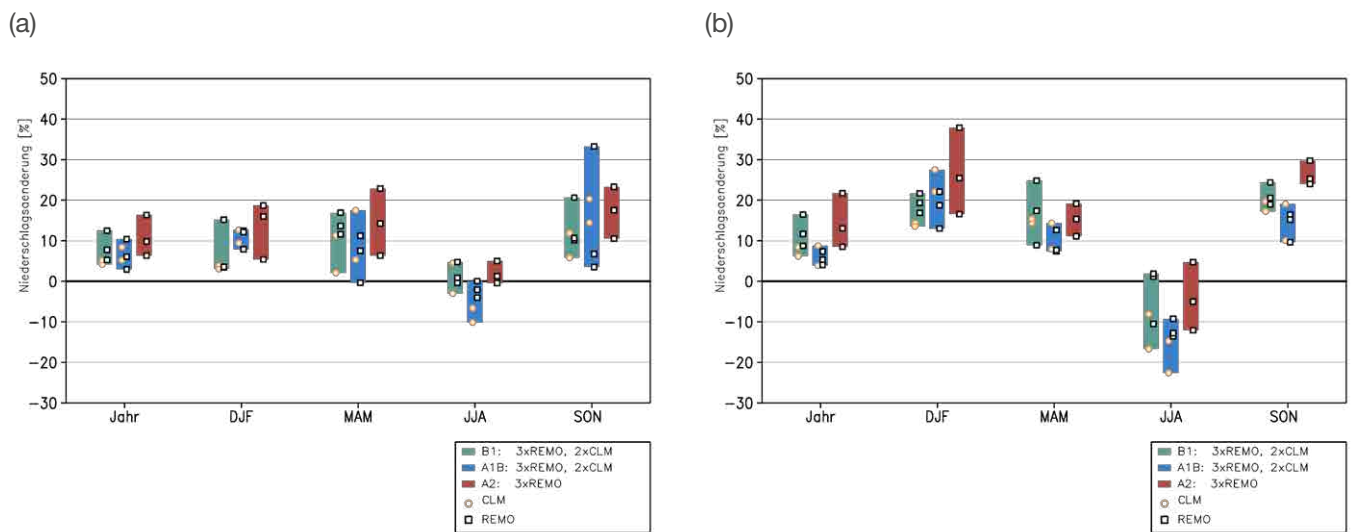


Abb. 49: Projizierte Änderungen der klimatologischen Werte für den Niederschlag [%] im Jahr und in den Jahreszeiten für (a) Mitte des 21. Jahrhunderts und (b) Ende des 21. Jahrhunderts. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen. Die Abkürzungen DJF, MAM, JJA und SON stehen für die meteorologischen Jahreszeiten Dezember-Januar-Februar; März-April-Mai; Juni-Juli-August; sowie September-Oktober-November. (Quelle: Rechid et al., 2014).

Im Jahresmittel zeigen die verschiedenen Szenarien einen Anstieg der Niederschlagsmenge für beide Zielzeiträume (Abb. 49). Dieser zeigt sich auch in der jahreszeitlichen Niederschlagsmenge des Herbstes, Winters (mögliche stärkste Zunahme gegen Ende des 21. Jahrhunderts) und Frühjahrs. Gegen Mitte des 21. Jahrhunderts zeigt sich für die sommerliche Niederschlagsmenge kein klarer Trend, während gegen Ende des 21. Jahrhunderts alle Simulationen im A1B Szenario eine Abnahme der

sommerlichen Niederschlagsmenge zeigen. Im B1 und A2 Szenario zeigen einige Simulationen eine Zunahme, andere eine Abnahme der sommerlichen Niederschlagsmenge. Der Einfluss der internen Klimavariabilität ist beim Niederschlag deutlich größer als bei der Temperatur. Daher sind auch gegen Ende des 21. Jahrhunderts keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien zu erkennen.

### 4.1.3 Änderungen der Tageswerte

Die Perzentile der mittleren Tagestemperatur sind für den Referenzzeitraum in Abbildung 50a für den Winter dargestellt. In Abbildung 50c, e sind die Abweichungen der Perzentile für beide Zielzeiträume aufgeführt. Die Abbildung 50b, d, f enthält die analogen Werte für den Sommer. Für den Winter wurden alle CLM, sowie diejenigen Simulationen (REMO-A1B-1, REMO-A1B-2, REMO-B1-1 und REMO-A2-1) weggelassen, in denen durch die für diese Simulationen verwendeten Modellversionen eine unrealistische Häufung von mittleren Tagestemperaturen um 0 °C aufgetreten ist (Schoetter et al., 2012).

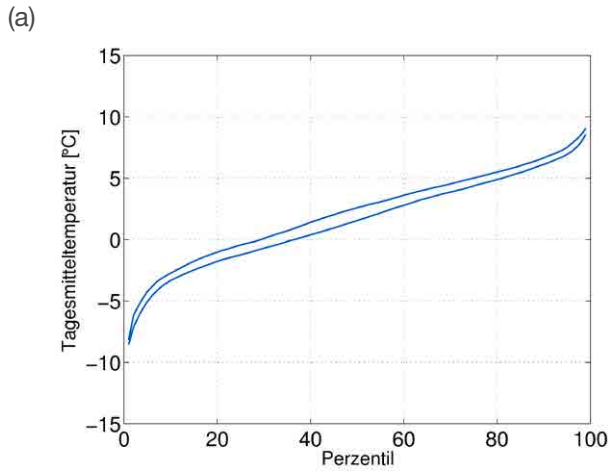
Die zukünftige Verteilung der mittleren Tagestemperatur im Winter zeigt einen starken Temperaturanstieg für die kleinen Perzentile (Abb. 50c, e). Der Anstieg für die hohen Perzentile ist geringer. Daher kommt die mittlere Erwärmung der mittleren Tagestemperaturen für den Winter durch selteneres Auftreten der kalten und sehr kalten Tage zustande. Die Verteilung der simulierten mittleren Tagestemperaturen im Winter wird damit im Zukunftsklima schmaler.

Im Sommer ist der projizierte Temperaturanstieg für warme Tage etwas stärker als für kältere Tage (Abb. 51d, f). Die Erwärmung ist insgesamt gleichmäßiger über alle Temperaturen verteilt als im Winter. Die Verteilung der simulierten mittleren Tagestemperaturen im Sommer wird damit im Zukunftsklima geringfügig breiter.

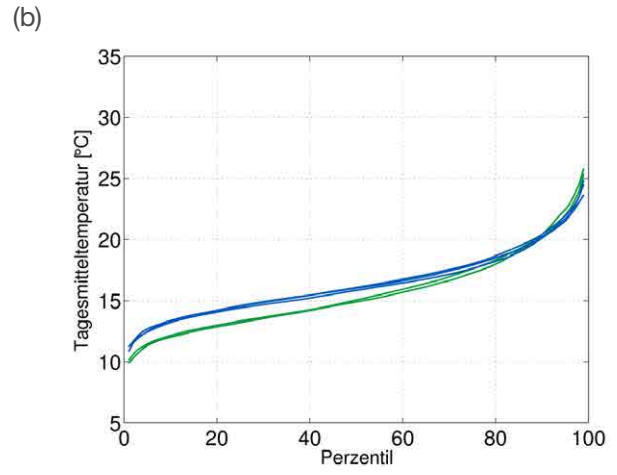
Die Perzentile der Tagesniederschläge an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag sind für den Referenzzeitraum in Abbildung 51a, und die Abweichungen sind für beide Zielzeiträume in Abbildung 51c, d für den Winter dargestellt. Die entsprechenden Werte für den Sommer sind Abbildung 51b, d, f zu entnehmen.

Zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird sich die winterliche Tagesniederschlagsintensität nicht wesentlich ändern, während der Sommerniederschlag eine leichte Zunahme der Niederschlagsmengen an niederschlagsreichen Tagen zeigt. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts wird in den winterlichen Niederschlägen eine generelle Zunahme der Niederschlagsintensität projiziert.

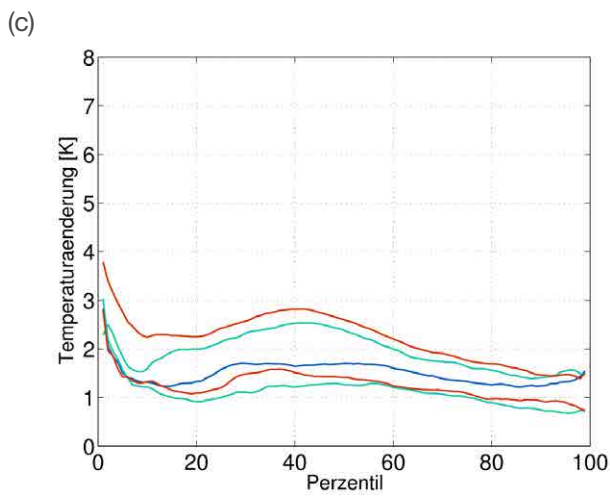
Für den Sommer zeigt sich gegen Ende des 21. Jahrhunderts eine sehr deutliche Zunahme der Niederschlagsintensitäten an niederschlagsreichen Tagen. Zudem ist eine Abnahme der Niederschlagsintensitäten an Tagen mit mittlerem Niederschlag zu erkennen. Zum Ende des Jahrhunderts kann es demzufolge mit der leichten Abnahme der Niederschlagssummen im Sommer zu einer Verschiebung zu niederschlagsreichen Tagen kommen. Im Winter ist mit einer generellen Zunahme der Niederschlagsintensitäten zu rechnen.



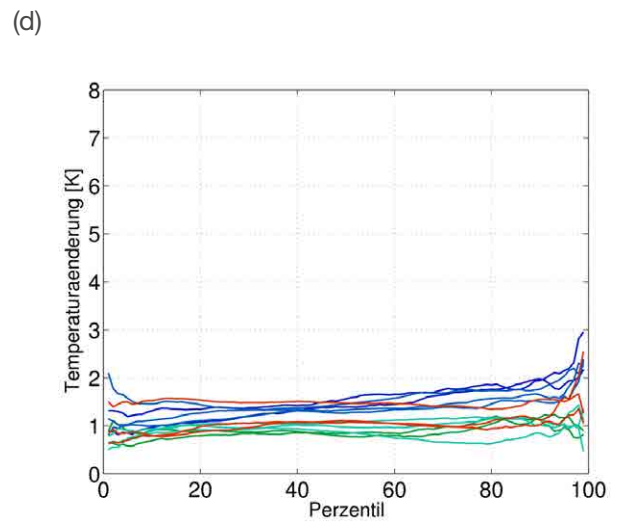
— REMO 2 x C20



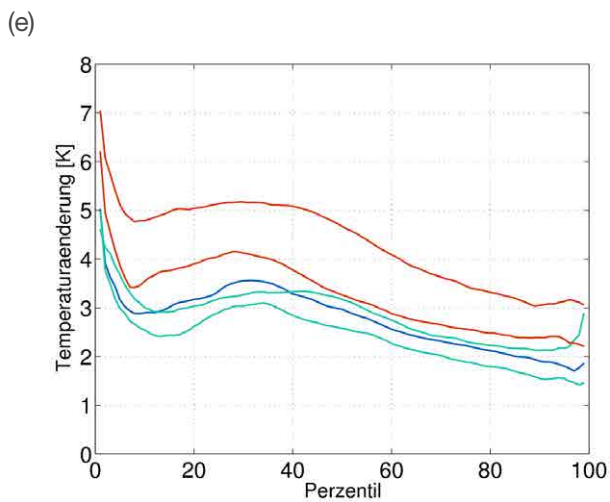
— REMO 3 x C20 — CLM 2 x C20



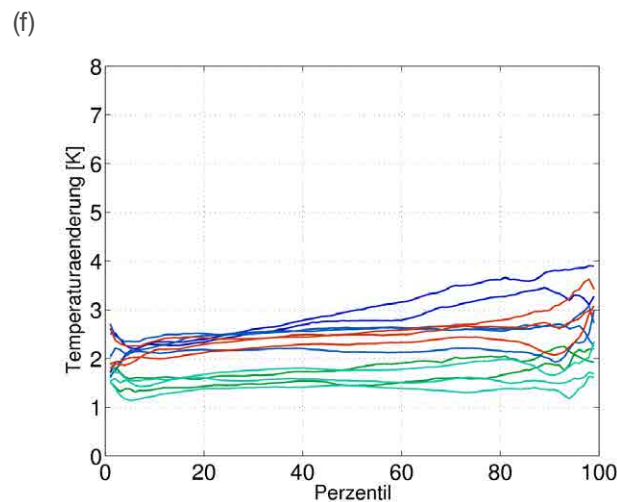
— REMO 1 x A1B — REMO 2 x B1 — REMO 2 x A2



— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1

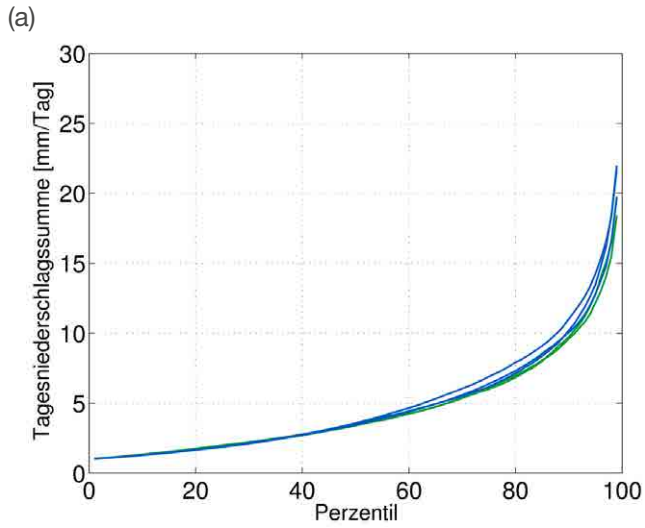


— REMO 1 x A1B — REMO 2 x B1 — REMO 2 x A2

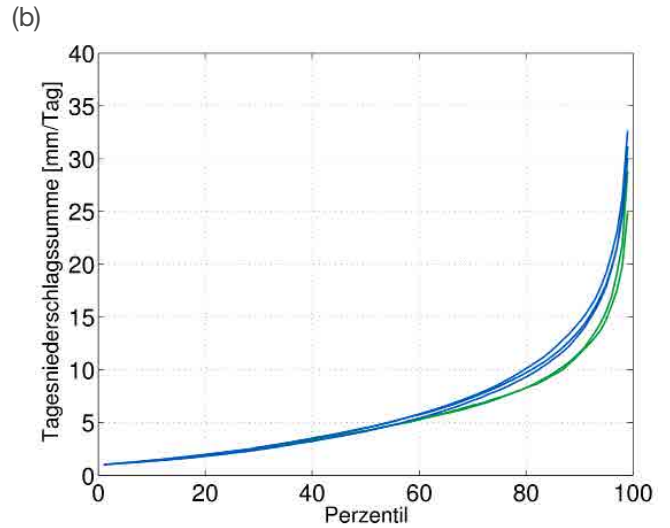


— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1

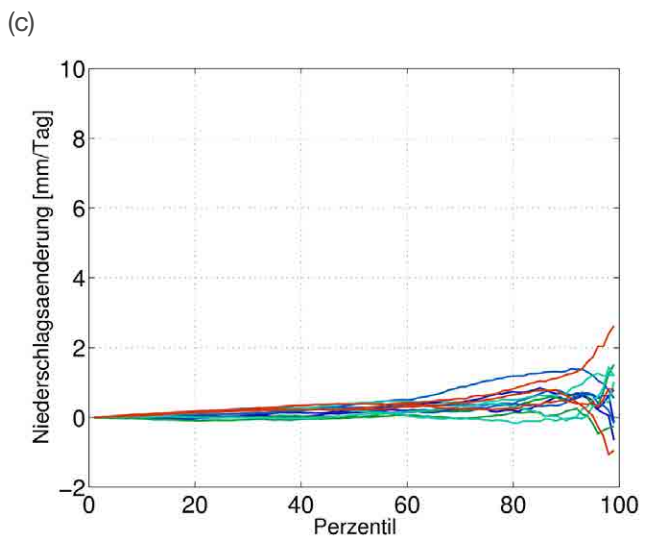
Abb. 50: Simulierte Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im (a) Winter und (b) Sommer sowie projizierte Änderungen der Perzentile der Tagesmitteltemperatur für den Zeitraum 2036 - 2065 im (c) Winter und (d) Sommer und für den Zeitraum 2071 - 2100 im (e) Winter und (f) Sommer für das Gebietsmittel von Hamburg. (Anmerkung: Für den Winter wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0° Werten zeigen (Quelle: Rechid et al., 2014).



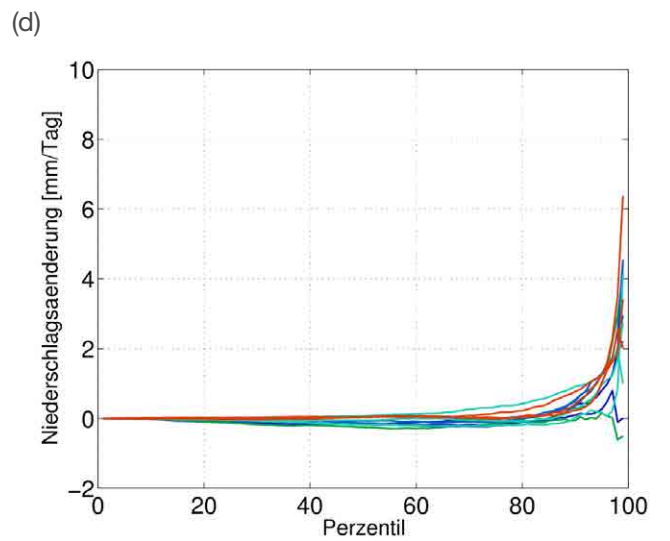
— REMO 3 x C20 — CLM 2 x C20



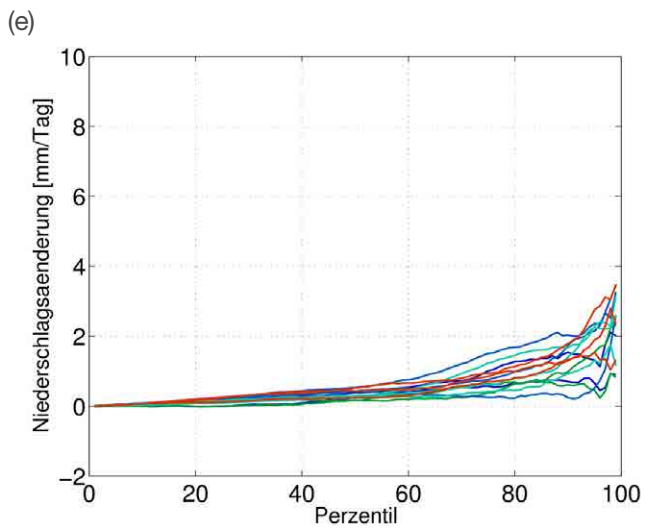
— REMO 3 x C20 — CLM 2 x C20



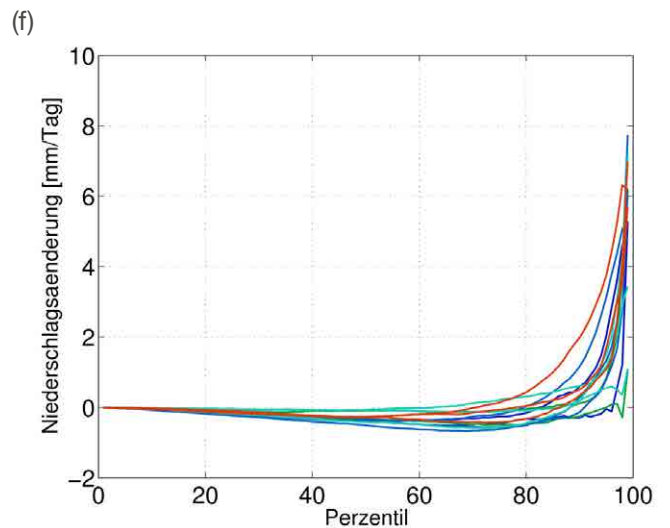
— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1



— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1



— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1



— REMO 3 x A1B — REMO 3 x B1 — REMO 3 x A2  
— CLM 2 x A1B — CLM 2 x B1

Abb. 51: Simulierte Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im (a) Winter und (b) Sommer sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 - 2065 im (c) Winter und (d) Sommer und für den Zeitraum 2071 - 2100 im (e) Winter und (f) Sommer für das Gebietsmittel von Hamburg (Quelle: Rechid et al., 2014).

## 4.1.4 Änderungen der Kenntage

In Abbildung 52 sind die projizierten Änderungen ausgewählter Kenntage dargestellt. Die Anzahl der Sommertage (Tage mit Tagesmaximum der Temperatur größer 25 °C) nimmt im zukünftigen Klima deutlich zu, insbesondere zum Ende des 21. Jahrhunderts. Auch die Anzahl der Hitzetage (Tage mit Tagesmaximum der Temperatur größer gleich

30 °C) steigt deutlich an. Die Anzahl der Tropennächte nimmt nur leicht zu, da die minimale Tagestemperatur auch in Zukunft nur selten 20 °C überschreitet. Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlag pro Jahr steigt in den meisten Simulationen in jeder Jahreszeit an, insbesondere im Herbst, jedoch weniger eindeutig im Sommer.

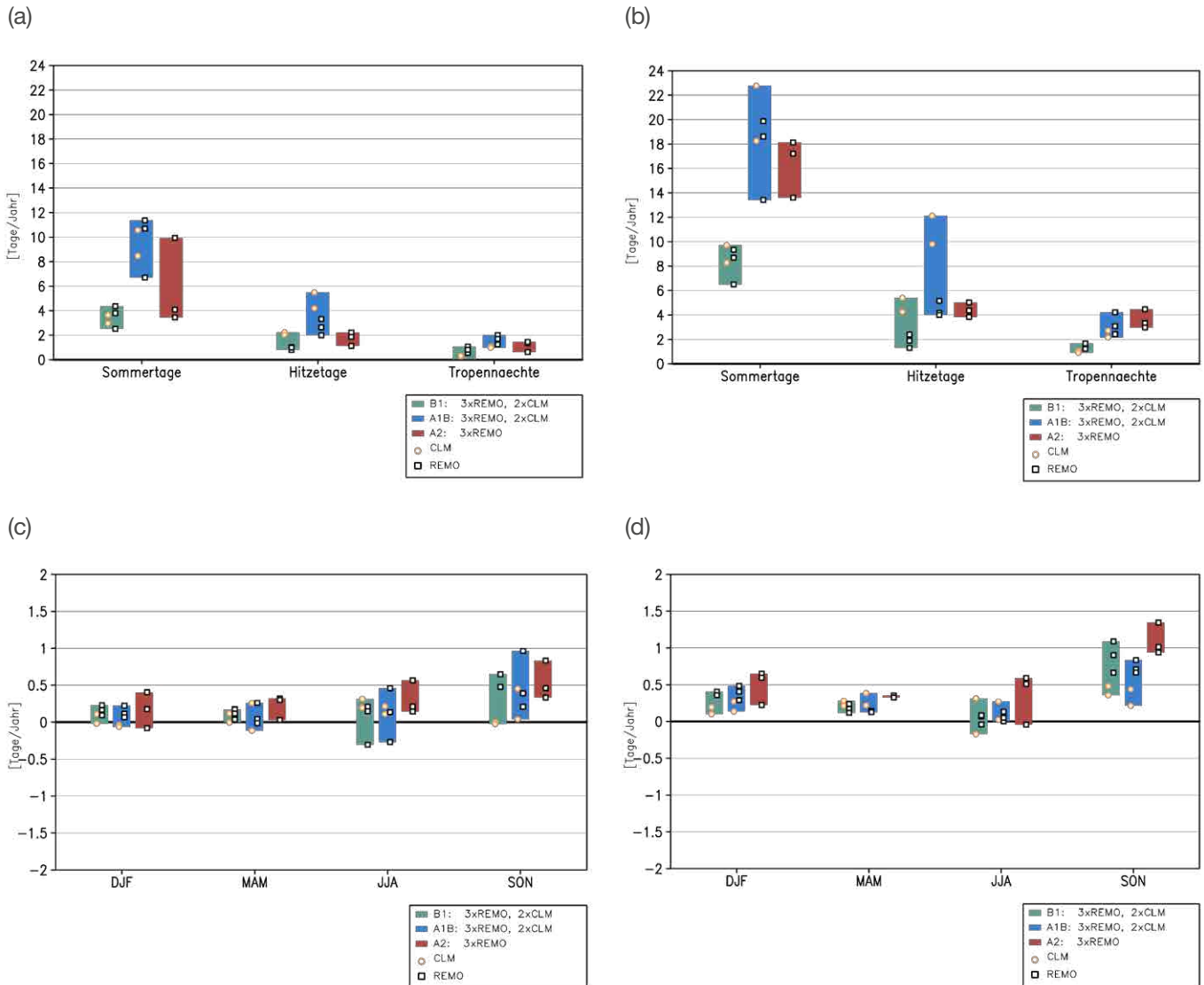


Abb. 52: Projizierte Änderungen der Anzahl (a,b) von Sommertagen (14 - 23 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum), Hitzetagen (1 - 8 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum) und Tropennächten (0,2 - 0,4 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum) sowie (c, d) von Starkniederschlagstagen (0,3 - 0,6 Tage pro Jahr in DJF; 0,2 - 0,5 Tage pro Jahr in MAM; 0,8 - 2,0 Tage pro Jahr in JJA; und 0,5 - 1,1 Tage pro Jahr in SON) für die verschiedenen Jahreszeiten jeweils dargestellt für (a, c) 2036 - 2065 und (b, d) 2071 - 2100 gegenüber 1971 - 2000. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen. (Quelle: Rechid et al., 2014).

## 4.1.5 Bedeutung der Klimaänderungen für das Klima der Großen Elbinsel

Unter der Annahme der Emissionsszenarien B1, A1B und A2 muss sich die Große Elbinsel und mit ihr der Stadtteil Wilhelmsburg bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts auf steigende Temperaturen einstellen (ca. 1 - 3 °C im Winter und ca. 1 - 1,5 °C im Sommer). Der Temperaturanstieg hängt dabei bis zu diesem Zeitpunkt nur geringfügig von den Treibhausgasemissionsszenarios ab. Zum Ende des 21. Jahrhunderts wirken sich die jetzt getroffenen Maßnahmen der Emissionsreduktion aus. Szenarien mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen (A1B und A2) weisen stärkere Temperaturanstiege auf als das Szenario mit niedrigeren Treibhausgasemissionen B1 (schwächerer Temperaturanstieg). Die Anzahl von Sommer- und Hitzetagen wird in der Zukunft deutlich

ansteigen. Dies deutet auf eine gesteigerte Hitzebelastung am Tag hin. Im zukünftigen Klima steigt die Anzahl der Tropennächte pro Jahr, bleibt aber absolut betrachtet mit 1 - 4 Tagen pro Jahr auch in Zukunft im Vergleich zu anderen Regionen der Erde gering. Lokal können die Änderungen allerdings durch Bebauung bedingt deutlich höher ausfallen (4.5). Auch auf der Großen Elbinsel werden in der Zukunft die Jahresniederschläge steigen. Hohe Anstiege sind vor allem im Winter zu erwarten, während für den Sommer zum Ende des 21. Jahrhunderts eher ein Rückgang der Niederschlagssummen projiziert wird. Dieser Rückgang geht jedoch voraussichtlich mit einer Verstärkung der Starkniederschläge einher.

## 4.2 Einfluss möglicher Klimaänderungen auf mittlere Tide- und Sturmflutverhältnisse

In diesem Abschnitt wird auf die durch Klimaänderungen bedingte Veränderungen der mittleren Wasserstandsverhältnisse und der Trübungs- und Brackwasserzone

eingegangen (Abschnitt 4.2.1) und mögliche Änderungen in den Sturmflutverhältnissen betrachtet (4.2.2).

### 4.2.1 Änderungen der mittleren Wasserstandsverhältnisse sowie der Trübungs- und Brackwasserzone

Annette Büscher

#### 4.2.1.1 Untersuchungskonzept

Der Einfluss eines möglichen zukünftigen Meeresspiegelanstiegs und langanhaltend niedriger Oberwasserzuflüsse auf die Wasserstandsverhältnisse und die Lage der Trübungs- und Brackwasserzone im Elbeästuar wird über Sensitivitätsstudien (Kwadijk et al., 2010) analysiert. Diese bieten eine effektive Möglichkeit, mit den den Klimaprojektionen inhärenten Unsicherheiten umzugehen und trotz Unsicherheiten Aussagen zu zukünftigen möglichen Veränderungen zu ermitteln. Das Konzept der hier durchgeführten Sensitivitätsstudien ist in Abbildung 53 dargestellt: In einem hochaufgelösten 3D-hydrodynamisch-numerischen Modell (UnTrim, s. Casulli und Walters, 2000) werden die Haupteinflussfaktoren (hier: Meeresspiegel und Oberwasserzufluss) auf die Tideelbe einzeln und in Kombination variiert, um die Reaktion der Zustandgrößen Wasserstand, Strömung, Salzgehalt, Schwebstoffgehalt auf die veränderten Randbedingungen zu ermitteln. Die Analyse der Berechnungsergebnisse auf Basis der Tidekennwerte ermöglicht eine klare Beschrei-

bung des Systemverhaltens unter den möglichen Folgen des Klimawandels. Somit kann festgestellt werden, unter welchen Bedingungen eine mögliche Klimaänderung zu Betroffenheiten auf der Großen Elbinsel führen kann.

