



## **BINNENHOCHWASSERSCHUTZ**

**UNTER BERÜCKSICHTIGUNG**

**VON ÖKOLOGIE UND ÖKONOMIE**

**Berichte des Landesbetriebes  
Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 17/2020**

**Ergebnisse des BMBF-Forschungsprojektes Stuck**

Sicherstellung der Entwässerung küstennaher,  
urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels



**LSBG**  
Landesbetrieb Straßen,  
Brücken und Gewässer  
Hamburg



**Hamburg**



## VORWORT

Hamburg lebt am Wasser – die vielen Binnengewässer sind ein belebendes Element der Stadt. Ihre Gewässer stellen die Freie und Hansestadt Hamburg vor Aufgaben, die es gilt, im Sinne des Gemeinwohls zu bewältigen. Dabei kommt dem Hochwasserschutz eine existentielle Bedeutung zu. Der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG), als der zentrale Infrastrukturdienstleister der Freien und Hansestadt Hamburg, sucht innovative Lösungen, um den Hochwasserschutz weiter zu verbessern, insbesondere, um den Herausforderungen durch den Klimawandel und der fortschreitenden städtischen Entwicklung zu begegnen. Mit der Durchführung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes Stuck (Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels) greift der LSBG diese Problematik auf.

Unter Federführung des LSBG haben von 2015 bis 2018 die Technische Universität Hamburg, die Universität Hamburg, das Hamburgische Welt-Wirtschaftsinstitut gGmbH und die Firma hydro & meteo GmbH & Co. KG neue Ansätze für einen wirksamen Hochwasserschutz erarbeitet. Diese Ansätze integrieren ökologische Aspekte, die Naherholung und eine

ökonomische Betrachtung der volkswirtschaftlichen Leistungen des Hochwasserschutzes.

Mit dieser Zielvorgabe wird nicht nur der Hochwasserschutz verbessert, es wird auch die Entwicklung der Gewässer hin zu einem guten ökologischen Zustand verfolgt. Wirksamer Hochwasserschutz und die nachhaltige ökologische Entwicklung eines Gewässers und seiner Uferbereiche müssen keine gegenläufigen Ziele sein, sondern können sich ergänzen. Dies ist eines der Projektergebnisse von Stuck.

Hochwasserschutz ist eine Leistung, die dem Gemeinwohl dient. Sein volkswirtschaftlicher Nutzen lässt sich anhand der vermiedenen Schäden beziffern. Ein ganzheitlicher Ansatz für den Hochwasserschutz hat weitreichenden Nutzen. Im Projekt Stuck werden Ansätze hierfür entwickelt, die durch eine generelle Fassung auf andere Regionen übertragen werden können.

Die gewässerbezogenen Zuständigkeiten in der Freien und Hansestadt Hamburg orientieren sich an Verwaltungsgrenzen. Notwendig ist jedoch eine einzugsgebietsbezogene Betrachtung, um ein wirksames Hochwassermanagement zu erreichen. Diese einzugsgebietsbezogene, was-



serwirtschaftliche Betrachtung der Gewässer steht im Fokus des Projektes Stuck.

In enger Zusammenarbeit mit Hamburger Bezirken sind anwendungsbezogene Lösungen für die Praxis entstanden. Entsprechende Handlungsmöglichkeiten stellt Ihnen der LSBG mit dieser Broschüre zur Verfügung.

Dr.-Ing. Stefan Klotz

*Geschäftsführer*

*Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer*

*Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation*

*Freie und Hansestadt Hamburg*



## EINLEITUNG

Der Fachbereich Planung und Entwurf Gewässer des Landesbetriebs Straßen, Brücken und Gewässer ist Dienstleister für den Binnenhochwasserschutz der Freien und Hansestadt Hamburg. Individuelle, an die jeweiligen hydrologischen, hydraulischen und räumlichen Bedingungen angepasste Lösungen sind notwendig zur Umsetzung dieser generationsübergreifenden Aufgabe. Die differierenden Interessenlagen sind im urbanen Raum maximal.

Angewandte Forschung im LSBG ist ein notwendiger Baustein zur Entwicklung und Fortschreibung von innovativen Lösungen der Wasserwirtschaft. Diese Forschung führt im direkten Dialog mit der Praxis zu konstruktiven Lösungen, die direkt implementiert werden können. Hier finden sich auch Räume für neue Innovationen.

So ist auch das Projekt Stuck mit seinem interdisziplinären Ansatz einzuordnen. In den Binnenhochwasserschutz werden ökologische und ökonomische Aspekte integriert. Dieser Ansatz greift gleichzeitig sowohl Ziele der Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) als auch der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) auf.

Unter der Leitung des LSBG sind in

den vergangenen drei Jahren gemeinsam mit vier Projektpartnern und zwölf assoziierten Partnern aus Praxis und Forschung die Themenfelder Binnenhochwasserschutz, Ökologie und Ökonomie miteinander verbunden worden, um fachübergreifend Ergebnisse für einen verbesserten Binnenhochwasserschutz zu erzielen.

Gewässer im urbanen Raum sind wertvolle Strukturen. Neben der Naherholung für die Bürgerinnen und Bürger bieten die Gewässer auch Lebensräume für eine große Artenvielfalt von Flora und Fauna. Flussläufe dienen darüber hinaus als ökologische Grünachsen und stellen Kaltluftschneisen dar, die zur Verbesserung des Stadtklimas beitragen. Daher gilt es den ökologischen Wert der Gewässer und ihrer Uferbereiche zu wahren, sowohl heute als auch in Zukunft.

Die Überführung von Forschungsergebnissen in die Praxis ist ein zentrales Element des Projektes. Dementsprechend werden auf andere Gebiete übertragbare Methoden und Entwicklungsschritte verwendet und der Fokus des Projektes auf die Antworten der in der Praxis bestehenden Fragen gelegt.

Dieser Bericht stellt die aus Sicht des LSBG wesentlichen Ergebnisse des



Projektes und Schlussfolgerungen für die Praxis vor. Weiterhin werden die Ergebnisse der einzelnen Projektpartner in entsprechenden Zwischenberichten und Fachpublikationen sowie in einem gemeinschaftlichen Abschlussbericht dargestellt. Der Bericht zeigt, wie konstruktiv verschiedene Institutionen Hamburgs gemeinsam Lösungen für die Praxis erarbeiten.

Prof. Dr. Gabriele Gönner

*Fachbereichsleitung*

*Planung und Entwurf Gewässer*

*Geschäftsbereich Gewässer und Hochwasserschutz*

*Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer*

*Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation*



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Das Projekt Stuck</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>Ökologische und ökonomische Bewertung</b>	<b>42</b>
<b>2</b>	<b>Modellregionen</b>	<b>10</b>	5.1	Monetär bewertbare Ökosystemleistungen	42
2.1	Kollau	10	5.1.1	ÖSL Binnenhochwasserschutz	43
2.1.1	Abflussverhalten	11	5.1.2	ÖSL Freizeit-/Erholungsleistung	44
2.1.2	Böden	12	5.1.3	ÖSL Kohlenstoffspeicherung	44
2.1.3	Vegetation	14	5.2	Nicht monetär bewertbare ÖSL	45
2.2	Dove-Elbe	14	5.3	Beurteilung der ÖSL der untersuchten Maßnahmen	46
2.2.1	Abflussverhalten	17	<b>6</b>	<b>Wandel und Anpassung</b>	<b>48</b>
2.2.2	Böden	20	6.1	Kollau	48
2.2.3	Vegetation	21	6.1.1	Auswirkungen zukünftiger Entwicklung	48
<b>3</b>	<b>Niederschlags- und Hochwasservorhersage</b>	<b>22</b>	6.1.2	Umgestaltung der Hochwasserrückhalte- becken zu Trockenbecken	49
3.1	Niederschlagsmessungen und -vorhersage	22	6.2	Dove-Elbe	50
3.2	Hochwasservorhersage	23	6.2.1	Auswirkungen zukünftiger Entwicklung	50
3.3	Integrierte vorhersagebasierte Managementkonzepte	26	6.2.2	Schaffung von Speichervolumen im Vorland und Betriebsänderung des Deichsiels Tatenberg	52
3.3.1	Kollau	26	<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>53</b>
3.3.2	Dove-Elbe	27	<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>Betriebliche und wasserbauliche Maßnahmen</b>	<b>30</b>			
4.1	Kollau	30			
4.1.1	Vorhersagebasierte Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken	30			
4.1.2	Umgestaltung der Hochwasserrückhalte- becken zu Trockenbecken	31			
4.1.3	Scheiteldämpfung durch Vorlandentwicklung	3			
4.2	Dove-Elbe	36			
4.2.1	Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsiels Tatenberg	36			
4.2.2	Vorabsenkung durch Pumpbetrieb von Schöpfwerken (Gose-Elbe)	37			
4.2.3	Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsiels Tatenberg und Pumpbetrieb von Schöpfwerken	38			
4.2.4	Schaffung von Speichervolumen im Vorland	38			



# 1 DAS PROJEKT STUCK

Das Projekt Stuck behandelt den Hochwasserschutz und das -management in tidebeeinflussten Gebieten sowie im tidefreien, urbanen Raum. Konkret wird hier der Binnenhochwasserschutz (Hochwasserschutz an den Binnengewässern) betrachtet.

Berücksichtigt werden dabei die zu erwartenden Folgen der fortschreitenden Urbanisierung und des Klimawandels, die das Risiko von Hochwasser erhöhen und damit zu höheren Schadenspotenzialen führen. Neben einer Zunahme der versiegelten Fläche wird eine Zunahme der Niederschlagsintensität im Sommer und eine Zunahme der Niederschlagsmengen im Herbst und Winter erwartet. Zudem müssen der Meeresspiegelanstieg und veränderte Tidewasserstände berücksichtigt werden. In der Konsequenz ist während Sturmfluten die Entwässerung zunehmend eingeschränkt und führt zu einer höheren Gefahr von Binnenhochwasser. Präzisere Vorhersagen von Niederschlägen, Wasserständen und Abflüssen helfen, entsprechende Managementmaßnahmen frühzeitig einzuleiten.

In kleinen, stark urban geprägten Einzugsgebieten mit hoher Bodenversiegelung führen Niederschlagsereignisse zu einem schnellen Anstieg des Wasserstandes in den Gewässern, im Gegensatz zu dem eines größeren,

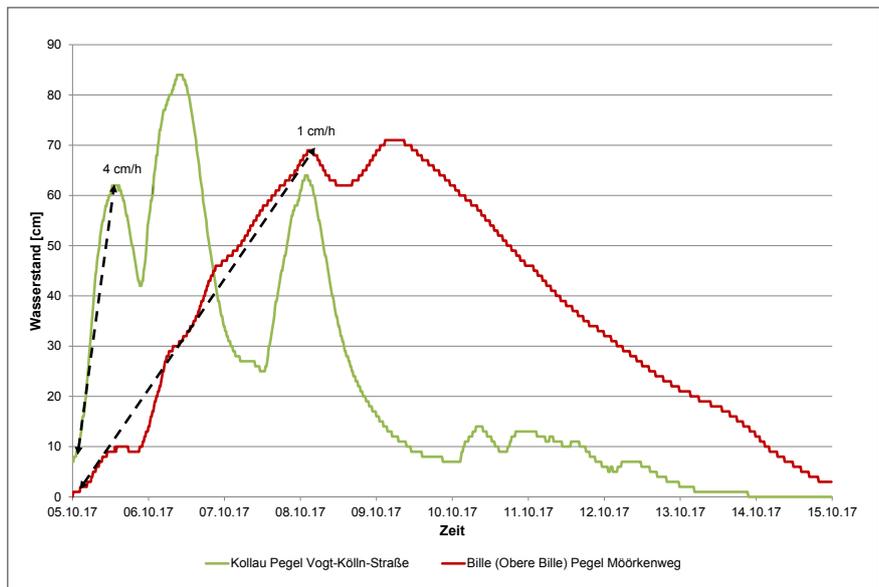


Abb. 1: Hochwasserganglinien der Kollau (urban geprägtes Einzugsgebiet) und Bille (Obere Bille) (ländlich geprägtes Einzugsgebiet).

eher ländlich geprägten Einzugsgebietes (Abb. 1). Die Vorhersagezeiträume und damit die Vorwarnzeiten insbesondere von konvektiven Starkregenereignissen sind kurz und deren räumliche und zeitliche Auflösung gering im Verhältnis zur Größe dieser Einzugsgebiete. Die in diesen Räumen sehr kleinen Hochwasserrückhaltebecken (HRB) müssen im Hochwasserfall optimal genutzt werden.

Im Rahmen von Stuck werden Lösungsansätze in den Bereichen des technischen und vorsorgenden Hochwasserschutzes (weiter-)entwickelt, die das aktuelle Risiko mindern und nachhaltig der künftigen Entwicklung angepasst sind.

Gerade in urbanen Räumen ist der Hochwasserschutz der allgemeinen Flächenkonkurrenz unterworfen. Flächen für den Hochwasserschutz müssen weitere Funktionen, wie die Nutzung zur Naherholung, Lebensraum für Fauna und Flora, als Kaltluftschneise oder die Kohlenstoffspeicherung im Rahmen des Klimaschutzes übernehmen. Die aus diesen Funktionen resultierenden Ökosystemleistungen, der positive Nutzen der Ökosysteme für Mensch und Gesellschaft, können ebenso wie die Schadenspotenziale volkswirtschaftlich bewertet werden.

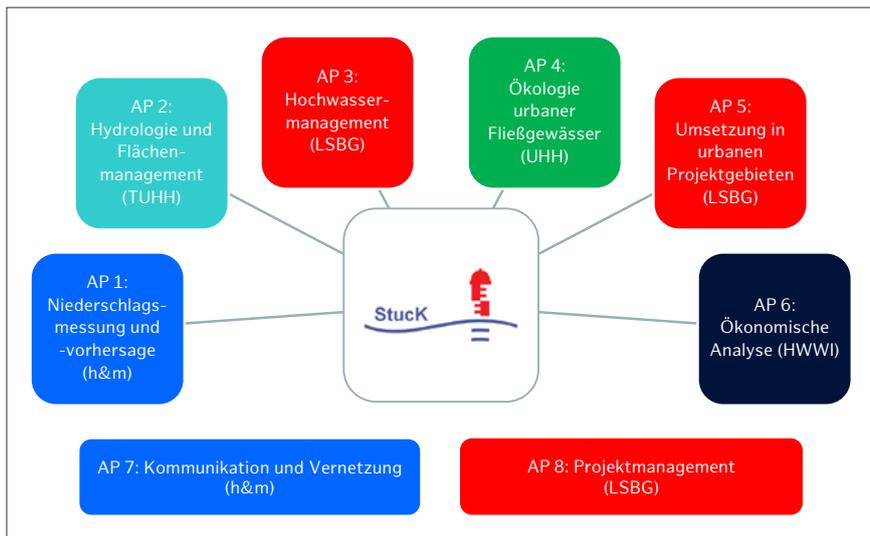


Abb. 2: Projektstruktur von StucK, gegliedert in acht Arbeitspakete (AP).

Im Projekt werden folgende Fragen untersucht:

- Wie kann die kurzfristige Vorhersage von Hochwasserereignissen für kleinräumige Einzugsgebiete verbessert werden?
- Wie lassen sich für größere, tidebeeinflusste Einzugsgebiete langfristige Tide- und Niederschlagsvorhersagen nutzen?
- Welche präventiven Maßnahmen vor einem Hochwasserereignis lassen sich aufgrund von präziseren lang- und kurzfristigen Vorhersagen umsetzen?
- Ist eine Optimierung der Steuerung von Hochwasserschutzanlagen (HRB, Deichsiele, Schöpfwerke) durch Nutzung von Vorhersagen möglich?

- In welchem Maße beeinflussen der Klimawandel und die zukünftige Flächennutzung den Abfluss in den Gewässern?
- Welche Hochwasserschutzmaßnahmen eignen sich zur Kompensation der Folgen des Klimawandels und der zukünftigen Flächennutzung?
- Wie können im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen ökologisch wertvolle Lebensräume geschaffen werden?
- Welche Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer lassen sich volkswirtschaftlich bewerten?

Lösungsansätze und Antworten auf die genannten Fragen werden im Projekt StucK beispielhaft für die Freie und Hansestadt Hamburg erarbeitet und auf andere Regionen mit ähn-

licher Problemlage übertragbar sein. Diese fachübergreifenden Fragestellungen werden im Projekt StucK von einem interdisziplinären Projektteam bearbeitet. Dieses setzt sich wie folgt zusammen:

- Landesbetrieb Straßen Brücken und Gewässer Hamburg (LSBG)
- Technische Universität Hamburg, Institut für Wasserbau (TUHH)
- hydro & meteo GmbH & Co. KG (h&m)
- Universität Hamburg (UHH)
  - Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie, Angewandte Pflanzenökologie
  - Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Institut für Bodenkunde
- Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)

Die Bearbeitung des Projektes erfolgt in acht Arbeitspaketen (Abb. 2). Die hydrologischen Zusammenhänge bisheriger Hochwasserereignisse werden untersucht. Ihre Auswirkungen werden beurteilt und Bewirtschaftungsstrategien für die Gewässer unter ökologischen, ökonomischen und wasserwirtschaftlichen Aspekten optimiert. Dazu werden die ökologischen Zustände und Prozesse der Ökosysteme urbaner Fließgewässer unter derzeitiger Gewässerbewirtschaftung erfasst und mit dem prognostizierten Zustand unter zukünftiger Gewässerbewirtschaftung

tung verglichen. Das Projekt Stuck (Förderkennzeichen 033W031) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

## 2 MODELLREGIONEN

Als Modellregionen des Projektes Stuck wurden das Einzugsgebiet der Kollau und der Hamburgische Teil des Einzugsgebietes der Dove-Elbe gewählt (Abb. 3). Dabei steht die Modellregion Kollau exemplarisch für kleine Einzugsgebiete in urbanen Räumen und die Modellregion Dove-Elbe für tidebeeinflusste Flusseinzugsgebiete. Die Bezeichnung „Modellregionen“ weist auf den modellhaften Charakter und die gegebene Übertragbarkeit auf andere Regionen hin.

### 2.1 Kollau

Die Kollau entspringt im nordwestlichen Hamburger Stadtteil Schnelsen und mündet nach einer Fließstrecke von etwa 7,3 km in die Tarpenbek, die wiederum in die Alster mündet (Abb. 4). Das urban geprägte Einzugsgebiet umfasst eine Gesamtfläche von 31,6 km<sup>2</sup>. Die Entwässerung der urbanen Flächen erfolgt weitgehend über die städtische Regenwasserkanalisation (Siele) in die Gewässer. Wichtige Nebenflüsse der Kollau sind die Mühlenau ( $A_E = 13,3 \text{ km}^2$ ), der Brookgraben ( $A_E = 3,8 \text{ km}^2$ ), die Schillingsbek ( $A_E = 3,1 \text{ km}^2$ ), der Schippelmoorgraben ( $A_E = 2,0 \text{ km}^2$ ) und die Geelebek ( $A_E = 1,0 \text{ km}^2$ ). Das mittlere Sohlgefälle der Kollau beträgt 0,1 %. Prägend ist die hohe Anzahl von 18 sehr kleinen HRB und drei Retentionsräumen (RR) im Haupt- oder Nebenschluss der Kollau und ihrer Nebengewässer.

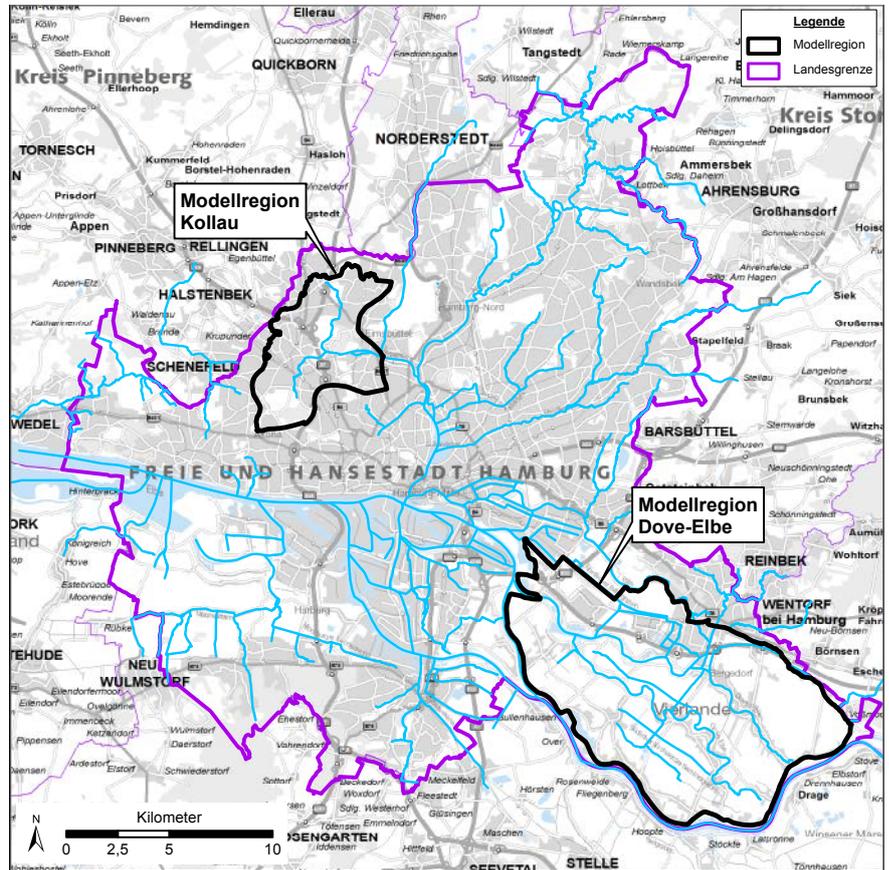


Abb. 3: Lage und Begrenzung der Modellregionen Kollau und Dove-Elbe im Stadtgebiet von Hamburg.

Tab. 1: Hauptwerte der Pegel an der Kollau, der Pegel Vogt-Kölln-Str. ist seit 2015 in Betrieb (BUE).

Pegel $A_{E0}$ [km <sup>2</sup> ] Station	Gewässer	MW MHW [NHN cm]	HHW [NHN cm] Datum	MQ MHQ [m <sup>3</sup> /s]	HHQ [m <sup>3</sup> /s] Datum	Bezugszeitraum Hydrologische Jahre
Olloweg — 0+400	Mühlenau	938 1059	1107 21.09.04	— —	— —	W: 1982–2018 Q: —
Vogt-Kölln-Str. — 2+661	Kollau	811 892	894 06.10.17	— —	2,66 06.10.17	W: 2015–2018 Q: 2015–2017
Niendorfer Str. 29,4 0+632	Kollau	563 649	684 22.05.13	0,270 3,52	5,90 22.05.13	W: 1967–2018 Q: 1967–2018

Die Hauptwerte der Pegel an Mühlenau und Kollau sind in Tab. 1 aufgelistet, die Lage der Pegel ist in Abb. 4 dargestellt.

Die Bodenversiegelung variiert je nach Flächennutzung zwischen 0–10 % im Altonaer Volkspark und 90–100 % entlang von Straßen und Gewerbe-/Industrieflächen. Besonders am östlichen Rand der Modellregion und im Süden auf Höhe der S-Bahn-Station Stellingen gibt es großflächig versiegelte Flächen mit Versiegelungsgraden von 80-90 %, teilweise 90-100 %. Die Bereiche mit Wohnbebauung weisen größtenteils eine Bodenversiegelung von 50–70 % auf. Größere unbebaute Flächen im Einzugsgebiet sind der Altonaer Volkspark und das Niendorfer Gehege. Der durchschnittliche Versiegelungsgrad beträgt 44 %.

### 2.1.1 Abflussverhalten

Der hohe Versiegelungsgrad im Einzugsgebiet führt zu einem hohen Anteil an Oberflächenabfluss. Insbesondere bei Starkregen steigt der Wasserstand in der Kollau innerhalb kürzester Zeit an.

Die Laufzeiten des Hochwasserscheitels vom Pegel Olloweg zum Pegel Vogt-Kölln-Straße und weiter zum Pegel Niendorfer Straße sind in Tab. 2 dargestellt. Auf der ersten Teilfließstrecke variieren die Laufzeiten, auf

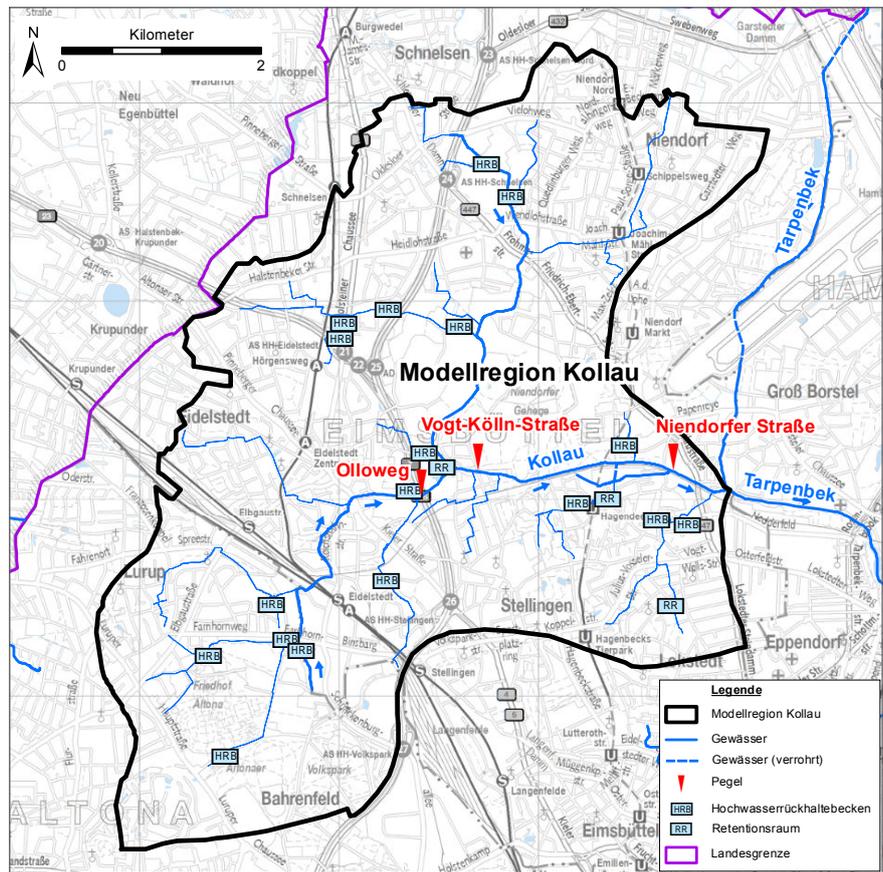


Abb. 4: Modellregion Kollau mit HRB, RR und Gewässerkundlichen Pegeln.



Abb. 5: Kollau mit Fußgängerbrücke am Niendorfer Gehege, Blickrichtung flussaufwärts.

Tab. 2: Laufzeiten des Hochwasserscheitels an Mühlenau und Kollau vom Pegel Olloweg bis zum Pegel Niendorfer Straße sowie auf Teilfließstrecken.