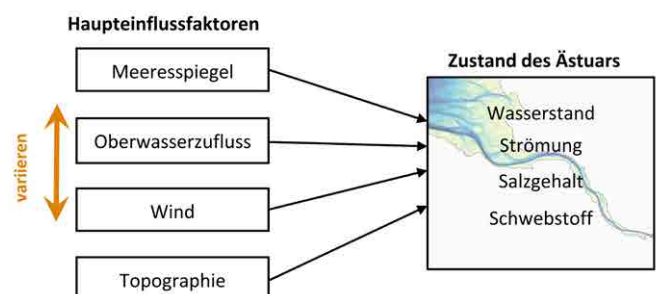


Abb. 53: Schematische Darstellung des Untersuchungskonzeptes für das System Tideelbe in KLIMZUG-NORD (eigene Darstellung BAW).



## 4.2.1.2 Einfluss eines möglichen Meeresspiegelanstiegs von 80 cm auf Wasserstände, Strömung und Schwebstoffgehalt

Die Tidedynamik des Elbeästuars wird maßgeblich durch die Verhältnisse in der Deutschen Bucht geprägt. Mithilfe der numerischen Modelle der Nordsee und der Tideelbe wird für einen Spring-Nipp-Zyklus untersucht, welchen Einfluss ein möglicher Meeresspiegelanstieg von 80 cm in der Deutschen Bucht auf die Tidedynamik und Transportverhältnisse im Elbeästuar haben könnte. Ein Meeresspiegelanstieg von 80 cm wird in der Fachliteratur als möglicher Wert bis 2100 für die Deutsche Bucht angegeben (Gönnert et al., 2009).

Die Untersuchungen ergeben, dass ein aus dem Atlantik kommendes Wasserstandssignal +80 cm räumlich und zeitlich unterschiedlich die deutsche Küste erreicht. Dabei steigt im Mündungsbereich der Elbe das Tidehochwasser stärker an als das Tideniedrigwasser (Abb. 54). Durch die unterschiedlich starke Anhebung des Tidehoch- und Tideniedrigwassers steigt der Tidehub in der Außenelbe um bis zu 10 cm bei einem Meeresspiegelanstieg um +80 cm. Diese Zunahme vergrößert sich in Richtung Wehr, insbesondere stromauf von Hamburg.

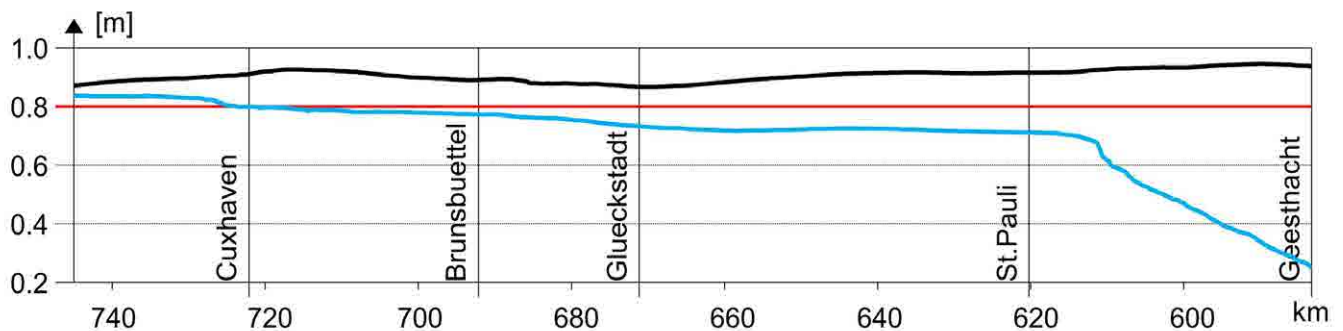
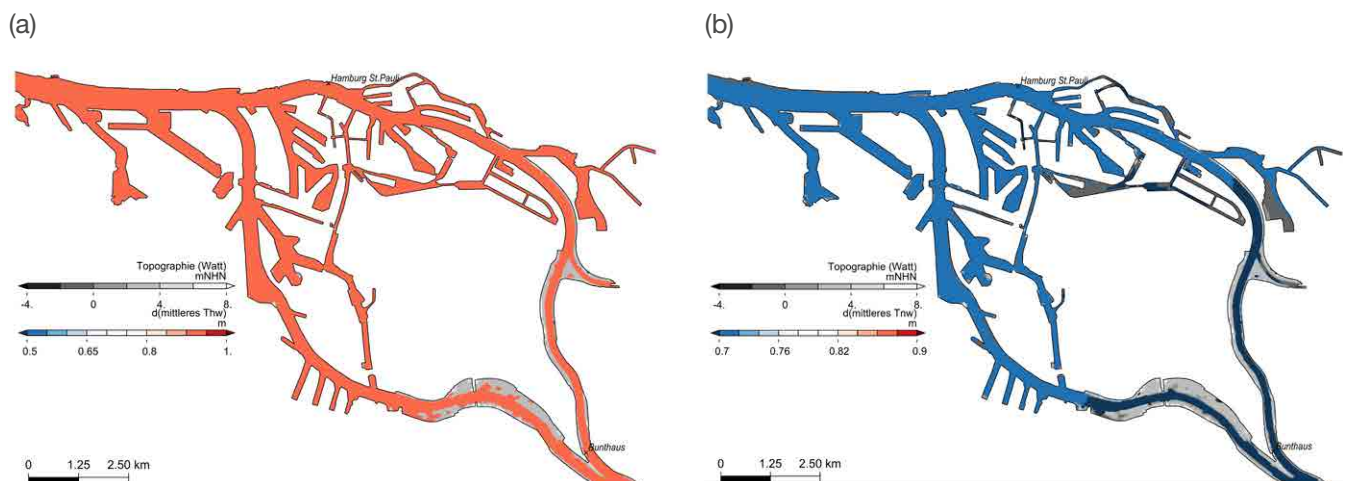


Abb. 54: Differenz des mittleren Tidehochwassers MThw (in Schwarz) und Tideniedrigwassers MTnw (in Blau) zwischen den Simulationen mit erhöhtem Meeresspiegel +80 cm und heutigem Meeresspiegel für den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) von der Tidegrenze (Wehr Geesthacht) bis zur Mündung entlang der Fahrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).

Abbildung 55a zeigt die Differenzen des mittleren Tidehochwassers MThw, Abbildung 55b die des mittleren Tideniedrigwassers MTnw gegenüber heute. Die Differenz des mittleren Tidehubs MThb zwischen der Simulation mit einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm und ohne Meeresspiegelanstieg ist in Abbildung 55c dargestellt. Bei einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm in der Nord-

see steigt das MThw im Bereich der Großen Elbinsel um mehr als 80 cm an und das MTnw um weniger als 80 cm (s. auch Abb. 54). Dies führt für die untersuchten Bedingungen zu einer Zunahme des mittleren Tidehubs in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder um bis zu 30 cm (Abb. 55c).



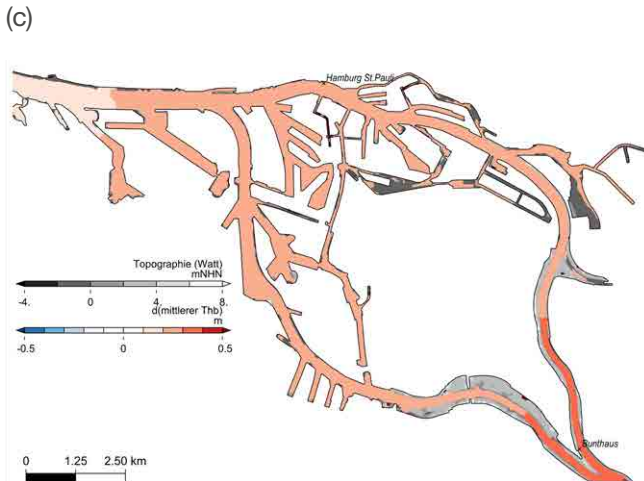


Abb. 55: Differenz des (a) MTh, (b) MTnw und (c) MThb zwischen den Simulationen mit 80 cm Meeresspiegelanstieg und heutigem Meeresspiegel für den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) für das Gebiet der Großen Elbinsel (eigene Darstellung BAW).

Des Weiteren führt ein Meeresspiegelanstieg zu einer Verformung der Tidekurve in der Tideelbe. Die Flutstromkenterpunkte werden verschoben und die Flutstromdauer verkürzt. Daraus ergibt sich eine Zunahme der Flutstromgeschwindigkeiten. Diese nehmen stärker zu als die Ebbstromgeschwindigkeiten, sodass das Verhältnis von Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit sich ändert. Die Differenz des Verhältnisses von Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit ist für die untersuchten Bedingungen überwiegend positiv im Elbeästuar (Abb. 56). Demnach führt ein Meeresspiegelanstieg von 80 cm zu einer Verstärkung der Flutstromdominanz. Dabei ist zu beachten, dass der Verhältniswert der Flut- zur Ebbstromgeschwindigkeit auch vom Volumen des Oberwasserzuflusses abhängt.

Durch die verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich bei einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm der stromaufwärts gerichtete Sedimenttransport und die Trübungszone sowie die Brackwasserzone wandern stromauf. Die daraus resultierenden Akkumulationsmengen können die Unterhaltungskosten für den Erhalt der Fahrrinne sowie für den Hamburger Hafen erhöhen.

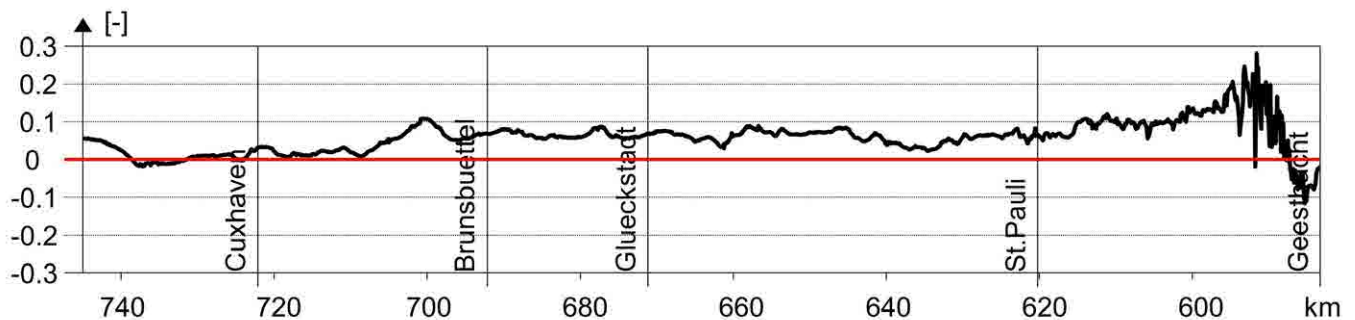


Abb. 56: Differenz des Verhältnisses der mittleren, tiefengemittelten Flutstromgeschwindigkeit zur mittleren, tiefengemittelten Ebbstromgeschwindigkeit zwischen den Simulationen mit 80 cm Meeresspiegelanstieg und mit heutigem Meeresspiegel, gemittelt über den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) von der Tidegrenze (Wehr Geesthacht) bis zur Mündung entlang der Fahrrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).

### 4.2.1.3 Einfluss eines möglichen Meeresspiegelanstiegs von 80 cm und veränderter Oberwasserzuflüsse auf die Lage der Brackwasserzone

Die Untersuchung mit 80 cm erhöhtem Meeresspiegel zeigt (Abschnitt 4.2.1.2), dass die Brackwasserzone stromauf wandert. Als Folge des Klimawandels könnten in Zukunft längere Trockenperioden mit wenig Niederschlag im Einzugsgebiet der Elbe zu einem lang anhaltend niedrigen Oberwasserzufluss führen. Durch den geringen Süßwassereintrag bei niedrigem Oberwasserzufluss kann das salzhaltige Nordseewasser weiter in die Tideelbe eindringen. Die Verlagerung der Brackwasserzone ist dabei nicht nur abhängig von der Menge des Abflusses, sondern auch von der Dauer, in der diese Bedingungen herrschen. In einer Sensitivitätsstudie wird daher untersucht, wie sich die Lage der Brackwasserzone in Abhängigkeit von langanhaltend niedrigem Oberwasserzufluss

und (zusätzlich) vom Meeresspiegelanstieg verändert. Als Anfangszustand wird für die Sensitivitätsstudie eine Salzgehaltsverteilung in der Tideelbe gewählt, die sich bei einem konstanten mittleren Oberwasserzufluss (MQ, 710 m<sup>3</sup>/s; Gewässerkundliches Jahrbuch 2006, HPA, 2010, Abb. 57, schwarze Kurve) einstellt. Mit diesem Anfangszustand wird ein konstant niedriger Oberwasserzufluss (SoMNQ, 304 m<sup>3</sup>/s; HPA, 2010) eingesteuert. Beide Oberwasserzuflüsse, MQ und SoMNQ, werden in einer weiteren Untersuchung mit einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm kombiniert. Dabei werden alle Berechnungen jeweils so lange fortgesetzt, bis sich die mittlere Lage der Brackwasserzone nicht mehr verändert und quasi-stationär ist. Der Salzgehalt am Nordseerand

des Elbmodells wird konstant mit 32 PSU vorgegeben. Weitere Details sind bei Seiffert et al. (2012) beschrieben.

Die Untersuchungen ergeben für die Tideelbe eine „Reaktionszeit“ von ca. 45 Tagen, um sich von einem quasi-stationären Zustand bei MQ an einen neuen quasi-stationären Zustand bei SoMnQ anzupassen, d.h. einen Zustand zu erreichen, an dem sich die mittlere Lage der Brackwasserzone kaum noch ändert. Dies bedeutet, dass sich die Brackwasserzone nicht unbegrenzt nach stromauf verschieben wird, selbst wenn es in Zukunft zu sehr langen Trockenperioden kommt. Die Zeitspanne, die das System benötigt, um auf einen veränderten Oberwasserzufluss zu reagieren, hängt dabei von der Stärke der Veränderung des Oberwasserzuflusses ab.

Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsstudien für den maximalen Salzgehalt, der über einen Spring-

Nipp-Zyklus entlang der Fahrrinne der Elbe im quasi-stationären Gleichgewichtszustand gemittelt wurde. Der Meeresspiegelanstieg (80 cm) führt zu einer Verlagerung der Brackwasserzone stromauf (MQ 80cm, rote Kurve). Für die untersuchten Bedingungen erreicht die Brackwasserzone nicht das Stromspaltungsgebiet, im Gebiet der Großen Elbinsel treten keine Änderungen der Salzgehalte auf. Die Änderung aufgrund des Abflusses führt zu einer größeren Verschiebung der Brackwasserzone als durch einen Meeresspiegelanstieg von 80 cm (SoMnQ 0cm, grüne Kurve). Die Kombination von Meeresspiegelanstieg (80 cm) und niedrigem Abfluss SoMnQ führt zu den höchsten Salzgehalten entlang des Ästuars (SoMnQ 80cm, blaue Kurve). Bei diesem Szenario steigen die maximalen Salzgehalte im Bereich der Großen Elbinsel im quasi-stationären Zustand an (Abb. 57).

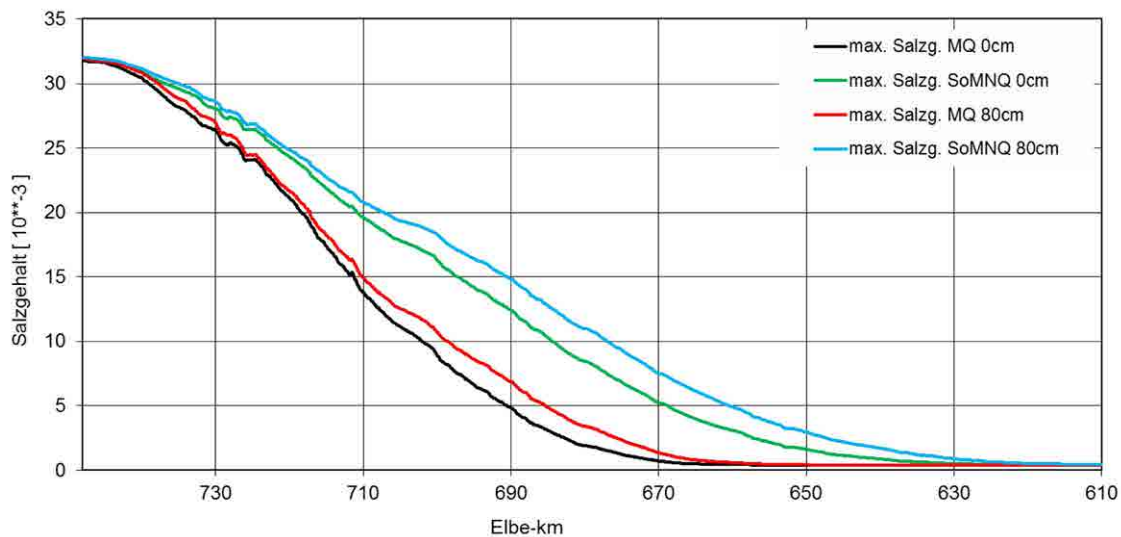


Abb. 57: Maximale Salzgehalte gemittelt über den letzten Spring-Nipp-Zyklus des Simulationszeitraums nach Erreichen einer quasi-stationären Lage der Brackwasserzone für das Längsprofil in Fahrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).

## 4.2.2 Änderungen der Sturmflutverhältnisse

Annette Büscher, Elisabeth Rudolph

Extremereignisse wie Sturmfluten stellen die Metropolregion Hamburg schon heute vor große Herausforderungen. Nach der Katastrophe vom 16./17. Februar 1962 mit Höchstwasserständen von 5,70 m über Normalhöhennull (NHN) am Pegel St. Pauli wurde der Sturmflutschutz entlang der Elbe deutlich verbessert. Die Deiche wurden erhöht und verbreitert, neue Sperrwerke wurden gebaut und der Katastrophenschutz verbessert. Bei der Sturmflut vom 3. Januar 1976 mit den höchsten jemals gemessenen Wasserständen von NHN 6,45 m am Pegel St. Pauli kamen keine Menschen zu Schaden. Auch bei der zweithöchsten Sturmflut, verursacht durch das Orkantief Xaver, am 6. Dezember 2013 hat das Sturmflutschutz-Konzept gegriffen. Es stellt sich die Frage, wie Sturmfluten im zukünftigen Klima aussehen und ob

zusätzliche Anpassungsmaßnahmen geplant werden müssen. Im zukünftigen Klima werden sich Parameter wie Niederschlag im Elbeeinzugsgebiet, Meeresspiegel in der Deutschen Bucht oder Wind über der Nordsee ändern. Im Rahmen einer Sensitivitätsstudie der BAW werden Szenarien untersucht, die zentrale Elemente einer möglichen Zukunft hervorheben (Kosow und Graßner, 2008). Als zentrale Elemente einer möglichen Zukunft wird von Becker (2011) eine Zunahme der Niederschläge im Winter und daraus resultierend höhere Abflüsse in der Sturmflutsaison genannt. Heinrich et al. (2011) benennt den Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht als ein zentrales Element des Klimawandels. Gönnert et al. (2009) geben an, dass in der Deutschen Bucht ein Meeresspiegelanstieg bis 79 cm bis Ende 2100

möglich ist. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird im Folgenden der Einfluss eines Meeresspiegelanstiegs in der Nordsee, des Oberwasserzuflusses und des lokalen Windes über dem Ästuar auf die Wasserstände während einer Sturmflut in der Tideelbe untersucht. Hierfür wird das BAW-Sturmflutmodell der Tideelbe verwendet (Verfahren UnTRIM, Casulli und Walters, 2000). Das Ziel

dieser Sensitivitätsstudie ist ein besseres Verständnis für die Variationsbreite der Wasserstände unter möglichen zukünftigen Randbedingungen. Im Gegensatz zu einer Vorhersage ermöglicht eine Sensitivitätsstudie Wenn-Dann-Aussagen.

## 4.2.2.1 Methode

Aufbauend auf den Untersuchungen des HZG (Gaslikova, 2011) wird in erster Näherung davon ausgegangen, dass sich die Sturmflutcharakteristik bis zum Ende des Jahrhunderts nicht ändert. Daher wird die Untersuchung ähnlich wie im Abschnitt 3.2.4 auf der Grundlage einer historischen, sehr hohen Sturmflut durchgeführt (Sturmflut vom 3. Januar 1976, SF76). Im Sturmflutmodell werden die Modellgebiete landseitig durch die heutige Deichlinie begrenzt. Die Deichlinie kann nicht überströmt werden. Zum einen betrachtet die Sensitivitätsstudie eine Spannbreite von möglichen Meeresspiegelanstiegen (25 cm, 80 cm, 115 cm). Zum anderen werden für die Szenarien drei erhöhte Oberwasserabflüsse (2 000 m<sup>3</sup>/s, 3 000 m<sup>3</sup>/s, 4 000 m<sup>3</sup>/s, Abschnitt 3.2.4) vorgegeben sowie für die

Windszenarien die Beträge der Windgeschwindigkeiten um 5 % bzw. 10 % erhöht. Die Szenarien werden auch kombiniert untersucht. Für das Vergleichsszenario zu heutigen Verhältnissen wird der während der zugrunde liegenden historischen Sturmflut herrschende Abfluss und der beobachtete Wind vorgegeben. Analog zu Abschnitt 3.2.4 werden aus den Simulationsergebnissen die tideunabhängige Kennwerte des Wasserstandes (BAW, 2002) ermittelt: Sturmflutscheitelwasserstand (der höchste Wasserstand, der während einer Sturmflut auftritt, wichtig für die Deichsicherheit), Eintrittszeiten der Scheitelwasserstände (wichtig für das Risikomanagement) und die Dauer hoher Wasserstände (wichtig für die Entwässerung und Sielzugzeiten).

## 4.2.2.2 Wasserstandsentwicklung für den Bereich der Großen Elbinsel

Die Wasserstandsentwicklung für den Bereich der Großen Elbinsel wird beispielhaft für die Positionen Hamburg-St. Pauli (Abb. 58a, Elbe-km 623N) und Bunthaus (Abb. 58b, Elbe-km 609N) für die Meeresspiegelszenarien und das Sturmflutszenario SF76 illustriert. Abbildung 59 zeigt die

Wasserstandsentwicklung für dasselbe Sturmflutszenario bei Erhöhung des lokalen Windes ebenfalls für St. Pauli (Abb. 59a) und Bunthaus (Abb. 59b). Der Sturmflutscheitelwasserstand HW erhöht sich in beiden Szenarien, wobei der Meeresspiegelanstieg auch die normalen Tiden vor

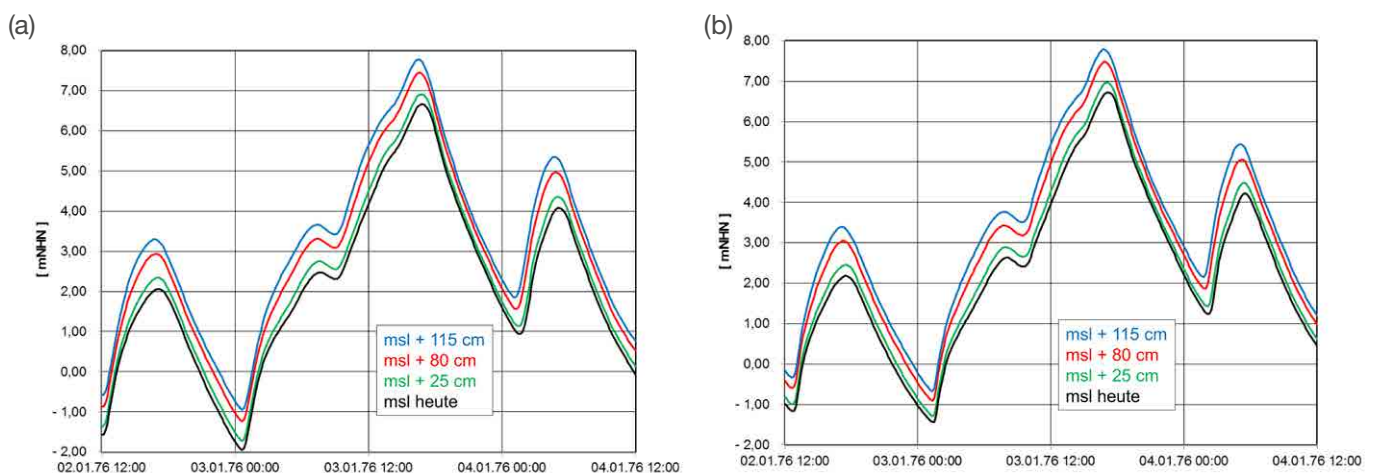


Abb. 58: Wasserstandszeitreihen bei (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) bei heutigem Meeresspiegel (Schwarz) und für die Meeresspiegelanstiegsszenarien 25 cm (Grün), 80 cm (in Rot) und 115 cm (Blau) für das Sturmflutszenario SF76 bei einem Oberwasserzufluss  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  (eigene Darstellung BAW).

und nach der Sturmflut anhebt. Des Weiteren verschiebt sich die Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstands nach vorn: Bezogen auf einen Ort in der Elbmündung (Elbe-km 748) ergeben die Analysen, dass die Sturmflutscheitelwasserstände bei einem Meeresspiegelanstieg um 25 cm, 80 cm und 115 cm in Hamburg 3 Minuten bis 13 Minuten früher auftreten. Außerdem verändert

sich durch einen Meeresspiegelanstieg die Dauer hoher Wasserstände in der Tideelbe: Wird z.B. die Dauer von Wasserständen höher als  $\text{NHN} + 3,00 \text{ m}$  im Sturmflutzeitraum (24 h) betrachtet, hält dieser Wasserstand bei Hamburg bei einem Meeresspiegelanstieg von 25 cm, 80 cm und 115 cm um rund 0,5 Stunden, 5 Stunden und 6 Stunden länger an.

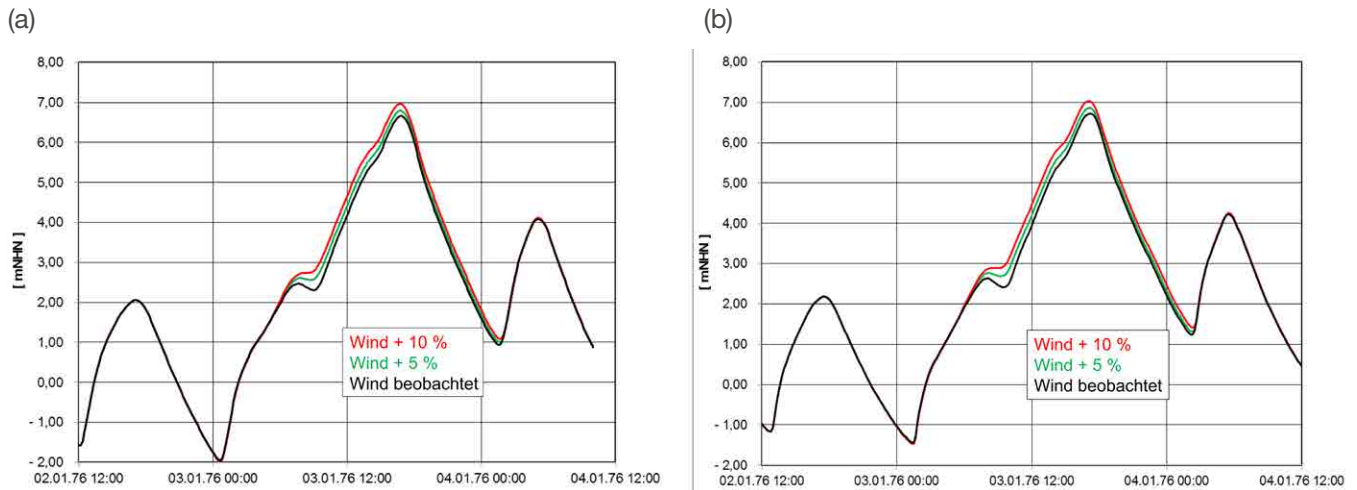


Abb. 59: Wasserstandszeitreihen bei (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) für die Szenarien zum lokalen Wind: bei beobachtetem Wind (in Schwarz) sowie einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 5 % (in Grün) und um 10 % (in Rot) bei einem Oberwasserzufluss  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  und heutigem Meeresspiegel für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).

Die Sturmflutscheitelwasserstände für das Szenario Meeresspiegelanstieg sind entlang der Tideelbe in Abbildung 60 dargestellt. Der Einfluss eines Meeresspiegelanstiegs auf die Sturmflutscheitelwasserstände ist bis tief ins Ästuar und bis zur Großen Elbinsel zu erkennen. Dabei erhöht sich der Sturmflutscheitelwasserstand in erster Näherung um den Betrag des Meeresspiegelanstiegs in der Deutschen Bucht.

Erhöht sich zusätzlich im Sturmflutzeitraum der Oberwasserzufluss, so verändert dies zusätzlich die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstandes (Abb. 61). Im Mündungsbereich verändert ein erhöhter Abfluss die Sturmflutscheitelwasserstände um weniger als 1 cm. Im Bereich Brunsbüttel bis Hamburg wird der Sturmflutscheitelwasserstand zusätzlich um mehrere Zentimeter angehoben und im Bereich oberhalb von Hamburg um mehrere Dezimeter. Zwischen Zentimetern und Dezimetern liegt der Anstieg im Bereich der Großen Elbinsel.

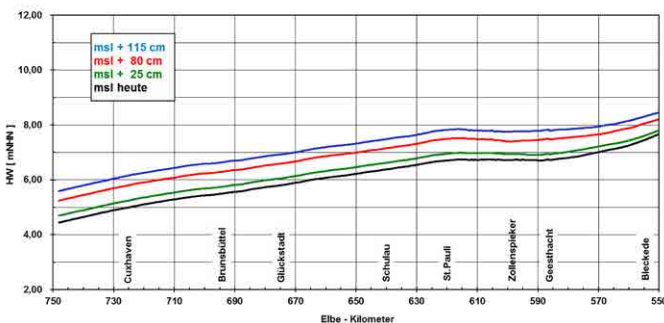


Abb. 60: Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang der Fahrinne der Tideelbe bei heutigem Meeresspiegel (in Schwarz) und für die Meeresspiegelanstiegsszenarien 25 cm (in Grün), 80 cm (in Rot) und 115 cm (in Blau) für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).

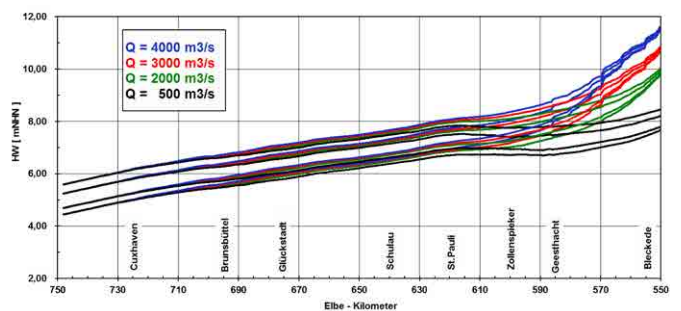


Abb. 61: Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang der Fahrinne der Tideelbe bei heutigem Meeresspiegel, bei einem Meeresspiegelanstieg von 25 cm, 80 cm und 115 cm, sowie unterschiedlichem Oberwasserzufluss ( $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  in Schwarz,  $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Grün,  $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Rot,  $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Blau) für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).

## 4.2.3 Bedeutung der Klimaänderungen für Tide- und Sturmflutverhältnisse

Annette Büscher, Elisabeth Rudolph

Die vorliegenden Untersuchungen sind als Sensitivitätsstudien aufgebaut. Sie liefern eine Spannweite über mögliche zukünftige Verhältnisse in der Tideelbe und zeigen die Reaktionen auf bestimmte veränderte Randbedingungen auf (Wenn-Dann-Aussagen). Die Untersuchungen zu den Auswirkungen des Anstiegs des mittleren Meeresspiegels in der Nordsee auf die mittleren Tideverhältnisse ergeben,

dass als Folge das Tidehochwasser im Elbeästuar und im Bereich der Großen Elbinsel stärker ansteigen würde als das Tideniedrigwasser. Dadurch nimmt der Tidenhub zu. Durch die damit verbundene nochmals verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich der stromaufwärts gerichtete Sedimenttransport. Die Trübungszone sowie die Brackwasserzone werden stromaufwärts verschoben.

Lang anhaltende niedrige Abflüsse, bedingt durch geringere Niederschläge im Einzugsgebiet der Elbe, können eine deutlich größere Bedeutung auf die Verschiebung der Brackwasserzone stromaufwärts haben als ein Meeresspiegelanstieg.

Der Anstieg des Meeresspiegels ist ein langsamer Prozess. Gönnert et al. (2009) geben an, dass in der Deutschen Bucht ein Meeresspiegelanstieg bis 79 cm zum Ende dieses Jahrhunderts erreicht werden könnte. Daraus kann für die Tideelbe im Umkehrschluss gefolgert werden, dass in der nahen Zukunft (d.h. in den nächsten Jahren und Jahrzehnten) die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Lage der Brackwasserzone im Vergleich

zu den Auswirkungen veränderter Oberwasserabflüsse gering sind. Dabei wird die Lageveränderung der Brackwasserzone durch den Meeresspiegelanstieg stetig, aber dauerhaft sein. Im Gegensatz verschiebt sich die Brackwasserzone durch veränderte Oberwasserhältnisse deutlich schneller, kurzfristiger und zeitlich begrenzt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die Sturmflutverhältnisse im Elbeästuar durch den Klimawandel ändern können. Die Sturmflutscheitelwasserstände im Bereich der Großen Elbinsel werden bereits heute durch die Abflussverhältnisse geprägt (Abschnitt 3.2.4). Zukünftig werden sie zusätzlich durch den Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht und mögliche zunehmende Windgeschwindigkeiten beeinflusst.

## 4.3 Hydrologische und wasserwirtschaftliche Veränderungen

*Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider*

Die hydrologischen Verhältnisse der Großen Elbinsel werden im Bereich der eingedeichten Flächen vornehmlich von der Elbe sowie von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, wie dem Entwässerungssystem zur Nutzbarmachung der

Marschgebiete, beeinflusst. In KLIMZUG-NORD wurden Modellstudien zum Einfluss des Elbwasseranstiegs auf das Grundwasser- und Entwässerungssystem vorgenommen, deren Ergebnisse nachfolgend erläutert werden.

### 4.3.1 Wirkungszusammenhänge Klimawandel und Grundwasser

Die Grundwasserverhältnisse der Großen Elbinsel werden maßgeblich von dem Entwässerungssystem und den einzuhaltenden Regelwasserständen zur Nutzbarmachung des tief liegenden Marschgebiets und von den mittleren Wasserständen der Elbe beeinflusst (Abschnitt 3.3). Aufgrund des direkten Kontaktes zwischen den Elbarmen und dem Grundwasserleiter infiltriert Elbwasser in den Aquifer und wird in einer Art Kreislaufzeitnah über das Entwässerungssystem in die Oberflächengewässer zurückgeführt. Die für dieses System vom Klimawandel ausgehenden Stressfaktoren sind im Wesentlichen der Meeresspiegelanstieg und der damit einhergehende Elbwasseranstieg sowie die Umverteilung und Zunahme der Niederschläge respektive Starkniederschläge.

Die Wirkungszusammenhänge werden in Abbildung 62 qualitativ dargestellt. Die Quantifizierung dieser Zusammenhänge für das Untersuchungsgebiet ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

Sowohl die Zunahme der Niederschläge im Winter (Abschnitt 4.1.2) als auch die Veränderung der Starkniederschläge kann zumindest zeitweilig zu einer stärkeren Belastung im Entwässerungssystem aufgrund steigender Oberflächenabflüsse führen. Ferner wird davon ausgegangen, dass sich ein möglicher Anstieg des mittleren Elbwassers auf die Grundwasserpotenziale auswirken wird, da aufgrund eines erhöhten Potenzialunterschieds zwischen Grundwasser und Elbe der Elbwasserzustrom in

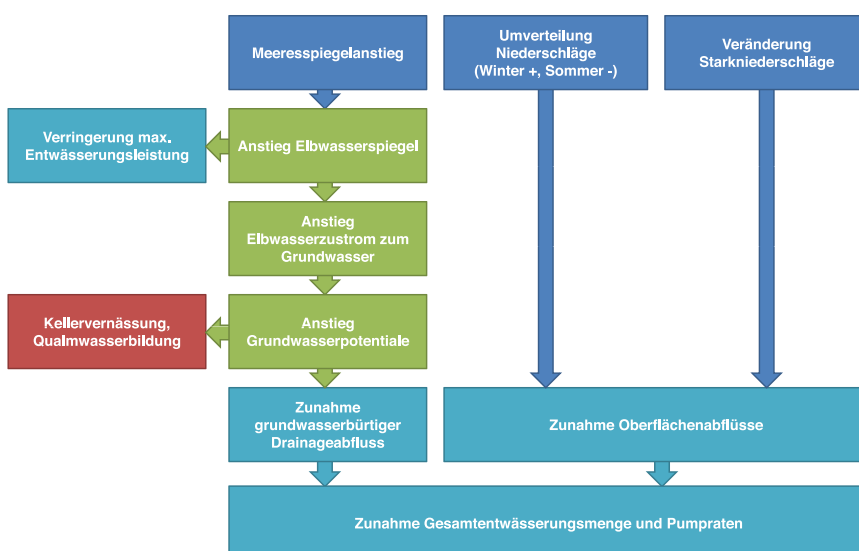


Abb. 62: Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimawandel, dem Grundwasser und dem Entwässerungssystem (eigene Darstellung Meier).

den Grundwasserleiter zunimmt. Aufgrund der begrenzten Entwässerungsleistung der Entwässerungsgräben kann ein Potenzialanstieg im Grundwasser nur anteilig abgeschwächt werden. Die Folge unkontrollierter Potenzialanstiege sind möglicherweise Kellervernässungen sowie Flächenvernässungen, sofern die Deckschicht des Grundwasserleiters unterbrochen ist. Auch steigt bedingt durch die Zunahme der Grundwasserpotenziale der grundwasserbürtige Abfluss im Grabensystem an. Eine weitere mögliche Folge des Elbwasseranstieges ist die Einschränkung der maximalen Entwässerungsleistung des Entwässerungssystems, da die Pumpen der

Schöpfwerke gewissen Restriktionen unterliegen und nur eine definierte Förderhöhe überbrücken können. Auch frei in die Elbe entwässernde Siele werden durch den Elbwasseranstieg beeinflusst. Aufgrund des erhöhten Außenwasserstandes und damit einhergehender verringerter Sielzugzeiten können gegenüber dem Ist-Zustand geringere Wassermengen in die Elbe eingeleitet werden. Ferner stellt sich für das betrachtete Gebiet die Frage, wie sich das Grundwassersystem bei länger andauernden Niedrigwasserabflüssen aus der Mittel- und Unterelbe in zukünftigen trockenen Sommern verhalten wird.

## 4.3.2 Ergebnisse aus anderen Marschgebieten

Einige der in Abbildung 62 dargestellten Folgen klimatischer Veränderungen und des Meeresspiegelanstiegs wurden bereits in der Vergangenheit für verschiedene Gebiete ähnlicher hydrogeologischer Beschaffenheit und Nutzung festgestellt. Untersuchungen des Boden- und Grundwasserhaushalts und der Wasserwirtschaft im Zuge des KLIMU („Klimaänderung und Unterweserregion“) Projektes für die Unterwesermarsch zeigen für die Mitte des 21. Jahrhunderts (2050) im Vergleich zur Referenzperiode (1961 - 1990) eine Zunahme des grundwasserbürtigen Abflusses und der Entwässerungsvolumina um 32 % (für ein trockenes Jahr) und 24 % (für ein nasses Jahr) (Hoffmann et al., 2005; Maniak et al., 2005). Des Weiteren wurde anhand der verwendeten Modelle die Abnahme des Grundwasserflurabstands nachgewiesen. Das angenommene Klimaszenario basiert auf den Modellergebnissen des globalen Klimamodells ECHAM4/OPYC3 und setzt für die Unterweserregion eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 2,7 K sowie eine mittlere Erhöhung des Tagessniederschlags um 9,86 % als auch einen Meeresspiegelanstieg von 55 cm voraus (Schirmer, 2005). Darauf basierend wird gefolgert, dass die mit dem verwendeten Ansatz festgestellten direkten Folgen des Klimawandels keine Nutzungseinschränkung

für die Region nach sich ziehen und ihnen mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen begegnet werden kann (Maniak et al., 2005).

Auch die numerische Modellstudie zur Untersuchung der Salz-Süßwassergrenze unter Klimawandelbedingungen von Feseker (2007) ergibt eine Zunahme des grundwasserbürtigen Abflusses über Drainagegräben aufgrund eines angenommenen Meeresspiegelanstiegs von 0,5 m in 100 Jahren, die für ein Marschgebiet eines Küstengebietsabschnitts bei Cuxhaven durchgeführt wurde. Feseker (2007) zeigt weiterhin, dass auch eine Veränderung der Grundwasserneubildung auf der angrenzenden Geest Auswirkungen auf den Drainageabfluss in der Marsch nimmt. Die Ergebnisse für Gebiete entlang der Weser und an der deutschen Nordseeküste werden zudem von verschiedenen Studien für Untersuchungsgebiete in Belgien und den Niederlanden untermauert (Oude Essink et al., 2010; Querner, 2002; Immerzeel et al., 2009; Vandenbohede et al., 2008). Lebbe et al. (2008) kommen zudem in einer quantitativen Vulnerabilitätsanalyse (Belgien) zu dem Schluss, dass von den betrachteten Systemen tief liegende Polder die größte Verletzbarkeit hinsichtlich des Klimawandels aufweisen.

## 4.3.3 Grundwassermodellierung

Zur Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und dem Grundwasser werden numerische Modelle herangezogen. Diese sogenannten Impaktmodelle werden anhand gemessener Daten kalibriert. Dabei werden mögliche Modellparameter so variiert, dass die Simulationsergebnisse mit geringen Abweichungen den Messwerten der Grundwasserpotenziale entsprechen. Anschließend können Ergebnisse der Szenarienrechnungen aus den Klimamodellen als Randbedingungen in die Modelle eingehen und auf diese Weise der Einfluss des Klimawandels bestimmt werden. Die verwendete Modellkette ist in Abbildung 63 dargestellt.

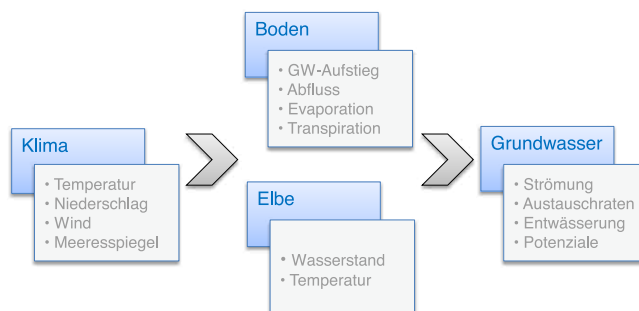


Abb. 63: Modellkette zur Quantifizierung der Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimawandel und dem oberflächennahen Grundwasser der Großen Elbinsel (eigene Darstellung Meier).

Aufgrund des dominierenden Einflusses der Elbe auf das oberflächennahe Grundwasser der Großen Elbinsel wurden mithilfe eines stationären Grundwasserströmungsmodells

(Modellcode MODFLOW) verschiedene Elbwasseranstiege und ihre Auswirkungen auf das Grundwasserpotenzial untersucht. Bei einem stationären Modell werden die Randbedingungen, wie beispielsweise Elbwasserstände und die Bodeninfiltration oder Zusickerung, konstant gehalten und variieren während des Simulationszeitraums nicht. Die so dargestellten Ergebnisse bilden einen Gleichgewichtszustand beziehungsweise einen mittleren Zustand ab und sind in den Abschnitten 4.3.4 und 4.3.5 zusammengefasst.

Als Randbedingungen für das Grundwasserströmungsmodell wurden zum einen die mittleren Elbwasserstände im Zeitraum zwischen 1997 und 2007 sowie die in den einzelnen Entwässerungszonen eingesteuerten Wetterwasserstände (Abb. 24) verwendet. Des Weiteren wurden mittlere Zusickerungsraten nach Tetzlaff et al. (2004) und aus dem oberen Grundwasser fördernde Entnahmebrunnen in das Modell integriert. Innerhalb des Kalibrierungsprozesses konnte eine gute Anpassung der modellierten und gemessenen mittleren Grundwasserpotenziale mit einem mittleren Fehler von 0,14 m und einem Korrelationskoeffizienten von 0,9 erzielt werden. Die mittleren modellierten Grundwassergleichen sind in Abbildung 64 dargestellt.



Abb. 64: Mittlere Grundwassergleichen [m NHN] für den Zeitraum 1997 bis 2007 (Modellergebnis; eigene Darstellung Meier).

### 4.3.4 Veränderungen der Grundwasserpotenziale

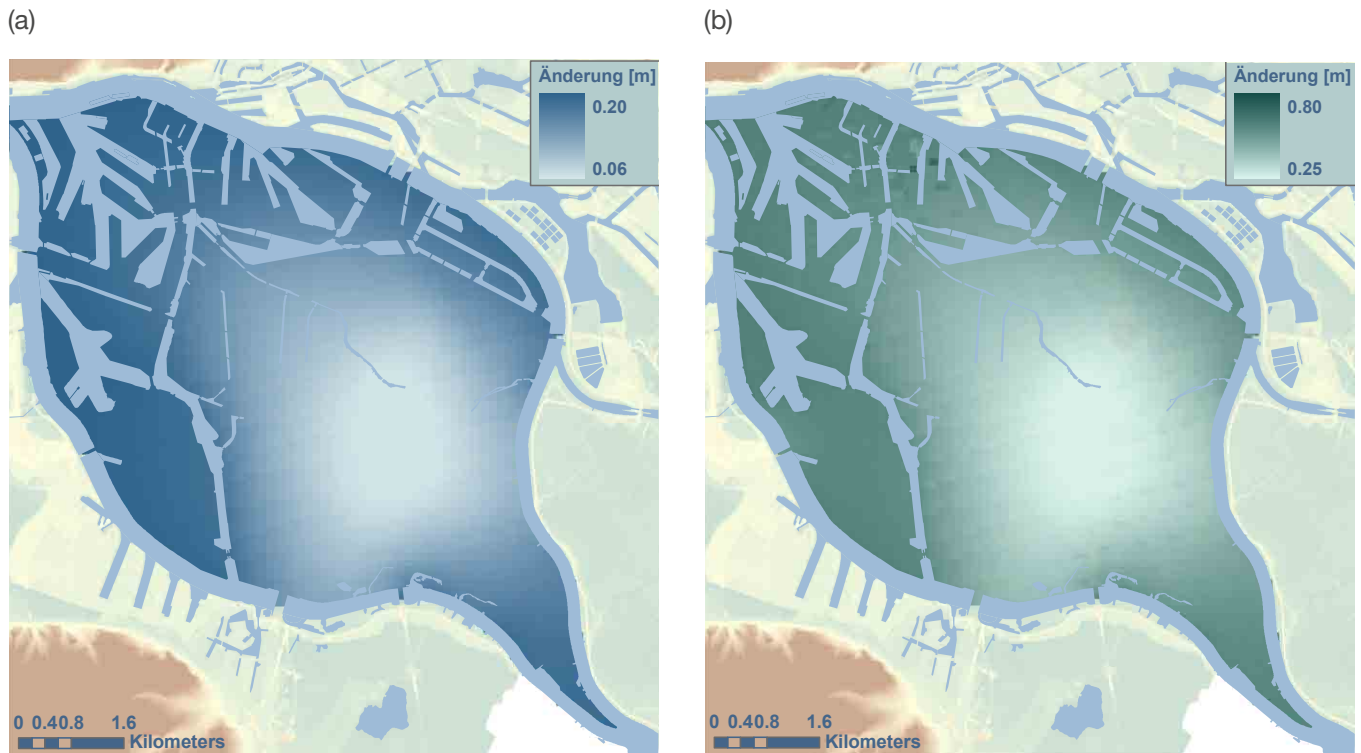


Abb. 65: Änderung der Grundwasserpotenziale der Großen Elbinsel bei einem Elbwasseranstieg von (a) 20 cm und (b) 80 cm (Modellergebnisse; eigene Darstellung Meier).



Zur Untersuchung des Elbwasserspiegelanstiegs auf das oberflächennahe Grundwasser der Großen Elbinsel wurden die mittleren Elbwasserstände stufenweise zwischen (a) 20 cm und (b) 80 cm angehoben. Diese Grenzen wurden bei einem KLIMZUG-NORD internen Treffen hinsichtlich der Berücksichtigung eines Meeresspiegelanstiegs für das Projekt festgelegt; 80 cm Anstieg des Elbwasserstandes entspricht dem in Abschnitt 4.2.1 errechneten Anstieg. Mögliche höhere Wasserspiegelanstiege wurden unberücksichtigt gelassen. Alle anderen Randbedingungen, wie die Grabenwasserstände im Entwässerungssystem und die Zusickerung von Niederschlägen zur gesättigten Bodenzone, wurden unverändert übernommen. Auf diese Weise konnte allein der Einfluss des Elbwasseranstiegs untersucht und quantifiziert werden.

Die Modellergebnisse in Abbildung 65 zeigen, dass infolge eines Elbwasseranstiegs von 20 cm respektive 80 cm die Grundwasserpotenziale in den nicht entwässerten Gebieten ebenfalls um diesen Änderungsbetrag zunehmen. In dem zentralen Bereich des Stadtteils Wilhelmsburg, welcher über das Entwässerungssystem entwässert wird und in welchem aufgrund der Potenzialunterschiede ein Aufstieg von Grundwasser in das Grabensystem stattfindet (Abschnitt 3.3.2), ist diese Änderung abgeschwächt. Sowohl für den Fall eines Anstiegs von 20 cm als auch bei einer Zunahme der Elbwasserstände von 80 cm wird eine Reduktion der Potenzialanstiege von bis zu 70 % simuliert.

### 4.3.5 Veränderungen der Entwässerung

Ein Anstieg der Grundwasserpotenziale auf der Großen Elbinsel führt weiterhin zu einer Steigerung der grundwasserbürtigen Drainageraten. Diese bezeichnen das aus dem Grundwasser in die Entwässerungsgräben aufsteigende Wasser (Abb. 29). Bei einem stufenweisen Anstieg des Elbwasserspiegels zeigt sich, dass auch die Gesamtdrainagerate proportional zur Zunahme der Wasserstände steigt (Abb. 66). Als Gesamtdrainagerate wird die Summe des sich in einer bestimmten Zeit ergebenden Entwässerungsvolumens bezeichnet und sich aus dem gesättigten Boden sowie dem aufsteigenden Grundwasser ergibt. Zusammen mit dem Oberflächenabfluss, welcher direkt in die Wetternen des Entwässerungssystems eingeleitet wird, ergibt sich das Gesamtentwässerungsvolumen.

Aus Abbildung 67 geht die Gesamtdrainagerate in einzelnen Entwässerungszonen hervor. Die Teilgebiete mit einem Regelwasserstand von 0 m NHN und -0,15 m NHN machen einen Großteil des entwässerten Gebiets aus (Abb. 24) und liefern den Hauptanteil an der Gesamtdrainagerate (blaue und rote Balken). Aus diesem Grund sind die sich in diesen Zonen einstellenden Erhöhungen bei erhöhtem Elbwasserstand ebenfalls am größten. Da alle weiteren Randbedingungen unverändert blieben, sind die Ergebnisse allein auf den Anstieg der Elbwasserstände zurückzuführen.

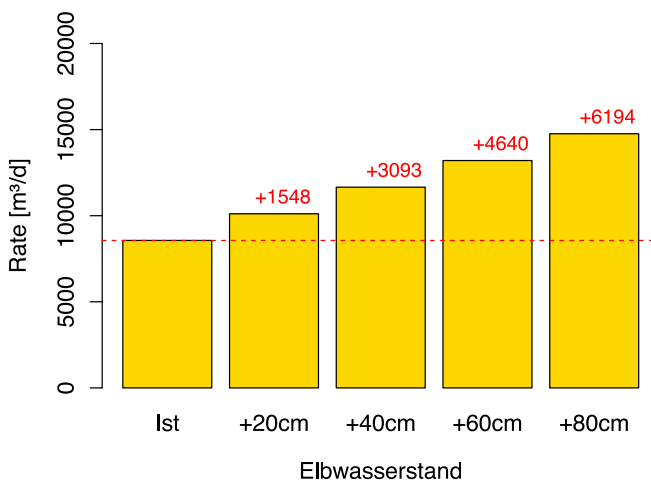


Abb. 66: Gesamtdrainagerate aus Grund- und Bodenwasser für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder und deren Änderung für verschiedene Anstiege des Elbwasserstandes (Modellergebnisse; eigene Darstellung Meier).

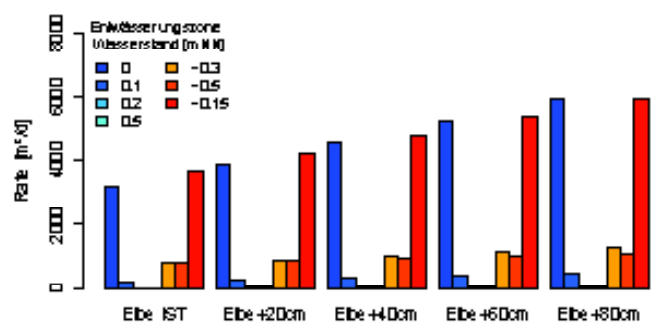


Abb. 67: Änderungen der Drainagerate in den einzelnen Entwässerungszonen mit einem definierten Regelwasserstand bei einem stufenweisen Anstieg der Elbwasserstände (Modellergebnisse).

## 4.3.6 Bedeutung der Klimaänderungen für Grundwasser und Entwässerung

Zur Ermittlung des Elbwasseranstiegs wurden stationäre Grundwasserströmungssimulationen durchgeführt und der Elbwasserstand stufenweise erhöht. Alle weiteren Randbedingungen blieben bei dieser Modellstudie unverändert. Wie anfänglich vermutet und auch in Studien vergleichbarer Naturräume erarbeitet, nehmen die Grundwasserpotenziale bei steigendem Wasserstand in der Elbe zu. Jedoch trägt das im eingedeichten Bereich der Großen Elbinsel und insbesondere im Stadtteil Wilhelmsburg vorhandene Entwässerungssystem zu einer Minderung dieser Potenzialanstiege bei. Eine erhöhte Gesamtdrainagerate aus dem Boden- und Grundwasser kann allein auf die Steigerung der Elbwasserstände zurückgeführt werden. Die Änderung dieser mittleren Drainagerate ist jedoch als unbedenklich zu betrachten, da das betriebene Entwässerungssystem auf Extremereignisse wie Starkniederschläge mit einem hohen Oberflächenabfluss ausgelegt ist. Im Falle eines Elbwasseranstiegs würde die Grundbelastung des Systems allerdings steigen. Das Überschreiten einer Systemgrenze und ein Ausfall des Systems allein durch einen Potenzialanstieg im Grundwasser sind jedoch nicht zu befürchten.

Welche Folgen sich aus zunehmenden und saisonal verschobenen Starkniederschlägen ergeben, muss noch untersucht werden. Ferner sei darauf hingewiesen, dass nur bei einer ausreichenden Weichschichtenmächtigkeit die abschwächende Wirkung des Entwässerungssystems bestehen kann. Werden die Weichschichten aus Klei und Torf, die den Grundwasserleiter abdecken und eine geringe hydraulische Durchlässigkeit besitzen, entfernt oder deren Mächtigkeit erheblich verringert, kann es zu einem ungebremsten Austritt von Grundwasser in das Entwässerungssystem und zu Flächenvernässungen durch Qualmwasserbildung kommen. Auch bleibt zu berücksichtigen, dass sich sowohl die Schöpfwerkszeiten als auch die Sielzugzeiten durch einen Anstieg des Wasserstandes der Elbe reduzieren können, da nur eine definierte geodätische Förderhöhe von den Pumpen der Schöpferwerke überwunden werden kann und die Wasserstands Differenz zwischen den Wettern im Hinterland der Deiche und den Elbwasserständen zunimmt.

## 4.4 Sozioökonomische Veränderungen

*Julia Kowalewski, Sabine Schempp, Mohamed Salim*

### 4.4.1 Entwicklung von Szenarien

Der Definition des IPCC folgend, beschreibt ein sozioökonomisches Szenario plausibel, wie sich die Zukunft entwickeln könnte. Ein Szenario basiert dabei auf zusammenhängenden und konsistenten Annahmen („Scenario Logic“) über die wesentlichen Beziehungen und treibenden Kräfte (z.B. Technologie, Preise) (IPCC, 2001). Für Szenarien auf regionaler Ebene können Szenarien höherer Ordnung (national, global) eine Nebenbedingung darstellen, z.B. im Hinblick auf das Bruttoinlandsprodukt und die Bevölkerung. Die Beschreibung der Zusammenhänge und Entwicklungen kann sowohl quantitativ als auch qualitativ erfolgen.

Szenarien können sich weiterhin darin unterscheiden, für welche Parameter mögliche Entwicklungen in der Zukunft beschrieben werden. Zentrale Parameter, die in der Regel berücksichtigt werden, sind Demografie und Ökonomie. Darüber hinaus können technologische, soziokulturelle und Umweltbedingungen sowie politische Entwicklungen aufgenommen werden. Ausgehend von diesen können sich wiederum Szenarien zu Energiegewinnung und -verbrauch oder zur Landnutzung ableiten lassen.

Meist werden Szenarien entlang zweier Achsen (z.B. eine grüne gegenüber einer grauen Gesellschaft und eine wachsende gegenüber einer schrumpfenden Ökonomie/Bevölkerung) entwickelt, wobei sogenannte Storylines

beschrieben werden. Dabei ist zu beachten, dass die Unsicherheit über die zukünftigen Entwicklungen mit dem Zeithorizont zunimmt und die Unschärfe mit zunehmender regionaler Auflösung (überproportional) steigt.