Gewässer/Pegel	Fließweg [km]	Laufzeit [h]
Mühlenau/Olloweg bis Kollau/Niendorfer Straße	2,9	3–7
Mühlenau/Olloweg bis Kollau/Vogt-Kölln-Straße	0,7	1,25–4
Kollau/Vogt-Kölln-Straße bis Kollau/Niendorfer Straße	2,2	2

der weitgehend gradlinig verlaufenden zweiten Teilfließstrecke sind sie mit zwei Stunden konstant. Die Vorwarn- und mögliche Rüstzeiten sind somit außerordentlich kurz. Abb. 6 verdeutlicht die Laufzeit anhand der Ganglinien der drei Pegel.

Die Variabilität der Laufzeit zwischen dem Pegel Olloweg an der Mühlenau und dem Kollau-Pegel Vogt-Kölln-Straße ist zum einen durch Rückstau im Bereich des Pegels Olloweg, zum anderen durch den Einstau des RR Mühlenau bei Hochwasser bedingt. Die 18 sehr kleinen HRB und drei RR im Einzugsgebiet der Kollau besitzen insgesamt einen Stauraum von rund 100.000 m<sup>3</sup>. Bei vier dieser Becken ist durch eine schwimmergesteuerte Drossel im Hochwasserfall eine variable Abgabe des eingestauten Wassers möglich. Die anderen HRB sind ungesteuert.

## 2.1.2 Böden

Im Überschwemmungsbereich der Kollau dominieren Gleye (Abb. 7) als Bodentyp. Natürliche Nassgleye und Brauneisengleye sind für die ländlich geprägten nördlichen Bereiche typisch, während im urban geprägten Süden Kolluvisol-Gleye durch Einbringung von technischem Material mit hohen An-

teilen an organischer Substanz und an Standorten mit Torfbändern im Untergrund Anmoorgleye entstanden sind.

Die Kohlenstoffvorräte in den Böden entlang der Kollau sind hoch (Abb. 8) und weisen eine hohe Varianz auf. Durch häufige Überschwemmungen und den damit einhergehenden zeitweise anaeroben Verhältnissen wird der Kohlenstoff im Boden nur in einem geringen Umfang umgesetzt. In den weitgehend natürlichen Böden im nördlichen Bereich entlang der Kollau ist ein abnehmender Kohlenstoffgehalt mit zunehmender Bodentiefe zu verzeichnen. In den anthropogen geprägten Böden des südlichen Bereiches finden sich hohe Kohlenstoffgehalte auch in den Unterböden. Insgesamt sind in den Böden entlang der Kol-

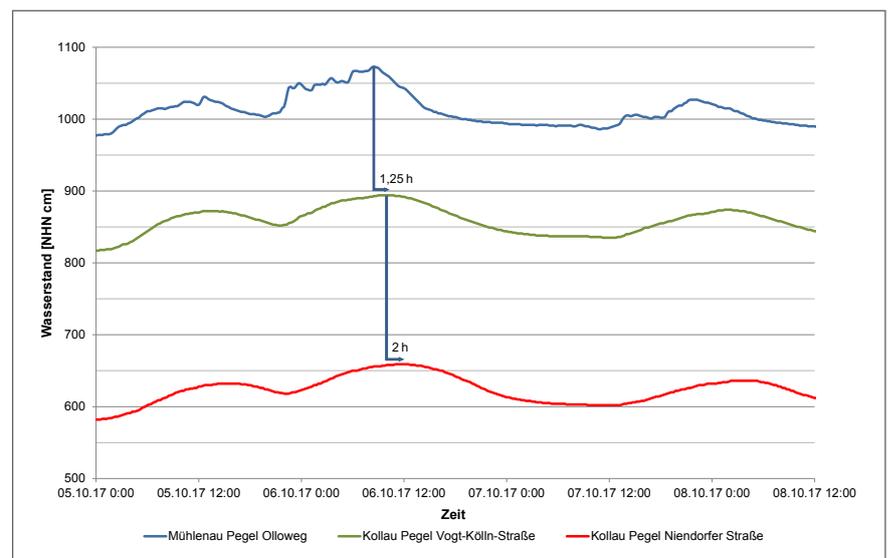


Abb. 6: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Mühlenau und Kollau während des Hochwassers am 06.10.2017.

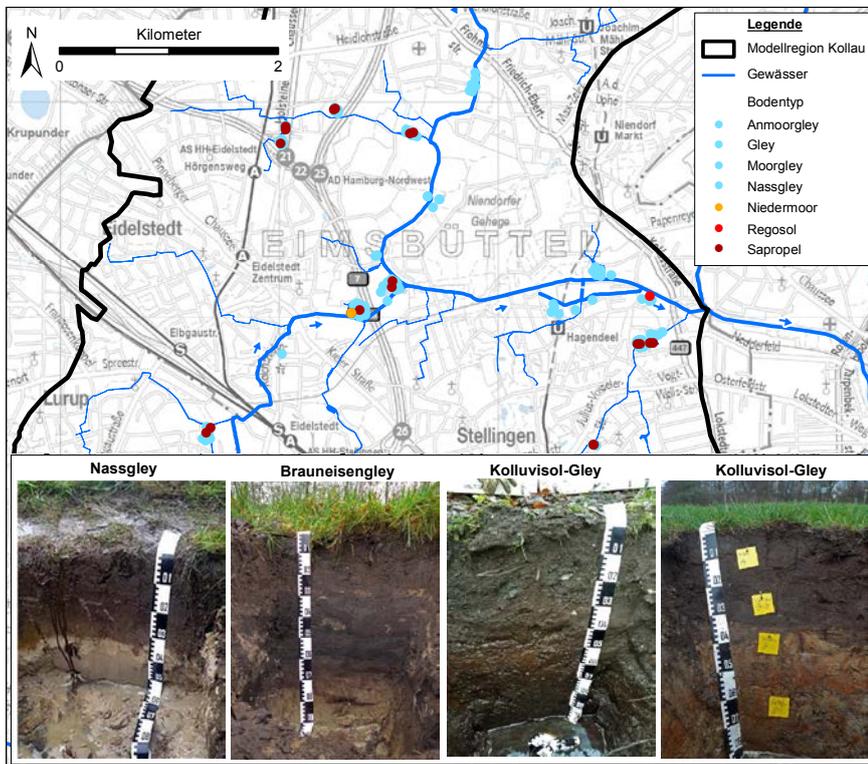


Abb. 7: Ergebnisse der bodenkundlichen Bohrstockkartierung in der Modellregion Kollau und dominierende Bodentypen.

lau die Kohlenstoffgehalte höher als in den Böden entlang der Dove-Elbe.

An fünf eingerichteten Bodenmessstellen werden seit Juni 2016 der Grundwasserstand, der Wassergehalt, die Wasserspannung sowie die Höhe des Wasserstandes in der Kollau kontinuierlich erfasst (Abb. 9).

Insbesondere die Böden der Standorte in unmittelbarer Nähe zum Gewässer weisen meist geringe Flurabstände auf, daraus resultiert eine geringe Wasserspeicherfähigkeit. Diese ufer-

nahen Böden reagieren sehr schnell auf Wasserstandsänderungen im angrenzenden Gewässer (Abb. 9, Standort Wullwisch 37). Der Wasserstand im Bodenprofil wird hier durch Überflutungen und direkten Kontakt über das oberflächennahe Grundwasser schnell angehoben und tritt zeitweise über die Geländeoberfläche. In ufernahen Böden sind die Oberböden oft reich an organischer Substanz. Sehr hohe Gehalte an organischer Substanz im Oberboden verhindern das schnelle Infiltrieren von Wasser. Insgesamt können die Böden entlang der Kollau im Hochwasserfall daher wenig Wasser aufnehmen.

Der Bodenwasserhaushalt von Böden, die weiter entfernt vom Gewässer lie-

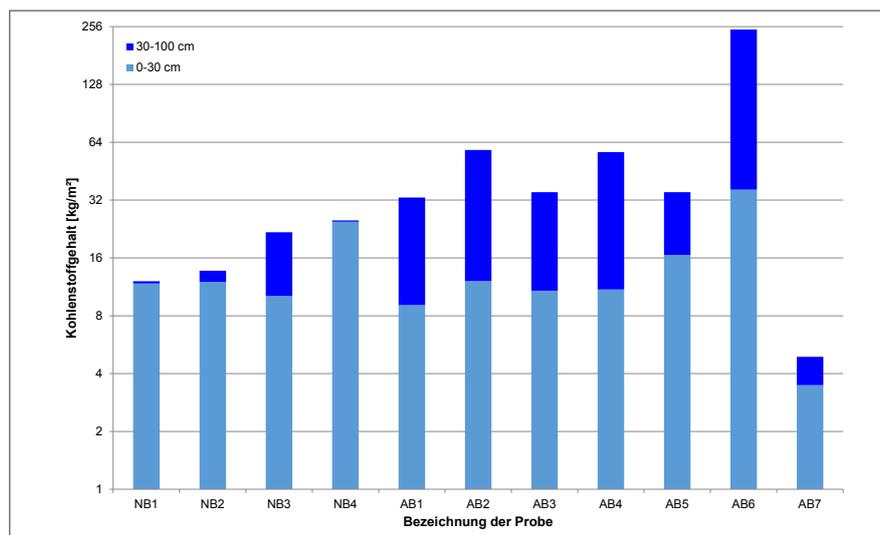


Abb. 8: Kohlenstoffgehalte in den Überschwemmungsböden der Kollau (gestapelte Balken). NB: Böden mit natürlicher Substratabfolge; AB: Böden mit anthropogen veränderter Substratabfolge.

gen (Standort Alte Kollau), wird vor allem durch den Grundwasserspiegelanstieg aufgrund der Infiltration von Niederschlagswasser beeinflusst. Eine hohe Wasserspeicherfähigkeit zeigt sich an Standorten mit sandigen Bodeneigenschaften und niedrigem Grundwasserstand.

### 2.1.3 Vegetation

Die untersuchten, nicht versiegelten Flächen entlang der Kollau (Abb. 10) sind größtenteils anthropogen geprägt, besonders durch landwirtschaftliche Nutzung.

Dies zeigt sich in der Artenzusammensetzung der krautigen Vegetation. Insgesamt wurden in vier untersuchten Vegetationstypen (Feuchtgrünland, mesophiles Grünland, Röhricht und feuchter Wald) entlang der Kollau 78 Gefäßpflanzenarten identifiziert. Als häufigste Arten wurden hierbei in Hamburg weit verbreitete Arten, wie z. B. Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*), Große Brennnessel (*Urtica dioica*), Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) vorgefunden. Viele der angetroffenen Arten sind an hohe Stickstoffgehalte im Boden (Nitrophyten) angepasst.

Wie auch an der Dove-Elbe weisen die als Grünland genutzten Flächen einen hohen Anteil an Wirtschaftsgräsern

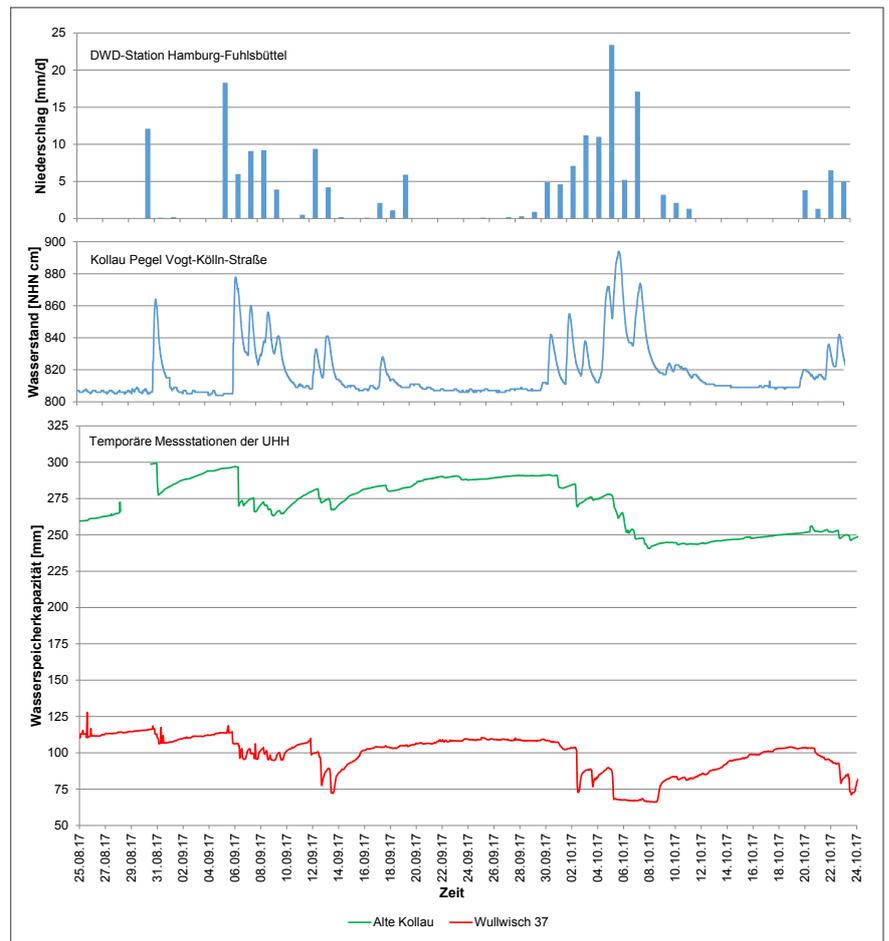


Abb. 9: Tagessummen des Niederschlages, Wasserstandsganglinie der Kollau und der Wasserspeicherkapazität an uferfernem (Alte Kollau) und ufernahe Standort (Wullwisch 37).

mit vergleichbarer Artenzusammensetzung auf. Die niedrige Artenzahl deutet auf eine intensive Nutzung hin. Die beiden Neophyten Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*) und Kleines Springkraut (*Impatiens parviflora*) wurden in z. T. hohen Deckungen in einigen Untersuchungsflächen der feuchten Wälder nachgewiesen.

## 2.2 Dove-Elbe

Die Dove-Elbe ist ein Fließgewässer zweiter Ordnung von 19,6 km Länge und liegt im südöstlichen Stadtgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) im Bezirk Bergedorf (Abb. 3). Die Dove-Elbe entspringt zwischen Neuen- und Altengamme, verläuft in nordwestlicher Richtung und

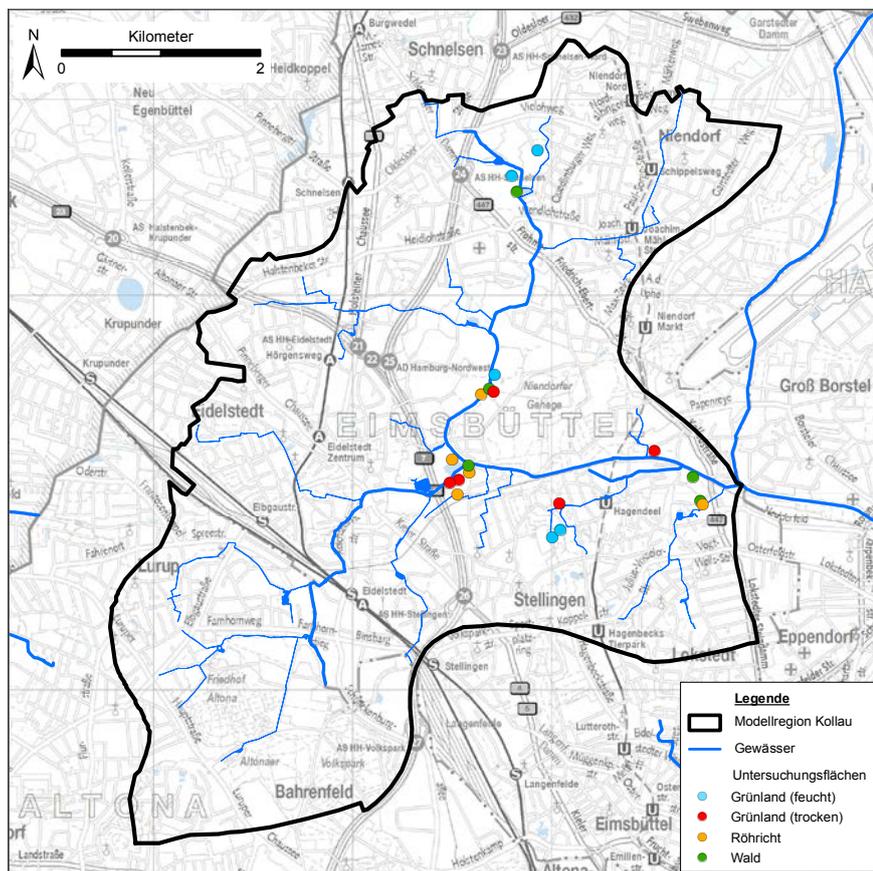


Abb. 10: Vegetationstypen der untersuchten Standorte an der Kollau.

mündet über das Deichsiel an der Ta-  
tenberger Schleuse in die Tideelbe.

Die Bille mit einer Fließstrecke von 46  
km ist der bedeutendste Zufluss der  
Dove-Elbe. Ihr Verlauf wurde 1443  
durch den Bau des Schleusengrabens  
von Bergedorf zur Dove-Elbe erheb-  
lich verändert. Seither entwässert  
die Bille von Bergedorf an über den  
Schleusengraben in die Dove-Elbe.  
Der Abschnitt der Bille oberhalb des  
Schleusengrabens wird in Hamburg

als „Bille (Obere Bille)“ bezeichnet, der  
weitere Verlauf als „Bille (Mittlere Bil-  
le)“ (Abb. 11).

Das Einzugsgebiet der Dove-Elbe hat  
eine Größe von 507 km<sup>2</sup>. Davon ent-  
fallen 347,1 km<sup>2</sup> auf die Bille. Nach der  
Bille stellt die Gose-Elbe mit einem  
Einzugsgebiet von 68,5 km<sup>2</sup> den größ-  
ten Zufluss dar und wird zum großen  
Teil über die fünf Schöpfwerke Och-  
senwerder, Reitbrook, Seefeld, Neu-  
engamme und Riepenburg gespeist

(Abb. 40). Über den Neuengammer  
Durchstich sind Dove-Elbe und Gose-  
Elbe miteinander verbunden.

Die Dove-Elbe wird durch die Dove-  
Elbe-Schleuse in einen oberen und  
einen unteren Teil getrennt (Abb. 11).  
Der obere Teil der Dove-Elbe hat eine  
Länge von 7 km und eine Einzugsge-  
bietsgröße von 24,9 km<sup>2</sup>, der untere  
Teil eine Länge von 12,6 km mit einer  
Einzugsgebietsgröße von 29,2 km<sup>2</sup>.  
Die Hauptwerte der Pegel an Bille und  
Dove-Elbe zeigt Tab. 3, die Lage der  
Pegel ist in Abb. 11 dargestellt.

In der Modellregion befinden sich die  
Überschwemmungsgebiete (ÜSG)  
Obere Dove-Elbe, Dove-Elbe und Gose-  
Elbe.

Im Gebiet Curslack/Altengamme  
wird durch Grundwasseranreicherung  
Trinkwassergewinnung für das Was-  
serwerk Curslack betrieben. Hierzu  
wird aus der Bille dem Gebiet Wasser  
zugeführt und über Gräben versickert.  
Bei Bedarf wird überschüssiges Was-  
ser über Durchlässe unter dem Cursla-  
cker Deich in die Dove-Elbe abgeführt.  
Abb. 12 zeigt eine schematische Skiz-  
ze der beschriebenen Teileinzugsge-  
biets.

Die Freizeit-Nutzung der Dove-Elbe  
ist von lokaler Bedeutung. Hier be-  
finden sich mehrere Sportboot- und

Tab. 3: Hauptwerte der Pegel an der Bille, Bille (Obere Bille) und Dove-Elbe (LLUR, BUE).

Pegel A <sub>E0</sub> [km <sup>2</sup> ] Station	Gewässer	MW MHW [NHN cm]	HHW [NHN cm] Datum	MQ MHQ [m <sup>3</sup> /s]	HHQ [m <sup>3</sup> /s] Datum	Bezugszeitraum Hydrologisches Jahr
Hamfelde 66,5 31+827	Bille	2414 2544	2588 29.10.98	0,55 4,07	6,81 19.07.02	W: 1986–2017 Q: 1986–2017
Sachsenwaldau 221,1 17+032	Bille	1279 1354	1392 27.02.02	1,76 10,4	17,7 18.07.02	W: 1990–2017 Q: 1984–2017
Reinbek 337,4 5+088	Bille	381 490	558 01.03.81	2,51 14,1	28,0 27.02.02	W: 1976–2017 Q: 1984–2017
Möörkenweg 339,2 3+470	Bille (Obere Bille)	334 428	487 05.01.18	–	–	W: 1967–2018 Q: –
Allermöher Deich/Sportz. 4+600	Dove-Elbe	87 137	181 06.01.12	–	–	W: 1982–2018 Q: –

Jachthäfen sowie eine Regattastrecke. Die Dove-Elbe und der Schleusen-graben bis zum Serrahnwehr werden insbesondere für Ausflugsfahrten gewerblich genutzt. An der Tatenberger Schleuse fanden 2015 rund 6.000 Schleusungen (Volkman, 2016) statt.

Die Marschlande im Westen der Modellregion weisen Geländehöhen zwischen NHN -1 m und NHN +1 m auf, die zu den Vierlande im Osten bis zu NHN +3 m ansteigen. Das Bergedorfer Stadtgebiet liegt auf der Geest mit einer Geländehöhe von ca. NHN +5 m. Die im Untersuchungsgebiet liegenden Stadtteile weisen unterschiedliche Nutzungsstrukturen auf. Während die nördlichen Stadtteile Moorfleet, Allermöhe, Neuallermöhe und Bergedorf durch Wohn- und Gewerbebebauung mit hohem Versiegelungsgrad geprägt sind, herrscht in den anderen Stadtteilen landwirtschaftliche Nutzung vor. Die Bebauung erfolgt entlang der alten Deichlinien, die auch als Hauptverkehrsachsen dienen.

Die Bodenversiegelung der Modellregion ist im nördlichen, stark urban geprägten Bereich mit Werten von über 80 % relativ hoch. Der südliche, landwirtschaftlich geprägte Bereich weist weitaus geringere Bodenversiegelungswerte von unter 20 % auf. In den dörflichen Strukturen liegt die Bodenversiegelung bei rund 50 %. Insgesamt

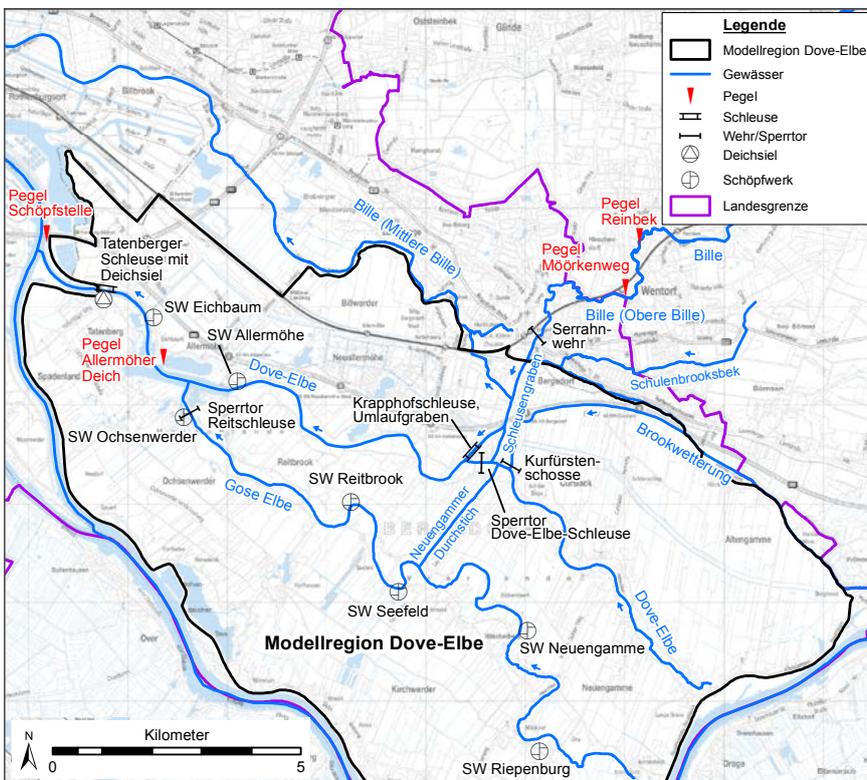


Abb. 11: Übersichtskarte der Modellregion Dove-Elbe mit Darstellung der Aufteilung der Bille in Hamburg (Die Pegel Hamfelde und Sachsenwaldau liegen am Oberlauf der Bille in Schleswig-Holstein und sind hier nicht dargestellt).

ist die Modellregion Dove-Elbe mit im Durchschnitt 17,3 % noch relativ gering versiegelt.

### 2.2.1 Abflussverhalten

Als tiefliegendes Marschgebiet ist die Entwässerung der Modellregion Dove-Elbe vom Wasserstand der Tideelbe abhängig. Über den Schleusengraben läuft aus dem Bereich der Geest das Wasser der Bille der Dove-Elbe zu (Abb. 14). Das mittlere Tidehochwasser (MThw) in der Norderelbe an der Mündung der Dove-Elbe beträgt NHN +222 cm, das mittlere Tideniedrigwasser NHN -149 cm (Pegel Schöpfstelle, 2011–2015).

Zur Binnenentwässerung dient das Deichsiel Tatenberg. Dieses ist kein Deichsiel im klassischen Sinn, da es mit drei Hubschützen ausgestattet ist, die wasserstandsabhängig gesteuert werden. Wenn der Außenwasserstand unter dem Binnenwasserstand liegt, kann eine Entwässerung stattfinden. Liegt der Außenwasserstand über dem Binnenwasserstand, findet keine Entwässerung statt und es kommt zum Rückstau. Fällt während einer Ebphase der Außenwasserstand nicht unter den Binnenwasserstand, dauert der Rückstau über diese Phase an. Dies wird als Sperrtide bezeichnet.