Die vorangegangenen Analysen in diesem Bericht zeigen, welche Vulnerabilitäten im Stadtteil Wilhelmsburg bestehen. Variablen, zu denen Szenarien sinnvoll erscheinen, sind die demografische Entwicklung, das (sektorale) Bruttoinlandsprodukt, die Beschäftigung, die Bildung, der Energiebedarf und der Energiemix sowie die Landnutzung. Da mit dem Stadtteil Wilhelmsburg ein sehr kleinräumiger Bereich im Fokus der Analysen steht, spielen auch stadtplanerische und politische Entscheidungen eine bedeutende Rolle in der mittel- und langfristigen Entwicklung des Stadtteils. Diese sind daher bei der Szenarientwicklung zu berücksichtigen.

## 4.4.2 Szenarien für den Stadtteil Wilhelmsburg

Derzeit bestehen zahlreiche Vorhaben und Programme, welche die Entwicklung im Stadtteil Wilhelmsburg (positiv) beeinflussen (sollen). Durch das Förderprogramm „Wohnen für Studierende und Auszubildende in Wilhelmsburg. Förderrichtlinie zur Förderung des Wohnens in Wilhelmsburg für Studierende und mit Wirkung vom 1. September 2012 für Auszubildende“ (Hamburgische Investitions- und Förderbank, 2012) sollen beispielsweise „stadtteilentwicklungspolitische Ziele durch Ansiedlung von Studierenden und Auszubildenden im Stadtteil unterstützt und gleichzeitig bei diesen Personengruppen vorhandene Wohnbedarfe befriedigt werden“ (ebd., S. 3).

Durch das im Rahmen der Internationalen Bauausstellung (IBA) Hamburg erarbeitete Querschnittprojekt „Bildungsoffensive Elbinseln“ (IBA Hamburg, 2009) soll die schulische wie auch außerschulische Bildung im Stadtteil Wilhelmsburg (und auch darüber hinaus) gefördert werden. Weiterhin arbeitet die IBA in dem Hamburger Leitprojekt „Sprung über die Elbe“ an einer Umgestaltung des Stadtteils. Auch die Ausgestaltung des Flutschutzes kann einen Einfluss darauf haben, wie sich Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur weiterentwickeln werden. Wie sich diese Entwicklungen auf die Vulnerabilität auswirken würden, bleibt näher zu analysieren. Daraus abgeleitet könnten dann mögliche Anpassungsmaßnahmen und darauf abgestimmte Anpassungsstrategien vorgeschlagen werden.

Die sozioökonomischen Szenarien für den Stadtteil orientieren sich an den zwei Szenarien (Referenz- und Exzellenzszenario) der IBA, die im Endbericht „Energetische Optimierung des Modellraumes IBA Hamburg“ entwickelt wurden (IBA, 2011). Die wichtigsten Parameter dieser Szenarien werden hier beschrieben, um die städtische

Entwicklung und ihre Folgen für den Energieverbrauch bis zum Jahre 2050 zu zeigen.

In den Szenarien der IBA werden zunächst Veränderungen der verschiedenen Stadtraumtypen simuliert. Basierend auf der Annahme, dass sich stadtraumspezifische Bevölkerungs- und Haushaltsdichten in der Zukunft nicht ändern werden, können Aussagen über die Einwohnerzahlen bis 2050 getroffen werden. Das Referenzszenario wird als ein „Business as usual“-Szenario entwickelt. Hier werden für ein Gebiet, welches etwas über den Stadtteil Wilhelmsburg hinausgeht, der bundesweite Trend und die derzeit gültigen städtebaulichen Planungen übernommen (Tab. 6), sodass sich gegenüber 2007 eine Erhöhung der Einwohnerzahl um 25 % ergibt. Im Exzellenzszenario steigt die Einwohnerzahl dagegen um 32 % (vgl. Abb. 47). In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass eine Umwandlung von Industrieflächen in Wohn- und Gewerbeflächen stattfindet, die im Exzellenzszenario allerdings wesentlich stärker ausgeprägt ist. Im Exzellenzszenario wird im Vergleich zum Referenzszenario weniger von einer Zunahme von Einfamilienhäusern als von einer verstärkten Zunahme von Mehrfamilienhäusern ausgegangen. Dadurch wird eine größere Stadtdichte erreicht, die verbleibenden Vegetationsflächen in den bebauten Bereichen gehen zurück. Wegen der erwarteten Konvertierung zu Handel-, Misch- und Wohngebieten wird der Industrie- und Hafenbereich gegenüber dem Referenzszenario von 2007 reduziert (Tab. 6). Die Konsequenzen für die Zahl der Arbeitsplätze und für die Wirtschaftsstruktur lassen sich nicht abbilden. Allerdings zeigt sich, dass sozioökonomische Veränderungen und städtebauliche Entwicklungen nicht unabhängig voneinander verlaufen.

Tab. 6: Änderung der Flächennutzungen im Stadtteil Wilhelmsburg gemäß des Referenz- und des Exzellenzszenarios (aus IBA, 2011).

Referenzszenario	Exzellenzszenario
Umsetzung der heute geltenden Rechtspläne (Flächennutzungsplan, Bebauungspläne)	Definition neuer Entwicklungsflächen (IBA Pläne), höhere bauliche Dichte, Flächennutzungsänderungen
Zunahme in ha (und Prozent) an bebauten Flächen bis 2050 +200 ha (+17 %)	+211 ha (+18 %)
Zunahme in ha an Gewerbeflächen bis 2050 +122 ha	+186 ha
Zunahme in ha an Flächen für Einfamilienhäuser bis 2050 +93 ha	+55 ha
Zunahme in ha an Flächen für mehrgeschossige Wohnbauten bis 2050 +52 ha	+84 ha
Zunahme in ha an Industrie- u. Hafenflächen bis 2050 -46 ha	-93 ha

Diese Änderungen in der städtischen Umgebung würden auch den Energieverbrauch im Stadtteil Wilhelmsburg beeinflussen. Unter der Annahme eines Bevölkerungswachstums und der oben beschriebenen baulichen Entwicklung wird im Referenzszenario von einem um 35 % reduzierten Bedarf an Wärmeenergie (Heizung, Prozesshitze und Warmwasser) bis 2050 ausgegangen. Rund ein Siebtel dieser Wärmeenergie wird aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Die Nachfrage nach elektrischer Energie wird hingegen durch Bevölkerungswachstum und bauliche Entwicklung zwischen 2007 und 2050 um mehr als die Hälfte wachsen. Angenommen

wird, dass erneuerbare Energiequellen (Windkraft- und Photovoltaikanlagen) mindestens die Hälfte des Elektrizitätsbedarfs zur Verfügung stellen werden. Im Exzellenzszenario wird ein stärkeres Bevölkerungswachstum aufgrund der durch die bauliche Entwicklung gesteigerten Attraktivität des Stadtteils angenommen. Hinzu kommt, dass aufgrund der energieeffizienten Gebäude und der Renovierungen von einzelnen Bausegmenten erwartet wird, dass 2050 85 % des Wärmeenergiebedarfs und 100 % des Elektrizitätsbedarfs durch erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Weiteres hierzu ist in Abschnitt 3.5.3 ausgeführt.

## **4.5 Veränderungen der Stadtstruktur und resultierende lokalklimatische Einflüsse**

### **4.5.1 Änderungen des Klimas der Großen Elbinsel durch Veränderungen der Bebauungsstruktur Hamburgs**

*Marita Linde*

Nach heutigem Wissen gibt es keine Anzeichen dafür, dass sich das Klima auf der Großen Elbinsel anders entwickeln wird als in der Region. Tatsächlich wird das zukünftige Stadtklima Wilhelmsburgs entscheidend von den städtebaulichen Maßnahmen im Stadtteil insgesamt (Abschnitte 4.5.2 und 4.5.3) sowie in der Stadt Hamburg beeinflusst. Das gilt insbesondere für die durch die Stadtstruktur und Wasserflächen bedingten nächtlichen Temperaturüberhöhungen, die durch Veränderungen der Bebauungen trotz berücksichtigter Anpassungsmaßnahmen in ganz Hamburg nur wenig geringer werden.

In Abbildung 5a ist das nächtliche Temperaturklima für die gegenwärtige Bebauungssituation im Sommer dargestellt. Abbildung 5b zeigt das nächtliche Temperaturklima für den gleichen Zeitraum, aber für ein angenommenes Stadtentwicklungsszenario. In dem hier zugrunde liegenden Szenario sind verschiedene Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und Annahmen zur Stadtentwicklung eingeflossen. So wird angenommen, dass die Bevölkerung der Stadt Hamburg wächst und zusätzlich die Wohnfläche pro Kopf steigt. Dieser gesteigerte Flächenbedarf wird durch Aufstockung der Gebäude und Nachverdichtung der Stadtstruktur gedeckt. Die Bevölkerungsentwicklung soll dabei in dem Szenario mit einem hohen Umweltbewusstsein einhergehen. Daher werden verbreitet umfassende Anpassungsmaßnahmen

umgesetzt und der Pkw-Verkehr ist deutlich reduziert. Fahrbahnen und Parkplätze werden reduziert und renaturiert, die verbleibenden Verkehrsflächen werden, wenn möglich, teilentsiegelt. Gebäude und verbleibende versiegelte Verkehrsflächen werden mit Baumaterialien, die eine höhere Albedo (siehe Glossar) aufweisen, umgesetzt, sodass die Sonneneinstrahlung verstärkt reflektiert wird und es zu geringerem Aufheizen der Stadtstrukturen kommt. Weiterhin wird im Szenario angenommen, dass ein großer Teil der Gebäude intensive, ganzjährig bewässerte Gründächer aufweist. Das Szenario ist in Kruse et al. (2014) detailliert beschrieben.

Den stärksten Anteil an der gefundenen Reduktion der nächtlichen Temperaturüberhöhung hat die Erhöhung der Albedo. Da die Stadtstrukturen tagsüber deutlich weniger Wärme aufnehmen, sinkt auch die nächtliche Temperatur. Zusammen mit dem kühlenden Einfluss der intensiven Gründächer kann der negative Effekt der verdichteten Stadtstruktur (mehr Baukörper speichern mehr Wärme) kompensiert werden. Der Einfluss der teilentsiegelten Flächen ist dabei relativ gering. Detailliertere Ergebnisse sind in Linde et al. (2014) beschrieben. Neben den durch die Stadtstrukturänderungen Hamburgs bedingten generellen Veränderungen sind lokal deutlich größere Einflüsse möglich, die durch Bebauungseffekte ausgelöst werden (Abschnitt 4.5.2).

### **4.5.2 Lokale Windfeldänderungen im Umfeld neuer Bebauung**

*Mohamed Salim, Frieso Kipsch, K. Heinke Schlünzen*

Zurzeit findet in Wilhelmsburg (Stadtteil) eine rasante Stadtentwicklung statt (Abschnitt 4.4.2). Das schließt sowohl Neubauten als auch die Verwendung neuer Baumaterialien und Baustandards ein, um die Lebensqualität

für die Einwohner zu erhöhen. Diese Änderungen im städtischen Raum haben lokale Einflüsse auf die meteorologischen Variablen wie Temperatur, Feuchtigkeit und das Windfeld und folglich auf das lokale städtische

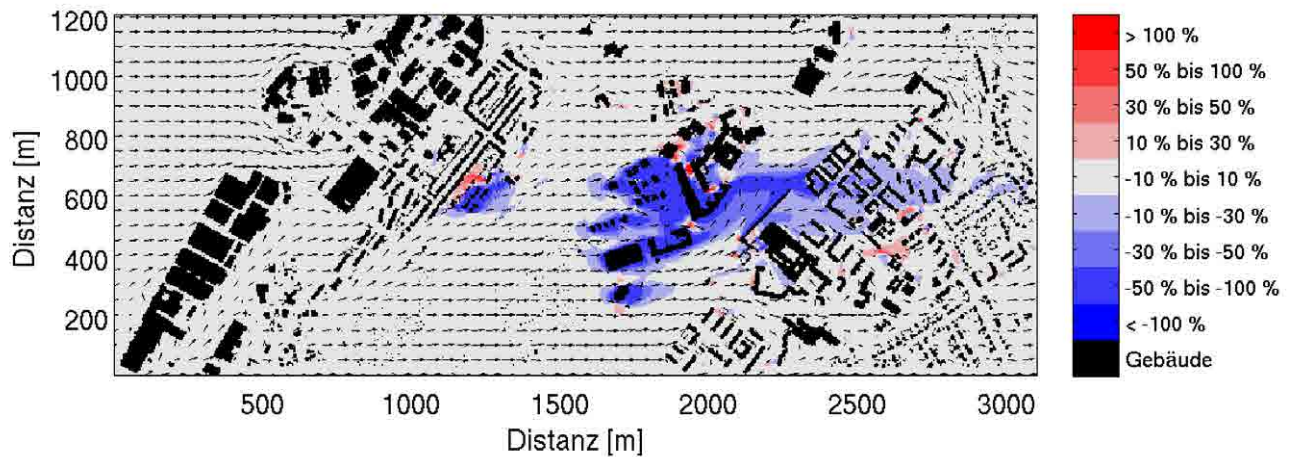


Abb. 68: Ergebnisse des mikroskaligen numerischen meteorologischen Modells MITRAS für die prozentuale Änderung der Windgeschwindigkeit in 2,5 m über Grund durch die Neubauten in Wilhelmsburg-Mitte bei süd-westlicher Anströmung (235°). Die Änderung der Windgeschwindigkeit ist als relative Differenz zu der Windgeschwindigkeit ohne die Neubauten angegeben (Salim et al., 2013). Die Abbildung ist um 35° im Uhrzeigersinn gegen Nord gedreht.

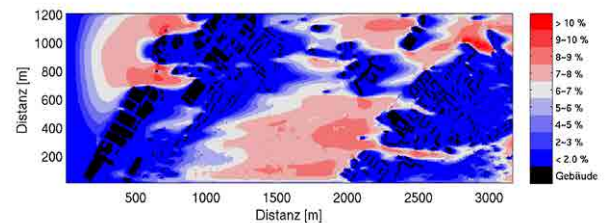
Klima. Abbildung 68 zeigt die Änderung im Windfeld durch die neuen Gebäude in Wilhelmsburg-Mitte (Salim et al., 2013). Die neuen Gebäude ändern das Windfeld signifikant und dadurch auch den Windkomfort und die Durchlüftung in der Umgebung. Diese Effekte sind bis in 1000 m Entfernung von den neuen Gebäuden spürbar. Zusätzlich sind auch Änderungen des Windfeldes in größerer Höhe möglich. Dies bedeutet, dass neue Gebäude nicht nur den Windkomfort für Fußgänger und die Stadtdurchlüftung beeinflussen, sondern auch den Windkomfort auf Balkonen und Dächern.

Die städtebaulichen Umstrukturierungen (Abschnitt 4.4.2) werden sich auf das lokale Mikroklima sowie auf das hedonische Empfinden auswirken, da die Bebauungsstruktur einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des urbanen Windfeldes hat. Je nach Bebauungstyp und der Positionierung der Gebäude relativ zueinander können aufgrund von Kanalisierungs- oder Interferenzeffekten lokal Zonen des Diskomforts für Fußgänger geschaffen werden. So können auch durch Aufstockungen oder Veränderungen der äußeren Gestaltungsform von Gebäuden aufgrund von Ablöseeffekten an den Bauwerkskanten Zonen mit einer erhöhten Böigkeitsstruktur geschaffen werden (Reuter, 2012, Gandemer, 1978).

Wie in Abbildung 69 gezeigt, beeinflussen neue Gebäude das Windfeld auch bodennah derart, dass die Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Windgeschwindigkeit zu überschreiten (in diesem Fall Komfortbereich, 3 m/s (Koss, 2006), süd-westliche Anströmung) sich ändert. Die Wahrscheinlichkeit, dass im Nachlauf der neuen Gebäude (insbesondere des vergleichsweise hohen BSU Gebäudes, Abb. 46b) der Grenzwert überschritten wird, sinkt durch das Blockieren der Strömung durch die hohen Gebäude. Deutlich wird dies in Abbildung 69b an der im Vergleich zu Abbildung 69a vergrößerten blauen Fläche. Lokale Windspitzen, die den Windkomfort nachteilig beeinflussen, können durch neue Gebäude allerdings ebenfalls entstehen (hier bei etwa 2000 m und 500 m, kleinflächiger roter Bereich zwischen zwei neuen Gebäuden in Abbildung 69b).

Die Einflüsse neuer Gebäude auf das Windfeld übertreffen die zu erwartenden, durch Klimaänderungen bedingten Veränderungen des Windes (Abschnitt 3.1.3) um ein Vielfaches. Sie können lokal nicht nur zu anderen Geschwindigkeiten sondern auch zu anderen Windrichtungen führen.

(a)



(b)

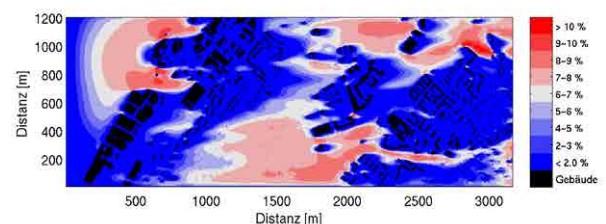


Abb. 69: Wahrscheinlichkeit, mit der die Windgeschwindigkeit bei süd-westlicher Anströmung einen Schwellwert von 3 m/s überschreitet in (a) der Referenzsimulation und (b) der Szenario-Simulation (Salim et al., 2013).

## 4.5.3 Einflüsse auf die Durchlüftungssituation

Frieso Kipsch, Bernd Leitl

Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Effekt der Bebauungsstruktur ist deren Auswirkung auf das lokale Ventilationsverhalten. Neben der bisher betrachteten Größe „Komfortwirkung“ muss auch der Austausch von (mit Schadstoffen oder Wärme) belasteter Luft berücksichtigt werden. Die Ventilation von urbanen Räumen ist dabei invers zum Komfortempfinden (Abschnitt 4.5.2). Eine Verringerung der Windgeschwindigkeit durch bauliche Maßnahmen wie beispielsweise der Errichtung von schmalen Straßenzügen oder der Schaffung einer homogenen Ausprägung der Gebäudehöhen erhöhen den Windkomfort, verringern jedoch gleichzeitig die Ventilationswirkung. Da ein Kernpunkt des Exzellenzscenario (Abschnitt 4.4.2) die Nachverdichtung der urbanen Struktur sowie eine Aufstockung bzw. Erweiterung des Baubestandes bildet, ist auch dieser Punkt untersucht worden.

He (2014) führte Windkanal-Modellstudien zur Bestimmung des Ventilationspotenzials an idealisierten Gebäuden mit Fokus auf verschiedenen Nachverdichtungsmöglichkeiten durch. He (2014) zeigt, dass Gebäude mit homogenen vertikalen Ausprägungen sowie großen Gebäudehöhen-Straßenbreite-Verhältnissen (enge Straßenschluchten) aufgrund des geringen Luftaustauschs innerhalb der städtischen Grenzschicht eine geringe Luftaustauschrate aufweisen (Abb. 70). Weiterhin wurde der Einfluss verschiedener Aufstockungstypen bei in Höhe und Breite veränderten Baubestand unter Einhaltung einer äquivalenten Wohnfläche in den jeweiligen Modellen untersucht. Auffällig ist, dass bei geringen Überhöhungen das Ventilationsverhalten sich luvseitig erhöht, in der Leeseite des Gebäudes sich allerdings verschlechtert. Ein erhöhter Luftaustausch, wie er im Lee von Hochhäusern entsteht, entfällt bei geringen Überhöhungen. Detailstudien zu verschiedenartigen Nachverdichtungstypen von Isyumov et. al. (1995) bestätigten dieses.

In einer Modelluntersuchung im Windkanal von Plehn (2014) ist die Windbelastung in zwei Fokusgebieten innerhalb des Modellgebietes Wilhelmsburg-Mitte betrachtet worden. Die Windbelastung ist definiert als die richtungsunabhängige Windstärke eines Ortes. Durch die Betrachtung der Belastung können selbst stark bimodale

Strömungen, wie sie beispielsweise an Straßenkreuzungen oder im Nachlauf von Gebäuden entstehen können, in ihrer Wirkungsweise bewertet werden. Der Fokus dieser Vergleichsstudie liegt ebenfalls auf dem Ventilationsverhalten im urbanen Raum. Ein für ein Stadtgebiet typisches Mittelungsintervall (3 Minuten) wurde als maßgebend bestimmt. Nach Ng (2009) kann die bodennahe Windgeschwindigkeit als Indikator der Ventilationswirkung eines Stadtgebietes angesehen werden. Durch eine zeitlich hochauflösende Untersuchungsmethode konnte das gesamte Spektrum der Windbelastung eines Ortes erfasst werden. In Windkomfortuntersuchungen werden meist die oberen Perzentile der Windgeschwindigkeit als Indikator des Komforts (Koss, 2006) bzw. der Gefährdung verwendet. Bei Ventilationsuntersuchungen auf Basis der Windbelastung wird demgegenüber das 10. Perzentil der Häufigkeitsverteilung als maßgebend betrachtet, also die für die Ventilation ungünstigen, schwachwindigen Situationen. Im Modellgebiet Wilhelmsburg-Mitte wurde das 10. Perzentil der Häufigkeitsverteilung aus dreiminütigen Intervallen an mehreren Hundert Messpositionen untersucht.

In Abbildung 71 sind die 10. Perzentile der Windbelastungen für zwei Fokusgebiete in den Bebauungszuständen 2007 (vor Beginn der Umstrukturierung, Abb. 69a) und 2013 (nach Beendigung der Umstrukturierung, Abb. 69b) für die gleiche süd-westliche Anströmung von 235° gezeigt. Die Fokusgebiete sind zum einen der Bereich der Internationalen Bauausstellung (Umstrukturierungsgebiet), zum anderen als Referenz das Stadtquartier in Bahnhofsnähe (Stadtquartier). Die grauen Linien stellen den Unsicherheitsbereich der Bestimmungsmethodik dar. Deutlich wird eine Verschiebung der sehr guten Ventilationswirkung im Zustand vor der Umstrukturierung, ersichtlich an den hohen Perzentilen der Windgeschwindigkeit in 2007, hin zu einer breiteren Verteilung der Windbelastungen im Bebauungszustand 2013. Durch die Bebauung des Gebietes wurden vor allem Zonen mit verminderter Windbelastung und somit verringerter Ventilationswirkung geschaffen.

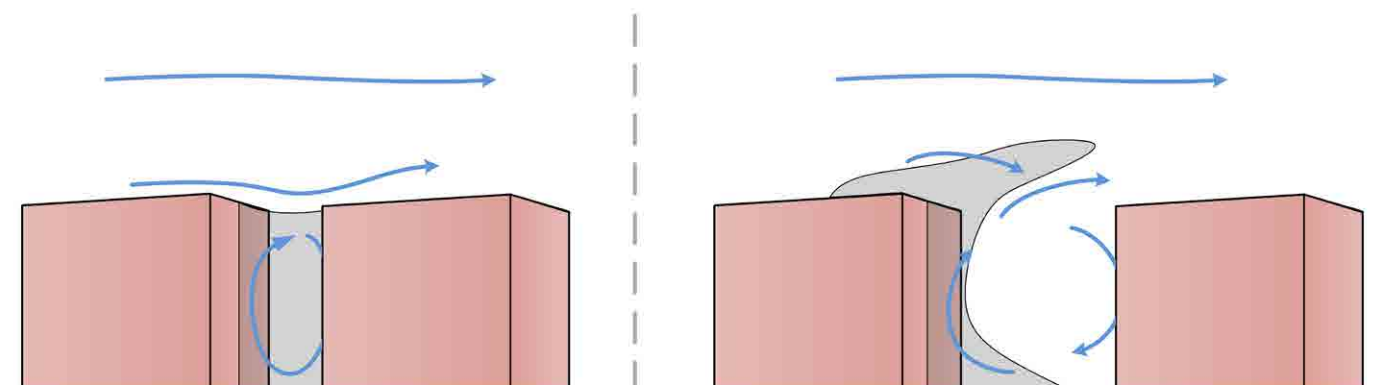


Abb. 70: Einfluss des Gebäudeabstandes auf die urbane Ventilationswirkung (Quelle: eigene Darstellung Kipsch, verändert nach Oke, 1992).

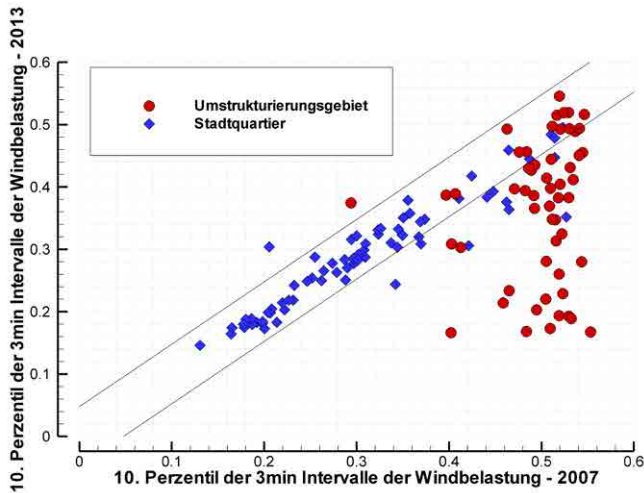


Abb. 71: Vergleich der Auswirkungen der Umstrukturierungen auf zwei Fokusgebiete innerhalb des Modellgebiets Wilhelmsburg-Mitte (Quelle: Verändert nach Plehn, 2014).

Die Ventilation des Umstrukturierungsgebietes (rote Kreise) hat sich im Zuge der Bebauung in ihrer Charakteristik der eines Stadtgebietes (blaue Rauten) angenähert. Analysen der Böenwindgeschwindigkeit und der Turbulenzstruktur des Windfeldes stützen diese Aussage. Die Ventilationswirkung des bestehenden Stadtquartiers ist durch die Umstrukturierung ebenfalls in geringem Maße beeinträchtigt, vor allem bei höheren Geschwindigkeiten. Die Mehrzahl der Messstellen weist jedoch kaum eine Veränderung auf.

Die verringerte Ventilation im bestehenden Stadtquartier und im Umstrukturierungsgebiet kann erhöhte Luftbelastungen zur Folge haben. Dieses ist in einer Windkanalstudie für das Modellgebiet Wilhelmsburg-Mitte untersucht worden. Über eine flächige Bodenquelle erfolgte eine kontinuierliche Tracerfreisetzung im Straßenraum, die Verdünnung des Tracers durch Frischlufteintrag (FI) wurde detektiert. Da eine Vorbelastung der Luft möglich wäre, wird nachfolgend statt des Frischlufteintrags der Terminus Luftwechsel verwendet. Für die Studie des Luftwechsels im Straßenraum konnten innerhalb des betrachteten Modellgebiets drei typische Stadträume identifiziert und detailliert analysiert werden. Die betrachteten Stadträume sind:

- Die Siedlungsstruktur der nahe gelegenen Kleingärten (Blockhüttenbebauung) in streng geometrischer Anordnung mit einer geringen vertikalen Ausdehnung.
- Die Bauten der IBA stellvertretend für Einzelgebäude mit hoher vertikaler Ausdehnung und relativ hoher Dichte der Bebauung. Der Bereich der IBA vor der Umstrukturierung ist von der Ventilationswirkung her analog zur Kleingartenstruktur zu betrachten.
- Die bahnhofsnahe Bebauungsstruktur mit uniformer vertikaler Ausdehnung in Riegel- bzw. Ringstruktur.

Zur Bestimmung des Luftwechsels wurden an charakteristischen Positionen räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Messungen des Ventilationspotenzials durchgeführt. Die zeitlich hoch aufgelösten Messungen erlauben eine Betrachtung in verschiedenen Zeiträumen, von Böen auflösend mit 10-sekündlichen Zeit-Intervallen bis zu stündlichen Mittelwerten. Der räumlich gemittelte Luftwechsel in den Stadträumen ist in Abbildung 72 für diese beiden Zeiträume dargestellt. Die Farbcodierung erfolgte in dieser Abbildung zweigeteilt: Die linke Hälfte der eingefärbten Flächen spiegelt das Ergebnis der räumlichen Mittelwerte für eine Böen auflösende Betrachtung wider, der rechte Teil steht für das stündliche Mittelungsintervall.

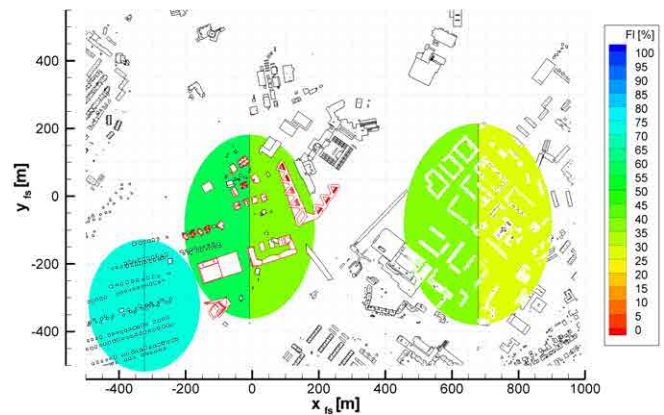


Abb. 72: Vergleich des mittleren Luftwechsels FI (in %) in den betrachteten Stadträumen mit einer Zweiteilung der eingefärbten Flächen: linke Hälfte: 10 s Zeitmittel, rechte Hälfte: 1 Stunde Zeitmittel, Anströmrichtung 235° (Kipsch, 2014).

Die Betrachtung der mittleren Luftwechsel (Abb. 72) zeigt für die drei Stadträume jeweils charakteristische Luftwechsel. Innerhalb der Kleingartenstruktur (Gebiet A mit flachen Gebäuden und sehr strukturierter Gebäudeorientierung) wird ein sehr günstigster Luftwechsel detektiert (75 %), sowohl in der auf Böen basierten als auch in der auf Stunden basierten Betrachtungsweise. Das Stadtgebiet mit einer eher homogenen Struktur in Riegelbebauung in Bahnhofsnahe (Gebiet C) weist den geringsten Luftaustausch auf. Auffällig ist, dass sehr gut ventilierte Orte ebenso wie Positionen mit geringem Luftwechselfotenzial (z.B. Innenhöfe) innerhalb des Stadtraums existieren (Tab. 7).

Die Baustruktur der IBA (Gebiet B) weist großzügige Freiflächen zwischen den Gebäuden auf, die Gebäudehöhen und deren Geometrien sind sehr heterogen ausgebildet. Im Vergleich zum Stadtgebiet mit homogener Struktur (Gebiet C), wird dort eine erhöhte Luftwechselrate detektiert (Tab. 7). Auffällig ist ebenfalls die Varianz des Luftwechsels an den Messpositionen: Bedingt durch die Heterogenität der Baustruktur wird der räumliche Mittelwert über eine große Bandbreite an Luftwechsel-Zuständen gebildet.

Tab. 7: Verteilung des mittleren Luftwechsels in den Stadträumen in [%], hier: 10 s Intervalle (eigene Tabelle Kipsch).

Stadtraum	Mittelwert	5. Perzentil	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	95. Perzentil
Gebiet A	72	55	65	76	84	93
Gebiet B	60	27	37	63	84	97
Gebiet C	49	24	31	37	70	87

Auf der Basis von räumlich gemittelten Werten können allerdings keine Aussagen über die lokale Ausprägung aufgrund von Unterschieden in der Bebauungsstruktur getroffen werden. Da die entwickelte Messmethodik es ermöglicht, die lokalen Charakteristiken des Ventilationspotenzials zu erfassen, kann der Luftwechsel in den zwei Bebauungszuständen im Nachlauf des Umstrukturierungsgebiets verglichen werden. In Abbildung 73 ist der Luftwechsel als Differenzen der Ventilation, wie sie vor der Umstrukturierung existierte, von der nach der Umstrukturierung eintretenden berechnet. Positive Werte (blau) bedeuten, dass die neue Bebauung die Ventilation verschlechtert. Der direkte Nachlauf der neuen Gebäude (rot dargestellt in Abb. 73) ist der Bereich der stärksten Änderungen des Luftwechsels. Der Abbildung kann entnommen werden, dass eine Verminderung des Luftwechsels von mehr als 20 % entlang der Bahntrasse und über daneben befindlichen nicht bebauten Flächen auftritt. In größerem Abstand von den neuen Gebäuden sind entlang der Bahntrasse auch erhöhte Luftwechsel zu finden (gelb und orange in Abbildung 73).

Innerhalb der bahnhofsnahe Bebauungsstruktur (Gebiet C) bedingt die Interaktion der Strömung mit den lokalen Baukörpern ein individuelles Ventilationsverhalten, das sich ebenfalls aufgrund der neuen Gebäude ändert. Verminderte Luftwechsel von mehr als 10 % (blaue Punkte in Abbildung 73) treten ebenso auf wie verbesserte

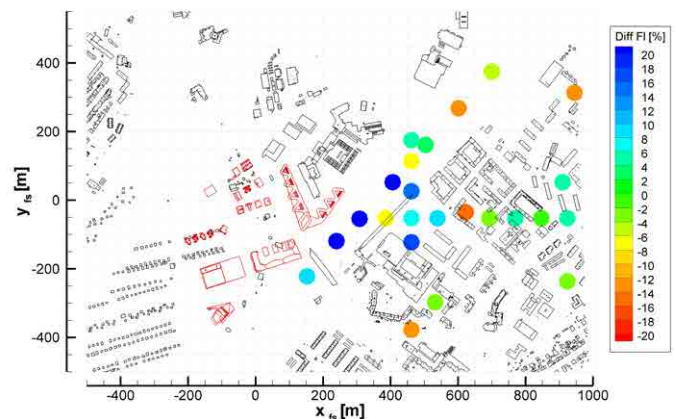


Abb. 73: Differenz des Luftwechsels im Nachlauf des Umstrukturierungsgebiets, als Differenz der Ventilation alte Bebauung minus neue Bebauung, Anströmrichtung 235° (Kipsch, 2014). Positive Werte entsprechen einer Verminderung der Durchlüftung durch die neuen Gebäude.

Luftwechsel gleicher Größenordnung (orange Punkte in Abbildung 73). Verallgemeinernden Aussagen können nicht getroffen werden, es empfiehlt sich, Einzelfalluntersuchungen durchzuführen. Bei neuer Bebauung ist zu beachten, dass das Umstrukturierungsgebiet bis in den fernen Nachlauf der Gebäude (hier etwa 1000 m) Einfluss auf das lokale Ventilationspotenzial ausübt.

## 4.5.4 Bedeutung von Baumaßnahmen für das Lokalklima

*K. Heinke Schlünzen, Marita Linde, Bernd Leiti, Frieso Kipsch, Mohamed Salim*

Durch geeignete, umfassend umgesetzte Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel kann die durch die Stadtstrukturen verursachte nächtliche Überwärmung reduziert werden. Dabei wirken sich die planerischen Maßnahmen für das Stadtgebiet Hamburgs auch positiv auf das Stadtklima der Großen Elbinsel und speziell auf das des Stadtteils Wilhelmsburg aus. Der durch den Klimawandel verursachte Temperaturanstieg kann jedoch nicht kompensiert werden. Bei städtebaulichen Maßnahmen auf der Großen Elbinsel und insbesondere in den mit Wohnbebauung versehenen Bereichen im Stadtteil Wilhelmsburg muss die Wirkung von Gebäuden, aber auch von neuen Industrieanlagen oder Windparks und versiegelten Flächen auf das Stadtklima berücksichtigt werden, um die Effekte des Klimawandels nicht zusätzlich zu verstärken. Das bodennahe Windfeld wird dabei durch

veränderte Bebauungen deutlich stärker beeinflusst als durch den Klimawandel. Dabei ist der Grat zwischen stickig (erhöhte Luftbelastung, Wärmestau) und zugig (schlechter Windkomfort) schmal. Daher sind gerade in einem bisher gut durchlüfteten Stadtteil wie Wilhelmsburg Einzelfallbetrachtungen für Bebauungs- (und Bewuchs-) Planungen sinnvoll, um ungemütliche Wohnquartiere (und negative Ferneffekte z.B. auf die Windenergiegewinnung, zugige Bereiche, erhöhte Luftbelastungen) zu verhindern. Die Wirkung ist dabei nicht auf die unmittelbare Umgebung der Neubauten beschränkt, sondern beim Windfeld in 1000 m Entfernung noch deutlich nachweisbar. Effekte auf vom Windfeld stark abhängige Größen, insbesondere die Luftbelastung, aber auch die Temperaturen, sind auch in deutlicher Entfernung von Neubauten nicht auszuschließen.



## **5** **Wilhelmsburg – handeln für die Zukunft**

In diesem Kapitel werden anhand der im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD erarbeiteten Ergebnisse Empfehlungen für die Große Elbinsel und insbesondere den Stadtteil Wilhelmsburg ausgesprochen. Dabei werden allgemeine Handlungsempfehlungen gegeben. Die Empfehlungen beziehen sich auf die Bebauung (Abschnitt 5.1), die Deiche (5.2), das Grundwasser und die Entwässerung (5.3) und die Planung und Durchführung von Maßnahmen (5.4).

## 5.1 Empfehlungen zur Bebauung

*Frieso Kipsch, K. Heinke Schlünzen*

Einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des urbanen Windfeldes hat neben der vorherrschenden Windsituation die lokale Bebauungsstruktur. Je nach relativer Positionierung der Bebauung zueinander kann Einfluss auf das Ventilationsverhalten oder auf das Komfortempfinden ausgeübt werden. Zur Sicherstellung der Ventilation und somit zum Abtransport von (mit Abgasen oder Wärme) belasteter Luft sind zusammenhängende Grünzüge und Freiflächen im Stadtgebiet als Luftleitbahnen zu erhalten. Straßenzüge in Hauptströmungsrichtung sowie Bahntrassen sind ebenfalls als Ventilationsbahnen zu betrachten. Einschnürungen durch Bebauungen in diese Luftleitbahnen sind zu vermeiden.

Bei Nachverdichtungen im Stadtraum sind unbebaute und unversiegelte Flächen zwischen den Gebäuden sowie eine eher gelockerte Struktur anzustreben, da durch Riegelbebauung die Ventilationswirkung verringert wird. Eine verdichtete Bebauung wird auch im Stadtteil Wilhelmsburg zu lokaler Überwärmung führen, die sich ggf. gesundheitlich bedenklich ausprägen kann. Daher sollte bei allen stadtplanerischen Maßnahmen an genügend Grün- und Wasserflächen sowie möglichst geringen Versiegelungsgrad gedacht werden. Aufstockungen im Bestand sind als förderlich für die Ventilation zu sehen, wenn homogene vertikale Ausdehnungen des Gebäudebestandes durch diese gestört werden. Zur Förderung des Luftaustauschs sind terrassenförmig ausgebildete Gebäudestrukturen denen einer homogenen Struktur vorzuziehen. Bei Aufstockungen im Bestand sind die Wechselwirkungen mit den Abluffahnen der Schornsteine der Umgebungsbebauung zu berücksichtigen.

Auch im Hafenbereich ist bei Veränderungen der Bebauungsstruktur und Umnutzung vorhandener Hafenflächen (mehr Bürogebäude) darauf zu achten, dass die bereits vorhandene Überwärmung nicht noch weiter zunimmt. Dieses könnte sonst sowohl tagsüber als auch am Abend zu gesundheitlich belastender Überwärmung führen, die zur Vermeidung gesundheitlicher Belastungen am Arbeitsplatz durch vermehrte Nutzung von Klimaanlage kompensiert werden müsste. Da gerade im Hafenbereich auch nachts gearbeitet wird, ist es bedeutsam, hier auch die nächtliche Überwärmung möglichst gering zu halten. Begrünungen jeglicher Art, insbesondere auch im Sommer Schatten spendende, im Herbst Laub abwerfende Bäume sind hier zu empfehlen.

Die Bebauungsstruktur kann lokal die Komfortsituation beeinträchtigen. Im Nachlauf eines Gebäudes bilden sich aufgrund von Ablöseeffekten an den Bauwerkskanten Zonen mit erhöhter Böigkeit des Windes aus. Eingangszonen sollten sich möglichst nicht in Ecklage befinden, eine gestaffelte Struktur des Gebäudes kann entschärfend wirken. In Zonen frei stehender Riegelbebauung entstehen zwischen den Gebäuden Bereiche mit erhöhter Geschwindigkeit sowie bedingt durch die Überströmung der Gebäude erhöhter Turbulenz des

Windes. Eine Nachverdichtung zur Verhinderung dieser Diskomfortbereiche ist als sinnvoll zu betrachten. Eine Kanalisierung des Windes aufgrund von paralleler oder spitzwinkliger Bebauungsstruktur ist unbedingt zu vermeiden. Weiterhin kann es in dichter, blockartiger Bebauungsstruktur zur Überlagerung der Einflüsse zweier zueinander versetzt stehender Gebäude kommen. In solchen Überlagerungszonen sind Stadtgrünpflanzungen zur Erhöhung des Windkomforts vorzusehen. Bei starker Überhöhung einzelner Gebäude gegenüber dem restlichen Bestand wird lokal der bodennahe Wind sowie das Windfeld bis in den fernen Nachlauf (Auswirkungen bis etwa 20-fache Gebäudehöhe) des Gebäudes beeinflusst. An der luvseitigen Gebäudefront können Fallwinde entstehen, Überdachungen oder die Ausbildung eines Podiums führen zu einer Verbesserung des Fußgängerkomforts.

Neben den o.g. Auswirkungen der Bebauungsstruktur muss auch deren relative Lage berücksichtigt werden. Die im Westen des Stadtteils in Hauptwindrichtung gelegenen Gewerbe- und Industrieflächen führen zu Lärm- und Luftbelastungen der Bewohner, die bei allen planerischen Maßnahmen bedacht werden müssen. Die lokalen Veränderungen der Luftbelastung bedingt durch die Verlagerung der Wilhelmsburger Reichsstraße entlang ihrer neuen Trasse sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Für Informationen zur Ventilation, die über die Gegebenheiten des Stadtquartiers Wilhelmsburg-Mitte hinausgehen, sei auf die Regelwerke von Reuter (2012) und Ng (2009) verwiesen. Für vertiefte Informationen zu der Wirkung des Windes auf den Fußgängerbereich sei Gandemer (1978) empfohlen.

Aufgrund der komplexen Veränderung des Windfeldes durch die lokale Bebauungsstruktur empfiehlt es sich, Einzelfalluntersuchungen anhand eines physikalischen Modells in einem Windkanal oder mittels eines Gebäude auflösenden numerischen Modells durchzuführen.

## 5.2 Empfehlungen zu mittleren Wasserstandsverhältnissen und Sturmfluten

*Annette Büscher, Elisabeth Rudolph, K. Heinke Schlünzen*

Die Sensitivitätsstudien (Wenn-Dann-Aussagen; Abschnitt 4.2) zeigen, dass als Folge des Anstiegs des mittleren Meeresspiegels in der Nordsee das Tidehochwasser im Elbeästuar und im Bereich der Großen Elbinsel stärker ansteigen würde als das Tideniedrigwasser. Dadurch nimmt der Tidenhub zu. Durch die damit verbundene nochmals verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich der stromaufwärts gerichtete Sedimenttransport. Die Trübungszone sowie die Brackwasserzone werden dadurch stromaufwärts verschoben. Durch eine Verstärkung des stromaufwärts gerichteten Sedimenttransports sowie der resultierenden Akkumulationsmenge können die Unterhaltungskosten für den Erhalt der Fahrrinne sowie für den Hamburger Hafen steigen.

Lang anhaltende niedrige Abflüsse, bedingt durch geringere Niederschläge im Einzugsgebiet der Elbe, können die Brackwasserzone noch weiter stromaufwärts verschieben, als dies durch den Meeresspiegelanstieg ohnehin voraussichtlich geschieht. Die Veränderungen durch den Meeresspiegelanstieg auf die Brackwasserzone werden dauerhaft sein, die Veränderung durch variierende Abflüsse sind witterungsabhängig und weisen einen kurzfristigen Charakter auf. Die Veränderung der Brackwasserzone ist für die Wasserentnahme in die Wettern bei lang anhaltenden Trockenperioden zu bedenken (Abschnitt 5.3), um bei der Entnahme eine geeignete Wasserqualität (Salzgehalt von unter 1 ‰) vorzuhalten.

Der Klimawandel wird die Wasserstandsverhältnisse bei Sturmflut entlang des Ästuars unterschiedlich stark prägen. Der Einfluss des Meeresspiegelanstiegs ist entlang des Ästuars bis stromauf von Hamburg sichtbar. Der Sturmflutscheitelwasserstand wird in erster Näherung um den Betrag des Meeresspiegelanstiegs angehoben. Erhöht sich zusätzlich im Sturmflutzeitraum der Oberwasserabfluss, so erhöht dies zusätzlich die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstandes: Im Mündungsbe-

reich sind die Einflüsse gering ( $\pm 1$  cm), im Bereich von Brunsbüttel bis Hamburg beträgt die Erhöhung mehrere Zentimeter und im „oberen Bereich“ mehrere Dezimeter. Erhöhte Windgeschwindigkeiten erhöhen den Sturmflutscheitelwasserstand entlang des Ästuars zusätzlich um mehrere Zentimeter.

Die vorliegende Sensitivitätsstudie verdeutlicht, dass sich die bekannten Herausforderungen bei Sturmfluten durch den Klimawandel vermutlich verstärken. Daher sollte die Wirksamkeit des Küstenschutzes entlang des gesamten Ästuars für die Metropolregion Hamburg überprüft werden. Bei einer zusätzlichen Erhöhung des Oberwasserabflusses bei Sturmflut sollte besonders auf die Wirksamkeit des Küstenschutzes im Bereich oberhalb der Stadt Hamburg geachtet werden. Des Weiteren muss ggf. die Vorwarnzeit für die Bevölkerung, die Deichverteidigung und das Räumen überflutungsgefährdeter Hafengebiete angepasst werden, da der Sturmflutscheitel durch einen Meeresspiegelanstieg früher eintritt. Speziell für den Stadtteil Wilhelmsburg sollte die multi-kulturelle Bevölkerung über Sicherungsmaßnahmen und Katastrophenschutzpläne auch in Zukunft kontinuierlich informiert und sensibilisiert werden.

Die durch einen Meeresspiegelanstieg verursachte längere Dauer hoher Wasserstände kann zu Problemen bei der Entwässerung ins Elbeästuar führen, da das Entwässerungssystem und Siele ohne Pumpen auf ein Wasserstandsgefälle zum Ästuar angewiesen ist. Dementsprechend sollten Retentionsräume im Stadtteil Wilhelmsburg vorgesehen werden (Abschnitt 5.3). Auch Hafenanlagen können bei extrem hohen Wasserständen länger als heute nicht verwendet werden, da der hohe Wasserstand länger anhält.

## 5.3 Empfehlungen zu Grundwasser und Entwässerung

*Anna-Gesa Meier, Wilfried Schneider*

Das Grundwasser der großen Elbinsel Wilhelmsburg wird maßgeblich von den Elbwasserständen und dem komplexen Entwässerungssystem im Deichhinterland beeinflusst. Während die Elbe das Grundwasser lediglich einseitig beeinflusst, kann zwischen dem Grundwasser- und dem Entwässerungssystem eine gegenseitige Abhängigkeit beobachtet werden. Aus diesem Grund werden die Empfehlungen für das Grundwasser und das Entwässerungssystem gemeinsam formuliert.

Die übergeordneten Folgen des Klimawandels auf die Grundwasserressource und die in der Marsch notwendige

Entwässerung sind zum einen der Anstieg der Grundwasserpotenziale innerhalb und außerhalb des entwässerten Gebiets sowie die Zunahme der Entwässerungsvolumina. Einem Anstieg der Grundwasserpotenziale kann grundsätzlich mit lokalen Grundwasserentnahmen begegnet werden. Eine Entlastung des Entwässerungssystems wäre eine begleitende Nebenerscheinung einer solchen Maßnahme.

Die Entwicklung von mittleren Niederschlägen sowie Extremereignissen unter der Wirkung des Klimawandels sind für die Betrachtung der Veränderungen im Grundwasser

nur von geringem Interesse. Vielmehr führen veränderte Elbwasserstände wie auch das Entwässerungssystem betreffende Maßnahmen zu einer Erhöhung der grundwasserbürtigen Grundlast des Entwässerungssystems. Diese Ratenänderung wird zunächst als unbedenklich eingestuft, da sie im Vergleich zu bereits stattfindenden Extremereignissen auch unter der Wirkung der beschriebenen Einflüsse gering ist. Jedoch wird empfohlen, eine veränderte Grundlast bei Planungs- und Umbauprozessen zu berücksichtigen, da zukünftig erhöhte Winterniederschläge und Starkregen zusätzlich zu dieser Grundlast abgeführt werden müssen.

Das existierende Entwässerungssystem Wilhelmsburgs ist an die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse gut angepasst. Zukünftige klimatische Veränderungen sowie städtebauliche Maßnahmen können eine Anpassung und Optimierung des Systems erfordern, um den bestehenden Zustand aufrechterhalten zu können. Sowohl die Nachverdichtung des Stadtteils als auch eine klimawandelbedingte Zunahme von Starkniederschlägen und insgesamt zunehmende mittlere Niederschläge (vor allem im Winter) erfordern eine Entlastung des Systems. Zusätzliche Retentionsräume können beispielsweise durch die Doppelnutzung von Infrastrukturanlagen als Anpassungsmöglichkeit realisiert werden. Das Schaffen von Speichervolumina ist auch unter dem Gesichtspunkt verkürzter Schöpf- und Sielzugzeiten aufgrund erhöhter Elbwasserstände unter Klimawandeleinfluss sinnvoll. Auch die hydraulische Durchgängigkeit der Entwässerungsgräben ist zu gewährleisten, um Vernässungen zu verhindern und das in den Gräben gesammelte Wasser möglichen Zwischenspeichern sowie den Schöpfwerken und Sielen zuzuführen. Ferner kann die Installation eines weiteren leistungsfähigen Schöpfwerks zur Sicherung der Entwässerung bei Überlastung oder technischen Ausfällen dienlich sein. Um die Vielfalt der örtlichen Flora und Fauna und die lokalklimatische Güte zu wahren, müssen alle das Entwässerungssystem betreffenden Anpassungsmaßnahmen auch unter dem Gesichtspunkt

des Naturschutzes und des sich ändernden Stadtklimas bewertet und geplant werden.

Wie in Abschnitt 4.3 ausgeführt, führt ein Anstieg der Elbwasserstände infolge des klimawandelbedingten Meeresspiegelanstiegs zu erhöhten Grundwasserpotenzialen und einer Zunahme des grundwasserbürtigen Entwässerungsvolumens. Diese Zunahme der Grundlast im Entwässerungssystem kann weiter verstärkt werden, wenn zusätzlich zu steigenden Außenwasserständen in der Elbe die Wasserstände der Wettern und Gräben im Deichhinterland gesenkt und der hydraulische Gradient dadurch zusätzlich erhöht wird. Bei einer Verringerung der Wetternwasserstände muss außerdem mit Bodensenkungen aufgrund austrocknender organischer Torfböden gerechnet werden. Eine Zunahme des grundwasserbürtigen Abflusses erfolgt des Weiteren durch einen möglichen Ausbau des Entwässerungssystems, welcher unter Umständen im Falle einer Nachverdichtung des betrachteten Gebiets sowie bei Neuerschließungen erforderlich wird. Bei derlei stadtplanerischen Veränderungen der Elbinsel wie auch bei der Pflege und Steuerung der Entwässerung über Wettern sollte die den Grundwasserleiter abdeckende Schicht aus Klei und Torf durchgängig erhalten und nur geringfügig geschwächt werden, um ein unkontrolliertes Austreten von Grundwasser (Qualmwasser) an der Oberfläche und daraus resultierende Flächenvernässungen zu verhindern.

Die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen lässt sich anhand numerischer Strömungsmodelle abschätzen. Auch können verschiedene Varianten einer lokalen Absenkung erprobt und die Wirkung veränderter Wetternwasserstände anhand eines regionalen Grundwassermodells verdeutlicht werden. Detaillierte Fließverhältnisse und lokale Austauschraten lassen sich mithilfe von Detailmodellen veranschaulichen. Es wird empfohlen, diese Werkzeuge für die Planung möglicher Maßnahmen heranzuziehen, um Beeinträchtigungen in der Entwässerung und negative Folgen auch in der bestehenden Bebauung zu vermeiden.

## 5.4 Empfehlungen zur Planung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien

*Sabine Schempp, Julia Kowalewski*

Die Bevölkerung des Stadtteils Wilhelmsburg ist verglichen mit den Durchschnittswerten für Hamburg (Stadtstaat) gegenwärtig geprägt von höherer Arbeitslosigkeit, mehr Schulabgängern ohne Abschluss und geringerem Einkommen. Zudem ist die Bevölkerung relativ jung, und der Anteil von Personen mit einem Migrationshintergrund ist höher. Dies stellt eine besondere Herausforderung für die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen dar. Die Berücksichtigung der sozialen Gegebenheiten kann aber auch ein neues Potenzial für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen sein. In der Bevölkerung gibt es zum einen eine Gruppe der „aktiven und informierten Mittelschicht“, die sich mit dem Thema Klimawandel auseinandersetzt und beteiligt werden will. Zum anderen gibt es große Bevölkerungsgruppen, die sich entweder

der (zukünftigen) Herausforderungen nicht bewusst sind und sich aus diesem Grund nicht beteiligen (wollen) oder aber sich nicht beteiligen können, da die finanziellen, sprachlichen und/oder zeitlichen Kapazitäten fehlen. Daher sollten für die verschiedenen Bevölkerungsgruppen individuelle, auf die jeweiligen Bedürfnisse abgestimmte Anpassungsstrategien entwickelt werden. Bei der Erstellung von Anpassungskonzepten, die die Bevölkerung einbeziehen, sollte diese und ihre soziale Situation möglichst differenziert betrachtet und die Strategie entsprechend angepasst werden. Generell ist es sehr wahrscheinlich, dass eine Verbesserung der sozialen Gegebenheiten (Bildung, Einkommen usw.) zu einer Verringerung der Vulnerabilität führt.

Für die Wirtschaft im Stadtteil Wilhelmsburg ergibt sich neben den Folgen durch die schleichenden klimatischen Veränderungen eine spezifische Bedrohung durch Extremereignisse, insbesondere Sturmfluten. Die auf den Hafen spezialisierte Wirtschaft wäre von einer Unterbrechung des Hafenbetriebs besonders stark betroffen. Zudem könnte eine (unwahrscheinliche) Überspülung der Deiche zu einer Beschädigung oder Zerstörung von Produktionsanlagen und Gebäuden führen. Bei starker Schädigung, aber auch bei lang andauernden Sturmfluten (Abschnitt 5.2), können Produktionsunterbrechungen und ggf. ein hoher Bedarf an Wiederaufbaumaßnahmen die Folge sein. Für die Entwicklung von effektiven und effizienten Anpassungsmaßnahmen der Wirtschaft im Stadtteil Wilhelmsburg ist es daher wichtig, die möglichen Schäden potenzieller Extremereignisse abschätzen zu können. Dafür ist zunächst eine gute Kenntnis über den Bestand und die lokale Verortung der gefährdeten Vermögensgegenstände notwendig. Die Abschätzung der gesamten Kosten eines solchen Ereignisses sollte dann die direkten als auch die indirekten (positiven und negativen) Effekte berücksichtigen, die beispielsweise durch Produktionsunterbrechungen und damit verbundene Lieferschwierigkeiten sowie Wiederaufbaumaßnahmen entstehen.

Aus der Bevölkerungs- und Betriebsstruktur ergeben sich bestimmte Bedürfnisse und Möglichkeiten der Anpassung an erwartete zukünftige Gegebenheiten oder Ereignisse. Tierney (1997) und Wasileski et al. (2011) haben beispielsweise gezeigt, dass große und kleine Betriebe in der Regel unterschiedlich auf Extremereignisse wie Erdbeben oder Fluten vorbereitet sind. Großbetriebe haben die Kapazität, um im Vorhinein Anpassungsmaßnahmen sowie Notfall- und Evakuierungspläne zu entwickeln, während kleine Betriebe oft unvorbereitet getroffen werden. Diese Tatsache erschwert kleinen Unternehmen oft auch den Wiederaufbau, und sie bleiben der Beobachtung nach länger geschlossen oder haben mit größeren Produktionsschwierigkeiten zu kämpfen als große Unternehmen. Zudem fehlen kleineren Betrieben oft die finanziellen Mittel, um den Wiederaufbau aus eigener Kraft zu stemmen. Damit sind sie häufiger auf staatliche Hilfe angewiesen als Großunternehmen (Tierney, 1997; Wasileski et al., 2011). In Anbetracht des großen Anteils an Arbeitsplätzen, die die kleinen Betriebe im Stadtteil Wilhelmsburg stellen (Abb. 41), sollten für und mit diesen Konzepten (und Hilfen) für die Anpassung an Klimaänderungen und die damit verbundenen Folgen entwickelt werden.