In den hydrologischen Jahren von 2002 bis zum hydrologischen Winter-

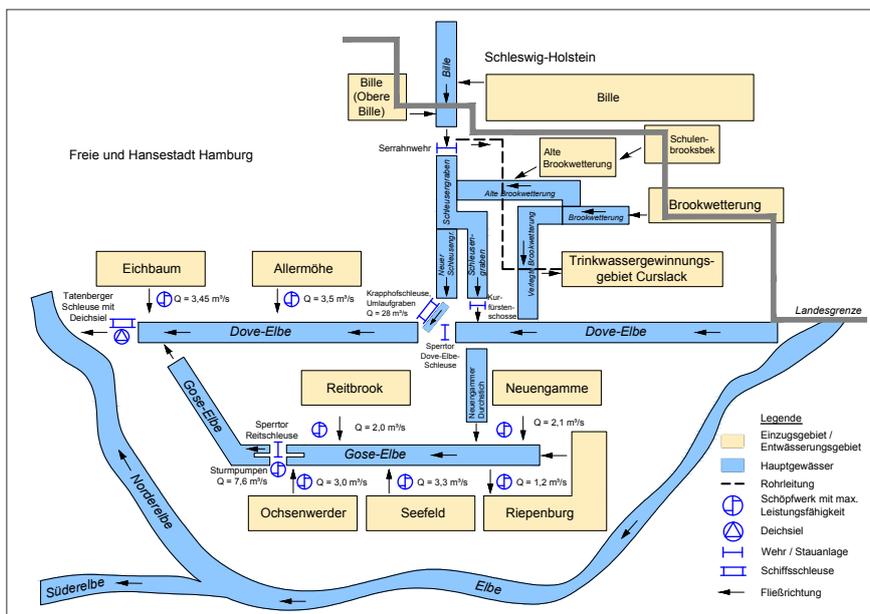


Abb. 12: Schematische Darstellung der Teilezugsgebiete der Dove-Elbe mit Schöpfwerken und deren jeweiliger Schöpffleistung. Die Pfeile entsprechen der Ent- und Bewässerung bei Regelwasserstand.



Abb. 13: Dove-Elbe / Zufahrt zur Tatenberger Schleuse, Blickrichtung flussabwärts

halbjahr 2018 kam es zu 19 Hochwasserereignissen, bei denen am Pegel Möörkenweg das einjährige Hochwasser ( $HW_1$ ) überschritten wurde. Die Laufzeiten des Hochwasserscheitels vom Pegel Hamfelde zum Pegel Möörkenweg variieren bei diesen Ereignissen zwischen 15 und 32,5 Stunden und liegen im Mittel bei 24 Stunden (Tab. 4). Auf der Fließstrecke vom Pegel Reinbek bis zum Pegel Möörkenweg wird durch den Rückstau des Serrahnwehrs eine deutliche Geschwindigkeitsverringerung des Hochwasserscheitels erzeugt. Dies geschieht unter Ausnutzung des ÜSG Bille (Freie und Hansestadt Hamburg, 2004) und dient dem Hochwasserschutz Bergedorfs.

Das Sturmtief Niklas, verbunden mit starken Niederschlägen, verursachte am 31.03.2015 sowohl ein Binnenhochwasser als auch eine Sperrtide. In Abb. 15 sind die Ganglinien und Laufzeiten des Hochwasserscheitels

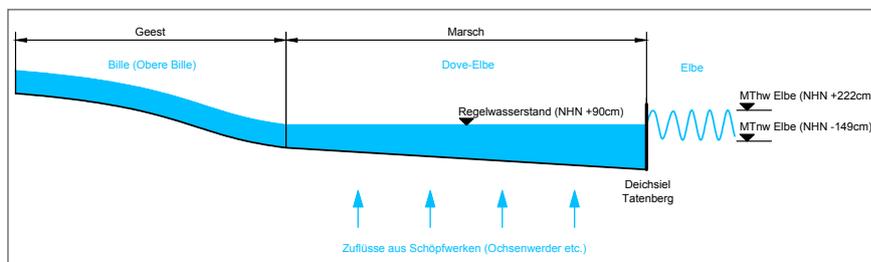


Abb. 14: Schematischer Längsschnitt durch Bille (Obere Bille) und Dove-Elbe (Angaben zu MThw und MTnw beziehen sich auf den Pegel Schöpfstelle) geändert nach (Nehlsen et al., 2014).

für das Hochwasserereignis sowie die Sperrtide dargestellt.

Abb. 15 zeigt eine deutliche Differenz zwischen dem Tnw der Sperrtide und dem Hochwasserscheitel am Pegel Möörkenweg. Aufgrund des Abflussverhaltens des Einzugsgebietes und der Laufzeiten des Hochwasserscheitels erreicht dieser die Modellregion Dove-Elbe erst 32 Stunden nach dem Tnw der Sperrtide. Dies entspricht der mittleren Verzögerung bei den untersuchten Hochwasserereignissen. Die Laufzeiten sind tendenziell kürzer, je höher das Hochwasserereignis ausfällt.

Seit 1951 liegen Aufzeichnungen über Tideniedrigwasserstände für den Pegel Schöpfstelle vor. Das Mittlere Tideniedrigwasser (MTnw) ist seitdem um 76 cm abgefallen und beträgt derzeit NHN -149 cm (HPA, 2017). Der Trend führt zu einem selteneren Auftreten von Sperrtiden. Das Wiederkehrintervall einer Sperrtide liegt bei 1,4 Jahren. Für zwei Sperrtiden in Folge liegt das Wiederkehrintervall bei 8 Jahren, für drei Sperrtiden in Folge bei 74 Jahren.

In den hydrologischen Jahren von 2002 bis zum Winterhalbjahr 2018 lag das Tnw am Pegel Schöpfstelle bei 16 Ereignissen über dem Regelwasserstand der Dove-Elbe von NHN + 90 cm. Elf dieser Ereignisse fallen mit einem erkennbaren Anstieg des Wasserstandes der Bille (Pegel Möörkenweg) zusammen. Bei der überwiegenden Zahl der Sperrtiden ist daher mit einem erhöhten Zufluss aus der Bille in die Dove-Elbe zu rechnen. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung des Ein-

Tab. 4: Mittlere Laufzeiten des Hochwasserscheitels an der Bille (Obere Bille) vom Pegel Hamfelde bis zum Pegel Möörkenweg sowie auf Teilfließstrecken.

Pegel	Fließstrecke [km]	Laufzeit [h]
Hamfelde bis Möörkenweg	28,3	24,0
Hamfelde bis Sachsenwaldau	14,8	12,0
Sachsenwaldau bis Reinbek	11,9	6,5
Reinbek bis Möörkenweg	1,6	5,5

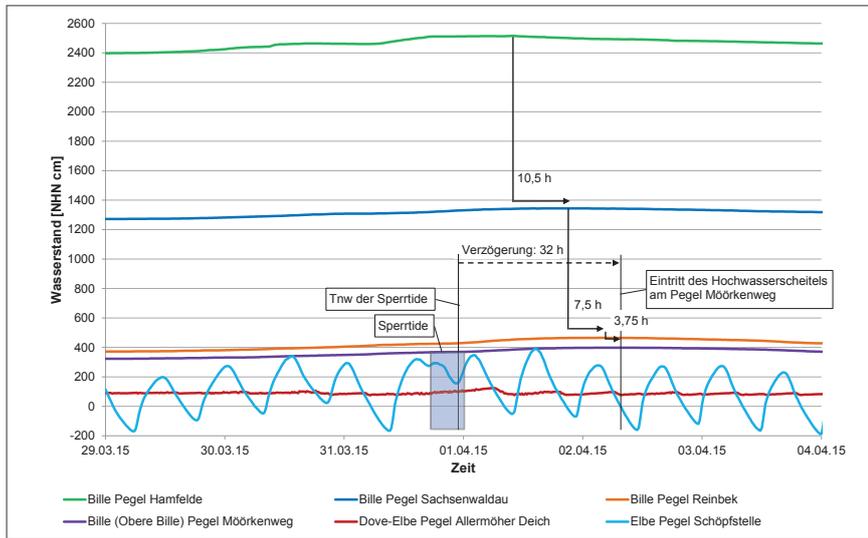


Abb. 15: Verlagerung des Hochwasserscheitels an den Pegeln der Bille, Bille (Obere Bille), Dove-Elbe und Elbe und Darstellung der zeitlichen Differenz zwischen Eintritt des Tnw während der Sperrtide und des Hochwasserscheitels am 02.04.2015.

tritts des Hochwasserscheitels gegenüber der Sperrtide (s. o.) führt dies in der Regel nicht zu einer Verschärfung der Hochwassersituation.

Das Deichsiel Tatenberg ist mit drei Hubschützen ausgestattet, die einen automatischen Betrieb zur Einhaltung des Regelwasserstandes und eine weitergehende Steuerung der Binnenwasserstände ermöglichen. Konstruktiv ist es auf eine Fließgeschwindigkeit von max. 2,5 m/s ausgelegt. Bis zu einer maximalen Wasserstandsdifferenz ( $\Delta h$ ) zwischen Binnen und Außen von 160 cm werden daher die Schütze automatisch schrittweise geschlossen. Abb. 16 zeigt das theoretisch maximale Sielzugvolumen für jede Tide des hydrologischen Jahres 2017. Variie-

rende Tiden (Verlauf der Tidekurve) führen zu unterschiedlichen Sielzugvolumen bei gleichem Tnw.

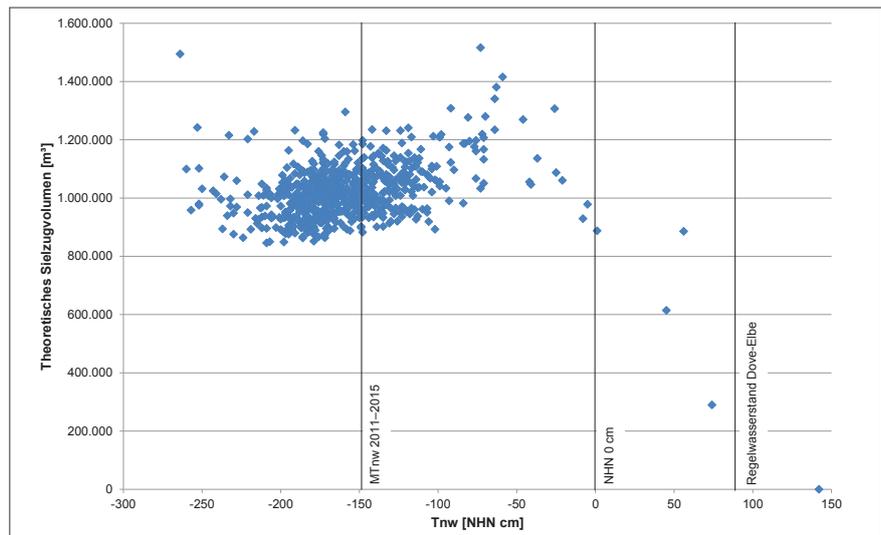


Abb. 16: Theoretisches Sielzugvolumen pro Tide im Hydrologischen Jahr 2017 unter Verwendung von drei Öffnungen und einem angenommenen Binnenwasserstand von konstant NHN +90 cm.

Die Punktwolke in Abb. 16 zeigt, dass ein höher auflaufendes Tnw die Entwässerung bis zu einem bestimmten Maß begünstigt. Ab einem Tnw von ca. NHN -50 cm nimmt das Sielzugvolumen wieder ab und bei ca. NHN 0 cm fällt es unter die Werte für mittlere Tiden.

Bei hohen Zuflüssen reicht die Leistung des Tatenberger Siels nicht aus, um diese vollständig abzuführen. Das Sielzugvolumen kann durch manuelle Steuerung erhöht werden, dies wurde am 05.01.2018 ab dem zweiten Tnw für vier Tnw-Phasen praktiziert. Abb. 17 verdeutlicht dies für das Hochwasserereignis. Anfang Januar 2018, mit Umstellung des Betriebes auf manuelle Steuerung ist eine deutliche Absen-

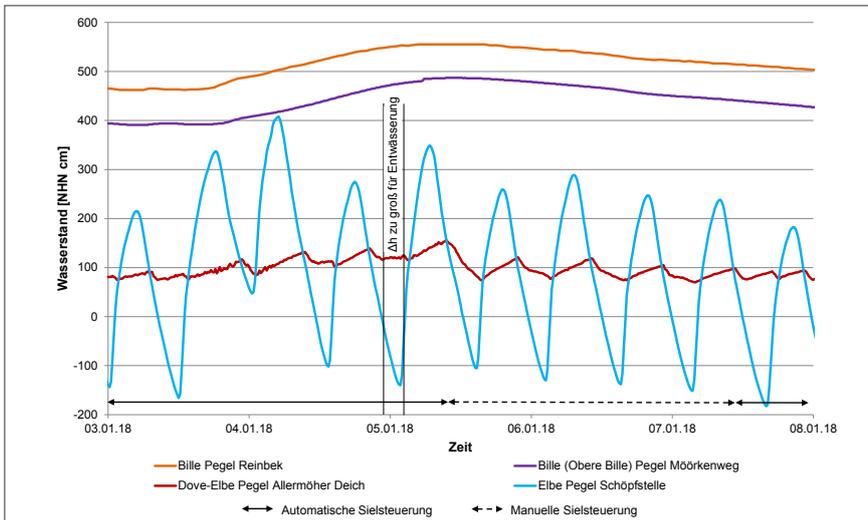


Abb. 17: Wasserstände an den Pegeln der Bille, Dove-Elbe und Tideelbe beim Hochwasser Januar 2018.

kung des Binnenwasserstandes während der Tnw-Phasen zu verzeichnen.

### 2.2.2 Böden

Die natürliche Substratabfolge der Böden entlang der Dove-Elbe ist Klei über Sand, wobei die Kleimächtigkeit zwischen 0,3 m und über 2,0 m schwankt. Lokal überdecken technogene Aufschüttungen mit einer Mächtigkeit von bis zu 2 m die natürliche Substratabfolge. Diese Aufschüttungen bestehen z. T. aus aufgespülten Schlämmen, Material aus Räumungen der Dove-Elbe und Bauschutt. Das Material wurde teilweise in die Ober- und Unterböden eingearbeitet und ist z. T. reich an organischer Substanz.

In den tiefliegenden ufernahen Bereichen finden sich natürliche Böden der rezenten Flusskleimarschen und an

aufgeschütteten Standorten Kolluvisole und Regosole. In den höher gelegenen Bereichen sind vor allem Gleye vorzufinden (Abb. 18).

In den Böden entlang der Dove-Elbe weisen die Kohlenstoffgehalte der Oberböden durchschnittliche Werte von 10–25 kg/m<sup>2</sup> auf. Die höchsten Kohlenstoffgehalte in den Oberböden finden sich an Standorten, deren Geländehöhe nur wenig über dem Regelwasserstand der Dove-Elbe liegt (Abb. 19).

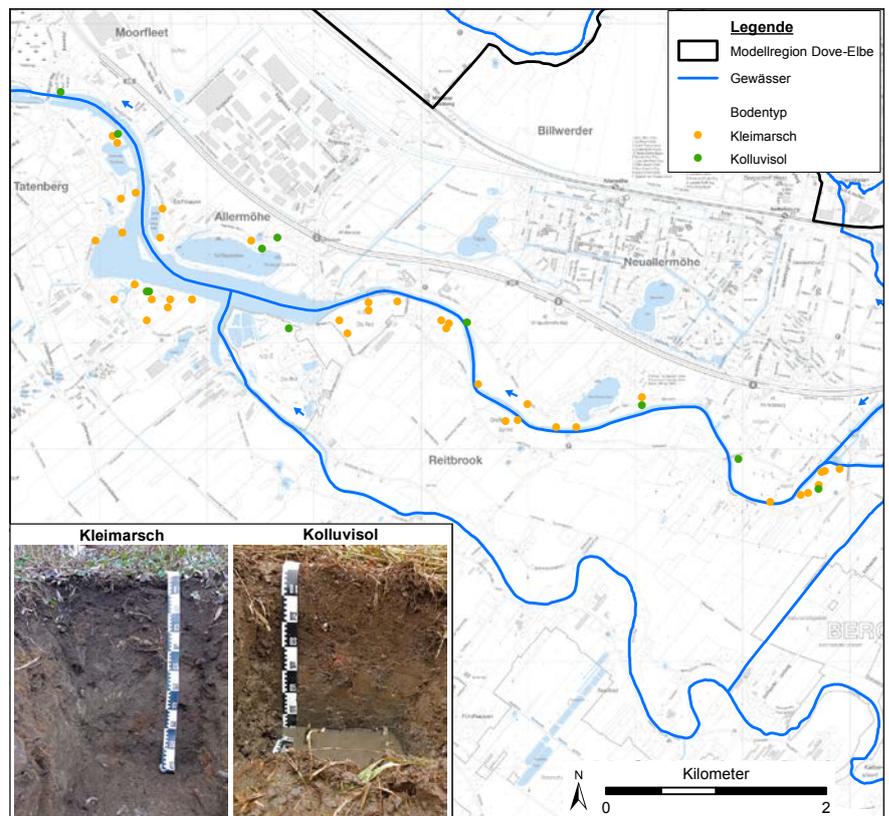


Abb. 18: Ergebnisse der bodenkundlichen Bohrstockkartierung im Einzugsgebiet der Dove-Elbe und dort dominierende Bodentypen.

Dies ist auf den vergangenen direkten Tideeinfluss und derzeitige gelegentliche Überschwemmungen zurückzuführen.

### 2.2.3 Vegetation

In der Modellregion Dove-Elbe wurden an den Standorten der Bodenaufnahmen auch vegetationskundliche Untersuchungen durchgeführt. Die untersuchten Flächen entlang der Dove-Elbe unterliegen einem anthropogenen Einfluss, der sich in diesem Fall hauptsächlich durch landwirtschaftliche Nutzung äußert. Die Artenzusammensetzung der krautigen Vegetation dieser Untersuchungsflächen spiegelt dies durch einen hohen Anteil von Wirtschaftsgräsern, wie z. B. Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis*), Gewöhnliches Knäuelgras (*Dactylis glomerata*) oder Gewöhnliche Quecke (*Elymus repens*) wider. Weitere häufig gefundene Arten sind Große Brennnessel (*Urtica dioica*) und Gewöhnlicher Gundermann (*Glechoma hederacea*), welche in Hamburg weit verbreitet und an hohe Stickstoffgehalte im Boden (Nitrophyten) angepasst sind.

Die Artenzahlen der untersuchten, genutzten Grünländer sind nutzungsbedingt niedrig und deuten auf eine intensive Nutzung hin.

Aktuell finden sich in der Aue der Dove-Elbe Röhrichte, Hochstaudenfluren

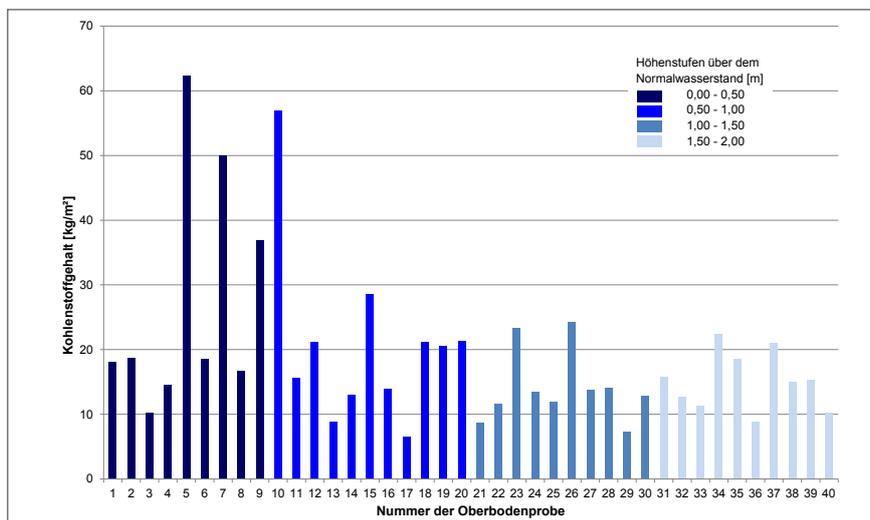


Abb. 19: Ergebnisse der Kohlenstoffgehalts-Berechnungen in den Oberböden (0–10 cm) der Untersuchungsstandorte in der Modellregion Dove-Elbe.

und an geeigneten, flachen Uferabschnitten, wie z. B. dem Ostteil des Naturschutzgebietes „Die Reit“, auch kleinräumige Pionierfluren. Auch Weidengebüsche und -wälder finden sich als Relikte der ehemaligen Weichholzaue in der Aue der Dove-Elbe, wobei sich auch neue von Weiden dominierte Vegetationsstrukturen seit der Abdämmung von der Tideelbe entwickelt haben. Vereinzelt finden sich in der Aue auch noch kleinräumige Relikte von Hartholzauwäldern. Auf Grund der dominierenden Nutzung der Aue der Dove-Elbe als Grünland gibt es aktuell nur wenige Flächen in der aktiven Aue der Dove-Elbe, auf denen eine natürliche Sukzession der Vegetation erfolgt.

### 3 NIEDERSCHLAGS- UND HOCHWASSERVORHERSAGE

Der LSBG betreibt den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg (www.wabiha.de), dieser veröffentlicht über das Internet Warnungen vor Hochwasserereignissen und Hochwasserlageberichte (Abb. 20).

Der LSBG ermittelt in diesem Warndienst aus den aktuellen Wasserständen der Pegel und den Niederschlagsmessungen und -vorhersagen eine Gesamtwarnstufe für mögliche Hochwassergefahren.

#### 3.1 Niederschlagsmessungen und -vorhersage

Zur Ermittlung von Gebietsniederschlägen für kleine Einzugsgebiete werden hochaufgelöste Messungen benötigt. Dazu werden im Projekt Stück die Rohdaten des Radarniederschlags des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Standorte Boostedt, Emden, Hannover und Rostock genutzt und aufbereitet (z. B. Entfernung von Abschattungseffekten) und zu einem Radarkomposit für Norddeutschland zusammengefügt (Abb. 21). Dieses wird mit Hilfe von Regenschreiberdaten von 232 Messstationen kalibriert. Im Ergebnis liegen Radarniederschlagsdaten in einer räumlichen Auflösung von 1 × 1 km und einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten vor.



Abb. 20: Internetseite des Warndienstes Binnenhochwasser Hamburg.

Aus den Radarniederschlagsdaten wird für einen Vorhersagezeitraum von vier Stunden ein so genannter Radar-Nowcast (Kurzfristvorhersage) erzeugt. Dieser wird alle fünf Minuten aktualisiert (Abb. 21).

Die Berechnung der Vorhersage basiert auf der Erkennung der Bewegung der Niederschlagszellen sowie deren Größen- und Intensitätsänderung. Die Radar-Nowcasts werden als Ensemblevorhersage mit zehn Einzelvorhersagen (Ensemblemember) erzeugt, die durch geringfügige Veränderung

der Anfangszustände die mögliche Bandbreite hinsichtlich der räumlichen Verteilung und des zu erwartenden Niederschlages darstellen. Im Projekt wird die automatisierte Auswertung der Vorhersagen für die Hochwasserwarnungen im Warndienst Binnenhochwasser Hamburg untersucht und getestet.

Zur Niederschlagsvorhersage von bis zu einem Tag werden die Vorhersagen des numerischen Vorhersagemodells COSMO-D2-EPS des DWD verwendet (bis 14.05.2018 COSMO-DE-EPS).

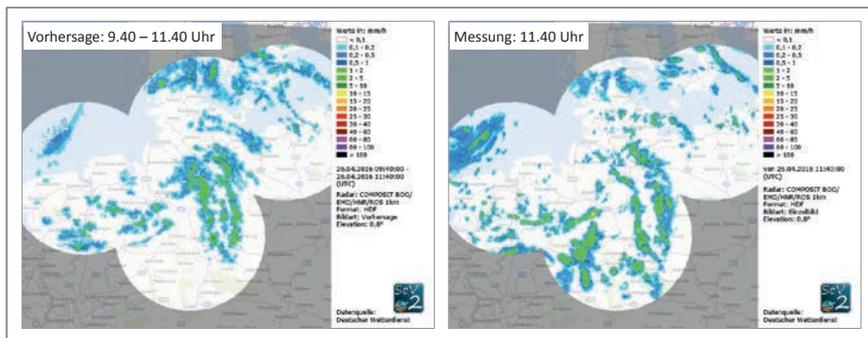


Abb. 21: Beispiel für die in Stuck erstellten kurzfristigen Niederschlagsvorhersagen: Radar-Nowcast vom 26.04.2016 um 09:40 Uhr UTC (links) und aufgetretener Niederschlag zwei Stunden später, in der Radarmessung von 11:40 Uhr UTC (rechts).

Das Modell besitzt eine horizontale Auflösung von 2,2 x 2,2 km und 65 Modellschichten in der Vertikalen. Es erzeugt achtmal täglich eine Vorhersage für einen Zeitraum von 27 Stunden. Das Modellgebiet umfasst im Wesentlichen das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (Baldauf et al., 2018).

Beide Vorhersagen werden zu einer Tagesvorhersage zusammengefasst (Abb. 22). Für die ersten beiden Stunden wird nur der Radar-Nowcast ver-

wendet. Für die dritte und vierte Stunde werden im so genannten „Blending“ beide Datensätze zu einer gemeinsamen Niederschlagsvorhersage kombiniert, ab der fünften Stunde basiert die Niederschlagsvorhersage auf dem COSMO-D2-EPS-Modell.

Für das Hochwassermanagement größerer Einzugsgebiete sind v. a. Vorhersagen von Niederschlägen mit Dauerstufen von zwei und mehr Tagen relevant. Für diese Fragestellung wird im Projekt Stuck mit dem ICON-

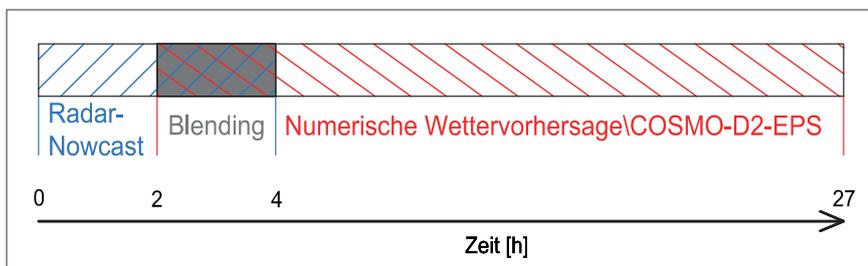


Abb. 22: Prinzip der Niederschlagsvorhersage mit „Blending“ von Radar-Nowcast und numerischer Wettervorhersage mit COSMO-D2-EPS.

EU-Modell ein weiteres Vorhersagemodell des DWD herangezogen. Das ICON-EU-Modell hat eine horizontale Auflösung von 6,5 x 6,5 km und 60 Modellschichten in der Vertikalen. Das Modell liefert viermal täglich eine Vorhersage für einen Zeitraum von 120 Stunden. Das Modellgebiet umfasst im Wesentlichen Europa (Reinert et al., 2018).

### 3.2 Hochwasservorhersage

Die Daten der entwickelten Niederschlagsvorhersage werden für ein Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) zur kontinuierlichen Vorhersage



Alrun Jasper-Tönnies, hydro & meteo GmbH

„Für Hochwasserwarnungen in städtischen Einzugsgebieten ist man auf geeignete Niederschlagsvorhersagen angewiesen. Durch die Einbindung von Ensemblevorhersagen und Radar-Nowcasts konnten wir in dem Warndienst für Hamburg wesentliche Fortschritte erzielen.“

der Wasserstände an drei Pegeln der Kollau genutzt. Dabei wird der Niederschlag nur den Teilen des Einzugsgebietes zugeordnet, in denen er gefallen ist und vorhergesagt wird. Hierfür werden Mess- und Vorhersagedaten mit den Teileinzugsgebieten des Modells verschnitten, um die räumliche Verteilung des Niederschlages abzubilden (Abb. 23).