Bereits bei der Planung bzw. dem Entwurf von Anpassungsmaßnahmen sollte berücksichtigt werden, wie diese umgesetzt werden können. Hierzu zählt insbesondere auch, wie die Akzeptanz der Maßnahme bei der betroffenen Bevölkerung erreicht bzw. erhöht werden kann. Sowohl bei der Planung einer einzelnen Anpassungsmaßnahme wie auch eines Maßnahmenpakets bietet es sich an, eine individuelle Strategie zu entwickeln, die auf die jeweilige(n) Maßnahme(n) und die lokale Situation abgestimmt ist. Im Rahmen von Anpassungsstrategien können verschiedene Instrumententypen eingesetzt werden. In der Literatur werden als Instrumententypen z.B. unterschieden:

- Formelle bzw. regulative Instrumente (z.B. Knieling et al., 2011; Fröhlich et al., 2011), die eine direkte Wirkung erzielen, da die betroffenen Akteure den Geboten, Verboten, Auflagen und Grenzwerten (u.a.) Folge leisten müssen. Formelle Instrumente können daher sehr effektiv sein. Ihre Einführung kann aber sehr langwierig sein, insbesondere dann, wenn sie nicht dem aktuellen Recht entsprechen und/oder die Akzeptanz bei den betroffenen bzw. verantwortlichen Akteuren gering ist.
- Ökonomische Instrumente (z.B. Schempp und Oßenbrügge, 2014; Seeber, 2001), die genutzt werden können, um durch einen positiven oder negativen finanziellen Anreiz das Handeln der betroffenen Akteure zu beeinflussen. Allerdings können die betroffenen Akteure wählen, ob sie die jeweilige Maßnahme durchführen und damit entweder die positiven finanziellen Anreize (z.B. zinsvergünstigte Kredite oder Steuererleichterungen) nutzen oder die negativen finanziellen Anreize (z.B. Steuern, handelbare Zertifikate oder Gebühren) vermeiden. Insbesondere durch diejenigen ökonomischen Instrumente, die positive finanzielle Anreize setzen, können hohe Kosten bzw. Einnahmeverluste entstehen. Aber auch bei ökonomischen Instrumenten, die einen negativen finanziellen Anreiz beinhalten, können hohe Verwaltungskosten (Entwicklung und besonders Erfolgskontrolle) entstehen. Beachtet werden sollte auch, dass ökonomische Instrumente nur bedingt geeignet sein können, wenn eine schnelle und/oder flächendeckende Anpassung bzw. Umsetzung einer Anpassungsmaßnahme notwendig ist. Beim Einsatz von ökonomischen Instrumenten zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel sollte darauf geachtet werden, dass bei negativen finanziellen Anreizen einkommensschwächere Bevölkerungsteile nicht übermäßig belastet werden (Schempp und Oßenbrügge, 2014). Sonst könnte eine Verdrängung der betroffenen Bürger folgen (Segregation). Sollen Fördermittel wie Barsubventionen, Steuererleichterungen oder zinsvergünstigte Kredite für die Förderung der Anpassung genutzt werden, sollte berücksichtigt werden, dass für diese in der Regel ein Eigenanteil aufgebracht werden muss und diese Fördergelder dadurch evtl. nicht von allen Bürgern genutzt werden können.
- Informelle Instrumente (z.B. Fröhlich et al., 2011), mit deren Hilfe versucht wird, eine Verhaltensänderung der betroffenen Akteure zu erreichen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei bewusstseinsbildende Maßnahmen (z.B. Informationsveranstaltungen, Informationsmaterial wie Risikokarten und Flyer), Beteiligungsverfahren und Kooperationslösungen (z.B. Selbstverpflichtungen).

Oft bietet es sich an, die verschiedenen Instrumententypen miteinander zu kombinieren um eine möglichst effektive Anpassung zu erreichen („Instrumenten-Mix“).

Die Analyse der sozioökonomischen Faktoren im Stadtteil Wilhelmsburg (Abschnitt 3.4) hat ergeben, dass sowohl die Bevölkerung wie auch die Wohn- und Arbeitssituation in Wilhelmsburg sehr heterogen sind und dies bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien berücksichtigt werden sollte. Auch wenn der verglichen mit dem Durchschnitt Hamburgs (Bundesland) überdurchschnittlich hohe Anteil von Bürgern mit Migrationshintergrund in Wilhelmsburg nicht per se mit einer sprachlichen Barriere (aufgrund mangelnder Deutschkenntnisse) gleichgesetzt werden kann und sollte<sup>2</sup>, sollte dieser Punkt dennoch bei Planungen berücksichtigt werden. Wenn es die individuelle Zielgruppe erfordert, sollten ggf. Informationsveranstaltungen und/oder Informationsmaterialien auch in den notwendigen Sprachen zur Verfügung gestellt bzw. durchgeführt werden, um möglichst viele der betroffenen Akteure zu erreichen. Auch bei deutschsprachigem Informationsmaterial sollte (und dies gilt nicht nur für den Stadtteil Wilhelmsburg) auf eine verständliche Ausdrucksweise geachtet und sehr technische oder abstrakte Formulierungen vermieden werden. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass besonders in einkommensschwachen Bereichen andere Probleme (gegenwärtig) von größerer Bedeutung sind als die zum Teil noch weit in der Zukunft liegenden und häufig unsicheren Folgen des Klimawandels. Aufgrund des hohen Anteils junger Menschen im Stadtteil Wilhelmsburg sollte das Thema Anpassung an den Klimawandel verstärkt in den Schulen und auch bei außerschulischen Aktivitäten (z.B. Jugendtreffs, Sportvereine) angesprochen werden, um das Interesse der Jugendlichen (und Kinder) auf die Thematik zu lenken und sie als Multiplikatoren und Akteure für die Umsetzung der Anpassung an den Klimawandel gewinnen zu können. Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass auch die teilweise große Differenzierung innerhalb des Stadtteils, z.B. bezüglich des Einkommens, des Bildungsstandes, der Einschätzung der Betroffenheit, der Wohnsituation und der Landnutzung, bei der Planung und Durchführung von Anpassungsstrategien und Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollte.

---

2 Siehe hierfür auch die Definition von Migrationshintergrund im Glossar.

# 6

## Schlussbemerkungen

*K. Heinke Schlünzen, Marita Linde*

Die im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD untersuchten Folgen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmaßnahmen sind im vorliegenden Band der KLIMZUG-NORD Ergebnisse für Wilhelmsburg, gelegen auf der Großen Elbinsel im Stromspaltungsgebiet zwischen Norder- und Süderelbe, beschrieben. Dazu wurden die Ist-Situation und mögliche Zukunftsszenarien mit ihren potenziellen Folgen analysiert. Dem Leser wurden Empfehlungen über Anpassungsmaßnahmen zu den verschiedenen Themengebieten aufgezeigt.

Die Untersuchungen beruhen dabei auf plausiblen Projektionen zu möglichen Entwicklungen der globalen Ökonomie und den damit verbundenen Emissionen in die Atmosphäre. Die damit verbundenen Unsicherheiten beeinflussen vor allem die projizierten klimatischen Entwicklungen von Temperatur, Niederschlag und Wasserstand für den Stadtteil. Gleichzeitig sind auch Annahmen für die soziökonomische Zukunft des Stadtteils Wilhelmsburg selbst gemacht worden, die vermutete plausible Entwicklungen sind, aber keine Vorhersagen in dem Sinne, dass die hier untersuchten potenziellen Entwicklungen so eintreffen müssen. An dieser Stelle soll insbesondere darauf hingewiesen werden, dass bei allen Untersuchungen von relativ langsamen, aber kontinuierlichen Veränderungen ausgegangen wird, die unter der Randbedingung globaler Emissionsverminderungen stattfinden könnten. Würden global keine Emissionsminderungen erfolgen, könnten die klimatisch bedingten Veränderungen (Temperatur, Niederschläge, Wind, Wasserstand, Sturmfluten, Grundwasserstand) erheblich größer ausfallen, als in den Untersuchungen dieses Projektes angenommen. Dieses gilt vor allem für die Wende dieses Jahrhunderts, für die bereits in den heutigen Emissionsminderungsmaßnahmen der Grundstein gelegt wird.

Eine Befragung der örtlichen Akteure im Rahmen dieses Projektes zeigte vor allem ein starkes Interesse an den Ergebnissen der wasserwirtschaftlichen Untersuchungen. Akteure mit Zuständigkeit für andere Bereiche waren weniger interessiert oder fühlten sich nicht für den Bereich Klimawandel zuständig. Als verwundbare Systeme der großen Elbinsel wurden der Baubestand, der Verkehr und die Entwässerung genannt. Daher besteht insbesondere Interesse an Änderungen in der Niederschlagssumme und der Starkniederschläge sowie der Entwicklung von Temperatur- und Windverhältnissen.

Untersuchungen für die Große Elbinsel und insbesondere für den Stadtteil Wilhelmsburg zeigten, dass im zukünftigen Klima höhere Temperaturen zu erwarten sind, insbesondere im Winter. Bis zur Mitte des Jahrhunderts hängt der Temperaturanstieg nur geringfügig von den verschiedenen potenziellen globalen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen ab (Zunahme 0,9 - 2 K). Zum Ende des Jahrhunderts weisen die Szenarien mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen (A1B und A2) stärkere Temperaturanstiege (Zunahme 2,3 - 3,3 K) auf als das Szenario mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen (B1; Zunahme 1,9 - 2,1 K). Insgesamt lässt sich sagen, dass der Klimawandel die Temperaturen regional erhöht. Die geplante und z.T. schon erfolgte Bebauung sorgt für lokale Veränderungen mit teilweise deutlich größeren Temperaturerhöhungen. Eine verdichtete Bebauung wird auch im Stadtteil Wilhelmsburg zu lokaler Überwärmung führen, die gesundheitlich bedenklich wird. Einige Hafenbetriebe weisen hohe anthropogene Wärmeabgaben in die Atmosphäre auf, die dort im direkten Umfeld die Temperaturen erhöhen, durch eine Reduktion der Wärmeemissionen aber leicht verringert werden können. In den Wohngebieten und in den im Hafen geplanten Bürogebäuden (durch Umnutzung der vorhandenen Bebauung) könnten durch Maßnahmen wie Begrünung (vor allem

Bäume, aber auch Intensivbegrünung von Wänden und Dächern) die Temperaturen insgesamt reduziert werden, sodass insbesondere an warmen Sommertagen der Energieverbrauch für Kühlung verringert werden könnte. Außerdem könnte auf diese Weise sowohl das objektive (geringere Temperaturen an heißen Tagen) als auch das subjektive (grüne Umgebung) Befinden der dort arbeitenden bzw. lebenden Menschen verbessert werden. Daher sollte bei allen stadtplanerischen Maßnahmen im gesamten Stadtteil an genügend Grünflächen und an eine möglichst geringe Versiegelung gedacht werden.

Die Jahresniederschlagssumme wird steigen. Dabei wird der Sommerniederschlag wahrscheinlich leicht ab-, die Winterniederschläge hingegen wahrscheinlich zunehmen. Im Sommer wird außerdem mit einer höheren Anzahl von Starkniederschlagsereignissen gerechnet. Für Wilhelmsburg ist dieses insbesondere in Hinblick auf die Entwässerung relevant (s.u.).

Die regionalen klimatischen Veränderungen in den Windgeschwindigkeiten sind relativ gering gegenüber den durch die Bebauung bedingten Veränderungen. Die veränderte Bebauung kann das Windfeld und die Durchlüftungssituation des Stadtteils erheblich beeinflussen. Bei stadtplanerischen Maßnahmen ist bei der Ausrichtung der Gebäude und ihrer relativen Höhen zueinander auf eine Optimierung des Windkomforts und eine Nichtbeeinträchtigung der Durchlüftung des Gebiets zu achten. Durch neue Bebauung kann sich lokal die Luft- und Lärmbelastung erheblich verändern. Änderungen der Bebauungsstruktur müssen daher im Einzelfall auf ihre Einflüsse geprüft werden. Auch bei planerischen Maßnahmen für die im Westen des Stadtteils in Hauptwindrichtung gelegenen Gewerbe- und Industrieflächen sollte die Lärm- und Luftbelastung der Bevölkerung bedacht werden.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes zeigen, dass die Sturmflutscheitelwasserstände in erster Näherung um den Betrag des Meeresspiegelanstiegs angehoben werden. Höhere Oberwasserzuflüsse heben die Sturmflutscheitelwasserstände zusätzlich an. Außerdem können die Sturmflutscheitelwasserstände früher eintreten und hohe Wasserstände länger anhalten. Der Anstieg des mittleren Meeresspiegels in der Nordsee verändert die mittleren Tideverhältnisse so, dass als Folge der Tidenhub im Bereich der Großen Elbinsel voraussichtlich zunehmen wird.

Durch den zu erwartenden Elbwasseranstieg wird auch das Grundwasserpotenzial auf der Großen Elbinsel und im Stadtteil Wilhelmsburg steigen. Das vorhandene Entwässerungssystem kann zwar den Anstieg um bis zu 70 % mindern, es ergibt sich aber eine höhere mittlere Drainagerate, die zu einer höheren Grundbelastung des Entwässerungssystems führt. Beachtet werden muss, dass sich durch den Anstieg des Elbwasserspiegels die Schöpfwerkszeiten und Sielzugzeiten reduzieren können. Bei Baumaßnahmen ist unbedingt zu beachten, dass die Weichschichten, die den Grundwasserleiter abdecken, nicht entfernt oder in ihrer Mächtigkeit erheblich reduziert werden dürfen, da sonst



ein ungebremster Austritt von Grundwasser möglich ist. Die Sensitivität einer Region gegenüber klimatischen Veränderungen ist stark von der Sozial- und Wirtschaftsstruktur abhängig. Die sozialen und wirtschaftlichen Gegebenheiten sollten daher bereits in der Planungsphase von einzelnen Anpassungsmaßnahmen und besonders bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien berücksichtigt werden, damit die Anpassung an die Folgen des Klimawandels möglichst effektiv umgesetzt werden kann. Hierfür ist nicht nur die Akzeptanz der Maßnahmen durch die Bevölkerung bzw. durch die beteiligten Akteure von besonderer Bedeutung, sondern auch der Zugang zu lokalem Wissen und die genaue Kenntnis der lokalen Gegebenheiten und Bedürfnisse. Dies kann insbesondere auch durch eine aktive Beteiligung der Bevölkerung und der betroffenen/interessierten Akteure bereits ab der Planungsphase erreicht werden. Aufgrund des hohen Anteils an Jugendlichen im Stadtteil Wilhelmsburg sollte die Themen „Klimawandel“ und „Anpassungen an den Klimawandel“ verstärkt in den Schulen und bei Jugendtreffs und Sportvereinen angesprochen werden. Informationsmaterialien zu Klimaanpassung und Klimaschutz sollten nicht nur in deutscher Sprache vorliegen, um der Internationalität des Stadtteils Rechnung zu tragen. Schutzmaßnahmen gegen Sturmfluten und Sensibilisierung der multi-kulturellen Bevölkerung für notwendige Sicherheitsmaßnahmen sind zur Daseinsvorsorge essenziell.

Die für Wilhelmsburg erzielten Ergebnisse sind nicht auf alle Stadtteile Hamburgs oder auf andere Städte direkt übertragbar. Allerdings wäre die Situation des Wechselspiels von Wasserstandsverhältnissen in der Tideelbe, Grundwasserspiegel, Niederschlag und Temperatureffekten im Zusammenspiel mit Gebäudeänderungen in den Marschgebieten Hamburgs und anderen Marschgebieten der Elbe und Weser sehr ähnlich. Auch in den Niederlanden liegen in vielen Regionen ähnliche naturräumliche Voraussetzungen vor (z.B. Rotterdam). Da zudem die dort zu erwartenden klimatischen Änderungen denen in der Metropolregion Hamburg ähnlich sind, können auch dort die hier entwickelten Informationen zu Ist-Zustand, Veränderungen und Maßnahmen als Informationsbasis genutzt werden.



## Danksagung

Die Arbeit an diesem Band erfolgte im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojektes KLIMZUG-NORD. Unser Dank gilt daher dem BMBF sowie allen weiteren Unterstützern des Projektes.

Wir danken allen Institutionen und Personen, die sich an der Akteursbefragung beteiligt haben, für ihre Zeit und die durch sie gewonnenen Erkenntnisse. Besonderen Dank sprechen wir den Akteuren aus der Verwaltung und den Verbänden aus, die über die telefonische Befragung hinaus auch an einem Stakeholdertreffen zum Thema „Grundwasser und Entwässerung“ teilgenommen haben.

Dank gilt dem Geologischen Landesamt Hamburg und insbesondere Herrn Jens Kröger für die Unterstützung und die Zurverfügungstellung der vorhandenen Ressourcen und Daten sowie die Betreuung bei der Erarbeitung eines geologischen Strukturmodells, welches als Grundlage der Grundwasserströmungsmodellierung diente. Vielen Dank auch dem Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer in Hamburg für die Bereitstellung von Daten bezüglich der auf Wilhelmsburg stattfindenden Entwässerung. Darüber hinaus möchten wir uns auch beim Statistischen Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein für die Bereitstellung der Daten (u.a. Stadtteildatenbank) bedanken.

Dank gilt dem Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Bereitstellung der meteorologischen Messdaten.

Die numerischen Modelle verwenden als Eingabegrößen digitale Geländemodelle, ATKIS-Daten, für Hamburg zudem die Digitale Stadtgrundkarte (DSGK) sowie 3-D-Stadtmodelldaten (LoD 2). Die Daten wurden beschafft von der Freien und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (Nr.102156), dem

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGN), dem Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein und dem Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen Mecklenburg-Vorpommern. Dank geht in diesem Zusammenhang ganz besonders an die Universität Hamburg und das von der DFG geförderte Exzellenz Cluster CliSAP (ESC177), die die Beschaffung der Daten mit erheblichen Mitteln finanziell unterstützt haben.

Für Hilfe bei der Aufbereitung der Stadtstrukturdaten geht Dank an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) der Freien und Hansestadt Hamburg. Dank geht ebenfalls an die BSU für die Förderung der „Machbarkeitsstudie Modellierung von Stadtklima“ im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes, durch das viele Datenaufbereitungen erst möglich wurden.

Für die Bereitstellung der Gebäudedaten danken wir allen Architekten, die an der Entwicklung der neuen Gebäude im Rahmen der IBA beteiligt waren. Für die sehr hilfreiche Beratung hinsichtlich der bodenkundlichen Fragestellungen sowie die regelmäßige Unterstützung bei der Modellierung des Bodenwasserhaushalts der Marsch sei Herrn Prof. Dr. Wilhelmus H. M. Duijnsveld von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sehr herzlich gedankt.

Wir danken Sabine Ehrenreich (Meteorologisches Institut, Universität Hamburg) sowie Jürgen Becker (TuTech) für die Unterstützung bei der Bearbeitung und Formatierung des Manuskriptes. Nicht zuletzt danken wir Helga Schenk (BSU) für ihre konstruktive Projektbegleitung und ihre Hinweise zur Entwicklung dieses Textes.

# Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1, S. 3 :** Große Elbinsel umgeben von Norder- und Süderelbe mit den Stadtteilen und Gemarkungen unter Einschluss von Wilhelmsburg (Gemarkung) (Datenquelle: BSU Hamburg, Geologisches Landesamt; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 2, S. 4 :** Stressfaktoren für die Große Elbinsel und Wilhelmsburg (eigene Darstellung Schlünzen).
- Abb. 3, S. 14:** Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen für das gesamte Jahr im Zeitraum 1971 - 2000 auf Basis der Messwerte des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg Fuhlsbüttel (Klimastation) (Daten: Deutscher Wetterdienst, eigene Darstellung Linde).
- Abb. 4, S. 15:** Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen für (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter im Zeitraum 1971 - 2000 auf Basis der Messwerte in Hamburg Fuhlsbüttel (Klimastation) (Daten: Deutscher Wetterdienst, eigene Darstellung Linde).
- Abb. 5, S. 15:** Mittlere nächtliche Wärmeinsel im Sommer für (a) den Ist-Zustand und (b) bei flächendeckender Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Die Werte wurden auf einem 250 m Raster mit dem Modell METRAS (Schlünzen, 1990; Grawe et al., 2013; Schoetter et al., 2013) aus halbstündlichen Mittelwerten für die Zeit von 20 bis 24 Uhr errechnet (Linde et al., 2014).
- Abb. 6, S. 16:** Mittlere Niederschlagsverteilung für Hamburg auf Basis der DWD Niederschlagsmessstationen (Ertl, 2009).
- Abb. 7, S. 16:** (a) Schematische Darstellung der Lage der betrachteten Klimastationen in Hamburg, (b) Häufigkeitsverteilung der mittleren Windverhältnisse (Windrose) am Standort Billwerder in 175 m Höhe, Datengrundlage: 2007 - 2009.
- Abb. 8, S. 17:** (a) Windrichtungsverteilung in 175 m Höhe bei Starkwindverhältnissen und (b) Schwachwindverhältnissen, Datengrundlage: 2007 - 2009.
- Abb. 9, S. 17:** (a) Windrichtungsverteilung in 10 m Höhe und (b) Profil der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Billwerder, Datengrundlage: 2007 - 2009.
- Abb. 10, S. 18:** Modelltopografie des Elbeästuars der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Teilgebiet Große Elbinsel mit den Pegelstandorten St. Pauli und Bunthaus.
- Abb. 11, S. 19:** Gemessene Wasserstände an den Pegeln Bunthaus (schwarz) und St. Pauli (rot) im Juni 2006.
- Abb. 12, S. 19:** Berechnetes mittleres Tidehochwasser, gemittelt über den Zeitraum 20.07.2006 bis 03.08.2006 mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Abb. 13, S. 19:** Berechnetes mittleres Tideniedrigwasser, gemittelt über den Zeitraum 20.07.2006 bis 03.08.2006 mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Abb. 14, S. 19:** Berechneter mittlerer Tidehub Thb, gemittelt über den Zeitraum 20.07.2006 bis 03.08.2006 mit einem Oberwasserzufluss  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Abb. 15, S. 20:** Entwicklung der Tidewasserstände seit 1880 an den Pegeln Cuxhaven-Steubenhöft und Hamburg St. Pauli. Mittleres Tideniedrigwasser (MTnw), mittleres Tidehochwasser (MThw) jeweils bezogen auf m NHN, mittlerer Tidehub (MThb) in Metern (Achse rechts).
- Abb. 16, S. 22:** Wasserstandsentwicklung für SF94 in (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) bei einem Oberwasserzufluss von  $1350 \text{ m}^3/\text{s}$  (schwarz),  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (rot),  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  (grün) und  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  (blau).
- Abb. 17, S. 22:** Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang des Elbefahrtswassers zwischen der Elbmündung und Bleckede für die Sturmflutszenarien SF76 (schwarz, fett) und SF94 (schwarz, dünn) sowie mit erhöhtem Oberwasserzufluss von  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (rot),  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  (grün) und  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  (blau).
- Abb. 18, S. 23:** Sturmflutscheitelwasserstand HW im Stromspaltungsgebiet für die Sturmflutszenarien (a) SF94Q1350 und (b) SF94Q4000. Eine Farbstufe entspricht einer Änderung des Sturmflutscheitelwasserstandes um 5 cm.
- Abb. 19, S. 24:** Funktion des Entwässerungssystems der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (eigene Darstellung Meier, nach Studio Urbane Landschaften, 2008).
- Abb. 20, S. 25:** Beispiel eines Entwässerungsbauwerks; Deichsiel Goetjensort (Bildquelle: eigene Bilder).
- Abb. 21, S. 25:** Einzugsgebiete der Siele und Schöpfwerke in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).

- Abb. 22, S. 25:** Deichsiele und Schöpfwerke in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).
- Abb. 23, S. 26:** Organisation und Verwaltung der Gewässer, 1 = Bezirk Hamburg Mitte, 2 = Sielverband Moorwerder, 3 = Wasserverband Wilhelmsburger Osten, 4 = Wassergenossenschaft der Anlieger des Schmidtkanals auf Wilhelmsburg, 5 = Wassergenossenschaft der Anlieger des Veringkanals auf Wilhelmsburg; (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).
- Abb. 24, S. 26:** Regelwasserstände in den Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder, Stand 1998 (Datengrundlage: Amt für Wasserwirtschaft, 1998; eigene Darstellung).
- Abb. 25, S. 27:** Wasserstandsregulierung am Beispiel Siedenfelder Weg (Oberflächenwasserpegel 99422) im Jahr 2007 (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung).
- Abb. 26, S. 27:** Vergleich der Pumpratzen am Schöpfwerk Finkenriek im Vergleich zum Niederschlag der DWD Station Neuwiedenthal für den Januar 2007 (Datenquellen: LSBG Hamburg, DWD; eigene Darstellung).
- Abb. 27, S. 27:** Mittlere Oberflächenwasserstände am Pegel 99422 (Siedenfelder Weg) in Abhängigkeit von Tagesniederschlagsmengen der Station Neuwiedenthal (Datenquelle: BSU Hamburg, DWD; eigene Darstellung).
- Abb. 28, S. 28:** Hydrostratigrafischer Profilschnitt durch die Große Elbinsel (stark überhöht) (Datenquelle: BSU Hamburg, Geologisches Landesamt; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 29, S. 29:** Zusammenhang zwischen den Elbwasserständen, dem Grundwasser und den Wasserständen des Entwässerungssystems der Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder;  $\Delta h$  gibt die Wasserstands Differenz zwischen dem Grundwasser und dem Entwässerungssystem an; (eigene Darstellung Meier).
- Abb. 30, S. 30:** Einfluss (a) des Abflusses der Elbe am Pegel Neu Darchau und (b) des Elbwasserstands am Pegel Bunthaus auf die Grundwasserpotenziale der Messstellen 751 (174 m zur Elbe) und 7548 (2000 m zur Elbe); (Datenquellen: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 31, S. 30:** Einfluss des Niederschlags auf das Grundwasser an der Grundwassermessstelle 751 (174 m zur Elbe); (Datenquellen: BSU Hamburg, DWD; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 32, S. 30:** Vergleich Grundwasserstände der Grundwassermessstelle 7549 (740 m Abstand zur Elbe) und Oberflächenwasserstände am Wetterpegel 99422 (Siedenfelder Weg); (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 33, S. 31:** Grundwasserstände der Grundwassermessstellen 751 (174 m von der Elbe), 798 (1370 m von der Elbe) und 7549 (740 m von der Elbe) im Vergleich zu Elbwasserständen am Pegel Bunthaus (Tagesmittelwerte); (Datenquelle: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 34, S. 31:** Einfluss des Mittelwasserstandes (Monatsmittelwerte für 2007) der Elbe am Pegel Bunthaus auf das Grundwasser der Messstellen 751 (174 m von der Elbe) und 798 (1370 m von der Elbe); (Datenquelle: BSU Hamburg, WSV Nord; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 35, S. 31:** Grundwassergleichenpläne anhand von Monatsmittelwerten im Jahr 2007; (a) Januar, (b) Juli; (Datenquelle: BSU Hamburg; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 36, S. 32:** Bevölkerungsentwicklung 1987 - 2010 in Wilhelmsburg (Stadtteil), Bezirk Hamburg Mitte und Hamburg im Vergleich (Indexbasis 1987=100) (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).
- Abb. 37, S. 33:** Anteil der Ausländerinnen und Ausländer an der Bevölkerung in % (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).
- Abb. 38, S. 34:** Anteil der Personen mit Migrationshintergrund an der Bevölkerung (2010) (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung)
- Abb. 39, S. 34:** Anteil der Sozialwohnungen 1994 und 2010 in % an der Gesamtzahl der Wohnungen (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).
- Abb. 40, S. 35:** Anteil der Schüler in den verschiedenen Schulformen für 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Darstellung).
- Abb. 41, S. 36:** Betriebsgrößenklassen in Wilhelmsburg (Stadtteil) 2010 (Datenquelle: Handelskammer Hamburg, 2010; eigene Darstellung).

- Abb. 42, S. 37:** Anteil der Arbeitslosen (AL) an der erwerbsfähigen Bevölkerung, 1995 - 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011)
- Abb. 43, S. 39:** In Gruppen zusammengefasste Oberflächenbedeckungsarten auf der Großen Elbinsel (Datenbasis ATKIS Basis DLM aus Jahren 2007 bis 2009; eigene Darstellung Salim).
- Abb. 44, S. 39:** Prozentuale Anteile der Oberflächenbedeckungsarten in Wilhelmsburg (Stadtteil) und der Großen Elbinsel (Datenbasis: ATKIS Basis DLM 2007 bis 2009, eigene Darstellung Salim).
- Abb. 45, S. 40:** Gebäudehöhenstatistik für alle Gebäude in Wilhelmsburg (Stadtteil) und auf der Großen Elbinsel. Die Höhenangaben sind in m, die Anteile in Prozent (Datenbasis: ATKIS Basis DLM 2007 bis 2009, eigene Darstellung Salim).
- Abb. 46, S. 41:** (a) Wohnen auf dem Wasser „WaterHouses“ (IBA Hamburg GmbH / Bernadette Grimmenstein) und (b) Luftbild Wilhelmsburg-Mitte (IBA Hamburg GmbH / Falcon Crest Air).
- Abb. 47, S. 42:** Exzellenzszenario Energieatlas: Auf dem Weg zur klimaneutralen Elbinsel (IBA Hamburg GmbH).
- Abb. 48, S. 45:** Projizierte Änderungen der klimatologischen Werte für die Temperatur (K) im Jahr und in den Jahreszeiten für (a) Mitte des 21. Jahrhunderts und (b) Ende des 21. Jahrhunderts. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen. Die Abkürzungen DJF, MAM, JJA und SON stehen für die meteorologischen Jahreszeiten Dezember-Januar-Februar; März-April-Mai; Juni-Juli-August; sowie September-Oktober-November (Quelle: Rechid et al., 2014).
- Abb. 49, S. 45:** Projizierte Änderungen der klimatologischen Werte für den Niederschlag [%] im Jahr und in den Jahreszeiten für (a) Mitte des 21. Jahrhunderts und (b) Ende des 21. Jahrhunderts. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen. Die Abkürzungen DJF, MAM, JJA und SON stehen für die meteorologischen Jahreszeiten Dezember-Januar-Februar; März-April-Mai; Juni-Juli-August; sowie September-Oktober-November (Quelle: Rechid et al., 2014).
- Abb. 50, S. 47:** Simulierte Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im (a) Winter und (b) Sommer sowie projizierte Änderungen der Perzentile der Tagesmitteltemperatur für den Zeitraum 2036 - 2065 im (c) Winter und (d) Sommer und für den Zeitraum 2071 - 2100 im (e) Winter und (f) Sommer für das Gebietsmittel von Hamburg (Anmerkung: Für den Winter wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0° Werten zeigen (Quelle: Rechid et al., 2014).
- Abb. 51, S. 48:** Simulierte Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im (a) Winter und (b) Sommer sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 - 2065 im (c) Winter und (d) Sommer und für den Zeitraum 2071 - 2100 im (e) Winter und (f) Sommer für das Gebietsmittel von Hamburg (Quelle: Rechid et al., 2014).
- Abb. 52, S. 49:** Projizierte Änderungen der Anzahl (a,b) von Sommertagen (14 - 23 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum), Hitzetagen (1 - 8 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum) und Tropennächten (0,2 - 0,4 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum) sowie (c, d) von Starkniederschlagstagen (0,3 - 0,6 Tage pro Jahr in DJF; 0,2 - 0,5 Tage pro Jahr in MAM; 0,8 - 2,0 Tage pro Jahr in JJA; und 0,5 - 1,1 Tage pro Jahr in SON) für die verschiedenen Jahreszeiten jeweils dargestellt für (a, c) 2036 - 2065 und (b, d) 2071 - 2100 gegenüber 1971 - 2000. Die farbigen Balken zeigen die Bandbreite der Klimaänderungssignale aller Realisierungen eines Szenarios für die beiden Zielzeiträume. Die Markierungen zeigen die Werte der einzelnen Simulationen (Quelle: Rechid et al., 2014).
- Abb. 53, S. 50:** Schematische Darstellung des Untersuchungskonzeptes für das System Tideelbe in KLIMZUG-NORD (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 54, S. 51:** Differenz des mittleren Tidehochwassers MThw (in Schwarz) und Tideniedrigwassers MTnw (in Blau) zwischen den Simulationen mit erhöhtem Meeresspiegel +80 cm und heutigem Meeresspiegel für den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) von der Tidegrenze (Wehr Geesthacht) bis zur Mündung entlang der Fahrrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 55, S. 51 - 52:** Differenz des (a) MTh, (b) MTnw und (c) MThb zwischen den Simulationen mit 80 cm Meeresspiegelanstieg und heutigem Meeresspiegel für den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) für das Gebiet der Großen Elbinsel (eigene Darstellung BAW).

- Abb. 56, S. 52:** Differenz des Verhältnisses der mittleren, tiefengemittelten Flutstromgeschwindigkeit zur mittleren, tiefengemittelten Ebbestromgeschwindigkeit zwischen den Simulationen mit 80 cm Meeresspiegelanstieg und mit heutigem Meeresspiegel, gemittelt über den Analysezeitraum (Spring-Nipp-Zeitraum) von der Tidegrenze (Wehr Geesthacht) bis zur Mündung entlang der Fahrrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 57, S. 53:** Maximale Salzgehalte gemittelt über den letzten Spring-Nipp-Zyklus des Simulationszeitraums nach Erreichen einer quasi-stationären Lage der Brackwasserzone für das Längsprofil in Fahrrinnenmitte (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 58, S. 54:** Wasserstandszeitreihen bei (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) bei heutigem Meeresspiegel (Schwarz) und für die Meeresspiegelanstiegsszenarien 25 cm (Grün), 80 cm (in Rot) und 115 cm (Blau) für das Sturmflutszenario SF76 bei einem Oberwasserzufluss  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 59, S. 55:** Wasserstandszeitreihen bei (a) Hamburg-St. Pauli (Elbe-km 623N) und (b) Bunthaus (Elbe-km 609N) für die Szenarien zum lokalen Wind: bei beobachtetem Wind (in Schwarz) sowie einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 5 % (in Grün) und um 10 % (in Rot) bei einem Oberwasserzufluss  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  und heutigem Meeresspiegel für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 60, S. 55:** Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang der Fahrrinne der Tideelbe bei heutigem Meeresspiegel (Schwarz) und für die Meeresspiegelanstiegsszenarien 25 cm (Grün), 80 cm (Rot) und 115 cm (Blau) für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 61, S. 55:** Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang der Fahrrinne der Tideelbe bei heutigem Meeresspiegel, bei einem Meeresspiegelanstieg von 25 cm, 80 cm und 115 cm, sowie unterschiedlichem Oberwasserzufluss ( $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  in Schwarz,  $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Grün,  $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Rot,  $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  in Blau) für das Sturmflutszenario SF76 (eigene Darstellung BAW).
- Abb. 62, S. 56:** Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimawandel, dem Grundwasser und dem Entwässerungssystem (eigene Darstellung Meier).
- Abb. 63, S. 57:** Modellkette zur Quantifizierung der Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimawandel und dem oberflächennahen Grundwasser der Großen Elbinsel (eigene Darstellung Meier).
- Abb. 64, S. 58:** Mittlere Grundwassergleichen [m NHN] für den Zeitraum 1997 bis 2007 (Modellergebnis; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 65, S. 58:** Änderung der Grundwasserpotenziale der Großen Elbinsel bei einem Elbwasseranstieg von (a) 20 cm und (b) 80 cm (Modellergebnisse; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 66, S. 59:** Gesamtdrainagerate aus Grund- und Bodenwasser für die Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder und deren Änderung für verschiedene Anstiege des Elbwasserstandes (Modellergebnisse; eigene Darstellung Meier).
- Abb. 67, S. 59:** Änderungen der Drainagerate in den einzelnen Entwässerungszonen mit einem definierten Regelwasserstand bei einem stufenweisen Anstieg der Elbwasserstände (Modellergebnisse).
- Abb. 68, S. 63:** Ergebnisse des mikroskaligen numerischen meteorologischen Modells MITRAS für die prozentuale Änderung der Windgeschwindigkeit in 2,5 m über Grund durch die Neubauten in Wilhelmsburg-Mitte bei süd-westlicher Anströmung ( $235^\circ$ ). Die Änderung der Windgeschwindigkeit ist als relative Differenz zu der Windgeschwindigkeit ohne die Neubauten angegeben (Salim et al., 2013). Die Abbildung ist um  $35^\circ$  im Uhrzeigersinn gegen Nord gedreht.
- Abb. 69, S. 63:** Wahrscheinlichkeit, mit der die Windgeschwindigkeit bei süd-westlicher Anströmung einen Schwellwert von 3 m/s überschreitet in (a) der Referenzsimulation und (b) der Szenario-Simulation (Salim et al., 2013).
- Abb. 70, S. 64:** Einfluss des Gebäudeabstandes auf die urbane Ventilationswirkung, (Quelle: eigene Darstellung Kipsch, verändert nach Oke, 1992).
- Abb. 71, S. 65:** Vergleich der Auswirkungen der Umstrukturierungen auf zwei Fokusgebiete innerhalb des Modellgebiets Wilhelmsburg-Mitte (Quelle: Verändert nach Plehn, 2014).
- Abb. 72, S. 65:** Vergleich des mittleren Luftwechsels FI (in %) in den betrachteten Stadträumen mit einer Zweiteilung der eingefärbten Flächen: linke Hälfte: 10 s Zeitmittel, rechte Hälfte: 1 Stunde Zeitmittel, Anströmrichtung  $235^\circ$  (Kipsch, 2014).
- Abb. 73, S. 66:** Differenz des Luftwechsels im Nachlauf des Umstrukturierungsgebiets, als Differenz der Ventilation alte Bebauung minus neue Bebauung, Anströmrichtung  $235^\circ$  (Kipsch, 2014). Positive Werte entsprechen einer Verminderung der Durchlüftung durch die neuen Gebäude.

# Tabellenverzeichnis

- Tab. 1, S. 19:** Charakteristische Werte des Wasserstandes. 5-Jahres-Mittelwerte (2006 - 2010) des Wasserstandes in m NHN an den Pegeln St. Pauli und Bunthaus (Daten aus: DGJ, 2013), Erläuterungen zu den Abkürzungen im Glossar.
- Tab. 2, S. 21:** Abflüsse der Elbe bei Neu Darchau (Elbe-km 536) bezogen auf den Zeitraum 1926 bis 2010 (DGJ, 2013, Länderarbeitsgruppe, 1988, sowie pers. Mitteilungen WSA Lauenburg).
- Tab. 3, S. 33:** Altersstruktur der Bevölkerung im bezogen auf das Jahr 2010 (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011, eigene Tabelle).
- Tab. 4, S. 35:** Grundstücks- und Immobilienpreise 2011 in Euro/m<sup>2</sup> (Datenquelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2011; eigene Tabelle).
- Tab. 5, S. 36 - 37:** Betriebe und geschätzte Anzahl der Beschäftigten im Stadtteil Wilhelmsburg nach Wirtschaftszweigen für 2010 (Datenquelle: Handelskammer Hamburg, 2010; eigene Tabelle).
- Tab. 6, S. 61:** Änderung der Flächennutzungen im Stadtteil Wilhelmsburg gemäß des Referenz- und des Exzellenzszenarios (aus IBA, 2011).
- Tab. 7, S. 66:** Verteilung des mittleren Luftwechsels in den Stadträumen in [%], hier: 10 s Intervalle (eigene Tabelle Kipsch).



# Glossar

## A

**Albedo:** Ein Maß für das Rückstreuvermögen einer Oberfläche für Sonnenlicht. Eine Oberfläche mit erhöhter Albedo reflektiert mehr Sonnenlicht und erwärmt sich daher weniger stark als eine Oberfläche mit niedriger Albedo.

**Anpassung an den Klimawandel:** Initiativen und Maßnahmen, um die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung zu verringern.

**Arbeitslose:** „(...) Als arbeitslos werden gemäß § 16 des Sozialgesetzbuches (SGB III) Personen gezählt, die vorübergehend nicht in einem Beschäftigungsverhältnis stehen oder weniger als 15 Wochenstunden erwerbstätig sind, eine versicherungspflichtige Beschäftigung suchen und den Vermittlungsbemühungen zur Verfügung stehen. Teilnehmerinnen und Teilnehmer an Maßnahmen der aktiven Arbeitsmarktpolitik gelten nicht als arbeitslos. Die Quoten für die Arbeitslosen sind nicht – wie sonst üblich – auf die Erwerbspersonen, sondern ersatzweise auf die Bevölkerung im Alter von 15 bis unter 65 Jahren bezogen, da aktuelle Erwerbspersonenzahlen für die Stadtteile nicht verfügbar sind. Als Bezugsgröße für die Anteile der jüngeren und älteren Arbeitslosen dienen ebenfalls die entsprechenden Altersgruppen der Bevölkerung.“ Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2014): Anmerkungen und Quellenangaben zur Stadtteil-Datenbank. [<http://www.statistik-nord.de/fileadmin/regional/anmerkungen.htm>, 28.02.2014]

**Ausländische Bevölkerung:** Ausländer/innen sind gemäß Statistischem Bundesamt Personen, die nicht Deutsche im Sinne des Artikels 116 Absatz 1 des Grundgesetzes sind. Dazu zählen auch Staatenlose und Personen mit ungeklärter Staatsangehörigkeit. Ausländer/innen gehören zu den Personen mit Migrationshintergrund. Sie können in Deutschland geboren oder zugewandert sein.

## B

**BIAS / BIAS-Korrektur:** Systematische Abweichungen (BIAS ist der mittlere Fehler). Fehler der Modelldaten von Beobachtungsdaten werden mit einem Korrekturverfahren angepasst. Danach besitzen die Modellergebnisse ähnliche statistische Eigenschaften wie die Beobachtungsdaten.

## C

**CLM:** Auf Grundlage des Lokal-Modells des Deutschen Wetterdienstes (DWD), von der HZG, dem PIK Potsdam und der BTU Cottbus entwickeltes regionales Klimamodell.

## D

**Deckschicht:** Im Naturraum Elbmarsch wird der obere Grundwasserleiter von holozänen Sedimenten bzw. von vor Ort entstandenen Substraten überlagert, die unter dem Begriff „Marschenablagerungen“ zusammengefasst werden. Bei diesen Sedimenten handelt es sich um Klei (Ton-Schluff-Gemenge) und Torf. Sowohl Klei als auch Torf weisen eine geringe hydraulische Leitfähigkeit auf. In der Grundwasserhydrologie wird auch von Grundwasserüberdeckung gesprochen (DIN 4049-3).

## E

**ECHAM5-MPIOM:** Am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg auf Grundlage des globalen Wettervorhersagemodells des ECMWF entwickeltes globales Klimamodell ECHAM5 gekoppelt mit dem am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelten Ozean und Meereismodell MPIOM.

**Emissionsszenarien:** Die im Rahmen von KLIM-ZUG-NORD verwendeten Klimasimulationen basieren auf den im „Special Report on Emission Scenarios“ (SRES) publizierten Szenarien B1, A1B und A2 zur möglichen Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen im 21. Jahrhundert. Den Emissionsszenarien liegen unterschiedliche Annahmen zu plausiblen Pfaden globaler sozioökonomischer und technischer Entwicklungen zugrunde. Das A1B Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer Technologien sowie einem ausgewogenen Energieverbrauch aus erneuerbaren und fossilen Energiequellen aus. Im B1 Szenario werden rasche Konvergenz der Volkswirtschaften sowie ein schneller Übergang zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft angenommen. Der Ressourcenverbrauch wird reduziert. Die Treibhausgasemissionen sind niedriger als im A1B Szenario. Das A2 Szenario geht von sehr heterogenen Volkswirtschaften und einer stark steigenden Weltbevölkerung aus. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung sind langsamer als im A1B und B1 Szenario. Die Treibhausgasemissionen sind zur Mitte des 21. Jahrhunderts ähnlich, gegen Ende des 21. Jahrhunderts höher als im A1B Szenario.

## G

**Große Elbinsel:** Inseln im Stromspaltungsgebiet der Elbe, die gemeinsam von der Norderelbe und Süderelbe umschlossen sind. Auf ihr befinden sich die Stadtteile Veddel, Steinwerder, Kleiner Grasbrook und Wilhelmsburg (Abbildung 1).

**Grundwasserpotenzial:** Das Grundwasserpotenzial wird auch als Standrohrspiegelhöhe bezeichnet und gibt den Wasserspiegel an, der sich in einem im Grundwasserleiter verfilterten Rohr einstellt. Ist das Grundwasser frei und wird nicht von einer gering durchlässigen Schicht begrenzt, dann entspricht die Standrohrspiegelhöhe der Grundwasser Oberfläche und der Druck an dieser Oberfläche dem atmosphärischen Druck. Ist das Grundwasser gespannt, also von einer gering durchlässigen Schicht begrenzt, steigt das Wasser im Rohr über die Grenzfläche der beiden Gesteinsschichten hinaus an. Der Wasserstand im Rohr liegt dann oberhalb der Grundwasser Oberfläche und der Druck an dieser Oberfläche entspricht der Summe aus geodätischer Höhe und der Druckhöhe, die sich aus der überstehenden Wassersäule ergibt.

## H

**Hitzetag:** Tag mit einer maximalen Temperatur größer gleich 30 °C.

**HThw:** Höchstes Tiedehochwasser (Thw) während der betrachteten Zeitspanne.

**HZG:** Helmholtz-Zentrum Geesthacht

## I

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen), oftmals auch als Weltklimarat bezeichnet. 1988 wurde der IPCC vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ins Leben gerufen. Hauptaufgabe des IPCC ist es, Risiken der globalen Erwärmung zu beurteilen sowie Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zusammenzutragen.

## K

**Kelvin (K):** Basiseinheit der absoluten Temperatur (nach dem Internationalen Einheitensystem SI). Die absolute Temperatur, auch thermodynamische Temperatur, ist eine Temperaturskala, die sich auf den physikalisch begründeten absoluten Nullpunkt bezieht, welcher bei -273,15 °C liegt. Zudem wird Kelvin zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet. Das Kelvin ist so definiert, dass die Differenz zwischen zwei Temperaturwerten von einem Kelvin und einem Grad Celsius gleich groß sind (eine Temperaturänderung von 4 °C auf 5 °C entspricht genau einem Kelvin). Temperaturänderungen werden in Deutschland nach DIN 1345 in Kelvin angegeben, allerdings ist auch die Verwendung von Grad Celsius erlaubt.

**Klima:** Klima ist die statistische Beschreibung der physikalischen Zustände der Atmosphäre über einen zur Charakterisierung notwendig hinreichend langen Zeitraum (nach der Weltorganisation für Meteorologie WMO 30 Jahre); es wird charakterisiert durch die statistische Verteilung (z. B. Mittelwerte, Häufigkeitsverteilungen, Extremwerte) meteorologischer Parameter (z. B. Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Strahlung, Wolkenbedeckung, Wind). Im Gegensatz zum Wetter wird das Klima durch physikalische, biologische und chemische Prozesse im gesamten Klimasystem bestimmt.

**Klimaänderung:** Klimaänderung liegt vor, wenn sich die Lage und/oder die Form der Häufigkeitsverteilung (also z.B. Mittelwert und/oder extreme Werte) von Klimaparametern signifikant verändern (siehe Klimavariabilität).

**Klimaindizes:** Klimaindizes sind aus Klimaelementen wie zum Beispiel Temperatur und Niederschlag abgeleitete Kennwerte, die Zustand und Veränderungen des Klimasystems beschreiben. Ein Klimaindex beschreibt jeweils nur einen Aspekt des Klimas. Es gibt eine Vielzahl von Klimaindizes für verschiedene Fragestellungen (z.B. Sommer-tag). Teilweise existieren ähnliche oder identische Bezeichnungen für unterschiedliche Definitionen. Deshalb ist die Definition immer mit anzugeben.

**Klimamodell:** Ein Klimamodell bezeichnet hier eine vereinfachte Nachbildung des Klimasystems, die auf den physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in seinen Komponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Pedosphäre und Biosphäre und ihren Wechselwirkungen basiert. Das Klimasystem kann von Modellen unterschiedlicher Komplexität dargestellt werden, d.h. für jeden Bestandteil oder eine Kombination von Bestandteilen kann ein Modellspektrum oder eine Modellhierarchie bestimmt werden, die sich in Aspekten unterscheidet wie der Anzahl der räumlichen Dimensionen, dem Ausmaß, in welchem physikalische, chemische oder biologische Prozesse explizit dargestellt werden, oder bis zu welchem Grad empirische Parametrisierungen verwendet werden. Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodelle gekoppelt mit Land, Boden und Biosphäre - sogenannte Erdsystemmodelle - bieten die bislang umfassendste Darstellung des Klimasystems. Klimamodelle werden als Forschungsinstrument verwendet, um das Klima zu untersuchen und Klimaprojektionen zu erstellen, aber auch für operationelle Zwecke, einschließlich monatlicher, saisonaler und jahresübergreifender Klimaprognosen.

**Klimaprojektion:** Klimaprojektionen sind Abbildungen möglicher Klimaentwicklungen für die nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte auf der Grundlage verschiedener Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung, der menschlichen Kultur, der Technologie und der Wirtschaft und daraus folgender Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre. Sie basieren meist auf Klimamodellsimulationen, die ausgehend von unterschiedlichen realistischen Ausgangsbedingungen für ein bestimmtes Emissionsszenario mehrere gleich wahrscheinliche Entwicklungen (siehe Realisierung) des Klimas abbilden.

**Klimavariabilität:** Klimavariabilität bezeichnet die zeitlichen und räumlichen Schwankungen des Klimas um einen mittleren Zustand herum. Es werden freie (interne) und erzwungene (externe) Klimaschwankungen unterschieden. Interne Schwankungen im Klimasystem können durch Wechselwirkungen innerhalb eines Subsystems (z. B. Atmosphäre) oder Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Subsystemen (z. B. zwischen Atmosphäre und Ozean) auftreten. Externe Schwankungen können natürliche Ursachen haben, wie z. B. Erdrotation, Neigung der Erdoberfläche, solare Variabilität, Vulkaneruptionen oder auf sehr langen Zeitskalen die Kontinentaldrift. Zum anderen können sie anthropogenen Ursprungs sein, wie durch Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen in die Atmosphäre oder Änderungen von Landnutzung und Landmanagement.

**Klimawandel:** Das Klima befindet sich in einem ständigen Wandel. Warm- und Kaltzeiten haben sich im Laufe der Erdgeschichte abgelöst und unterschiedliche klimatische Bedingungen auf der Erde geschaffen. Man unterscheidet zwischen dem natürlichen Klimawandel und dem anthropogenen (vom Menschen verursachten) Klimawandel.

## L

**Leistungsempfänger:** Definition Leistungsempfänger: „Am 1. Januar 2005 wurden die Arbeitslosenhilfe und die Sozialhilfe von einer neuen Sozialleistung abgelöst, der Grundsicherung für Arbeitslose, auch Hartz IV genannt. Nach den Regelungen im SGB II erhalten erwerbsfähige Hilfebedürftige Arbeitslosengeld II, nicht erwerbsfähige Hilfebedürftige Sozialgeld, wenn in ihrer Bedarfsgemeinschaft mindestens ein erwerbsfähiger Hilfebedürftiger lebt. Zu den Leistungsempfängerinnen und -empfänger zählen die Bezieherinnen und Bezieher von Arbeitslosengeld II und Sozialgeld. Die Anzahl der Leistungsempfängerinnen und -empfänger ist daher deutlich höher als die der Arbeitslosen.“ Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2014): Anmerkungen und Quellenangaben zur Stadtteil-Datenbank. [<http://www.statistik-nord.de/fileadmin/regional/anmerkungen.htm>, 28.02.2014]

## M

**Marsch:** Durch Sedimentation entstandene Flächen entlang der Ästuare und Meeresküsten. Es kann unterschieden werden in eingedeichte Marschen, die besiedelt sind und meist landwirtschaftlich genutzt werden, und vor dem Deich liegende Marschen, die häufig keiner Nutzung unterliegen. In der Bodenkunde bezeichnet der Begriff Marsch eine unter Einfluss der Gezeiten entstandene Bodenklasse.

**METRAS:** Mesoskaliges Transport- und Strömungsmodell. Ein allgemein verfügbares numerisches Atmosphärenmodell, dessen Entwicklung am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg koordiniert wird.

**MHThw:** Arithmetisches Mittel der höchsten Tidehochwasser (Thw) der einzelnen Jahre über die betrachteten Zeitspanne.

**Migrationshintergrund:** „Zu der Bevölkerung mit Migrationshintergrund gehören die ausländische Bevölkerung sowie alle ab 1950 außerhalb Deutschland Zugewanderte unabhängig von ihrer Nationalität. Dazu zählen auch die in Deutschland geborenen eingebürgerten früheren Ausländerinnen und Ausländer sowie in Deutschland Geborene mit deutscher Staatsangehörigkeit, bei denen sich der Migrationshintergrund aus der Migrationserfahrung der Eltern oder eines Elternteils ableitet. Außerdem gehören zu dieser Gruppe seit 2000 auch die (deutschen) Kinder ausländischer Eltern, die die Bedingungen für das Optionsmodell erfüllen. Nicht zur Bevölkerung mit Migrationshintergrund zählen Flüchtlinge und Vertriebene in Folge des Zweiten Weltkriegs.“ Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2014): Anmerkungen und Quellenangaben zur Stadtteil-Datenbank. [<http://www.statistik-nord.de/fileadmin/regional/anmerkungen.htm>, 28.02.2014]

**MITRAS:** Mikroskaliges Transport- und Strömungsmodell. Ein allgemein verfügbares numerisches Atmosphärenmodell für die gebäudeauflösende Skala, dessen Entwicklung am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg koordiniert wird.

**Modellgebiet:** Ein Modellgebiet ist ein räumlicher Rahmen, in dem losgelöst von der gewohnten Praxis neue Konzepte, Sach- oder Verfahrenslösungen entwickelt und erprobt werden. Innovation wird dadurch erleichtert, dass die Gebiete als „einmalig“, „befristet“ oder „modellartig“ eingestuft werden. Wenn die Neuerung gelingt, setzen die Modellgebiete als Best-Practice neue Maßstäbe. In KLIMZUG-NORD repräsentieren die Modellgebiete unterschiedliche Raumtypen, an denen exemplarisch die Betroffenheit durch den Klimawandel untersucht wird. Interdisziplinär im KLIMZUG-NORD-Forschungsverbund und transdisziplinär in Kooperation mit Akteuren vor Ort wird in den Modellgebieten an Lösungen für eine klimaangepasste Entwicklung gearbeitet. Diese umfassen Konzepte, Strategien, Verfahren, Maßnahmen, etc. Abschließende Berichte aus den Modellgebieten beziehen Position zum Aspekt der Übertragbarkeit. Der vorliegende Bericht betrachtet als Modellgebiet die Große Elbinsel oder Teile davon (Stadtteil Wilhelmsburg, Gemarkungen Wilhelmsburg und Moorwerder). Im Text wird auf den lokalen Bezug hingewiesen.

**MThb:** Mittlerer Höhenunterschied zwischen Thw und den beiden benachbarten Tnw, arithmetisch gemittelt über die betrachtete Zeitspanne.

**MThw:** Höchster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinander folgenden Tnw, arithmetisch gemittelt über die betrachtete Zeitspanne.

**MTmw:** Wasserstand der waagerechten Schwerlinie einer Tidekurve, arithmetisch gemittelt über die betrachtete Zeitspanne.

**MTnw:** Niedrigster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinander folgenden Thw, arithmetisch gemittelt über die betrachtete Zeitspanne.

**MNThw:** Arithmetisches Mittel der niedrigsten Thw der einzelnen Jahre über den betrachteten Zeitraum.

**MNTnw:** Arithmetisches Mittel der niedrigsten Tnw der einzelnen Jahre über die betrachtete Zeitspanne.

## N

**NHN:** Normalhöhennull

**NTnw:** Niedrigstes Tnw während der betrachteten Zeitspanne.

**NThw:** Niedrigstes Thw während der betrachteten Zeitspanne.

## O

**Oberflächenbedeckungen:** Eingabedaten für das numerische, meteorologische Modell METRAS. Diese sind charakterisiert durch die physikalischen Parameter Albedo, thermische Diffusivität, thermische Leitfähigkeit, Wasserverfügbarkeit, potenzielle Wasseraufnahmefähigkeit sowie die Rauigkeit. Die Oberflächenbedeckungen sind abgeleitet aus den Landnutzungen. Beispielsweise wird Einfamilienhausbebauung u.a. aufgeteilt in die Oberflächenbedeckungen niedrige Häuser, versiegelte Fläche, Laubbäume, Büsche, kurzes Gras.

**Oberwasserzufluss:** Abfluss an der Tidegrenze eines Wasserlaufes (DIN 4049-3).

## P

**Perzentil:** Perzentile dienen dazu, die Verteilung einer großen Anzahl von Datenpunkten zu untersuchen. Der Wert des *i*. Perzentils ist dabei so definiert, dass *i* Prozent der Daten kleiner sind als der Wert des *i*. Perzentils. Beispiele: das 1. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter in Hamburg beträgt ca. -8 °C. Das bedeutet, dass 1 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als -8 °C haben. Das 40. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter beträgt ca. 0 °C. Daher haben 40 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als 0 °C.

## R

**Realisierung:** Unter der Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios können mehrere Klimasimulationen erstellt werden, die sich nur in den Anfangsbedingungen unterscheiden und gleich wahrscheinliche Entwicklungen des Klimas projizieren. Diese werden hier als Realisierung bezeichnet. Die Unterschiede in den zeitlichen Entwicklungen des Klimas beruhen auf interner Klimavariabilität.

**Redundanz:** Hier: Das Sichern des Weiterbestehens eines Systems bei Ausfall einer Komponente durch Verknüpfen sich ergänzender Komponenten.

**REMO:** Am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickeltes regionales Klimamodell, welches auf dem Europa Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) basiert.

## S

**Sommertag:** Tag mit einer Höchsttemperatur größer / gleich 25 °C.

**SRES-Szenarien:** siehe Emissionsszenarien

**Stack:** Steinwälle, die senkrecht zum Ufer gebaut werden, um die Strömung abzuhalten.

**Städtische Wärmeinsel:** Meteorologisches Phänomen, welches die gegenüber dem ländlichen Umland höheren Temperaturen in der Stadt beschreibt. Eine Stadt speichert durch die Gebäude und die versiegelten Flächen die Sonneneinstrahlung des Tages in Form von Wärme. Die Wärme wird in der Nacht wieder abgegeben. Das Phänomen tritt vor allem in den Abend- und Nachtstunden auf.

**Stadtklima:** Als Stadtklima wird das in einer Stadt gegenüber dem Umland veränderte Lokalklima bezeichnet. Die Bebauung, die Emission von Luftschadstoffen und die Abwärme können in Städten zu gegenüber dem Umland erhöhten Temperaturen und Schadstoffkonzentrationen, reduzierten Luftfeuchtigkeiten und Windgeschwindigkeiten sowie erhöhter Böigkeit führen.

**Starkniederschlag:** Niederschlagsereignisse welche zu einem Tagesniederschlag höher als das 95. Perzentil der Tagesniederschläge an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag in der jeweiligen Jahreszeit führen (ca. 15 mm/Tag im Winter und ca. 20 mm/Tag im Sommer). Der Begriff Starkniederschlag wird allerdings je nach Anwendung unterschiedlich definiert (z.B. auf Stundenbasis).

**Starkniederschlagstag:** Tag mit Niederschlagssumme größer gleich 20 mm.

**Sturmflut:** Durch starken Wind verursachtes Ansteigen des Wassers an den Meeresküsten und in den Flussmündungen im Küstengebiet, bei dem die Wasserstände einen bestimmten (festgelegten) Wert überschreiten (DIN 4049-3).