Das N-A-Modell berechnet für die zehn Ensemblemember 15-minütlich die jeweiligen Abflüsse. Über die Schlüsselkurven der Pegel werden diese in Wasserstände umgerechnet. Dies ist in Abb. 24 beispielhaft für ein kleineres Hochwasserereignis am 28.08.2016 dargestellt. Die Abbildung stellt zum einen den gemessenen Wasserstand am Pegel dar, zum anderen die aus den Radarmessungen des Niederschlages und Niederschlagsvorhersagen berechneten Wasserstände.

Es zeigt sich, dass die Verwendung gemessener Radarniederschläge für das N-A-Modell geeignet ist, die hieraus berechnete Ganglinie liegt nahe der gemessenen Wasserstände.

Die Wasserstandsvorhersage auf der Grundlage des Radar-Nowcasts liegt für fünf Ensemblemember nahe der gemessenen Werte, die anderen Vorhersagen liegen zum Teil deutlich darunter.

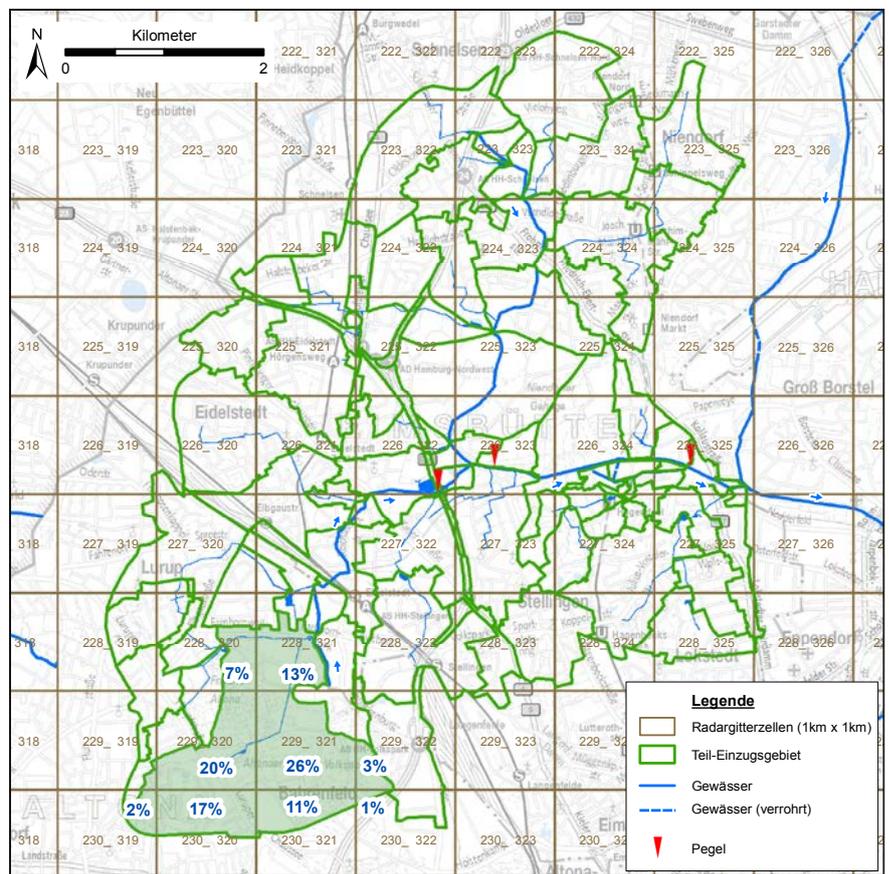


Abb. 23: Schematische Darstellung der räumlichen Verschnidung der Mess- und Vorhersagedaten mit den Teileinzugsgebieten des N-A-Modells.

### Wie kann die kurzfristige Vorhersage von Hochwasserereignissen für kleinräumige Einzugsgebiete verbessert werden?

Für den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg werden die DWD-Produkte Radarmessung und Niederschlagsvorhersage genutzt und weiter aufbereitet. Aus dem hier aufgebauten hochauflösenden Radarkomposit für den norddeutschen Raum werden Gebietsniederschläge für kleine Einzugsgebiete ermittelt. Durch die kleinräumige Auswertung von Ensemblevorhersagen lassen sich insbesondere konvektive Niederschläge besser vorhersagen. Die Anwendung dieser Vorhersagen in einem N-A-Modell verbessert die Hochwasservorhersage erheblich.

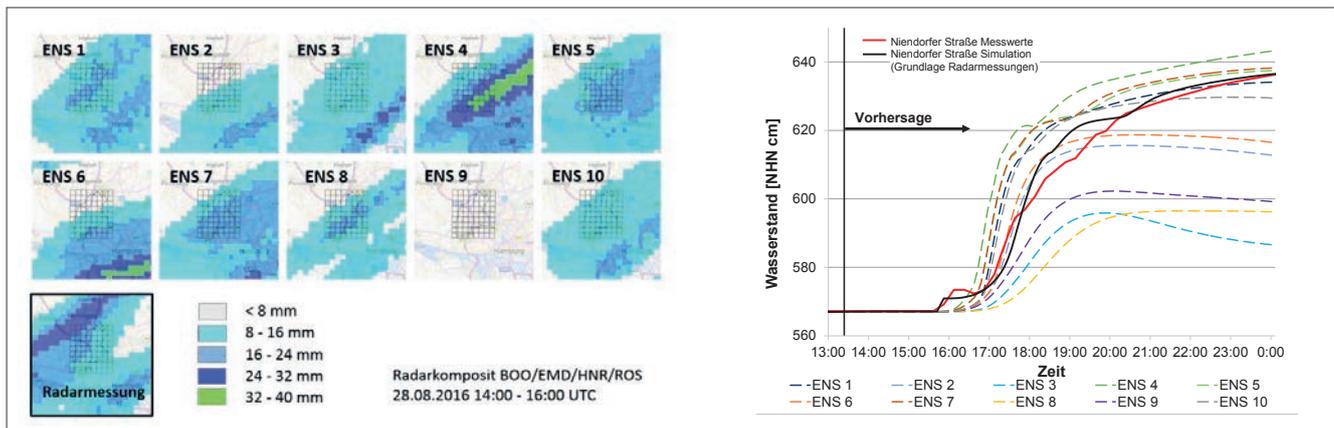


Abb. 24: Ensemblevorhersagen des Radar-Nowcasts am 28.08.2016 (links, dargestellt sind Vorhersagesummen über zwei Stunden) und daraus berechnete Wasserstandsvorhersagen an der Kollau (Pegel Niendorfer Straße), sowie gemessener Wasserstand und auf der Grundlage von Radarmessungen berechneter Wasserstand (rechts).

Damit wird für ein kleines, urban geprägtes Einzugsgebiet eine Hochwasservorhersage erzeugt, wie sie in dieser räumlichen und zeitlichen Auflösung bisher in Hamburg nicht möglich war. Die für die Zukunft vor-

gesehene Entwicklung eines gewichteten Verfahrens zur Auswertung der Ensemblevorhersagen wird auch hier zum Tragen kommen und die Vorhersage verbessern.

Die im Projekt entwickelte Niederschlagsvorhersage wird auch für das N-A-Modell der Modellregion Dove-Elbe genutzt. Der operationelle Einsatz dieses Modells, welches auch tidebedingten Rückstau im Gewässer abbilden kann, ist vorgesehen.

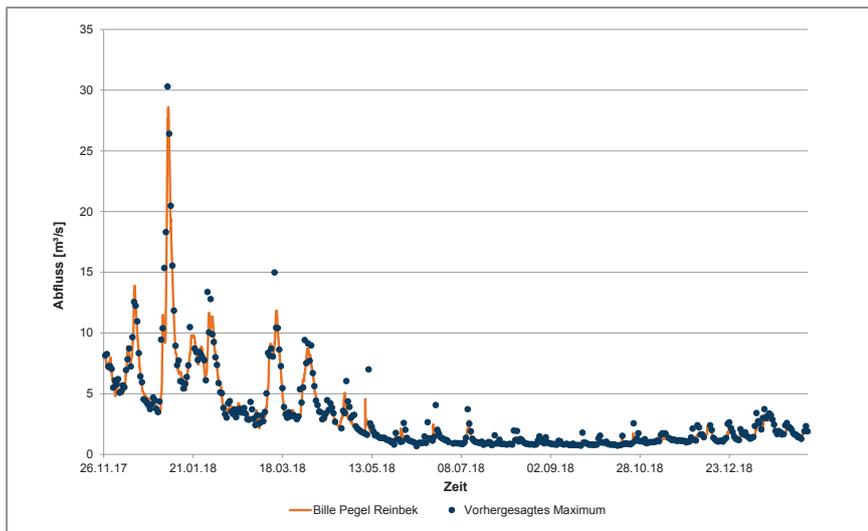


Abb. 25: Ermittelte Abflüsse am Pegel Reinbek und vorhergesagte Abflussmaxima basierend auf Radarniederschlägen und Vorfeuchteindex.

Aus dem Radarkomposit werden für das Einzugsgebiet des Pegels Reinbek die Gebietsniederschläge ermittelt, welche mit den am Pegel gemessenen Abflüssen in eine Abflussvorhersage eingehen. Der Abflussvorhersage liegt ein einfacher Ansatz zur Vorhersage von Hochwasserabflüssen (Schröter et al., 2015) zugrunde, der in weiterentwickelter Form für den Pegel Reinbek angewendet wird. Dieser basiert auf einem Vorfeuchteindex, welcher die aktuellen Bodenfeuchteverhältnisse in einem Einzugsgebiet beschreibt. In

Kombination mit den aktuellen Abflüssen und den Gebietsniederschlägen kann eine Vorhersage des Abflussmaximums für die kommenden 24 Stunden erstellt werden. Einmal täglich erfolgt eine automatisierte Vorhersage des Abflussmaximums.



Sandra Hellmers, TUHH

“Die im Rahmen des Vorhabens StucK entwickelten hydrologisch-numerischen Methoden zur Modellierung von dezentralen Entwässerungssystemen sowie zur Modellierung rückstau- bzw. tidebeeinflusster (küstennaher) Einzugsgebiete verbessern die Aussagestärke wasserwirtschaftlicher Modelle für tiefliegende urbane Entwässerungsgebiete. Modellergebnisse der verbesserten Methoden auf der Grundlage aktueller und zukünftiger Niederschlagsszenarien mit aktuellen und angepassten Entwässerungssystemen liefern die Grundlage für Entscheidungen des aktuellen und zukünftigen Hochwassermanagements.“

Auf diese Weise wird der Zufluss aus der Bille abgeschätzt und kann als Information für das Hochwassermanagement genutzt werden.

Abb. 25 zeigt die vorhergesagten Abflussmaxima im Vergleich zu der Ganglinie des Abflusses am Pegel Reinbek. Es zeigt sich, dass das Verfahren nutzbare Abflussvorhersagen liefert.

### 3.3 Integrierte vorhersagebasierte Managementkonzepte

Das Projekt StucK stellt für die Modellregionen Konzepte für die Nutzung hydrologischer Messdaten und Vorhersagen für den operativen Binnenhochwasserschutz bereit. Diese können in der Praxis als Grundlage für das Hochwassermanagement genutzt werden.

Dabei werden die unterschiedlichen Gebietsmerkmale der beiden Modellregionen mit unterschiedlichem Abflussverhalten und dementsprechend erforderlichen Vorhersagezeiträumen berücksichtigt.

#### 3.3.1 Kollau

Für die Modellregion Kollau ist das Konzept in Abb. 26 dargestellt. Mittelfristige Vorhersagen des Niederschlages liegen aus den Rechenläufen des ICON-EU-Modells vor, diese können

genutzt werden, um sich bereits über einen Zeitraum von drei Tagen auf mögliche Hochwasserereignisse vorzubereiten.

Für das eigentliche Hochwassermanagement sind jedoch die Vorhersagen von bis zu 24 Stunden relevant, die die im Projekt entwickelte Niederschlagsvorhersage liefert. Diese Informationen können über einen Warndienst verbreitet werden, dies ist für den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg vorgesehen. Darüber hinaus können diese genutzt werden, um HRB vorhersagebasiert zu steuern (Kap.4.1.1).

Ein bis zwei Stunden vor dem eigentlichen Hochwasserereignis liegen mit den gemessenen Radarniederschlägen und den Pegelständen konkrete Informationen vor, die über den Warndienst verbreitet werden können. Hiermit ist es möglich, auch vor dem Hintergrund der Fließzeit des Hochwasserscheitels, (Kap. 2.1.1) ggf. noch kurzfristig präventive Maßnahmen zu ergreifen.

In Zukunft kann durch Anwendung des operationellen N-A-Modells für die Kollau auf eine verbesserte Hochwasservorhersage zurückgegriffen werden, die die Daten der Niederschlagsmessungen sowie der kurz- und mittelfristigen Niederschlagsvorhersagen integriert. Diese Hoch-

wasservorhersage kann auch zur Steuerung von HRB genutzt werden (siehe Kap. 4.1.1).

### 3.3.2 Dove-Elbe

Für die Modellregion Dove-Elbe stellt das Projekt Stuck ein Konzept bereit, welches die hydrologischen Eigenschaften größerer Einzugsgebiete mit Tideeinfluss repräsentiert. Die Grundzüge dieses Konzeptes sind in Abb. 27 dargestellt.

Das Konzept setzt bei der Tidevorhersage an, deren Vorhersagezeitraum sechs Tage beträgt. Aus diesen Daten lässt sich frühzeitig erkennen, ob mit erhöhtem Tnw und damit einer möglichen eingeschränkten Binnenentwässerung zu rechnen ist. Ab einem Vorhersagezeitraum von fünf Tagen kann das ICON-EU-Modell zur Niederschlagsvorhersage genutzt werden. Es bietet die Möglichkeit, vorausschauend zu erkennen, ob es in diesem Zeitraum zu größeren advektiven Niederschlagsereignissen kommt, welche für die Entstehung von Hochwasser in der Modellregion Dove-Elbe relevant sind. In Kombination mit der Tidevorhersage ergibt sich somit eine frühe Vorhersage möglicher Binnenhochwasserereignisse. Konkretisiert sich diese Vorhersage weiter, können auf dieser Grundlage schon einige Tage vor dem Ereignis erste präventive Hochwassermanagementmaßnahmen ausge-

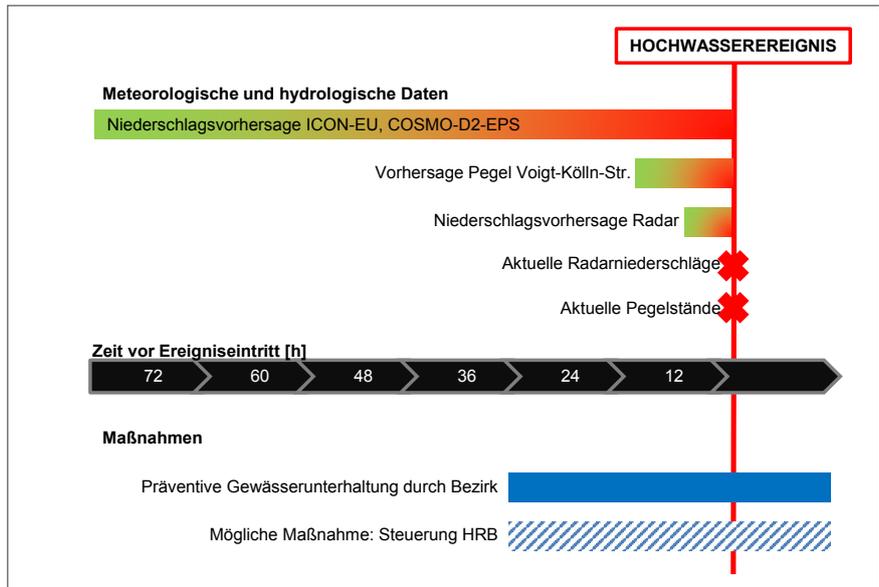


Abb. 26: Konzept für die Nutzung hydrologischer Messdaten und Vorhersagen im Rahmen des Hochwassermanagements in der Modellregion Kollau.

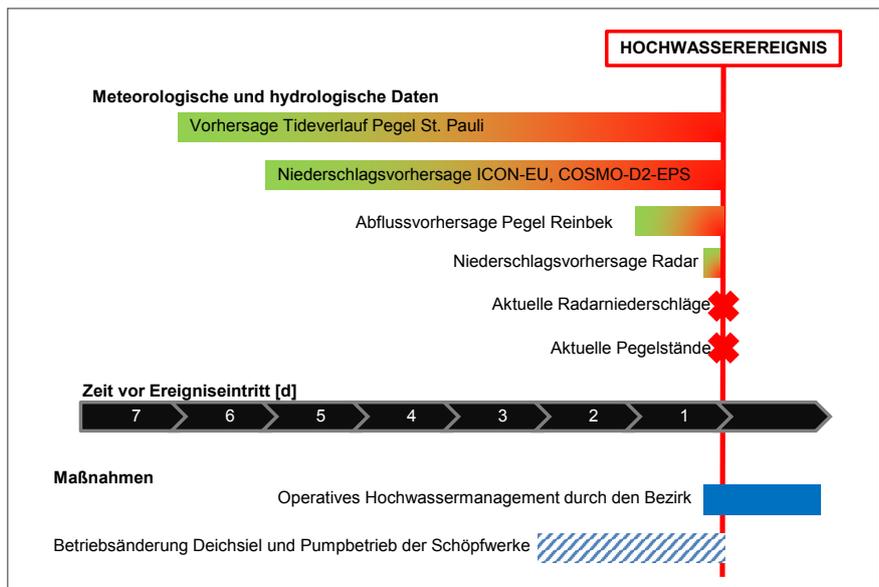


Abb. 27: Konzept für die Nutzung hydrologischer Messdaten und Vorhersagen im Rahmen des Hochwassermanagements in der Modellregion Dove-Elbe.

führt werden. Dazu zählt im Bereich der Modellregion Dove-Elbe z. B. das Vorabsenken der Wasserstände in der Dove-Elbe und Gose-Elbe durch Betriebsänderung am Deichsiel Tatenberg sowie des Pumpbetriebes in den Schöpfwerksgebieten (Kap. 4.2.1 und Kap. 4.2.2).

Das entwickelte Konzept für die Modellregion Dove-Elbe ist mit separaten Meldestufen für die Parameter Tide-niedrigwasser, Niederschlag und Abfluss hinterlegt. Diese sind gebiets-spezifisch für die Modellregion ermittelt worden und dienen der Einstufung von Messdaten und Vorhersagen. Tab. 5 zeigt die festgelegten Meldestufen. Durch die Kombination der drei Meldestufen wird eine Gesamtmeldestufe (Tab. 6) abgeleitet.

Das entwickelte Konzept wurde anhand des Hochwasserereignisses vom 05.01.2018 auf seine Eignung für die praktische Anwendung überprüft.

Abb. 28 zeigt die Ganglinien der Pegel während des Hochwasserereignisses und die Zeitpunkte, zu denen Meldestufen überschritten wurden. Bereits am 31.12.2017 um 0:00 Uhr konnte aus dem ICON-EU-Modell die Überschreitung der 1. Meldestufe für die Niederschläge mit einer Dauerstufe von 96 Stunden abgeleitet werden. Mit dem nächsten Modelllauf wur-

Tab. 5: Schwellenwerte für die drei Meldestufen der hochwasserbeeinflussenden Faktoren für den Bereich der Modellregion Dove-Elbe.

	1. Meldestufe	2. Meldestufe	3. Meldestufe
<b>Vorhersage Tnw [NHN cm]</b>	-10	100	Zwei Sperrtiden (2 x 100 cm)
<b>Vorhersage Niederschlag [mm/Dauerstufe]</b>			
30 min	7,6	11,0	14,0
60 min	9,3	13,1	17,3
90 min	10,4	14,4	18,7
120 min	11,4	15,4	19,9
6 h	15,8	19,7	25,0
12 h	19,3	23,1	28,8
24 h	22,3	27,0	33,7
48 h	29,2	34,0	41,1
72 h	36,1	38,9	46,5
96 h	40,0	46,3	54,8
120 h	43,9	50,4	59,2
<b>Abfluss Pegel Reinbek [m³/s]</b>	8,0	13,4	15,2

de diese Vorhersage nicht bestätigt. Am Morgen des 01.01.2018 erreicht die Abflussvorhersage für den Pegel Reinbek die erste Meldestufe. Am Abend des 01.01.2018 erfolgt die Vorhersage eines stark erhöhten Tnw, was die Gesamtmeldestufe auf Orange setzt. Am Morgen des 02.01.2018 überschreitet die Niederschlagsvorhersage erneut die 1. Meldestufe und setzt zwischenzeitlich die Gesamtmeldestufe auf Rot. In

der Nacht vom 02. zum 03.01.2018 werden die zweite und drei Stunden später die dritte Meldestufe der Niederschlagsvorhersage erreicht. Im weiteren Verlauf verschärft sich die Hochwassersituation, es kommt zu sehr hohen Abflüssen am Pegel Reinbek, die über das Deichsiel Tatenberg nicht hinreichend abgeführt werden können. Somit steigt auch der Wasserstand in der Unteren Dove-Elbe weiter an. Erst die Umstellung des Betriebes

Tab. 6: Schwellenwerte für die drei Meldestufen der hochwasserbeeinflussenden Faktoren für den Bereich der Modellregion Dove-Elbe.

Gesamtmeldestufe	Maßnahme
Gelb	Vorwarnung
Orange	Erhöhte Bereitschaft
Rot	Durchführung von Maßnahmen in Abhängigkeit des Vorhersagezeitraumes

des Deichsieses auf manuelle Steuerung am 05.01.2018 führt zu einer deutlichen Absenkung des Wasserstandes.

Die durchgeführte Überprüfung zeigt, dass eine sinnvolle Kombination von Messungen und Vorhersagen ein frühzeitiges Erkennen von möglichen Hochwasserereignissen ermöglicht. Die während des Ereignisses gemessenen Daten entsprechen im Wesentlichen den Vorhersagen, auch denen aus den mittelfristigen Vorhersagen. Dieses Verfahren wird weiter verfolgt und an weiteren Ereignissen validiert.

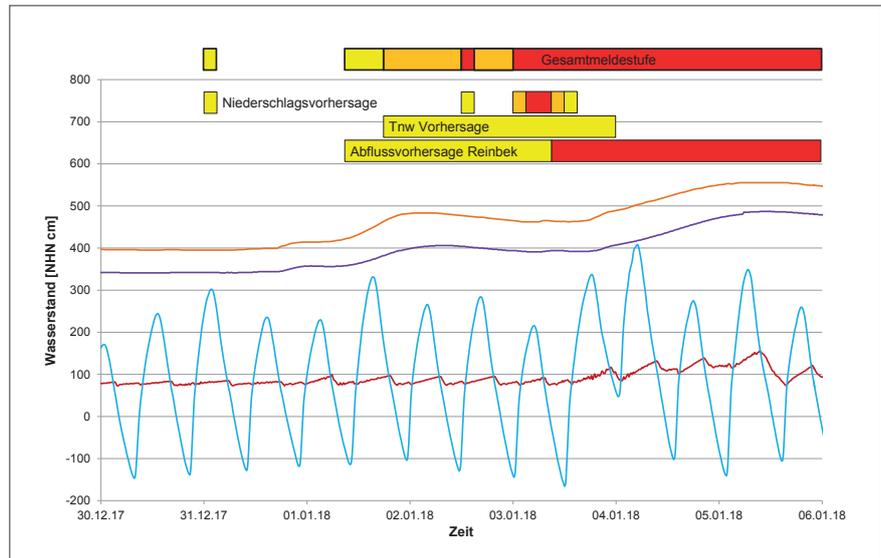


Abb. 28: Auslösen der festgelegten Meldestufen vor und während des Hochwasserereignisses am 05.01.2018.

### Wie lassen sich für größere, tidebeeinflusste Einzugsgebiete langfristige Tide- und Niederschlagsvorhersagen nutzen?

Durch die Entwicklung gebietsspezifischer Schwellenwerte für die Parameter Tide, Niederschlag sowie Abfluss und ihrer Anwendung bei Vorhersagen kann bei einer langfristigen Betrachtung von bis zu fünf Tagen vorher auf ein Hochwasserereignis aufmerksam gemacht werden. So wird ein Handlungszeitfenster für Präventivmaßnahmen geschaffen. Die Kombination mehrerer Schwellenwerte erhöht die Meldestufe und kann entsprechend weitreichendere Maßnahmen hervorrufen.

Die Validierung des Konzeptes zur langfristigen Vorhersage für tidebeeinflusste Einzugsgebiete an einem Hochwasserereignis verdeutlicht, dass durch die Nutzung von Vorhersagen das Potenzial zur Steuerung der Anlagen und damit des Speichervolumens wesentlich besser ausgenutzt werden kann.

## 4 BETRIEBLICHE UND WASSERBAULICHE MASSNAHMEN

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Optimierung des Hochwassermanagements vorgestellt. Diese werden anhand von Beispielen aus den Modellregionen entwickelt und deren Wirkung mit den entsprechenden N-A-Modellen und in der Modellregion Kollau mit einem hydrodynamisch-numerischem 2-D-Modell berechnet. Dabei wird in erster Linie die Wirksamkeit der Maßnahmen für den Binnenhochwasserschutz und deren Bewertung unter ökologischen Gesichtspunkten dargestellt. Weitere für die Umsetzung relevante Aspekte, wie beispielsweise die Verfügbarkeit von Flächen, finanziellen Mitteln und die technische Umsetzung, werden nicht in Betracht gezogen, um die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse in den Vordergrund zu stellen.

### 4.1 Kollau

#### 4.1.1 Vorhersagebasierte Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken

Die entwickelte Niederschlagsvorhersage kann auch für eine vorhergesagte Steuerung von HRB verwendet werden. Hierdurch werden die Stauräume der HRB besser ausgenutzt.

Das Konzept basiert auf Vorhersagestufen, die auf dem Wiederkehr-

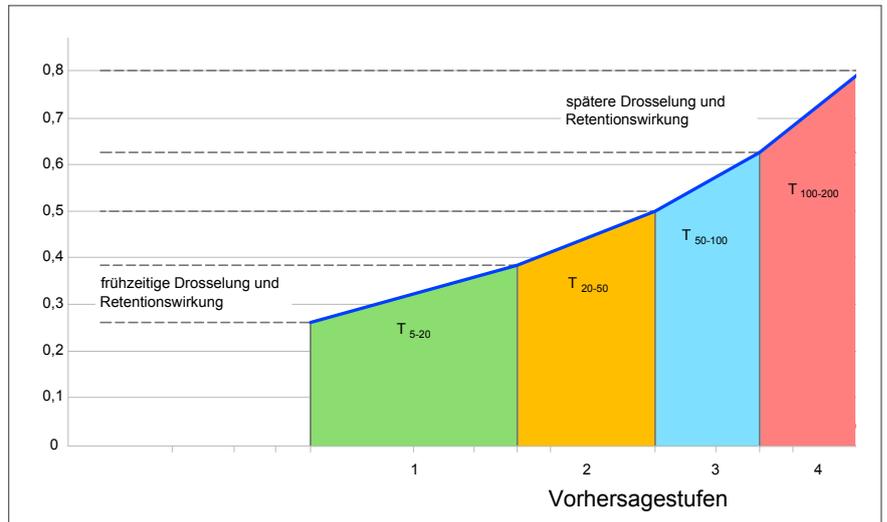


Abb. 29: Schematische Darstellung des Steuerungskonzeptes mit Vorhersagestufen und gesteuerten Drosselabflüssen auf der Grundlage von Bemessungsganglinien.

intervall des zu erwartenden Niederschlagsereignisses basieren. Im hier dargestellten Konzept werden vier Vorhersagestufen zugrunde gelegt, die von Stufe 1 ( $T_{5-20}$ ) bis Stufe

4 ( $T_{100-200}$ ) den Bereich möglicher Hochwasserereignisse abdecken. Entsprechend der Vorhersagestufen werden unterschiedliche Strategien der Speicherung und somit der Steuerung

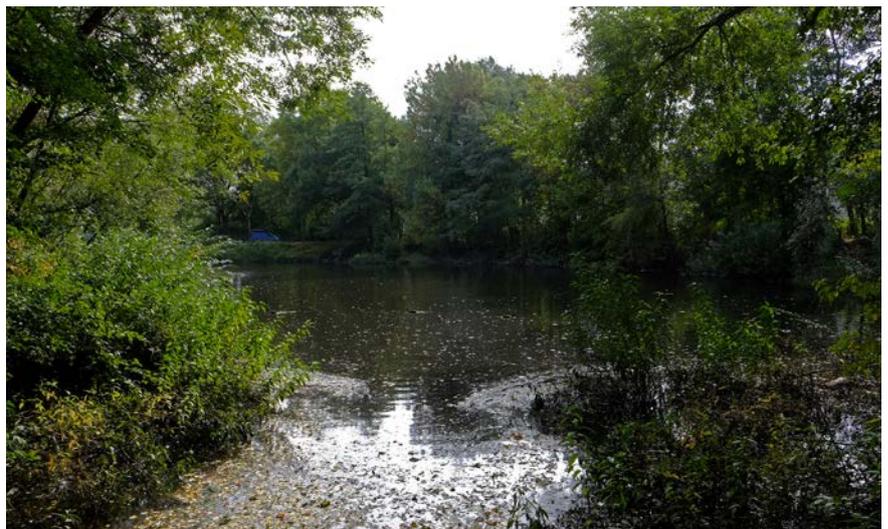


Abb. 30: HRB Kronsaalsweg an der Düngelau.

### Ist eine Optimierung der Steuerung von Hochwasserschutzanlagen (HRB) durch Nutzung von Vorhersagen möglich?

Die Untersuchung einer prognosebasierten Steuerung eines HRB zeigt eine optimierte Nutzung des Speichervolumens zur Verringerung des Scheitelabflusses und damit zur Abflussverzögerung.

Die Möglichkeiten der vorhersagebasierten Steuerung kann auch bei wasserbaulichen Maßnahmen durch den Einbau von Steuerungsanlagen genutzt werden.

der HRB verfolgt. Ist beispielsweise ein größeres Hochwasser zu erwarten (Stufe 4), wird die Hochwasserwelle entsprechend später gekappt als bei einem kleinerem Hochwasser (Stufe 1).

Dabei ist von Bedeutung, dass für die Steuerung eindeutige Betriebsvorgaben innerhalb der Vorhersagestufen bestehen. Es muss aber auch die Möglichkeit der ereignisbezogenen Steuerung bei Abweichung der Vorhersage vom eingetretenen Niederschlagsereignis gegeben sein.

Das Steuerungskonzept wird exemplarisch am HRB Kronsaausweg angewendet. Das HRB Kronsaausweg (Abb. 30) befindet sich im Einzugsgebiet der Düngelau, welches eine Fläche von ca. 2 km<sup>2</sup> hat. Es liegt im Hauptschluss in der Düngelau, hat einen Stauraum von 3.800 m<sup>3</sup> und ist am Ablauf mit einer Rohrdrossel versehen. Für die vier Vorhersagestufen wird die Drossel auf Abfluss von 0,26 m<sup>3</sup>/s (Stufe 1, T<sub>5-20</sub>)

bis zu 0,62 m<sup>3</sup>/s (Stufe4, T<sub>100-200</sub>) eingestellt (Abb. 29). Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abb. 31 für die Vorhersagestufen 1 und 4 dargestellt.

Durch die Maßnahme wird der Scheitelabfluss verringert und der Abfluss entsprechend verzögert. Diese Ergebnisse stellen erste Ansätze zur ver-

besserten Steuerung von sehr kleinen HRB dar und sind vorerst konzeptionell zu betrachten. In Anbetracht des Potenzials zur besseren Ausnutzung des Stauraumes und der Minderung der Scheitelabflüsse sollte diese Möglichkeit der Steuerung durch bauliche Maßnahmen ausgenutzt werden.

### 4.1.2 Umgestaltung der Hochwasserrückhaltebecken zu Trockenbecken

Hochwasserrückhaltebecken können als Anlagen mit oder ohne Dauerstau betrieben werden. In Becken mit einem dauerhaften Einstau steht für die Rückhaltung der Stauraum zwischen Dauerstauraum und dem Hochwasserstauziel zur Verfügung. Bei Becken

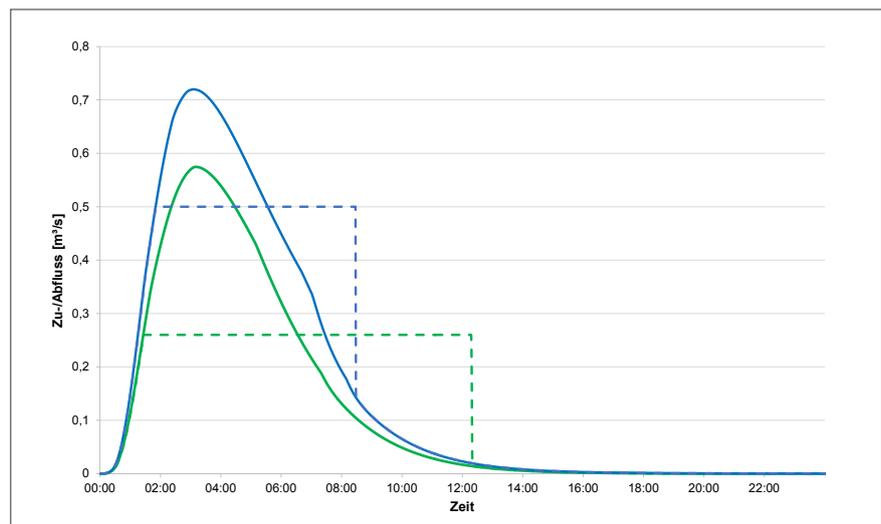


Abb. 31: Simulationsergebnisse des Steuerungskonzeptes für die Vorhersagestufen T<sub>5-20</sub> und T<sub>100-200</sub> mit einem Niederschlag der Dauerstufe 1 h nach KOSTRA-Starkregenatlas (DWD, 2015) am HRB Kronsaausweg.

ohne Dauerstau, die auch als Trockenbecken bezeichnet werden, wird der Gesamtstauraum zwischen der Beckensohle und dem Hochwasserstauziel genutzt. Die Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss werden in Kap. 6.1 beschrieben.

Anhand der theoretischen Umgestaltung des HRB Brookgraben wird im Folgenden dargestellt, wie sich die Dynamik der Wasserstände im HRB bei einer hypothetischen Umwandlung zu einem Trockenbecken entwickelt.

Das HRB Brookgraben (Abb. 32) hat einen Stauraum von 14.700 m<sup>3</sup> und liegt als Becken mit Dauerstau im Hauptschluss im Brookgraben. Der Abfluss erfolgt unregelmäßig über eine Rohrdrossel und beträgt bei Vollfüllung des HRB 1,49 m<sup>3</sup>/s.

Zur Berechnung wird das HRB zu einem Trockenbecken im Nebenschluss umgestaltet. Weiterhin wird der Abfluss des HRB auf maximal 0,75 m<sup>3</sup>/s begrenzt, um den Stauraum des Beckens besser auszunutzen. In Abb. 33 ist der Jahresgang des Wasserstandes bei derzeitigem Zustand als Becken mit Dauerstau und als Trockenbecken mit reduziertem Abfluss für die hydrologischen Jahre 2002 und 2003 dargestellt.

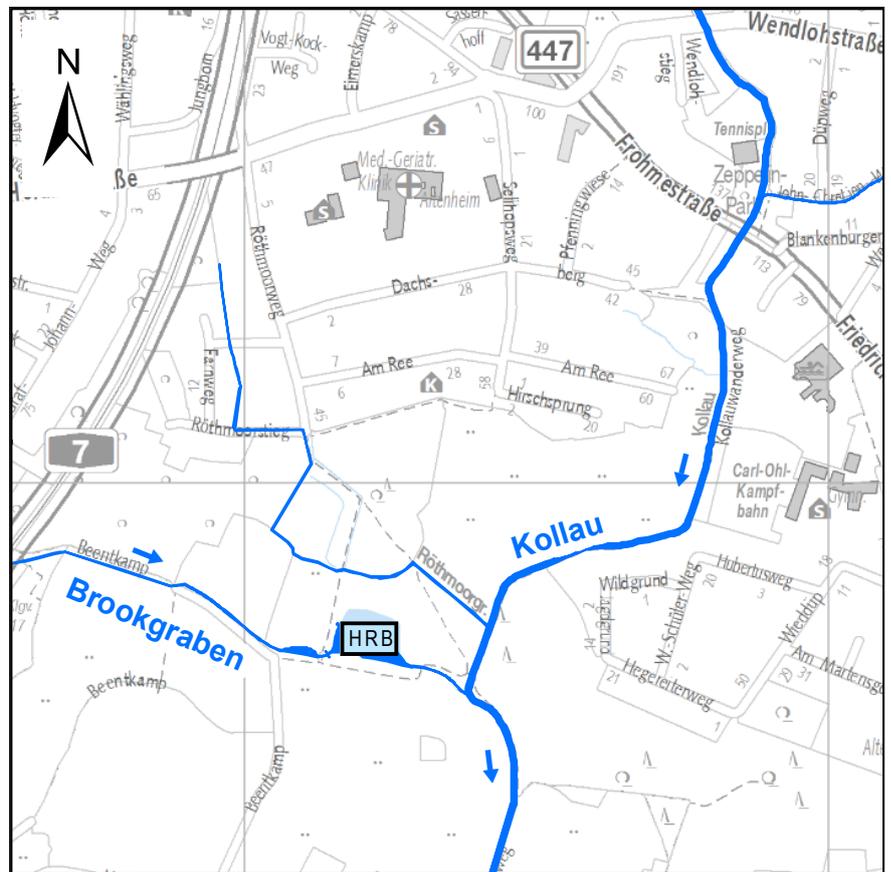


Abb. 32: Lage des HRB Brookgraben.

Aus den Ganglinien lassen sich eine bessere Ausnutzung des HRB aufgrund der Begrenzung des Abflusses und die Phasen erkennen, in denen das Trockenbecken nicht eingestaut wird.

Abb. 34 zeigt für die beiden hydrologischen Jahre 2002 und 2003 die mit dem N-A-Modell ermittelte Häufigkeit und Dauer von Zeiträumen mit und ohne Einstau. Im nassen Jahr 2002 kommt es zu häufigen Phasen mit und

ohne Einstau, beide sind meist kürzer als 10 Tage. Im trockenen Jahr 2003 überwiegen deutlich Zeiträume ohne Einstau, die z. T. über sechs Wochen andauern.

Wechselfeuchte Standorte, die aufgrund ihrer Lage in der Gewässeraue hohe Grundwasserstände aufweisen, stellen wertvolle Habitate dar und sind in urbanen Räumen selten. Auch vor diesem Hintergrund ist diese Maßnahme positiv zu werten, denn dies ist

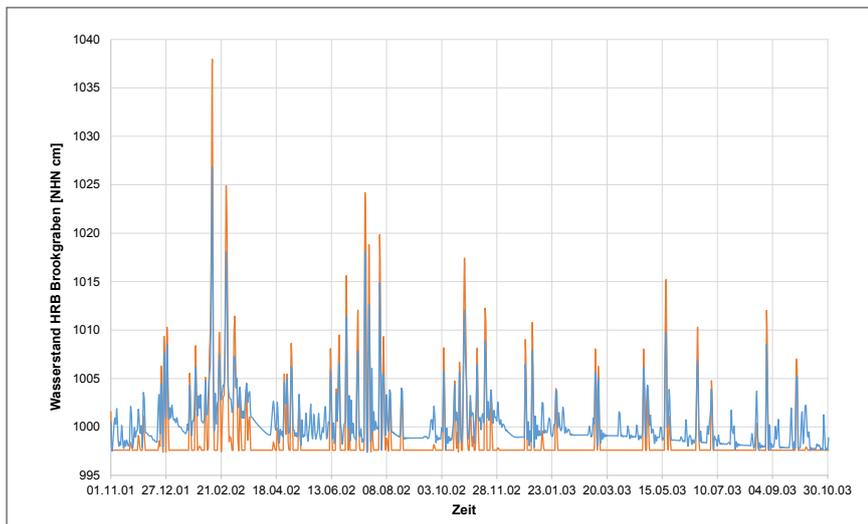


Abb. 33: Tagesmittelwerte des Wasserstandes im HRB Brookgraben als Becken mit Dauerstau und als Trockenbecken mit reduziertem Abfluss.

mit dem Wechsel zwischen Phasen mit und ohne Einstau gegeben.

Bei dem an diesem Beispiel dargestellten Wasserstandsverhältnissen könnten sich wahrscheinlich Röhrichte und feuchte Hochstaudenfluren etablieren, hingegen sind die längeren Phasen ohne Einstau für die Etablierung von feuchten Grasfluren möglicherweise

zu lang. Die Ansiedlung von Wasserpflanzen kann nahezu ausgeschlossen werden, es sei denn, es würden dauerhafte Wasserflächen erhalten bleiben. Diese könnten Rückzugsbereiche für an Wasser gebundene Fauna in trockenen Perioden sein.

Bei Umsetzung derartiger Maßnahmen sind die entstehenden Habitat-

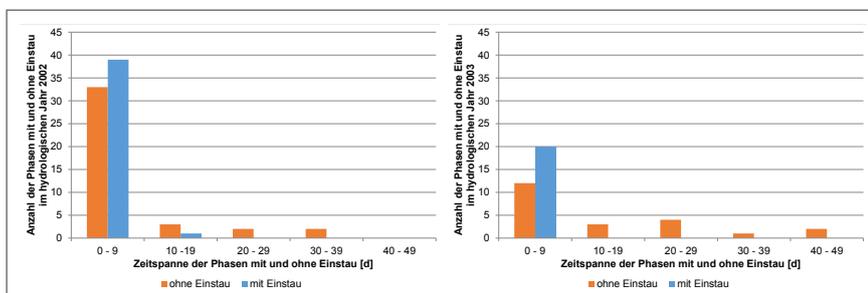


Abb. 34: Häufigkeit und Dauer von Phasen mit und ohne Einstau im HRB Brookgraben als Variante Trockenbecken in den hydrologischen Jahren 2002 (links) und 2003 (rechts) (Datengrundlage N-A-Modell).

bedingungen genauer zu untersuchen, für die der Grundwasserstand eine bedeutende Rolle spielt. Weiterhin sind Aspekte der Unterhaltung, der Kosten und der Akzeptanz, gerade bei Maßnahmen der Umgestaltung von HRB mit Dauerstau zu Trockenbecken, zu betrachten.

### 4.1.3 Scheiteldämpfung durch Vorlandentwicklung

Die Fließgeschwindigkeit im Vorland und somit der Abfluss können durch eine Erhöhung der Rauigkeit im Vorland verringert werden. Die Rauigkeit wird maßgeblich durch die Vegetation beeinflusst. Dies verändert den zeitlichen Ablauf von Hochwasserereignissen. Dabei werden Hochwasserwellen hinsichtlich ihrer Steigung und ihres zeitlichen Verlaufes verändert.

In Abb. 35 ist dies anhand einer schematischen Darstellung der Kollau, in deren Oberlauf der derzeitige Zustand und fiktiv eine Weichholzaue im Vorlandbereich mit einem hydrodynamisch-numerischen 2D-Modell berechnet wurden, dargestellt. Im Oberlauf ist eine Erhöhung des Hochwasserscheitels zu verzeichnen, während es im Unterlauf zu einer Absenkung kommt. Gleichzeitig ist damit eine Verlängerung der Überschwemmungsdauer verbunden.

Mit dieser Maßnahme des Hochwasserschutzes kann gleichzeitig eine ökologische Verbesserung des Gewässers durch Aufwertung seiner Vorlandbereiche bewirkt werden, es können hier Auen entstehen.

Hierfür ist zu prüfen, welches Potenzial für eine Auenentwicklung durch das Abflussverhalten eines Gewässers in dem betreffenden Bereich derzeit vorhanden ist. Dafür ist es notwendig, die Häufigkeit von Hochwasser mit Überschwemmungen zu ermitteln. Für die Kollau wird dies beispielhaft anhand der Häufigkeitsverteilung der Hochwasserstände am Pegel Niendorfer Straße durchgeführt (Abb. 36). Die zeitliche Summe der Überschwemmungen mit einem Wasserstand höher als NHN +665 cm, welcher dort zu Überschwemmungen führt, beträgt 34 Stunden und 30 Minuten in den hydrologischen Jahren von 2004 bis 2018. Für eine Auenentwicklung ist das bei den gegebenen Geländehöhen im Vorland nicht ausreichend.

Dies wird durch die vegetationskundlichen Untersuchungen bestätigt. Die für die Pflanzen der Untersuchungsflächen an der Kollau ermittelten Ellenberg-Feuchtwerte (Ellenberg et al., 1991) deuten nur auf seltene Überflutungen hin und sind für aktive Auen zu niedrig.

### Wie können im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen ökologisch wertvolle Lebensräume geschaffen werden?

HRB in urbanen Räumen weisen mit einem sehr vielfältigen Spektrum an Gefäßpflanzenarten eine höhere Biodiversität auf, wobei neben zu erwartenden feuchteliebenden Arten u. a. auch charakteristische Wald- und Trockenrasenarten vorkommen. Werden Trockenbecken mit einem steuerbaren Ablaufbauwerk ausgestattet, das einen zeitweiligen Einstau zulässt oder Dauerstaubereiche erhalten bleiben, können entsprechend wertvolle wechselseuchte Standorte geschaffen werden, denn diese sind ökologisch wertvoller als reine Trockenbecken.

Aus vegetationskundlicher Sicht geeignete Flächen für eine potenzielle Auenentwicklung finden sich in der Feldmark westlich des Niendorfer Geheges sowie südlich des Vielohwegs in Schnelsen. Teilweise befinden sich diese auf Flächen, die bei einem

HQ<sub>100</sub> überschwemmt werden. Hier ist aufgrund der Geländehöhen eine Auenentwicklung am ehesten möglich, Abgrabungen des Vorlandes zur Initialisierung einer Auenentwicklung sind jedoch notwendig.

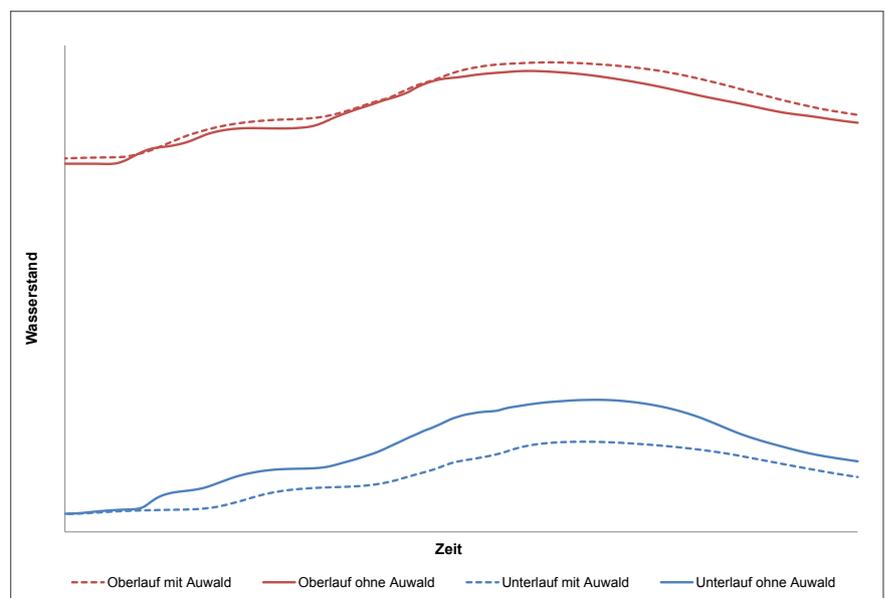


Abb. 35: Schematische Darstellung der Ganglinien eines Hochwasserereignisses im IST-Zustand und mit Auwald im Oberlauf für den Ober- und Unterlauf am Beispiel der Kollau.



Prof. Dr. Kai Jensen, UHH - Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie Angewandte Pflanzenökologie

„Naturnahe, unverbaute Fließgewässer und Auen tragen maßgeblich zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in Städten bei. Gleichzeitig sind sie Orte der Naherholung. Hochwasserschutz ist eigentlich ganz einfach: Schäden an Gebäuden und Infrastruktur treten im Hochwasserfall genau dann nicht auf, wenn wir Überflutungsbereiche der Fließgewässer von Gebäuden und Infrastruktur freihalten, wenn wir also naturnahe, unverbaute Fließgewässer und Auen erhalten oder wieder herstellen.“

Abb. 37 zeigt den Querschnitt eines potenziellen Auenbereiches westlich des Niendorfer Geheges. Derzeit wird das Gelände nur bei einem  $HQ_{100}$  überschwemmt, was keine Auenentwicklung ermöglichen würde.

Bei häufigeren Überschwemmungen der Aue während der Vegetations-

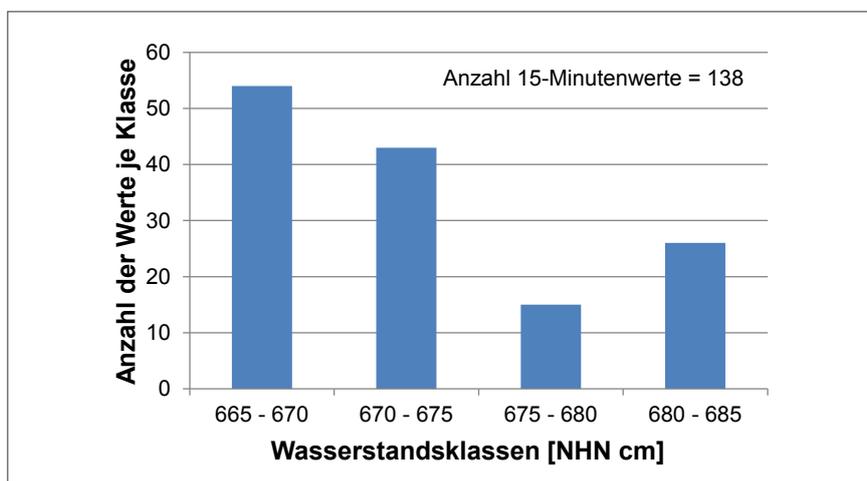


Abb. 36: Häufigkeiten der 15-Minutenwerte der Wasserstände höher NHN +665 cm am Pegel Niendorfer Straße vom hydrologischen Sommerhalbjahr 2004 bis zum Winterhalbjahr 2018.

periode könnte sich hier eine charakteristische Vegetationszonierung einstellen. Im Mittelwasserbereich würden sich einjährige Pionierfluren sowie Flutrassen und Röhrichte etablieren, da in diesen Bereichen durch eine sehr lange Überflutungsdauer die Etablierung von Gehölzen verhindert wird (Gehölzfreie Aue).

Weiterhin würde sich auf höher gelegenen Flächen die Weichholzaue mit Weidengebüschen und Weidenwäldern anschließen, die eine jährliche Überflutungsdauer zwischen 60 und 180 Tagen ertragen. Auf Flächen, die weniger als 60 Tage im Jahr überflutet werden, könnten sich Hartholzauenwälder etablieren (Scholz et al., 2005). Um eine solche typische Auenentwicklung zu induzieren, dürften die

Flächen jedoch nicht mehr landwirtschaftlich bewirtschaftet werden.

Zur Entwicklung einer Weichholzaue, die bei mittlerem Hochwasser (MHW) überschwemmt wird, müsste die Geländeoberfläche wie in der Abbildung dargestellt, vertieft werden. Zur Entwicklung einer bei Mittelwasser (MW) überschwemmten gehölzfreien Aue wäre weiterer Bodenabtrag notwendig.

Die Umsetzung von Maßnahmen der Auenentwicklung ist in hohem Maße von der Flächenverfügbarkeit abhängig. In vielen Bereichen entlang der Kollau ist diese so eingeschränkt, dass eine Umsetzung nur in begrenztem Maß möglich erscheint. Darüber hinaus ist die Maßnahme hier mit einer

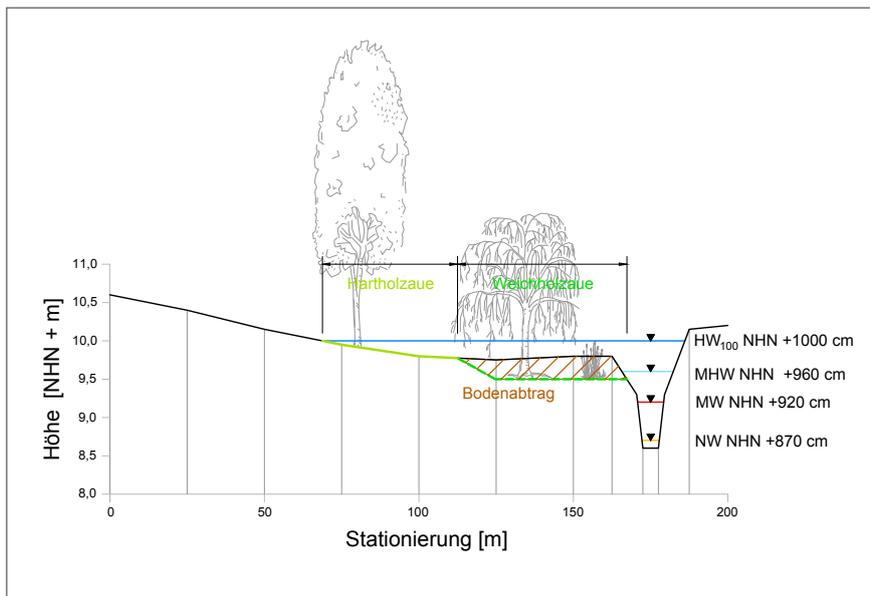


Abb. 37: Querschnitt durch potenziellen Auenbereich an der Kollau mit Ausbildung von Weichholz- und Hartholzzaue nach Bodenabtrag im Vorland.