**Sturmflutscheitelwasserstand:** Höchster im Sturmflutzeitraum aufgetretener Wasserstand.

## T

**Tidehochwasser Thw:** Höchster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tnw (DIN 4049-3).

**Tidekurve:** Ganglinie der Wasserstände im Tidegebiet an einem bestimmten Ort über mindestens eine Tidedauer.

**Tideniedrigwasser Tnw:** Niedrigster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Thw (DIN 4049-3).

**Treibhausgase:** Gase in der Atmosphäre (natürlichen und anthropogenen Ursprungs), die einen Teil der langwelligen Ausstrahlung der Erdoberfläche absorbieren und entsprechend ihrer Temperatur langwellige Strahlung emittieren. Der zur Erdoberfläche gerichtete Anteil erwärmt als atmosphärische Gegenstrahlung die Erdoberfläche. Diese Eigenschaft verursacht den Treibhauseffekt. Wasserdampf, Kohlendioxid, Lachgas, Methan und Ozon sind die Haupttreibhausgase in der Erdatmosphäre. Außerdem gibt es eine Anzahl von ausschließlich vom Menschen produzierten Treibhausgasen in der Atmosphäre, wie die Halogenkohlenwasserstoffe und andere chlor- und bromhaltige Substanzen. Die von Menschen in die Atmosphäre emittierten Treibhausgase verursachen den zusätzlichen sogenannten anthropogenen Treibhauseffekt.

**Tropennacht bzw. Tropentag:** Hier verwendeter Klimaindex als Tag (bzw. Nacht), an dem (bzw. in der) die bodennahe Lufttemperatur 20 °C nicht unterschreitet.

## V

**Versiegelung:** Durch Wohn-, Industrie- und Verkehrsbauten wasserundurchlässig befestigte Flächen.

**Verwundbarkeit, Verletzlichkeit, Vulnerabilität:** Bezeichnet die Anfälligkeit eines Systems für Schädigungen durch den Klimawandel. Faktoren sind u.a. Empfindlichkeit und Anpassungskapazität des jeweiligen Systems.

## W

**Wärmeinselintensität:** Maß für die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland. Dieses kann auf verschiedene Weise definiert werden. In diesem Bericht wird sie als Differenz zwischen den Temperaturen in Hamburg und den Temperaturen an den Umlandstationen des Deutschen Wetterdienstes Grambek und Ahrensburg definiert.

**Wetter:** Das Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort und wird charakterisiert durch messbare Parameter wie z. B. Lufttemperatur, Luftdruck und Niederschlag.

**Wettern:** Wettern sind Hauptentwässerungsgräben, die ständig Wasser führen.

**Wilhelmsburg (Gemarkung):** Gemarkung innerhalb von Wilhelmsburg (Stadtteil).

**Wilhelmsburg-Mitte:** Teil von Wilhelmsburg (Gemarkung), der in fußläufiger Nähe zur S-Bahn Station Wilhelmsburg liegt.

**Wilhelmsburg (Stadtteil):** liegt gemeinsam mit den Stadtteilen Veddel, Steinwerder und Kleiner Grasbrook auf der großen Elbinsel (Abb. 1).

# Literaturverzeichnis

- Amt für Wasserwirtschaft (1998): Wasserwirtschaftlicher Regionalplan – Erläuterungsbericht Hamburg, Baubehörde Hamburg.
- Amt für Wasserwirtschaft (1998): Wasserwirtschaftlicher Regionalplan (Karte). s.l.: Baubehörde Hamburg.
- BAW (2002): Tideunabhängige Kennwerte des Wasserstandes. Bericht. Bundesanstalt für Wasserbau - Dienststelle Hamburg. Siehe BAWiki unter URL: <http://www.baw.de>.
- Bechtel, B., Schmidt, K.J. (2011): Floristic mapping data as a new proxy for the mean urban heat island. *Climate Research* 49: 45 - 58.
- Becker, P. (2011): Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung – wo stehen wir? Tagungsband 2. KLIWAS – Statuskonferenz.
- Bezirksamt Harburg als Wasserbehörde (2001): Wasserrechtliche Erlaubnis Nr. V 5/00. s.l. : Freie und Hansestadt Hamburg.
- BJG Behörde für Justiz und Gleichstellung der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2013): Wasserstände für die Planung öffentlicher Hochwasserschutzanlagen. Amtlicher Anzeiger Teil II des Hamburgischen Gesetz- und Verordnungsblattes. Nr. 63. S. 1282.
- Boehlich, M. J. (2003): Tidedynamik der Elbe. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau* Nr. 86, S. 55 - 60.
- Boehlich, M. J. und Strotmann, T. (2008): The Elbe-Estuary. *Die Küste* Heft 74, S. 288 - 306.
- BSU Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2012): Hochwasserschutz in Hamburg. Senat beschließt neue Bemessungswasserstände für öffentliche Hochwasserschutzanlagen in Hamburg. Pressemitteilung 16. Oktober 2012.
- Buss, T. (2012): Küstenschutzbauwerke - wie sich die Stadt in Zukunft gegen Sturmfluten schützt. In: Hötte, H. (Hrsg.): *Die große Flut - Katastrophe, Herausforderung, Perspektiven*. Hamburg und die Sturmflut 1962. Landeszentrale für politische Bildung Hamburg.
- Cappel, A.; Kalb, M. (1976): Das Klima von Hamburg: Analyse f001. Wasserrechtliche Erlaubnis Nr. V 5/00. s.l.: Frei, Offenbach/M: Deutscher Wetterdienst.
- Casulli, V. und R. A. Walters (2000): "An unstructured, three dimensional model based on the shallow water equations", *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 32, S. 331 - 348.
- d\*Ing-Planung (2004): *Stadtumbau West* – in Hamburg Wilhelmsburg, 1. Hamburg.
- DGJ (2013): *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch - Elbegebiet, Teil III, Untere Elbe ab der Havelmündung, Abflussjahr 2010*. Freie und Hansestadt Hamburg - Hamburg Port Authority AöR.
- DIN 4049-3 (1994): *Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Dücker, H.-P., Witte, H.-H., Glindemann, H., Thode, K. (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. *HANSA International Maritime Journal* - 143. Jahrgang 2006 - Nr. 7, S. 76 - 84.
- Ehlers, J. (1993): *Geologische Karte von Hamburg 1:25 000 - Blatt 2526 Allermöhe*. s.l. : Freie und Hansestadt Hamburg.
- Feseker, T. (2007): Numerical studies on saltwater intrusion in a coastal aquifer in northwestern Germany. *Hydrogeology Journal* 15: 267 - 279.
- Fickert, M.; Strotmann, T. (2007): Hydrodynamische Entwicklung der Tideelbe. In *Beiträgen der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“*, 26.-28.04.2007 in Hamburg. EUGC Coastline Reports, Heft 9, S. 59 - 68.
- Freie und Hansestadt Hamburg & Hamburg Port Authority (HPA) (2010): *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Elbegebiet Teil 3 2006. Untere Elbe ab der Havelmündung*.
- Fröhlich, J., Knieling, J., Schaerffer, M., Zimmermann, T. (2011): Instrumente der regionalen Raumordnung und Raumentwicklung zur Anpassung an den Klimawandel. In: *HafenCity Universität Hamburg (Hrsg.): neopolis working papers: urban and regional studies no. 10*. URL: [http://www.hcu-hamburg.de/fileadmin/documents/neopolis\\_no\\_10\\_Instrumente\\_regionale\\_Raumordnung\\_Entwicklung\\_Anpassung\\_Klimawandel\\_01.pdf](http://www.hcu-hamburg.de/fileadmin/documents/neopolis_no_10_Instrumente_regionale_Raumordnung_Entwicklung_Anpassung_Klimawandel_01.pdf) [03.01.2014]

- Gandemer, J. (1978): Discomfort due to wind near buildings: aerodynamic concepts., Washington: Dept. of Commerce, National Bureau of Standards.
- Gaslikova, L. (2011): Water level scenarios for the German Bight. Status report, Themenfeld1-Treffen KLIMZUG-NORD, TU Hamburg-Harburg vom 04.10.2011.
- Gaslikova L., Grabemann I., Groll N. (2013): Changes in North Sea storm surge conditions for four transient future climate realizations. Nat Haz. DOI: 10.1007/s11069-012-0279-1
- Gönnert, G., Isert, K., Giese, H., Plüß, A. (2004): Charakterisierung der Tidekurve, Die Küste, Heft 68, S. 99 - 142.
- Gönnert, G., Pflügler, B., Bremer, J. (2007): Von der Geoarchäologie über die aktuelle Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement. Beiträge der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“, 26.-28.4.2007 in Hamburg. EUCC Coastline Reports Heft 9.
- Gönnert, G. und Lehmann, H.-A., (2007): Riskmanagement in Hamburg as an example for Germany. In: Krishnamurthy, R. et al.: Integrated Coastal Zone Management. Present Global Scenario. Delhi, India.
- Gönnert, G., von Storch, H., Jensen, J., Thumm, S., Wahl, T., Weisse, R. (2009): Der Meeresspiegelanstieg - Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung, Die Küste, Heft 76, S. 225 - 256.
- Grawe D., Thompson H.L., Salmond J.A., Cai X.-M., Schlünzen K.H. (2013): Modelling the impact of urbanisation on regional climate in the Greater London Area. Int. J. Climatol. 33: 2388-2401. DOI: 10.1002/joc.3589
- Groß, G., Funk, D. (2012): Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg: Kliamaanalyse und Klimawandelszenario 2050. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg.
- Hamburgische Investitions- und Förderbank (2012): Wohnen für Studierende und Auszubildende in Wilhelmsburg. Förderrichtlinie zur Förderung des Wohnens in Wilhelmsburg für Studierende und mit Wirkung vom 1. September 2012 für Auszubildende. Gültig vom 1. Januar 2011 bis 31. Dezember 2015. URL: [http://www.ifbhh.de/fileadmin/pdf/IFB\\_Download/IFB\\_Foerderrichtlinien/FoeRi\\_Stud-Azubi-Wohnen-Wilhelmsburg.pdf](http://www.ifbhh.de/fileadmin/pdf/IFB_Download/IFB_Foerderrichtlinien/FoeRi_Stud-Azubi-Wohnen-Wilhelmsburg.pdf) [28.02.1014]
- Handelskammer Hamburg (2004): Leben und Arbeiten im Herzen Hamburgs – Die Entwicklungsperspektive der Elbinsel. 48 S. URL: <http://perspektiven-elbinseln.de/wp-content/uploads/2013/10/HandelskammerEntwicklungsperspektiven2004.pdf> [08.05.2014]
- Handelskammer Hamburg (2010): Unternehmensdatenbank. URL: <http://fitnord.ihk.de/sites/fitnd/welcome.aspx> [08.05.2014]
- He, X. (2014): Systematische Windkanalversuche zur Ableitung von Stadtplanungsempfehlungen für Stadtstrukturen mit optimal belüfteten Fußgängerbereichen., Masterarbeit, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg.
- Heinrich, H., Klein, B., Ganske, A., Hüttl-Kabus, S., Möller, J., Schade, N., Klein, H., Rosenhagen, G., Tinz, B., Mikolajewicz, U., Sein, D. (2011): Aktueller Stand der Meeresspiegel-Projektionen für das nordwesteuropäische Schelf: Erste Ergebnisse, regionale und globale Unwägbarkeiten, Handlungsauswirkungen. Tagungsband 2. KLIWAS - Statuskonferenz.
- Hoffmann, B., Meckelburg, M. u. Meinken, M. (2005): Folgen einer Klimaänderung für den Grund- und Bodenwasserhaushalt der Unterwesermarsch. [Buchverf.] Bastian Schuchardt und Michael Schirmer. Klimawandel und Küste. s.l. : Springer.
- Hoffmann P., Krueger O., Schlünzen K.H. (2011): A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario. Int. J. Climatol. DOI: 10.1002/joc.2348
- Hollweg, H.D., U. Böhm, I. Fast, B. Hennemuth, K. Keuler, E. Keup-Thiel, M. Lautenschlager, S. Legutke, K. Radtke, B. Rockel, M. Schubert, A. Will, M. Woldt, and C. Wunram, (2008): Ensemble simulations over Europe with the regional climate model CLM forced with IPCC AR4 global scenarios. M&D Technical Report No. 3, 152 S.
- Hötte, H. (Hrsg.) (2012): Die große Flut – Katastrophe, Herausforderung, Perspektiven. Begleitbuch zu den Ausstellungen im Hamburger Rathaus und im Museum für Hamburgische Geschichte aus Anlass des 50. Jahrestages der Sturmflut vom Februar 1962. 152 S. ISBN: 978-3-929728-72-9.
- IBA Hamburg (2009): Bildungsoffensive Elbinseln Rahmenkonzept. URL: [http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/K10\\_bildungsoffensive/boe\\_0901\\_Rahmenkonzept.pdf](http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/K10_bildungsoffensive/boe_0901_Rahmenkonzept.pdf) [28.02.2014]
- IBA Hamburg (Hrsg.) (2010): ENERGIEATLAS. Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg. Jovis Verlag Berlin.



- IBA (2011): Endbericht – Energetische Optimierung des Modellraumes IBA Hamburg. Hamburg.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet - Ein geographischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- Immerzeel, W. W., van Heerwaarden, C. C. und Droogers, P. (2009): Modelling climate change in a Dutch polder system using the FutureViewR modelling suite. *Computer & Geoscience*. 35, S. 446 - 458.
- Internationale Bauausstellung IBA Hamburg (2010): Energieatlas: Zukunftskonzept erneuerbares Wilhelmsburg. Berlin: Jovis.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2001): Third Assessment Report „Climate Change 2001“ – Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Isyumov, N, Helliwell, S, Rosen, S, and Lai, D. (1995): Winds in Cities: Effects on Pedestrians and the Dispersion of Ground Level Pollutants., in NATO ASI Series, Wind Climate in Cities, J. E. Cermak, A. G. Davenport, E. J. Plate, and D. X. Viegas, Eds.: Springer Netherlands, S. 319 - 335.
- Jacob, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 77, 61 - 73.
- Jacob, D. (2005): REMO climate of the 20thcentury-run, UBA project, 0.088 degree resolution, run no. 006210, 1hdata, World Data Centre for Climate. URL: [http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO\\_UBA\\_C20\\_1\\_R006210\\_1H](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_C20_1_R006210_1H) [08.05.2014]
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz, and K. Sieck (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland mit dem Klimamodell REMO. Forschungsbericht 204 41 138 Teil 2, i.A. des UBA Dessau, 159 S.
- Jacob, D., K. Bülow, L. Kotova, C. Moseley, J. Petersen, D. Rechid (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland (2012) Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. CSC Report.
- Jacob, D., E. Nilson, L. Tomassini, K. Bülow (2009): REMO climate of the 20thcenturyrun, BFG project, 0.088 degree resolution, runno.2, 1hdata, World Data Center for Climate. URL: [http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO\\_BFG\\_C20\\_1H](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_BFG_C20_1H) [08.05.2014]
- Jungclaus, J.H., N. Keenlyside, M. Botzet, H. Haak, J.-J. Luo, M. Latif, J. Marotzke, U. Mikolajewicz, and E. Roeckner (2006): Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM. *J. Climate*.19: 3952-3972.
- Keuler, K., M. Lautenschlager, C. Wunram, E. Keup-Thiel, M. Schubert, A. Will, B. Rockel, and U. Boehm (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Centre for Climate. DOI:10.1594/WDCC/CLM\_C20\_2\_D2
- Keuler, K., M. Lautenschlager, C. Wunram, E. Keup-Thiel, M. Schubert, A. Will, B. Rockel, and U. Boehm (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.3, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Centre for Climate. DOI:10.1594/WDCC/CLM\_C20\_3\_D2
- Kipsch, F. (2014): Systematische Windkanaluntersuchungen zur Charakterisierung des Einflusses der urbanen Bebauungsstruktur hinsichtlich der Stadtdurchlüftung. Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg. Meteorologisches Institut, Department Geowissenschaften, in Vorbereitung.
- Knieling, J., Fröhlich, J., Greiving, S., Kannen, A., Morgenstern, N., Moss, T., Ratter, B. M. W., Wickel, M. (2011): Planerisch-organisatorische Anpassungspotenziale an den Klimawandel. In: Storch, H. von, Claussen, M. (Hrsg.): Klimabericht für die von Metropolregion Hamburg. Berlin (u.a.): Springer, S. 231 - 270.
- Kolokotsa, D., Psomas, A., Karapidakis, E. (2009): Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. *Solar Energy*, 83, 1871 - 1883.
- Kosow, H., Graßner, R. (2008): Methods of future and scenario analysis – overview, assessment and selection criteria. DIE Research Project “Development Policy: Questions for the Future”, Bonn. Länderarbeitsgruppe (1988): Bemessungswasserstände entlang der Elbe - Bericht einer Länderarbeitsgruppe. *Die Küste*, 47. S. 31 - 50.
- Koss, H. H. (2006): On differences and similarities of applied wind comfort criteria. In: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 94 (11), S. 781-797. DOI: 10.1016/j.jweia.2006.06.005

- Kruse, E.; Zimmermann, T.; Kittel, A.; Dickhaut, W. Knieling, J. Sörensen, C. (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 2, TuTech Verlag, Hamburg. ISBN: 978-3-941492-68-4.
- Kwadijk, J.C.J., Haasnoot, M., Mulder, J.P.M., Hoogvliet, M.M.C., Jeuken, A.B.M., van der Krogt, R.A.A., van Oostrom, N.G.C., Schelfhout, H.A., van Velzen, E.H., van Waveren, H., de Wit, M.J.M. (2010): Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Vol. 1, Issue 5, S. 729 - 740.
- Lange, I. (2001): Eine Grenzschichtklimatologie für Hamburg: aus Daten der meteorologischen Messanlagen am NDR-Sendemast in Billwerder. Diplomarbeit, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Hamburg, 2001.
- Lautenschlager, M., K. Keuler, C. Wunram, E. Keup-Thiel, M. Schubert, A. Will, B. Rockel, and U. Boehm (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Centre for Climate. DOI: 10.1594/WDCC/CLM\_C20\_1\_D2
- Lebbe, L.; Van Meir, N.; Viaene, P. (2008): Potential implications of sea-level rise for Belgium. *Journal of Coastal Research* 24 (2): 358 - 366.
- LSBG (2007): Hochwasserschutz in Hamburg - Bauprogramm 2007. Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Freie und Hansestadt Hamburg.
- Linde, M., Flagg, D. D., Grawe, D., Hoffmann, P., Petrik, R., Schlümzen, K. H., Schoetter, R. (2014): Different urban developments and their impact on (outdoor) human comfort related parameters. *Urban Climate*, in Vorbereitung.
- Maniak, U.; Weihrauch, A.; Riedel, G. (2005): Die wasserwirtschaftliche Situation in der Unterwesermarsch unter der Einwirkung einer Klimaänderung. [Buchverf.] Bastian Schuchardt und Michael Schirmer. *Klimawandel und Küste*. s.l. : Springer.
- Müller, W. (1985): Zur Genese der Verbreitungsmuster der Marschböden und Diskussion verschiedener Entstehungstheorien. *Geologisches Jahrbuch*. Hannover: s.n., Vol. 19.
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grubler, T.Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, Roehrl A, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, Z. Dadi (2000): *Special Report on Emission Scenarios* Cambridge, 599 S.
- Ng, E. (2009): Designing for Urban Ventilation. In: Edward Ng (Hrsg.): *Designing High-Density Cities: For Social & Environmental Sustainability*, London, Sterling, VA: Earthscan, S. 119 - 136.
- Ng, E. (2009): Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC 2007), Sendai, Japan, 28-31 October, 2007. In: *Building and Environment* 44 (7), S. 1478-1488. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.06.013
- Oke, T. R (1992): *Boundary layer climates*. 2nd ed. (1987) London/New York: Routledge.
- Oude Essink, G. H. P., van Baaren, E. S. und de Louw, P. G. B. (2010): Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resources Research* 46.
- Plehn, L. (2014): Analyse der Veränderung des Ventilationspotenzials von Stadtstrukturen bei städtebaulicher Umgestaltung am Beispiel Hamburg-Wilhelmsburg. Masterarbeit, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg.
- Querner, E. P. (2002): Analysis of basin response resulting from climate change and mitigation measures. FRIEND 2002 - Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice (Proceedings of the Fourth International FRIEND Conferenc). Cape Town, South Africa : JAHS.
- Rechid, D., Petersen, J., Schoetter, R., Jacob, D. (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 1, TuTech Verlag, Hamburg, ISBN: 978-3-941492-67-7.
- Reinstorf, E. (2003): *Geschichte der Elbinsel Wilhelmsburg*. Hamburg.
- Reuter, U. (Hrsg.) (2012): *Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung*. Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg.
- Ritzema, H. P. (1994): *Subsurface flow to drains. Drainage principles and applications*.

- Rockel, B., A. Will, und A. Hense (2008): The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.* 17: 347 - 348.
- Roeckner, E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornblueh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, A. Tompkins (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5-Part 1, Model description. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 349, 127 S.
- Rohde, H., (1971): Eine Studie über die Entwicklung der Elbe als Schifffahrtsstraße. In *Mitteilungen des Franzius Instituts, Hannover*, Nr. 36, S. 17 - 241.
- Riecke, R., Rosenhagen, G. (2010): Das Klima in Hamburg: Entwicklung in Hamburg und der Metropolregion. Offenbach/M: Deutscher Wetterdienst.
- Rudolph, E. (2005): Einfluss sehr hoher Abflüsse aus die Wasserstände entlang der Tideelbe. *Promet*, 31, 2 - 4, S. 186 - 190.
- Rudolph, E., Schulte-Rentrop, A., Schübler, A. und Johannsen, A. (2011): Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems - Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. Tagungsband. 2. Statuskonferenz KLIWAS, BMVBS, Berlin.
- Salim, M, Schlünzen, K.H, and Grawe, D. (2013): Impacts of Proposed Buildings on the Local Wind Environment. In: 13th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM)/11th EMS Annual Meeting, Reading, UK.
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (2010): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 570 S.
- Schempp, S., Oßenbrügge, J. (2014): Ökonomische Instrumente zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg: Eine Situationsanalyse. In: Knieling, J., Rossnagel, A. (Hrsg.): *Governance der Klimaanpassung in Regionen*. KLIMZUG-Sammelband. München, oekom verlag (In Vorbereitung).
- Schirmer, M. (2005): Das Klimaszenario der Fallstudie „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU). B. Schuchardt und M. Schirmer (Hrsg.): *Klimawandel und Küste*. s.l.: Springer.
- Schlünzen K.H., Hoffmann P., Rosenhagen G., Riecke W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. *Int. J. Climatol.* 30: 1121-1136. DOI: 10.1002/joc.1968
- Schlünzen, K.H. (1990): Numerical studies on the inland penetration of sea breeze fronts at a coastline with tidally flooded mudflats. – *Beitr. Phys. Atmosph* 63: 243 - 256.
- Schlünzen, K.H., D.D. Flagg, B.H. Fock, A. Gierisch, V. Reinhardt, C. Spensberger (2012): Scientific documentation of the multiscale model system m-sys (metras, mitras, mectm, mictm, mesim). – MEMI Technical Report 4. Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg, 138 S.
- Schmidt, H. und J. Pätsch (1992): “Meteorologische Messungen auf Norderney und Modellrechnungen“, *Die Küste*, Vol. 54, S. 131 - 142.
- Schoetter R., Grawe D., Hoffmann P., Kirschner P., Grätz A., K.H. Schlünzen K.H. (2013): Impact of local adaptation measures and regional climate change on perceived temperature. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 117 - 130. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0381
- Schoetter, R., Hoffmann P., Rechid D., Schlünzen K.H. (2012): Evaluation and bias correction of regional climate model results using model evaluation measures. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 51: 1670-1684. DOI: 10.1175/JAMC-D-11-0161.1
- Seeber, G. (2001): *Ökologische Ökonomie: eine kategorialanalytische Einführung*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Seiffert, R., Hesser, F., Schulte-Rentrop, A., Seiß, G. (2012): Potential effects of climate change on the brackish water zone in German estuaries. 10th International Conference on Hydroinformatics „Understanding Changing Climate and Environment and Finding Solutions“, 14.-18. Juli 2012, Hamburg.
- Siefert, W., (1998a): Tiden und Sturmfluten in der Elbe und ihren Nebenflüssen - Die Entwicklung von 1950 bis 1997 und ihre Ursachen. *Die Küste*, Heft 60. S. 1 - 115.
- Siefert, W., (1998b): Bemessungswasserstände 2085A entlang der Elbe - Ergebnisse einer Überprüfung durch die Länderarbeitsgruppe nach 10 Jahren (1995 / 96). *Die Küste*, Heft 60. S. 228 - 255.
- Siefert, W. und Havnoe, K. (1988): Einfluss von Baumaßnahmen in und an der Tideelbe auf die Höhen hoher Sturmfluten. *Die Küste*, Heft 47, S. 51 - 101.
- Solomon S, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (Hrsg.) (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 S.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2012): Statistik informiert ... Nr. III/2012. Bevölkerung mit Migrationshintergrund in den Hamburger Stadtteilen Ende Januar 2012. URL: [http://www.statistik-nord.de/uploads/tx\\_standdocuments/SI\\_SPEZIAL\\_III\\_2012.pdf](http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/SI_SPEZIAL_III_2012.pdf) [28.02.2014]

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2011): Stadtteildatenbank 2011. URL: <http://www.statistik-nord.de/fileadmin/regional/regional.php> [24.04.2014]

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2011a): Sonderauswertung. URL: [http://www.statistik-nord.de/uploads/tx\\_standdocuments/Statistische\\_Analysen\\_06\\_2013.pdf](http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/Statistische_Analysen_06_2013.pdf) [08.05.2014]

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2011b): Hamburger Stadtteil-Profile 2011. NORD.regional, Band 11. URL: [http://www.statistik-nord.de/uploads/tx\\_standdocuments/NR11\\_Stadtteil-Profile\\_2011.pdf](http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/NR11_Stadtteil-Profile_2011.pdf) [28.02.2014]

Studio Urbane Landschaften (2008): Wasseratlas WasserLand-Topologien für die Hamburger Elbinsel.

Tierney, K. (1997): Business impacts following the Northridge earthquake. In: *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5 (2): 87 - 97.

Vandenbohede, A., Luyten, K. und Lebbe, L. (2008): Effects of global change on heterogeneous coastal aquifers: a case study in Belgium. *Journal of Coastal Research*. 24: 160 - 170.

Wasileski, G., Rodríguez, H. and Diaz, W. (2011): Business closure and relocation: a comparative analysis of the Loma Prieta earthquake and Hurricane Andrew. In: *Disasters* 35 (1): 102 - 129.

Widmoser, Peter. 2001. Be- und Entwässerung. [book auth.] Kurt Lecher, Hans-Peter Lühr and Ulrich C.E. Zanke. Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 2001.

WSA (Wasser- und Schifffahrtsamt) Hamburg (2007): Bericht zur Beweissicherung 2005. Teil A Textband. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg. Stand: Juni 2007 Vers. 04.

Yamashita, S. and Sekine, K. and Shoda, M. and Yamashita, K. and Hara, Y. (1986): On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan}. *Atmospheric Environment* 20: 681 - 686.



# Beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen

## Universität Hamburg

Meteorologisches Institut, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

*unter der Leitung von:*

Prof. Dr. K. Heinke Schlünzen

Prof. Dr. Bernd Leitl

*Mitarbeit:*

Dipl.-Ing. Frieso Kipsch

Dipl.-Met. Marita Linde

Dr. Mohamed Salim



Institut für Geographie, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

*unter der Leitung von:*

Prof. Dr. Jürgen Oßenbrügge

*Mitarbeiterin:*

M.Sc. Sabine Schempp

## Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Wasserressourcen und Wasserversorgung

*unter der Leitung von:*

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Schneider

*Mitarbeiterin:*

Dipl.-Ing. Anna-Gesa Meier



## Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut gemeinnützige GmbH (HWWI)

Themenfeld „Umwelt und Klima“

*unter der Leitung von:*

Dr. Sven Schulze

*Mitarbeiterin:*

Dr. Julia Kowalewski



## Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg

Dr. Diana Rechid

Dipl.-Geogr. Juliane Petersen



## Bundesanstalt für Wasserbau

Dienststelle Hamburg

Dr. Elisabeth Rudolph

Dr. Norbert Winkel

Dipl.-Ing. Ariane Paesler

Dr.-Ing. Annette Büscher



## IBA Hamburg GmbH

Anke Hansing

Caroline König





## KLIMZUG-NORD Kursbuch und Berichte aus den Modellgebieten

Im „Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg“ sind die wesentlichen Ergebnisse des fünfjährigen Verbundvorhabens KLIMZUG-NORD zusammengefasst. Das Kursbuch wird begleitet und ergänzt von sechs Berichten aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, die vertiefende Informationen liefern.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung.  
Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg,  
TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-66-0

Rechid, Diana; Petersen, Juliane; Schoetter, Robert; Jacob, Daniela (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 1, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-67-7

Kruse, Elke; Zimmermann, Thomas; Kittel, Anne; Dickhaut, Wolfgang; Knieling, Jörg; Sörensen, Christiane (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 2, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-68-4

Nehlsen, Edgar; Kunert, Lisa; Fröhle, Peter; Knieling, Jörg (Hrsg.) (2014): Wenn das Wasser von beiden Seiten kommt – Bausteine eines Leitbildes zur Klimaanpassung für Elmshorn und Umland. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 3, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-69-1

Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel – Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 4, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-70-7

Prüter, Johannes; Keienburg, Tobias; Schreck, Christiane (Hrsg.) (2014): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 5, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-71-4

Urban, Brigitte; Becker, Jürgen; Mersch, Imke; Meyer, Wibke; Rechid, Diana; Rottgardt, Elena (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten,  
Band 6, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-72-1