Umgestaltung des Vorlandes mit Bodenabtrag in größerem Umfang verbunden und wird zumeist nur schmale Zonen der Auenvegetationstypen zulassen. Dies verdeutlicht, dass eine Umsetzung nur bei einer entsprechenden Flächenverfügbarkeit Aussicht auf Erfolg hat.

## 4.2 Dove-Elbe

### 4.2.1 Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichs Tatenberg

Eine Maßnahme zur Schaffung von Speichervolumen binnendeichs ist die Vorabsenkung des unteren Teils der Dove-Elbe im Vorfeld von Hoch-

wasserereignissen. Dabei wird der Wasserstand abweichend vom Regelwasserstand von NHN +90 cm auf NHN +80 cm eingestellt, Dies ist derzeit bereits gängige Praxis. Mit dem N-A-Modell für die Dove-Elbe wird die Vorabsenkung auf der Grundlage des Hochwasserereignisses vom 06./07.02.2011 auf einen Wasserstand von NHN +50 cm simuliert. Dies entspricht einem Volumen von 543.000 m<sup>3</sup> (Abb. 42).

Im Rahmen des Projektes Stuck wurde das N-A-Modell erweitert, um den Rückstauereffekt in tidebeeinflussten Gewässern an Bauwerken im Gewässerverlauf zu modellieren. Die Methodik ist im Abschlussbericht des

Projektes Stuck (LSBG, 2019) und (Hellmers, 2019) erläutert. Die berechneten Ganglinien sind in Abb. 38 für den IST-Zustand und für die Vorabsenkung dargestellt. Diese Maßnahme bewirkt eine Absenkung des Hochwasserscheitels am Pegel Allermöher Deich um 13 cm.

Eine Vorabsenkung des Wasserstandes in Dove-Elbe und Gose-Elbe zwei Tage vor angekündigten größeren Niederschlägen und erhöhten Tnw würde sich nicht auf die Vegetation in den eingedeichten Flächen entlang der Dove-Elbe auswirken. Da sich der mittlere Wasserstand der Dove-Elbe nach den zwei Tagen langsam wieder einstellen würde, würde sich als Folge auch der Bodenwasserhaushalt in den Auen wieder einstellen. Der Zeitraum von zwei Tagen ist zu kurz, um durch Änderungen des Bodenwasserhaushalts induzierte Vegetationsveränderungen zu verursachen. Diese Maßnahme wird in der Regel bei bereits erhöhten Abflüssen in der Bille (Obere Bille) durchgeführt. Der Ausgangswasserstand kann über die Steuerung des Deichsiels Tatenberg wiederhergestellt werden.

Derartige kurzzeitige Maßnahmen sind dennoch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Nutzung der angrenzenden Flächen und die Schifffahrt zu prüfen.

## 4.2.2 Vorabsenkung durch Pumpbetrieb von Schöpfwerken (Gose-Elbe)

Durch die Vorabsenkung des Wasserstandes in den Gräben kann ein Speichervolumen geschaffen werden, in dem ein Teil des anfallenden Wassers während eines Hochwasserereignisses zurückgehalten werden kann.

Für die Gräben der in die Gose-Elbe entwässernden Schöpfwerksgebiete (Abb. 40) wurde ein potenzielles Speichervolumen von rund 520.000 m<sup>3</sup> ermittelt. Diese Wassermenge würde bei Vorabsenkung vor dem Hochwasserereignis abgeführt und während des Hochwassers aufgrund der Speicherung nicht in die Gose-Elbe gepumpt. Für die Berechnung der Wirk-

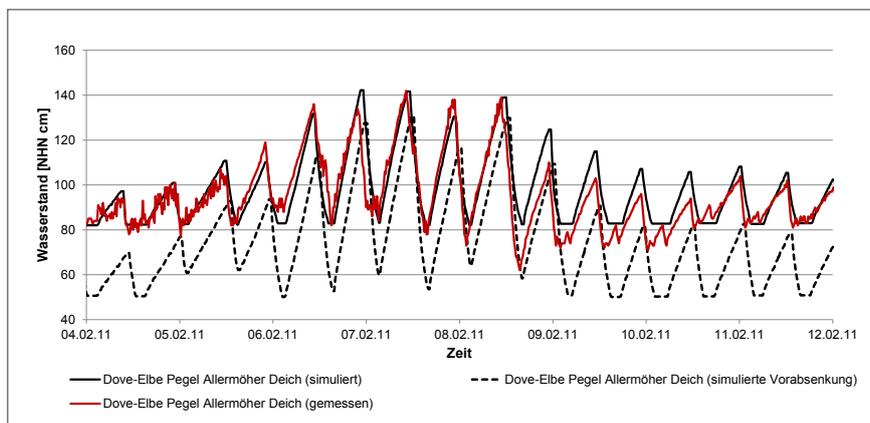


Abb. 38: Simulation des IST-Zustandes und der Vorabsenkung des unteren Teils der Dove-Elbe auf NHN +50 cm für den Pegel Allermöher Deich am Beispiel des Hochwasserereignisses vom 07.02.2011.

samkeit einer Vorabsenkung wurde vereinfachend angenommen, dass das anfallende Wasser vollständig in den Schöpfwerksgebieten zurückgehalten wird und somit eine Abkopplung der Gebiete für den Hochwasserfall erfolgt. Die Berechnung der Abkopplung

dieser Schöpfwerksgebiete für das Ereignis mit dem N-A-Modell ergibt für das zugrunde gelegte Hochwasserereignis eine Reduzierung des Hochwasserscheitels am Pegel Allermöher Deich um 5 cm. Die Abkopplung der Gebiete stellt für das Ereignis die maximal erreichbare Leistung dieser Maßnahme dar. Eine Detailbetrachtung einzelner Schöpfwerksgebiete ist im Rahmen des Projektes für die Gose-Elbe nicht erfolgt.

Der Zeitraum von zwei Tagen ist, wie bei der Vorabsenkung in der Dove-Elbe und Gose-Elbe, zu kurz, um durch Änderungen des Bodenwasserhaushalts bewirkte Vegetationsveränderungen zu verursachen. Bei Durchführung der Maßnahme ist eine mögliche Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung zu beachten.



Abb. 39: Reitbrooker Sammelgraben im Schöpfwerksgebiet Reitbrook.

### 4.2.3 Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsieses Tatenberg und Pumpbetrieb von Schöpfwerken

Bei der Kombination der beiden operationellen Maßnahmen „Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsieses Tatenberg“ und „Vorabsenkung durch Pumpbetrieb von Schöpfwerken“ ergibt sich für den Hochwasserscheitel des Hochwasserereignisses vom 06./07.02.2011 eine Absenkung am Pegel Allermöher Deich um 15 cm.

### 4.2.4 Schaffung von Speichervolumen im Vorland

Eine mögliche Maßnahme zur Schaffung von weiterem Speichervolumen ist der Bodenabtrag im Vorland. Ein möglicher Abtrag wurde durch die Absenkung der Geländeoberfläche im DGM auf drei Flächen im Vorland der Dove-Elbe simuliert. Das Gelände dieser Flächen wurde von ca. NHN +2 m auf NHN +1 m abgesenkt. Dadurch wird ein Speichervolumen von ca. 330.000 m<sup>3</sup> geschaffen. Abb. 41 zeigt die Bereiche, für die ein Bodenabtrag angenommen wird.

Durch diese Maßnahme kann bei dem berechneten Hochwasserereignis (06./07.02.2011) eine Reduzierung des Hochwasserscheitels am Pegel

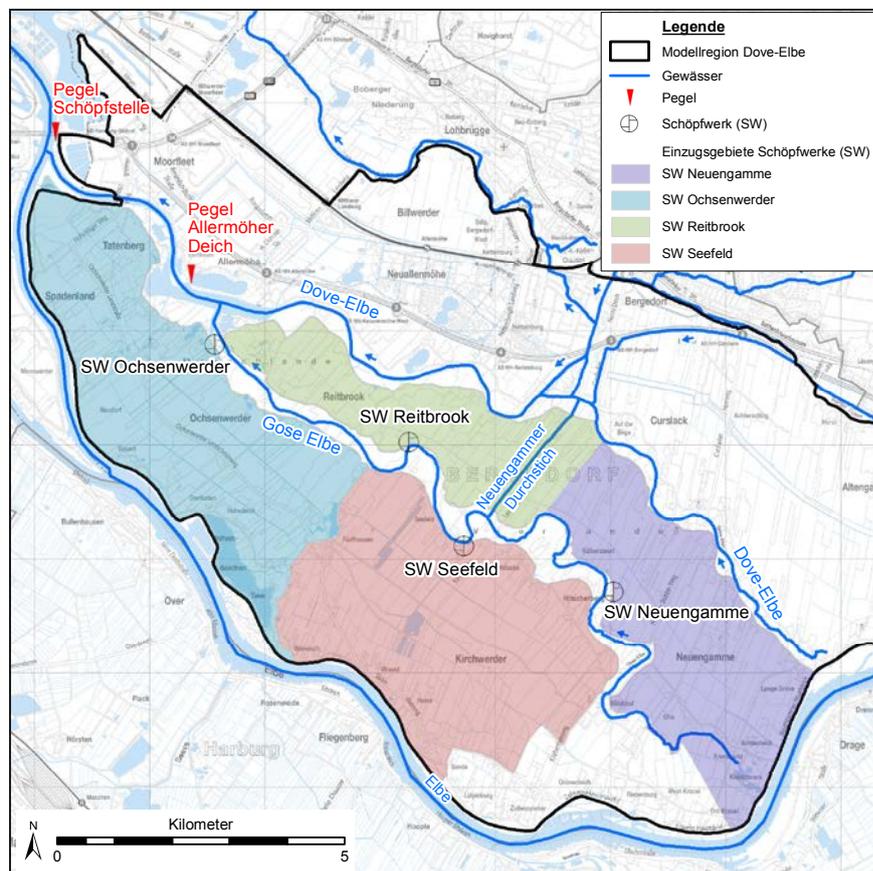


Abb. 40: In die Gose-Elbe entwässernde Schöpfwerke mit Einzugsgebieten.

Allermöher Deich um 8 cm erreicht werden. Der gewonnene zusätzliche Stauraum wird in Abb. 42 deutlich.

Bei einem Bodenabtrag auf den drei Flächen werden diese bei dem Regelwasserstand der Dove-Elbe von NHN +90 cm ±20 cm häufiger überflutet und es entsteht eine auenähnliche Dynamik. Dies ist aus ökologischer Sicht positiv zu werten. Je nach Nutzung der Flächen stellen sich kleinräumig unterschiedliche Vegetationstypen

mit ihren charakteristischen Gefäßpflanzenarten ein. Auf diesen Flächen kann beim Zulassen von Überflutungen eine Vegetationsentwicklung hin zu charakteristischen Weich- und Hartholzauen sowie gehölzfreien Auen induziert werden.

Auf ungenutzten Flächen siedeln sich bei dauerhaft feuchten bis nassen Bodenbedingungen zunächst Röhrichte oder Hochstaudenfluren an, die sich im Laufe der Sukzession zu feuchten

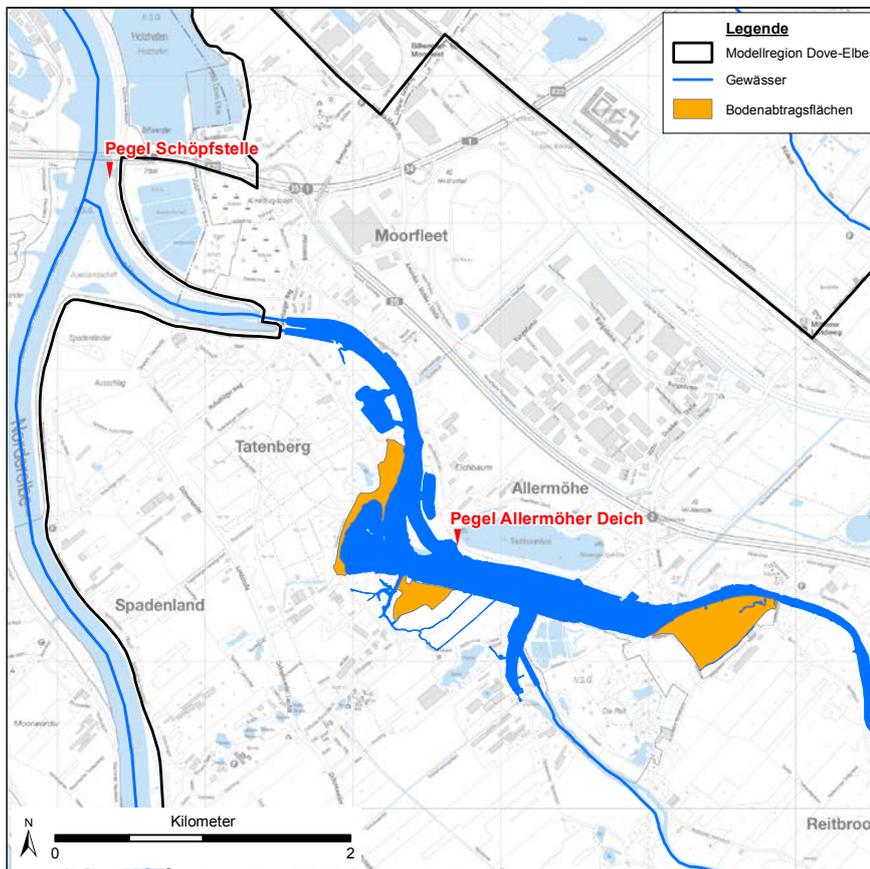


Abb. 41: Flächen im Vorland, für die im N-A-Modell ein Bodenabtrag zur Schaffung von Speichervolumen angesetzt wird.

Gehölzstrukturen entwickeln werden. In trockenen, ungenutzten Flächen stellen sich zunächst Krautfluren ein, die sich zu trockenen Gehölzstrukturen weiterentwickeln werden.

In Abhängigkeit von dem durchgeführten Management können sich auf genutzten Flächen verschiedene Vegetationsstrukturen entwickeln. Flächen mit eher trockenen Bodenbedingungen können weiterhin ackerbaulich

genutzt und Flächen mit eher nassen Bodenbedingungen zusätzlich als Weiden und Mähwiesen genutzt werden. Entsprechend der Bodenbedingungen und einer eventuell durchgeführten Einsatz der Flächen könnten sich bei einer Grünlandnutzung vielfältige Vegetationstypen etablieren. Eventuell zerstörte Wasserpflanzenvorkommen in den Uferbereichen der betroffenen Flächen könnten sich nach der Maßnahme wieder etablieren.

Insgesamt kann sich nach der durchgeführten Maßnahme wieder ein kleinräumiges Mosaik von verschiedenen Habitaten mit ihren charakteristischen Gefäßpflanzenarten in dem Gebiet etablieren, wobei deren Vorkommen maßgeblich durch den Bodenwasserhaushalt und die Nutzung der Flächen bestimmt wird.

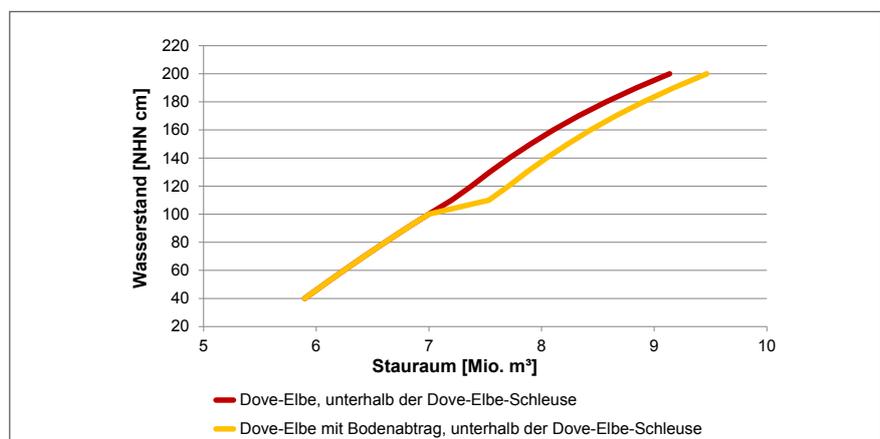


Abb. 42: Wasserstand-Stauraum-Beziehung für den unteren Teil der Dove-Elbe. Die gelbe Linie berücksichtigt die Bodenabtragsmaßnahmen.

Die häufige Überflutung würde zu einer Erhöhung der Kohlenstoffgehalte in den Oberböden führen, da mehr organische Substanz auf die Böden aufgetragen wird. Somit wird die Ökosystemleistung der Kohlenstoffspeicherung (Kap. 5.1.3) erhöht. Auch die Ökosystemleistung „Wasserspeicherung im Boden“ würde gesteigert.

Die Wirkung einer derartigen Maßnahme ist besonders hinsichtlich des Hochwasserschutzes mit einem hydrodynamisch-numerischen 2D-Modell zu prüfen.

Für die Umsetzung einer derartigen Maßnahme spielt die Akzeptanz und die damit verbundene Verfügbarkeit der benötigten Flächen eine entscheidende Rolle. Die Flächen entlang der Dove-Elbe werden größtenteils landwirtschaftlich genutzt, die möglicherweise eingeschränkte Nutzung muss berücksichtigt werden.

Tab. 7 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Maßnahmenvarianten und deren Wirksamkeit. Die Wirksamkeit der Maßnahmen kann anhand der maximalen Wasserstände bewertet werden. Steigt der Wasserstand

in der Dove-Elbe über NHN +140 cm, ist die Entwässerung eingeschränkt und es kommt zum Rückstau im Schleusengraben. Ein Wasserstand im Schleusengraben über NHN +180 cm führt zu verringerter Abflussleistung des Serrahnwehrs und damit zu Rückstau im Stadtgebiet von Bergedorf. Bei dem hier untersuchten Hochwasserereignis (06./07.02.2011) beträgt der maximale Wasserstand im Schleusengraben NHN +214 cm. Bei allen durchgeführten Maßnahmen wird der o. g. kritische Wasserstand der Dove-Elbe unterschritten.

**Welche präventiven Maßnahmen vor einem Hochwasserereignis lassen sich aufgrund einer besseren Vorhersage umsetzen?**

In tidebeeinflussten Gebieten kann eine Absenkung des Hochwasserscheitels durch eine Vorabsenkung vor Sperrtiden und/oder hohen Binnenwasserabflüssen eingeleitet werden. Dieser Gewinn von zusätzlichem Speichervolumen kann sowohl im Vorland oberhalb von Deichsielen als auch in den Schöpfwerksgebieten binnendeichs erfolgen.

Aus ökologischer Sicht sind diese Maßnahmen weitgehend unbedenklich, da kurzfristige Schwankungen der Wasserstände durch die Tide wieder ausgeglichen werden. Die Vegetation wird durch diese Schwankungen nicht beeinträchtigt, für die Fauna (insbes. Amphibien) ist hier das Vorhandensein von Flachwasserzonen von Bedeutung.

Im Rahmen der Gewässerunterhaltung können präventive Maßnahmen, wie z. B. das Freiräumen von Durchlässen durchgeführt werden.

Die Wirkung von Maßnahmen wird durch ihre Kombination miteinander erhöht.



Prof. Dr. Annette Eschenbach, UHH - Institut für Bodenkunde:

„Bedingt durch den Klimawandel mit der erwarteten Zunahme von Starkregenereignissen gewinnen Überflutungsräume eine immer größere Bedeutung - auch und gerade im urbanen Raum. Die Böden entlang der urbanen Fließgewässer liefern wichtige Ökosystemleistungen. Sie regeln über Infiltration und Wasserspeicherung den Wasser-rückhalt sowie die Schadstoffretention und Kohlenstofffestlegung. Diese Funktionen können nur durch hinreichend natürliche Überflutungsböden gewährleistet werden. Flächennutzung und Gewässermorphologie sind daher langfristig zu optimieren.“

Tab. 7: Übersicht über die Maßnahmen, die in der Modellregion Dove-Elbe untersucht wurden und Angabe der berechneten Wasserstände. Angegeben ist  $W_{max}$  [NHN cm] am Pegel Allermöhe für das Hochwasserereignis 06./07.02.2011.

Hochwassermanagementmaßnahme	Berechnete maximale Wasserstände [NHN cm]	Absenkung [cm]
Keine Maßnahme	142	0
Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsieles Tatenberg	129	13
Vorabsenkung durch Pumpbetrieb von Schöpfwerken (Gose-Elbe)	137	5
Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsieles Tatenberg und Pumpbetrieb von Schöpfwerken (Gose-Elbe)	127	15
Schaffung von Speichervolumen im Vorland	134	8

## 5 ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG

Im Projekt Stuck werden Ansätze zur ökologischen und ökonomischen Bewertung der untersuchten Maßnahmen des Hochwassermanagements entwickelt. Diese Ansätze beruhen auf der Quantifizierung von Ökosystemleistungen (ÖSL). Mit ÖSL wird die Bedeutung und Dienstleistung von Ökosystemen für den Menschen dargestellt. In diesem Bericht werden die ÖSL der Gewässer und ihrer Auen sowie deren möglicher Veränderung in Folge von Hochwasserschutzmaßnahmen beschrieben.

Ökosysteme stellen unabhängig von ihrer Größe eine Vielzahl verschiedener ÖSL zur Verfügung, diese werden hier in ihrer Gesamtheit als existierende ÖSL (Abb. 43) bezeichnet. Im Folgenden werden mit dem Begriff relevante ÖSL solche beschrieben, deren Leistung sich bei den untersuchten Maßnahmen unterscheidet (z. B. erhöhte Biodiversität als Folge von Vorlandentwicklung). Innerhalb der relevanten ÖSL ist jedoch oft nur ein Teil operationalisierbar. Dies bedeutet, dass eine relevante ÖSL mittels Messungen anhand von Anzahl, physikalischer Einheiten o. ä. erfassbar ist (z. B. Wasserspeicherung im Vorland).

Als Teilmenge der operationalisierbaren ÖSL lassen sich die monetär bewertbaren ÖSL identifizieren. Diese haben die zusätzliche Voraussetzung,

dass monetäre Werte in der Literatur oder durch eigene Recherchen vorhanden sind, welche sich auf den Projektkontext anwenden lassen. Im Projekt Stuck sind dies die ÖSL Kohlenstoffspeicherung und Naherholung.

Monetär bewertbare Ökosystemleistungen bilden eine Vergleichsgrundlage, um Entscheidungen für ein Vorgehen darzustellen. Die Kommunikation mit den Stakeholdern wird durch Quantifizierung klar und eindeutig. Dennoch ist bei einem Vergleich zu beachten, dass natürliche Ökosysteme insbesondere hinsichtlich ihrer Biodiversität nicht leicht erfassbar sind. Deshalb ist nach dem aktuel-

len Stand der Forschung ein Vergleich nur in begrenztem Ausmaß möglich.

### 5.1 Monetär bewertbare Ökosystemleistungen

Es werden für die Modellregion Kollau Ansätze zur monetären Bewertung von Ökosystemleistungen entwickelt. Eine monetär bewertbare ÖSL ist der Binnenhochwasserschutz. Hier erfolgt die Monetarisierung der Leistung über das Maß des verringerten Schadenspotenzials. Weitere als monetär bewertbar eingestufte ÖSL in der Modellregion sind „Freizeit-/Erholungsleistung“ und „Kohlenstoffspeicherung“.

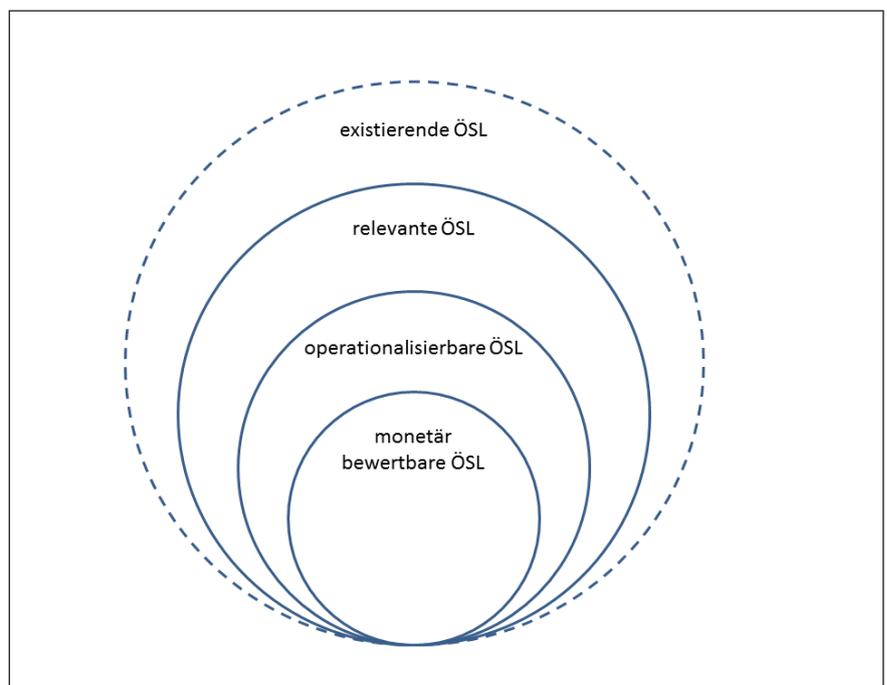


Abb. 43: Schematische Einteilung der Ökosystemleistungen.

Tab. 8: Gliederung nutzungsspezifischer Vermögenswerte in Hamburg, Basisjahr 2015.  
Quelle: Fugro Consult GmbH (2014), VGRdL (2014); eigene Berechnungen.

Nr.	Nutzungsklassen	Vermögenswerte [€/m²]		
		Immobilie Gegenstände	Mobile Gegenstände	Pkw
1	Siedlungsflächen	605,4	92,6	30,0
2	Industrie- und Gewerbeflächen	215,0	198,0	0,0
3	Verkehrsflächen	467,5	4,4	0,0
4	Grün-, Sport-, Freizeitflächen	0,0	0,4	0,0
5	Acker-, Garten-, Weinbau	0,0	0,9	0,0
6	Grünland	0,0	0,4	0,0
7	Wald- und Forstflächen	0,0	2,2	0,0
8	Sonstige	0,0	0,0	0,0

### 5.1.1 ÖSL Binnenhochwasserschutz

Die ÖSL „Binnenhochwasserschutz“ besteht in der Reduzierung des Schadenspotenzials, welche durch die Maßnahmen des Binnenhochwasserschutzes erreicht wird. Methodisch wird sich dementsprechend an das Vorgehen der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie angelehnt (LAWA, 2017). Die monetäre Bewertung erfolgt auf Grundlage der Bewertung der Hochwasserrisiken im derzeitigen Zustand, quantifiziert durch das Schadenspotenzial. Dies wird in Kap. 6.1 anhand der Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen unter den Randbedingungen der Szenarien der zukünftigen Entwicklung dargestellt. Die Bewertung der Hochwasserrisiken erfolgt auf der Grundlage von flächennutzungsspezifischen Vermögenswerten der Kategorien „Immobilie

Gegenstände“ (Häuser, Carports o. ä.), „Mobile Gegenstände“ (Elektrogeräte o. ä.) und „Pkw“ (Tab. 8).

Mit diesen Vermögenswerten und relativen Schadensfunktionen (Fugro Consult GmbH, 2014) sind Berechnungen des Schadenspotenzials eines Hochwasserereignisses möglich.

Entlang der Kollau sind die Überflutungsflächen und somit die Schadenspotenziale für das HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub> im IST-Zustand bekannt (Tab.

Tab. 9: Schadenspotenziale Kollau.

Hochwasserereignis	Schadenspotenzial [Mio. €]	Betroffene Fläche [ha]
HQ <sub>10</sub>	0,37	4,6
HQ <sub>100</sub>	0,94	11,8
HQ <sub>200</sub>	1,16	14,1

9). Die Eigenschaft „betroffen“ bezieht sich auf überschwemmte Flächen mit einer Wassertiefe von mindestens 1 cm.

Eine grafische Darstellung der Schadenspotenziale im IST-Zustand zeigt Abb. 44. Dabei wird die für Hochwasserschäden übliche verallgemeinerte Extremwertverteilung zu Grunde gelegt. Die blaue Fläche stellt den jährlichen Erwartungswert (des Schadenspotenzials) dar, die Zahlen direkt über der blauen Fläche zeigen die bekannten Punkte der Verteilung (Tab. 9). Aus der Verteilung ergibt sich ein Erwartungswert des Schadenspotenzials von 86.477 € pro Jahr. Maßnahmen des Hochwasserschutzes, die dieses Schadenspotenzial reduzieren bzw. bei denen die Reduktion die zusätzlichen Kosten kompensiert, sind ökonomisch positiv zu werten. Der Differenzbetrag der Schadenspotenziale ist der (Brutto-)Nutzen der Maßnahme, welcher auch als Verbesserung der ÖSL „Hochwasserschutz“ der Kollau interpretiert werden kann.

### 5.1.2 ÖSL Freizeit-/ Erholungsleistung

Die Operationalisierung der Freizeit- und Erholungsleistung erfolgt mittels des Biotopkatasters (BUE, 2018), in dem „Erholungsflächen“ eine Nutzungskategorie darstellen. Flächen dieser Kategorie wird eine Freizeit- und Erholungsfunktion zugesprochen. Insgesamt sind ca. 9,3 km<sup>2</sup> der 33,6 km<sup>2</sup> großen Modellregion Flächen mit Freizeit- und Erholungsfunktion belegt (Abb. 45). Dabei wird deutlich, dass ein großer Anteil dieser Flächen an die Kollau grenzt.

Für die Kollau wird untersucht, welche Bedeutung das Gewässer mit seinen ufernahen Bereichen für die Freizeit und Erholung hat. In urbanen Gebieten sind bereits kleine Grünflächen von Bedeutung. Da bevorzugt wohnortnahe Grünflächen aufgesucht werden, wird hier ein Wert für die „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“ nach (Walter, 2015, Richter & Grunewald, 2017) von 300 m angesetzt. Auf dieser Grundlage werden die Wohnflächen entlang eines Korridors von 600 m Breite entlang der Kollau erfasst. Für die ermittelte Wohnfläche ergibt sich eine Anzahl von 9.894 Einwohnern (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2017).

Um diese Einwohnerzahl in Bezug zu den genutzten Grünflächen an der

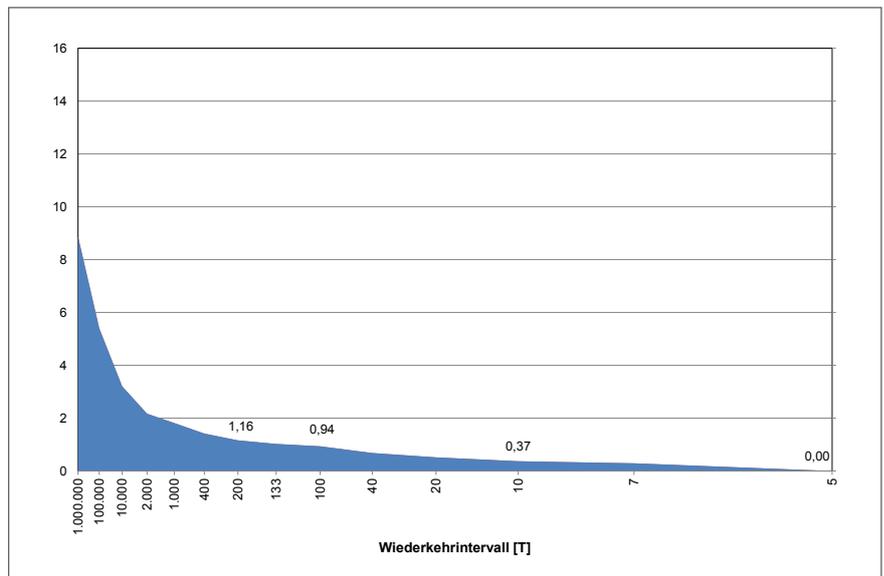


Abb. 44: Schadenspotenziale verschiedener Wiederkehrintervalle entlang der Kollau im IST-Zustand.

Kollau zu setzen, wird ein 50 m breiter Streifen beidseitig des Gewässerlaufes angesetzt. Dies ergibt eine Fläche von 0,49 km<sup>2</sup>.

Die Freizeit- und Erholungsleistung ist auf deren Nutzer zu beziehen. Hier wird auf Zahlen einer Studie für die Stadt San Francisco zurückgegriffen (Harnik, 2014), in der ein Wert für Grünflächen von 1,92 \$ pro Parkbesuch ermittelt wurde. Übertragen auf den Stuck-Projektcontext ergibt sich ein umgerechneter Wert von 8,55 € pro Jahr, Einwohner und km<sup>2</sup>. Aus diesen Zahlen errechnet sich eine Freizeit- und Erholungsleistung der Flächen entlang der Kollau von 41.283 € pro Jahr.

### 5.1.3 ÖSL Kohlenstoffspeicherung

Die ÖSL-Kohlenstoffspeicherung bezieht sich auf die Menge an eingelagertem Kohlenstoff (so genannter C-Pool). Die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung findet hinsichtlich der Klimawirkung des Kohlenstoffs bei hypothetischer Freisetzung in die Atmosphäre statt. Der Nutzen entspricht dem vermiedenen (Klima-) Schaden.

Für die Kollau wird die ÖSL für die Fläche des ÜSG monetär bewertet. Hierzu werden, basierend auf Untersuchungen von Dorendorf et al. (2015), den Biotoptypen der Biotopkartierung C-Gehalte in kg/m<sup>2</sup> in Vegetation und

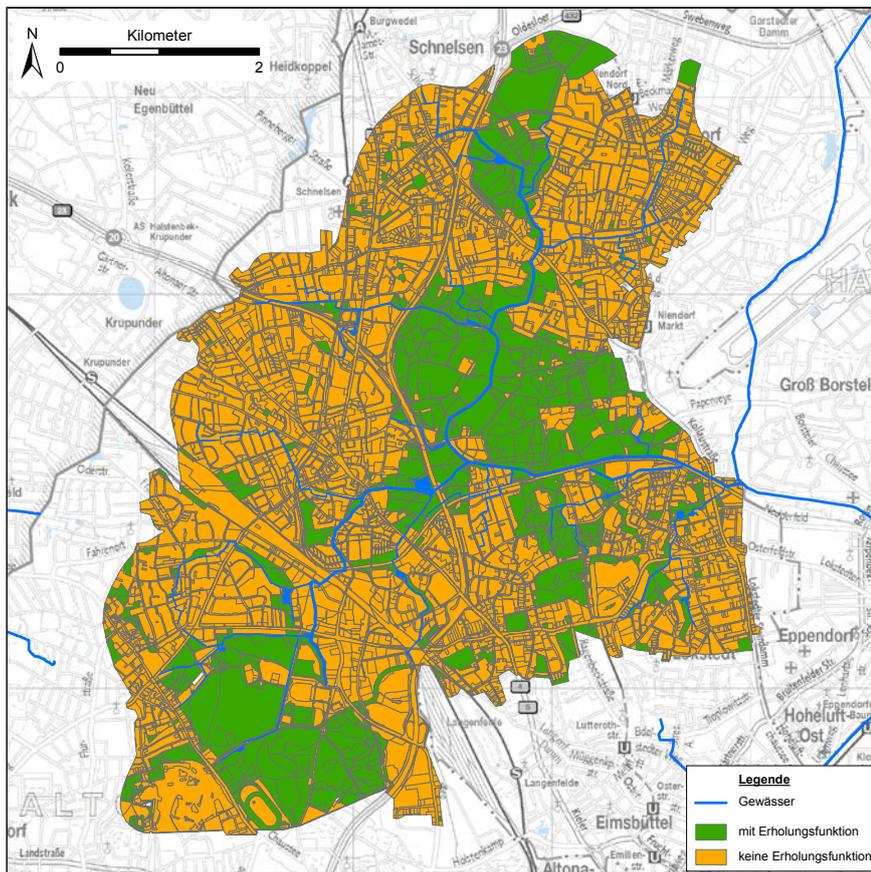


Abb. 45: Flächen mit Freizeit- und Erholungsfunktion in der Modellregion Kollau.

Boden zugeordnet. Somit können für jede Fläche die entsprechenden Werte ermittelt und in der Summe die Gehalte für das gesamte ÜSG dargestellt werden (Tab. 10).

Die Kohlenstoffvorräte im ÜSG entsprechen einer Menge CO<sub>2</sub> von 46.601 t. Die Klimaschadenskosten einer Tonne CO<sub>2</sub> werden für das Jahr 2015 mit einem Wert von 33,02 € angesetzt (IWGSCGG, 2016). Somit errechnet sich ein Wert des gespeicherten Koh-

lenstoffs in Vegetation und Boden im ÜSG Kollau von 1,54 Mio. €.

Die eigentliche Leistung des Ökosystems ist die Menge an Kohlenstoff,

Tab. 10: C-Pools im ÜSG Kollau.

C-Pool	C-Gehalt [t]
Vegetation	3396
Boden	9302
Gesamt	12698

die pro Jahr von der Vegetation und dem Boden eingelagert werden kann. Diese jährliche Nettozuwachsrate der C-Pools ist unbekannt. Daher werden die aktuellen Kohlenstoffvorräte im ÜSG Kollau als Bestandswert angesetzt, der mit einer jährlichen Rate von 3 % kalkulatorisch in einen Zahlungsstrom überführt wird. Hieraus ergibt sich ein Wert von 46.200 € pro Jahr für die Fläche des ÜSG Kollau.

## 5.2 Nicht monetär bewertbare ÖSL

Weitere im Projekt betrachtete ökologische Aspekte werden als relevante, aber derzeit nicht operationalisierbare oder monetär bewertbare ÖSL eingestuft. Dies sind aus bodenkundlicher Sicht die Wasserspeicherung in den Böden der Aue und die Rückhaltung von Geschiebe und Schwebstoffen in den HRB. Aus vegetationskundlicher Sicht sind die Biodiversität der Aue der Kollau und HRB und deren Habitatfunktion (insbesondere für Rote-Liste-Arten) relevant. Dies spielt insbesondere bei den Maßnahmen „Betrieb der Hochwasserrückhaltebecken als Trockenbecken“ und „Boden-

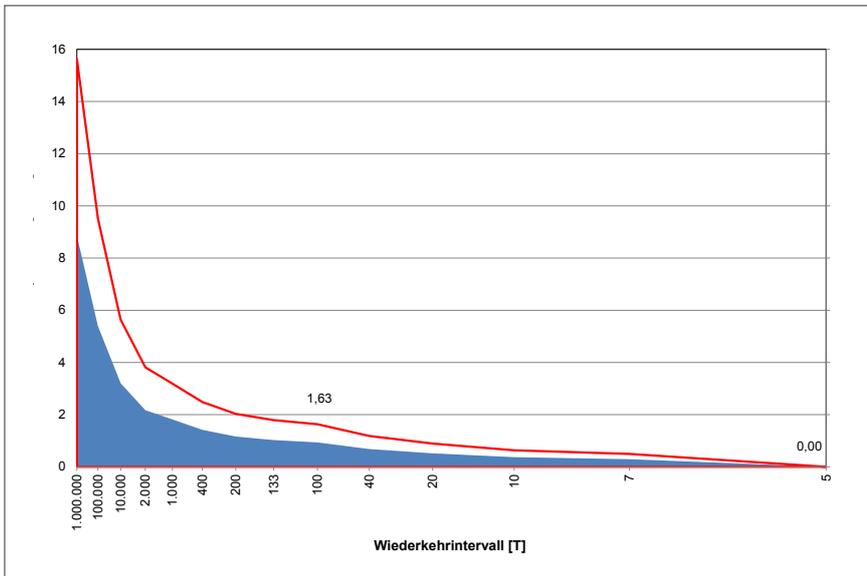


Abb. 46: Schadenspotenziale verschiedener Wiederkehrintervalle entlang der Kollau bei Ansatz des Szenarios „Niederschlag 2035“ und „Flächennutzung 2035“ ohne weiteres Hochwassermanagement.

abtrag“ im Vorland eine Rolle, wurde in diesem Projekt aber nicht weiter untersucht.

### 5.3 Beurteilung der ÖSL der untersuchten Maßnahmen

Die ÖSL „Binnenhochwasserschutz“ kommt bei allen untersuchten Maßnahmen zur Wirkung. Anhand der Maßnahme „Betrieb der Hochwasserrückhaltebecken als Trockenbecken“ wird im Folgenden beispielhaft beschrieben, wie deren Anwendung unter den in Kap. 6.1 beschriebenen Szenarien für 2035 zu einer Reduzierung des Schadenspotenzials führt. Diese stellt letztlich die ÖSL dar.

In Abb. 46 ist der jährlich zu erwartende zukünftige Schaden bei Zugrundelegung der Szenarien ohne weiteres Hochwassermanagement dargestellt. Dieser liegt mit 149.077 € um 72,4 % über dem des IST-Zustandes.

Bei Zugrundelegung der Annahme, dass sämtliche HRB mit Dauerstau in Trockenbecken umgewandelt werden, verringert sich der jährlich zu erwartende Schaden und liegt bei 109.212 € (Abb. 47).

Die Maßnahme der Umgestaltung der HRB mit Dauerstau zu Trockenbecken kann die Zunahme von Hochwasserschäden durch den Klimawandel an der Kollau nicht verhindern, das Ausmaß der Zunahme aber reduzieren. Gemäß der Differenz der Erwartungswerte (vermeidene Schäden) hat die Maßnahme einen hochwasserschutzbezogenen Nutzen von 39.865 € pro Jahr.

Wie in Kap. 2.5.2 beschrieben, hat diese Maßnahme auch hinsichtlich der relevanten, aber als nicht monetär bewertbaren ÖSL eine besondere Bedeutung. Bei Umsetzung können sich wechselfeuchte Standorte einstellen, die wertvolle Habitate darstellen und

#### Welche Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer lassen sich monetär bewerten?

Die Ökosystemleistungen Kohlenstoffspeicherung und Naherholung sind als monetär bewertbar identifiziert. Darüber hinaus werden Maßnahmen des Hochwasserschutzes hinsichtlich der dadurch erzeugten Verringerung des Schadenspotenzials als eine indirekte Ökosystemleistung monetär bewertet. Die Ökosystemleistungen Wasserspeicherung in den Uferbereichen, Rückhaltung von Geschiebe und Schwebstoffen in den HRB und Biodiversität werden im Rahmen des Projektes als relevant identifiziert, können derzeit aber nicht monetär bewertet werden.

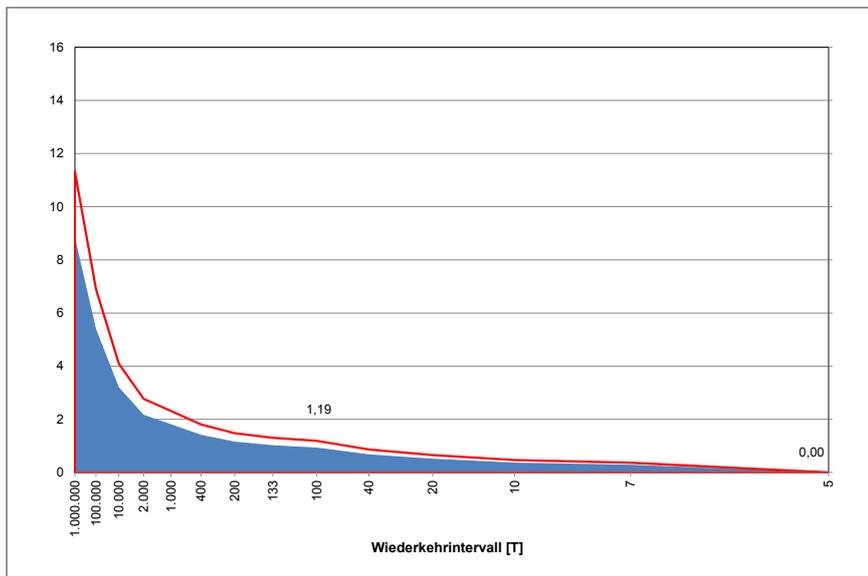


Abb. 47: Schadenspotenziale verschiedener Wiederkehrintervalle entlang der Kollau bei Ansatz des Szenarios „Niederschlag 2035“ und „Flächennutzung 2035“ und Umgestaltung der HRB in Trockenbecken.

in urbanen Räumen selten sind. Die sich daraus entwickelnde Biodiversität wird als erhöhte ÖSL eingestuft, lässt sich aber nicht monetär bewerten. Das Gleiche gilt für die Funktion der HRB als Retentionsräume für Geschiebe und Schwebstoffe.

Die Maßnahmen „Schaffung von Speichervolumen im Vorland“ und „Auenentwicklung“ führen (bei optimierter Umsetzung) ebenfalls zu einer größeren Biodiversität, d.h. erhöhter ÖSL. Eine Quantifizierung ist derzeit nicht möglich.

Eine häufigere Überschwemmung der Uferbereiche der Gewässer im Sinne einer Auedynamik erhöht die ÖSL

„Wasserspeicherung im Boden“ und „Kohlenstoffspeicherung“. Es steht in den Böden der Aue mehr Wasserspeicherkapazität zur Verfügung. Zudem wird durch die Überschwemmungen mehr organische Substanz auf die Böden aufgetragen und die teils anaeroben Verhältnisse tragen zu einer Kohlenstofffixierung bei.

Die monetäre Bewertung der ÖSL „Freizeit-/Erholungsleistung“ und „Kohlenstoffspeicherung“ zeigt, dass ein Erhalt der Flächen für die Naherholung und zur Kohlenstoffspeicherung von Bedeutung ist.



Dr. Malte Jahn, HWWI:

„Um Ökosystemleistungen in Kosten-Nutzen-Überlegungen von Hochwasserschutzmaßnahmen zu integrieren, muss auf (behördliche) Standards bei deren Erfassung und Bewertung hingearbeitet werden. Die Etablierung dieser Standards in der Praxis ist ein politischer Prozess, in den die Wissenschaft ihre Kenntnisse einbringen kann.“

## 6 WANDEL UND ANPASSUNG

Ein wichtiger Gesichtspunkt in Stuck ist die Optimierung des Hochwassermanagements auch unter dem Aspekt der zukünftigen Entwicklung der Modellregionen. Im Folgenden wird für die vorgestellten Maßnahmen deren Wirksamkeit im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen dargelegt. Dabei werden die Faktoren Klimawandel und dessen Folgen sowie der Entwicklung der Flächennutzung (Versiegelung) berücksichtigt.

Die zukünftige Entwicklung wird auf das Jahr 2035 projiziert. Über diesen Zeitpunkt hinaus lässt sich für die Flächennutzung in einer Metropole wie der Freien und Hansestadt Hamburg keine hinreichend zuverlässige Abschätzung machen. Somit wurde auch der Zeithorizont für die Entwicklung der Niederschläge und des Meeresspiegelanstieges auf dieses Jahr begrenzt.

Die Flächennutzung hat Auswirkung auf den Versiegelungsgrad und damit auf den Abfluss. Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung werden zunächst bereits bekannte Planungen (z. B. Bebauungspläne, Großvorhaben im Straßenbau) in das N-A-Modell integriert. Darüber hinaus werden durch das HWWI aus der abgeschätzten Bevölkerungsentwicklung Versiegelungsgrade für das Jahr 2035 abgeleitet.

Für das Hochwassermanagement sind hinsichtlich des Klimawandels die Entwicklung von Niederschlagsextremen und für die Modellregion Dove-Elbe zudem die Entwicklung der Tidewasserstände relevant. Zur besseren Differenzierung des Einflusses der Entwicklung der Niederschläge und des Meeresspiegelanstieges wird der Klimawandel in die Szenarien „Niederschlag 2035“ und „Meeresspiegelanstieg 2035“ unterteilt. Darüber hinaus wird die Kombination der beiden Szenarien untersucht.

Hinsichtlich der Niederschläge wird eine Zunahme der Intensität im Sommer (Kreienkamp et al., 2016) und eine Zunahme der Mengen im Herbst und Winter erwartet (Jacob et al., 2014). Zur Berücksichtigung der Niederschlagsentwicklung werden die den im Projekt untersuchten Hochwasserereignissen zugrunde liegenden Niederschläge mit einem Aufschlag von 15 % versehen.

Bei der Entwicklung des globalen Meeresspiegels wird nach dem fünften Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014) über alle Emissionsszenarien hinweg von einem Anstieg zwischen 28 und 98 cm bis 2100 ausgegangen. Im Projekt Stuck wird bis 2035 ein Anstieg von 20 cm in der Deutschen Bucht angenommen, der zu einer Erhöhung des Tideniedrigwassers am

Tatenberger Siel von 15 cm führt. Bei diesem Szenario handelt es sich um ein theoretisch mögliches, aber innerhalb der im IPCC festgelegten Spanne hohes Szenario. Die Freie und Hansestadt Hamburg geht derzeit nicht davon aus, dass dieses Szenario in dieser beschleunigten Intensität eintreten wird.

### 6.1 Kollau

#### 6.1.1 Auswirkungen zukünftiger Entwicklung

Zunächst wird untersucht, wie sich die zukünftige Entwicklung in der Modellregion auf die Abflüsse auswirkt, wenn keine weiteren Maßnahmen des Hochwassermanagements ergriffen werden.

Für das Szenario „Niederschlag 2035“ wird entsprechend der Festlegung für die Modellregion Kollau ein Zuschlag von 15 % auf den Niederschlag angesetzt. Für das Szenario „Flächennutzung 2035“ erhöht sich unter den festgelegten Ansätzen der Anteil an versiegelten Flächen in der bereits stark versiegelten Modellregion der Kollau um 2,5 %.

Abb. 48 zeigt dies anhand von Berechnungen für den Pegel Niendorfer Straße auf der Grundlage des bisher höchsten Hochwasserereignisses vom Juli 2002 als Referenzereignis.

Der mit 2,5 % verhältnismäßig geringfügig erhöhte Versiegelungsgrad führt auch nur zu einer geringen Erhöhung des Scheitelabflusses. Das Szenario „Niederschlag 2035“ mit erhöhtem Niederschlag erzeugt dagegen mit einer Erhöhung des Abflussscheitels um 22 % einen deutlichen Effekt. Dieser wird bei Hinzunahme des erhöhten Versiegelungsgrades weiter auf 28 % erhöht.

### 6.1.2 Umgestaltung der Hochwasserrückhaltebecken zu Trockenbecken

Im Folgenden wird die Wirkung der Maßnahme „Umgestaltung der Hochwasserrückhaltebecken zu Trockenbecken“ als eine Möglichkeit, den erhöhten Abflüssen aufgrund der zukünftigen Entwicklung zu begegnen, dargestellt.

Die Maßnahme wird mit den Randbedingungen der Szenarien für ein  $HQ_{100}$  berechnet. Hierzu werden die 18 HRB mit Dauerstau und drei RR im EZG Kollau zu Trockenbecken im Nebenschluss umgestaltet. Zur optimalen

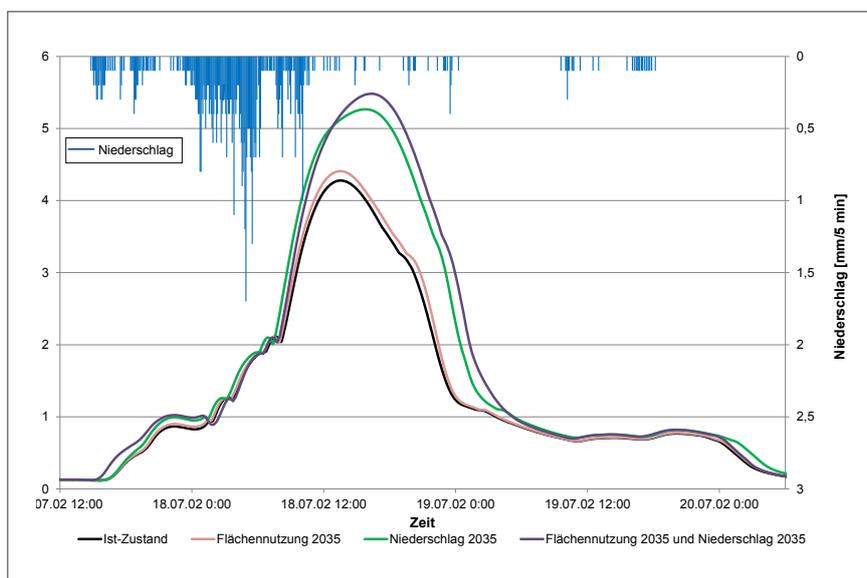


Abb. 48: Berechnete Abflüsse der Kollau am Pegel Niendorfer Straße für das Hochwasserereignis 18.07.2002 und daraus abgeleitete Abflüsse unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Szenarien „Flächennutzung 2035“ und „Niederschlag 2035“.

Ausnutzung des Stauraumes der Becken wird der Abfluss aus den HRB individuell mit einem Faktor zwischen 0,03 und 0,77 reduziert.

Diese Maßnahme zeigt sich als sehr wirksam. Die Berechnungen dieser Maßnahme im N-A-Modell unter den Randbedingungen „Flächennutzung 2035“ und „Niederschlag 2035“ ergeben eine Reduzierung des  $HQ_{100}$  am Pegel Niendorfer Straße auf 8,8  $m^3/s$

gegenüber 10,4  $m^3/s$  ohne Anwendung der Maßnahme.

Die Darstellung der Ausdehnung von überschwemmten Flächen wird mit einem hydrodynamischen 2D-Modell berechnet. Abb. 49 zeigt diese für das  $HQ_{100}$  der unterschiedlichen Szenarien IST-Zustand und Zustand im Jahr 2035 unter Berücksichtigung der Entwicklung von Bodenversiegelung und der Niederschläge ohne die Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen sowie mit der Umgestaltung aller HRB mit Dauerstau zu Trockenbecken. Es wird sichtbar, dass durch die Umgestaltung die Ausdehnung der überschwemmten Flächen deutlich verringert wird.

Tab. 11: Entwicklung des  $HQ_{100}$  der Kollau am Pegel Niendorfer Straße im IST-Zustand und unter Zugrundelegung der festgelegten Ansätze.

Hochwasserereignis	Ist-Zustand	Flächennutzung 2035	Niederschlag 2035	Niederschlag 2035 und Flächennutzung 2035
$HQ_{100}$	8,1 $m^3/s$	8,3 $m^3/s$	9,9 $m^3/s$	10,4 $m^3/s$

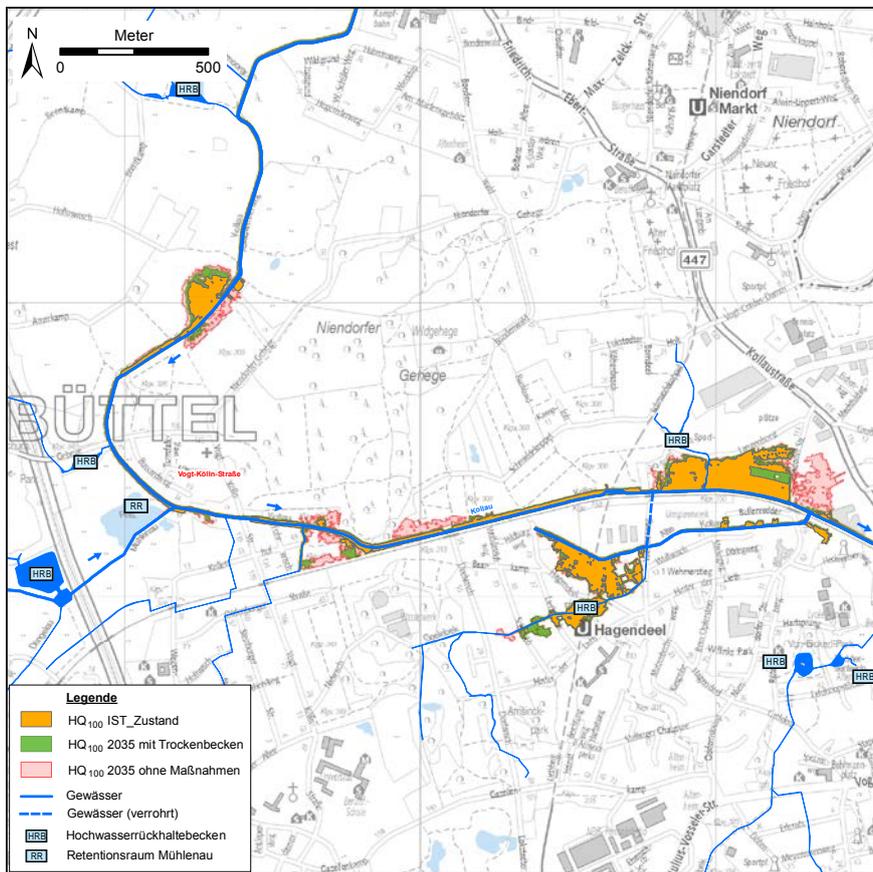


Abb. 49: Räumliche Ausdehnung des HQ<sub>100</sub> im IST-Zustand, bei Ansatz des Szenarios „Niederschlag 2035“ und „Flächennutzung 2035“ und bei Umsetzung der Maßnahme „Umgestaltung der HRB zu Trockenbecken“.

### Welche Hochwasserschutzmaßnahmen eignen sich zur Kompensation der Folgen des Klimawandels und der zukünftigen Flächennutzung?

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass für die aus lang andauernden Niederschlägen resultierenden Hochwasserereignisse erheblich mehr Stauraum genutzt werden muss. Dieses kann aufgrund des geringen Angebots an hierfür nutzbaren Flächen in der Regel nur durch eine verbesserte Ausnutzung bestehender Stauräume in den HRB erfolgen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Maßnahme, HRB als Trockenbecken auszubauen oder bestehende HRB mit Dauerstau zu Trockenbecken umzugestalten, zu einer wirksamen Reduzierung der Hochwasserabflüsse führt.

## 6.2 Dove-Elbe

### 6.2.1 Auswirkungen zukünftiger Entwicklung

Im Modellgebiet Dove-Elbe werden Maßnahmen des Hochwassermanagements auf ihre Wirksamkeit unter den Randbedingungen der Szenarien „Niederschlag 2035“ und „Meeresspiegelanstieg 2035“ durch Berechnungen mit einem N-A-Modell untersucht. Das Szenario „Flächennutzung 2035“ verändert die Abflüsse in der Modellregion begrenzt. Eine Zunahme der Flächenversiegelung in dem zu erwartenden Ausmaß führt zu höherem Oberflächenabfluss, dieser gelangt jedoch aufgrund kurzer Fließwege bereits vor dem Eintritt des Hochwasserscheitels in die Dove-Elbe. Eine weitere Betrachtung des Szenarios „Flächennutzung 2035“ ist daher entbehrlich.

Für das Szenario „Niederschlag 2035“ wird auch für die Modellregion Dove-Elbe ein Zuschlag von 15 % auf den Niederschlag angesetzt. Für den Hauptzufluss Bille wird unter Berücksichtigung des Abflussverhaltens pauschal ein Zuschlag von 10 % auf den Abfluss am Pegel Reinbek angesetzt. Die Abflüsse an diesem Pegel gehen direkt als Zufluss in das N-A-Modell ein.

Im Szenario „Meeresspiegelanstieg 2035“ wird eine Auswirkung des Meeresspiegelanstiegs auf das MTnw in der Elbe am Pegel Schöpfstelle um +15 cm angenommen. Das Szenario „Niederschlag 2035 und Meeresspiegelanstieg 2035“ kombiniert die angesetzten Randbedingungen.

Zunächst wird dargestellt, wie sich die zukünftige Entwicklung in der Modellregion auf die Abflüsse auswirkt, wenn keine weiteren Maßnahmen des Hochwassermanagements ergriffen werden. Dies erfolgt auf der Grundlage des Hochwasserereignisses vom 06./07.02.2011. Die Ergebnisse sind in Tab. 12 (Keine Maßnahme) dargestellt.

Der Regelwasserstand in der Dove-Elbe ist mit NHN +90 cm gegenüber dem MTnw von NHN -149 cm relativ hoch, daher wird die Binnenentwässerung durch das erhöhte MTnw beim Szenario „Meeresspiegelanstieg 2035“ nicht entscheidend beeinflusst. Durch die erhöhten Tnw wird die Sielzugdauer am Deichsiel Tatenberg zwar verkürzt, im automatischen Betrieb hat dies nur geringe Auswirkungen. Höhere Tnw können die Binnenentwässerung sogar begünstigen. Dies ist in der schrittweisen Schließung der Hubschütze bis zu einer Wassersstands-differenz zwischen Binnen und Außen von 160 cm begründet, die die

Entwässerung bei niedrigen Tnw eingeschränkt. (Kap. 2.2.1, Abb. 16). Die Auswirkungen auf den Wasserstand am Pegel Allermöher Deich sind daher nur gering.

Grundsätzlich erhöht sich bei diesem Szenario das Risiko einer Sperrtide, da ein kleinerer Windstau als bisher ausreicht, eine Sperrtide zu erzeugen.

Eine Zunahme der Niederschläge (Szenario „Niederschlag 2035“) mit den damit verbundenen höheren Abflüssen führt bei dem berechneten Hochwasserereignis zu einer Erhöhung des Hochwasserscheitels in der Dove-Elbe am Pegel Allermöher Deich um 9 cm. Ein Vergleich der Auslastung des Deichsiels Tatenberg durch die Zuflüsse

aus der Bille verdeutlicht deren Bedeutung. Bei dem zugrunde gelegten Hochwasserereignis erhöht sich der Anteil des Zuflusses aus der Bille am durchschnittlichen Abflussvolumen während einer Tide (ca. 1 Mio. m<sup>3</sup>) von 81 % auf 89 %.

Werden die Szenarien „Niederschlag 2035“ und „Meeresspiegelanstieg 2035“ kombiniert, erhöht sich der Abfluss im Einzugsgebiet und gleichzeitig verringert sich die Entwässerungszeit am Deichsiel Tatenberg. Der Wasserstand erhöht sich um 14 cm im Vergleich zum IST-Zustand am Beispiel des Hochwasserereignisses im Februar 2011.

Tab. 12: Übersicht über die Hochwassermanagement-Maßnahmen und Szenarien, die in der Modellregion Dove-Elbe untersucht wurden und Angabe der berechneten Wasserstände. Angegeben ist Wmax [NHN cm] am Pegel Allermöhe, bezogen auf die Modellierung des IST-Zustandes für das Hochwasserereignis 06./07.02.2011.

Hochwassermanagement	Wmax [NHN cm] Ist-Zustand	Wmax [NHN cm] Meeresspiegelanstieg 2035	Wmax [NHN cm] Niederschlag 2035	Wmax [NHN cm] Niederschlag und Meeresspiegelanstieg 2035
Keine Maßnahme	142	146	151	156
Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsiesels Tatenberg	130	--	144	151
Schaffung von Speichervolumen im Vorland	134	137	143	148

### **In welchem Maße beeinflussen der Klimawandel und die zukünftige Flächennutzung den Abfluss in den Gewässern?**

Die Untersuchung des Einflusses der zukünftigen Entwicklung zeigt, dass insbesondere ein Klimawandel mit erhöhten Niederschlägen einen Einfluss auf die Abflüsse in den Gewässern haben wird. Dagegen sind die Auswirkungen der intensiveren Flächennutzung allein nur gering. In Kombination mit dem Klimawandel verstärkt jedoch selbst eine insgesamt geringe Zunahme der Versiegelung durch Nachverdichtung deutlich den Hochwasserabfluss. In tidebeeinflussten Gebieten wird der Einfluss erhöhter Niederschläge durch die zu erwartenden Einschränkungen der Binnenentwässerung aufgrund des Meeresspiegelanstieges verstärkt.

### **6.2.2 Schaffung von Speichervolumen im Vorland und Betriebsänderung des Deichsiels Tatenberg**

Im Folgenden werden zwei Maßnahmen des Hochwassermanagements vorgestellt, die mit den Randbedingungen der Szenarien für das Hochwasserereignis im Februar 2011 berechnet wurden. Die Maßnahmen werden auch zur Verbesserung der gegenwärtigen Situation der Binnenentwässerung untersucht und sind dort im Einzelnen beschrieben (s. Kap. 4.2.1 und 4.2.4).

Tab. 12 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Maßnahmenvarianten und deren Wirksamkeit. Es zeigt sich, dass ohne die Umsetzung von Maßnahmen des Hochwasser-

managements eine deutliche Erhöhung der Hochwasserscheitel in der Dove-Elbe zu erwarten ist. Dabei erweist sich die Maßnahme „Schaffung von Speichervolumen im Vorland“ als die wirksamste Variante. Die Maßnahme „Vorabsenkung durch Betriebsänderung des Deichsiels Tatenberg“ ist im IST-Zustand wirkungsvoller, bei Betrachtung der zukünftigen Entwicklung mit einer verkürzten Sielzugdauer und erhöhten Abflüssen verliert diese jedoch an Wirksamkeit. Der kritische Wasserstand in der Dove-Elbe von NHN +140 cm wird beim Szenario „Meeresspiegelanstieg 2035“ durch die Schaffung von Speichervolumen unterschritten, bei den weiteren untersuchten Szenarien jedoch bei beiden Maßnahmen überschritten.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Untersuchungsergebnisse des Projektes StucK zeigen Möglichkeiten der Verbesserung der Binnenentwässerung auf, die auch im Hinblick auf ihre Wirksamkeit bei Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung untersucht wurden.

Die entwickelten Instrumente einer besseren Hochwasservorhersage unter Nutzung der vom DWD bereit gestellten Vorhersagedaten reichen vom einfachen Verfahren auf der Grundlage eines Vorfeuchteindex bis hin zum operationellen Betrieb eines N-A-Modells für ein kleines urbanes Einzugsgebiet. Im ersten Fall kann auf einfach zu ermittelnde Daten, wie Abflüsse und Gebietsniederschläge, zurückgegriffen werden, im zweiten Fall basiert die Hochwasservorhersage auf der kontinuierlichen Erfassung von Wasserständen und der aufwendigeren Auswertung von Ensemblevorhersagen des Niederschlages.

Die vorgestellten Maßnahmen des Hochwassermanagements ermöglichen eine Verbesserung der gegenwärtigen Binnenentwässerung und sind aufgrund ihrer Allgemeingültigkeit auf andere Gebiete übertragbar.

Die Untersuchung der zukünftigen Entwicklungen zeigt, dass insbesondere die durch einen Klimawandel erwartete Zunahme von extremen

Niederschlägen einen Einfluss auf die Abflüsse in den Gewässern haben wird. Dieser verstärkt sich in urban geprägten Gebieten selbst bei insgesamt geringer Zunahme der Versiegelung durch Nachverdichtung. In tidebeeinflussten Gebieten wird der Einfluss erhöhter Niederschläge durch die zu erwartenden Einschränkungen der Binnenentwässerung aufgrund des Meeresspiegelanstieges verstärkt.

Dieser Entwicklung kann durch eine konsequente Ausnutzung der bestehenden Stauräume und durch Schaffung von weiteren Stauräumen begegnet werden. Die Untersuchungsergebnisse für die Modellregion Kollau zeigen, dass selbst bei der theoretischen Nutzung des Stauraumes aller bestehenden HRB ein heutiges  $HQ_{100}$  im Jahr 2035 nicht ganz zurückgehalten werden kann. Auch in der Modellregion Dove-Elbe reichen die untersuchten Maßnahmen nicht aus, um die Folgen eines Klimawandels mit höheren Niederschlägen und Meeresspiegelanstieg vollständig zu kompensieren.

Für die Modellregion Dove-Elbe wird die Notwendigkeit eines länderübergreifenden, einzugsgebietsbezogenen Hochwassermanagements im Einzugsgebiet der Bille deutlich. Der Zufluss der Bille macht schon heute den weitaus größten Teil der am Deichsiel

Tatenberg abfließenden Wassermengen aus und wird weiter zunehmen. Ein Hochwassermanagement, welches die bestehenden Stauräume im Einzugsgebiet flexibler bewirtschaftet und ggf. weitere schafft, kann ein Instrument zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels sein. Hierbei ist die Hochwasservorhersage eine wichtige Grundlage.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass auch in urbanen Gebieten wie der Modellregion Kollau die flexible Bewirtschaftung der Rückhalteräume, verbunden mit einer Steuerung auf der Grundlage von Hochwasservorhersagen, ein mögliches Instrument darstellt.

Aus lang andauernden Niederschlägen resultierenden Hochwasserereignissen mit großen Wassermengen kann nur mit einer erheblichen Vergrößerung des Stauraums begegnet werden. Dieses kann aufgrund des geringen Angebots an hierfür nutzbaren Flächen in der Regel nur durch eine verbesserte Ausnutzung bestehender Stauräume in den HRB erfolgen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Maßnahme HRB als Trockenbecken auszubauen oder bestehende HRB mit Dauerstau umzugestalten, zu einer wirksamen Reduzierung der Hochwasserabflüsse führt.

Diese Trockenbecken können wechselfeuchte Lebensräume mit zeitweiligem Einstau beinhalten. Derartige Lebensräume sind in urbanen Regionen selten und daher wertvolle Habitate. Bei entsprechender Gestaltung, bei der in Teilbereichen noch Wasser steht, wird die Wertigkeit weiter gesteigert, da hier Rückzugsräume in trockenen Perioden geschaffen werden. Hier wird deutlich, dass Maßnahmen des Binnenhochwasserschutzes nicht nur naturverträglich gestaltet sein können, vielmehr werden hier darüber hinausgehend fachübergreifende Ziele umgesetzt und wertvolle Lebensräume geschaffen. Die Umsetzung kann in urbanen Räumen aufgrund der vielfältigen Nutzungsansprüche, wie der Naherholung und Freizeit, möglicherweise schwierig sein. Es ist aber im Sinne des Zieles der Bewältigung der Folgen des Klimawandels notwendig, für derartige Maßnahmen Konzepte zu entwickeln.

Bei den für die Kollau untersuchten Ansätzen einer potenziellen Vorlandentwicklung können sich Ziele des Binnenhochwasserschutzes und ökologische Aspekte sinnvoll ergänzen. Die Ansätze sollten weiter verfolgt werden und könnten ggf. eine Grundlage für die Auenentwicklung auch an kleinen urbanen Fließgewässern sein. An diesen Beispielen wird deutlich, dass die Gewässer und ihre Bauwerke

nicht nur der Entwässerung und dem Binnenhochwasserschutz dienen, sondern auch eine Reihe von „Leistungen“, wie die Nutzung zur Naherholung, als Lebensraum, als Kaltluftschneise oder die Kohlenstoffspeicherung im Rahmen des Klimaschutzes liefern. Die im Projekt Stuck entwickelten Ansätze zur Quantifizierung und monetären Bewertung eines Teiles dieser Leistungen machen die Bedeutung auch kleiner urbaner Gewässer beispielsweise für den Klimaschutz und die Freizeit- und Erholungsnutzung deutlich.



Dieter Ackermann, LSBG:

„Ein wesentlicher Gewinn aus Stuck ist die Verbesserung der Hochwasservorhersage des Warndienstes Binnenhochwasser Hamburg. Darüber hinaus werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Hochwassermanagement mit der ökologischen Aufwertung von Hochwasserrückhalteflächen verbunden werden kann und somit fachübergreifende Ziele erreicht werden.“

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- BALDAUF, M., et al., 2018. Kurze Beschreibung des präoperationellen Kurzestfristvorhersagemodells COSMO-D2 und seiner Datenbanken auf dem Datenserver des DWD.
- BUE (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG), 2018. Biotopkataster Hamburg. Verfügbar unter: <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/biotopkataster-hamburg1?forceWeb=true>.
- BUE (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG). Hydro-Web. der hydrologische Internet/Intranet-Dienst von HYDRO 6.1. Verfügbar unter: <http://hydroweb.gero-nimus.info/>.
- DORENDORF, J., et al., 2015. Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 447-455. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ufug.2015.04.005
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), Hg., 2015. KOSTRA-DWD-2010. Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Bezugszeitraum 1951 bis 2010. Malitz, G. & H. Ertel [Zugriff am: 15.08.2019]. Verfügbar unter: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra\\_dwd\\_rasterwerte/download/bericht\\_kostra\\_dwd\\_2010\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=11](https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/download/bericht_kostra_dwd_2010_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=11).
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), Hg., 2016. Starkniederschläge in Deutschland. Kreienkamp, F., et al., DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), Hg., 2018. Database Reference Manual for ICON and ICON-EPS. Version 1.2.3. Research and Development at DWD.
- ELLENBERG, H., et al., 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18.
- Freie und Hansestadt Hamburg, 1982. Verordnung über das Überschwemmungsgebiet der Bille zwischen der Landesgrenze und der Alten Holstenstraße Vom 20. April 1982. Fassung: 05.10.2004. Fundstelle: HmbGVBl. 19822, S. 97 [Zugriff am: 15.08.2019]. Verfügbar unter: <http://www.hamburg.de/contentblob/4273952/257e54ec8b199b-751a733d14e8eb5094/data/download-bille-verordnung.pdf>.
- FUGRO CONSULT GMBH, 2014. Hochwasserschutzkonzept für die Stadt Braunschweig. Stufe 1: Vorstudie. Fugro Consult GmbH im Auftrag des Wasserverbands Mittlere Oker. Siemon, C. & N. Krätzschmar.
- HELLMERS, S., 2019. Integrating local scale drainage measures in meso scale hydrological modelling of backwater affected catchments. Dissertation, unveröffentlicht.
- HPA (HAMBURG PORT AUTHORITY), Hg., 2016. Schiffsverkehr Tatenberger Schleuse 2015.
- HPA (HAMBURG PORT AUTHORITY), Hg., 2017. Gewässerkundliche Information. *Gewässerkundliches Jahr 2017*. Heyenga, B., Strotmann, T. & T. Pietruszewski,
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2014. *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IWGSCGG (INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF GREENHOUSE GASES), Hg., 2016. *Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis - Under Executive Order 12866* [Zugriff am: 15.08.2018]. Verfügbar unter: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/sc\\_co2\\_tsd\\_august\\_2016.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf).
- JACOB, D., et al., 2014. EURO-CORDEX. *New high-resolution climate*

change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578 [Zugriff am: 11.10.2016]. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10113-013-0499-2

LASSE WALTER UNTERNEHMENSBERATUNG, Hg., 2015. Umfrage zur städtischen Parknutzung.

LAWA (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER), Hg., 2017. Empfehlungen für die Überprüfung der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und der Risikogebiete nach EU-HWRM-RL. Vorläufige Risikobewertung (PFRA) ab dem 2. Zyklus der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Deutschland. beschlossen auf der 153. LAWA-Vollversammlung, 16./17. März 2017 in Karlsruhe [Zugriff am: 15.08.2019]. Verfügbar unter: [https://www.lawa.de/documents/00\\_lawa\\_empfehlungen\\_vorl\\_bewertung\\_hw\\_risiko\\_1552299182.pdf](https://www.lawa.de/documents/00_lawa_empfehlungen_vorl_bewertung_hw_risiko_1552299182.pdf).

LLUR (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN). Hochwasser-Sturmflut-Information. Wasserstand [Zugriff am: 15.08.2019]. Verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.landsh.de/public/hsi/index.html>.

LSBG (LANDESBETRIEB STRAßEN, BRÜCKEN UND GEWÄSSER), Hg., 2019. BMBF-Projekt StucK – Abschlussbericht 2015–2019. Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – das BMBF-Forschungsprojekt StucK. Ackermann, D., et al. Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz in Bearbeitung.

NEHLSSEN, E., L. KUNERT, P. FRÖHLE & J. KNIELING, Hg., 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, 3.

RICHTER, B. & K. GRUNEWALD, 2017. Erreichbarkeit von Grünflächen in Städten – ein bundesweiter Überblick [Zugriff am: 15.08.2019]. Verfügbar unter: <http://www.esp-de.de/erreichbarkeit-von-gruen-flaechen-in-staedten-ein-bundesweiter-ueberblick/>.

SCHOLZ, M., S. STAB, F. DZIOCK & K. HENLE, Hg., 2005. Lebensräume der Elbe und ihrer Auen. Mit 31 Tabellen. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, 4.

SCHRÖTER, K., et al., 2015. What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydrometeorological evaluation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 309-327 [Zugriff am: 26.11.2015]. Verfügbar unter: doi:10.5194/hess-19-309-2015

STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2017. Einwohnerdaten 2016.

THE TRUST FOR PUBLIC LAND, Hg., 2014. The Economic Benefits of San Francisco's Park and Recreation System. Keenan, L. S. [Zugriff am: 01.08.2018]. Verfügbar unter: [https://www.tpl.org/sites/default/files/files\\_upload/San%20Francisco%20Economic%20Value%20Study%20report%20final%20low-res.pdf](https://www.tpl.org/sites/default/files/files_upload/San%20Francisco%20Economic%20Value%20Study%20report%20final%20low-res.pdf).

VGRDL (VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GESAMTRECHNUNGEN DER LÄNDER), Hg., 2014. Reihe 1 Band 4: Anlagevermögen in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2011 Reihe 1, Länderergebnisse Band 4. Verfügbar unter: <https://www.statistik-bw.de/VGRdL/tbls/>.

# IMPRESSUM

Herausgeber und Vertrieb:  
Freie und Hansestadt Hamburg  
Landesbetrieb Straßen, Brücken und  
Gewässer (LSBG)  
Sachsenfeld 3 – 5  
20097 Hamburg

V. i. S. d. P.: Anabel Schnepf

Verfasser:  
Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko  
Westphal, Gabriele Gönnert und Olaf  
Müller

Mit Beiträgen von:  
Friederike Fischer

Graphiken:  
Fred Hesser, Sonja Peters

Kartengrundlage:  
Freie und Hansestadt Hamburg  
Landesbetrieb Geoinformation und  
Vermessung (LGV)

Fotos: Dieter Ackermann

Auflage:  
200 Stück  
Gedruckt auf 80 % Recyclingpapier  
Stand: November 2019

Gestaltung:  
Haase-Druck GmbH  
Brandstücken 22  
22549 Hamburg

Titelbild:  
Deichsiel Tatenberg am 01.08.2017,  
Dieter Ackermann

ISSN 1867-7959 (Print)

Anmerkungen zur Verteilung  
Diese Druckschrift wird im Rahmen  
der Öffentlichkeitsarbeit des Senats  
der Freien und Hansestadt Ham-  
burg herausgegeben. Sie darf weder  
von Parteien noch von Wahlwerbern  
oder Wahlhelfern während des Wahl-  
kampfes zum Zwecke der Wahlwer-  
bung verwendet werden. Dies gilt für  
Europa-, Bundestags-, Landtags- und  
Kommunalwahlen. Missbräuchlich  
ist insbesondere die Verteilung auf  
Wahlveranstaltungen, an Informa-  
tionsständen der Parteien sowie das  
Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben  
parteipolitischer Informationen oder  
Werbemittel. Untersagt ist ebenfalls  
die Weitergabe an Dritte zum Zwecke  
der Wahlwerbung. Unabhängig davon,  
auf welchem Wege und in welcher An-  
zahl dem Empfänger diese Schrift zu-  
gegangen ist, darf sie auch ohne zeit-  
lichen Bezug zu einer bevorstehenden  
Wahl nicht in einer Weise verwendet

werden, die als Parteinahme der Lan-  
desregierung zugunsten einzelner  
politischer Gruppen verstanden wer-  
den könnte. Den Parteien ist es jedoch  
gestattet, die Druckschrift zur Unter-  
richtung der eigenen Mitglieder zu  
verwenden.

Bisher erschienene Berichte:	Nr. 10/2012 Sturmflutschutz in Hamburg gestern-heute-morgen
Nr. 1/2009 Hochwasserschutz in Hamburg, Baumaßnahmen	Nr. 11/2012 Internationaler Vergleich der Bemessungsverfahren im Küstenschutz
Nr. 2/2009 Sturmfluten zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen	Nr. 12/2012 Ermittlung des Sturmflutbemessungswasserstandes für den öffentlichen Hochwasserschutz in Hamburg
Nr. 3/2009 Hochwasserschutz für die Hamburger Binnengewässer	Nr. 13/2012 Verfahren zur Fortschreibung von Sturmflutbemessungswasserständen
Nr. 4/2009 Hochwasserschutz in Hamburg, Schulungszentrum Deichverteidigung 2009	Nr. 14/2012 Gewässer und Hochwasserschutz in Zahlen
Nr. 5/2009 Proceedings of the SA-WA-Midtherm Conference in Gothenburg	Nr. 16/2014 Die Sturmflut nach dem Tief Xaver vom 5. bis 7. Dezember 2013
Nr. 6/2011 Hochwasser an Hamburgs Binnengewässern am 6. und 7. Februar 2011	
Nr. 7/2011 Hochwasserschutz in Hamburg, Anleitung Deichverteidigung (aktualisierte Auflage 2015)	
Nr. 8/2011 Planungswerkstatt Lichtsignalanlagen am 17.09.2011 - Dokumentation	
Nr. 9/2012 Proceedings of the Flood Risk Management Conference – North Sea Region. SAWA Final Conference in Hamburg	







