



## Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels - BMBF-Projekt Stuck -

Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 7/2016



LSBG  
Landesbetrieb Straßen,  
Brücken und Gewässer  
Hamburg



Hamburg



Zwischenbericht des Forschungsprojekts Stuck, Förderkennzeichen 033W031, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Förderschwerpunkts Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM).



#### Projektpartner:



Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG)  
Sachsenfeld 3-5, 20097 Hamburg  
Prof. Dr. Gabriele Gönnert



Technische Universität Hamburg (TUHH)  
Institut für Wasserbau, Denickestraße 22, 21073 Hamburg  
Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle



hydro & meteo GmbH & Co. KG (h&m)  
Breite Straße 6-8, 23552 Lübeck  
Dr. Thomas Einfalt



Universität Hamburg (UHH), bestehend aus:  
Biozentrum Klein Flottbek, Abt. Angewandte Pflanzenökologie  
Ohnhorststraße 18, 22609 Hamburg  
Prof. Dr. Kai Jensen

CEN, Institut für Bodenkunde  
Allendeplatz 2, 20146 Hamburg  
Prof. Dr. Annette Eschenbach



Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)  
Heimhuder Straße 71, 20148 Hamburg  
Dr. Sven Schulze

© LSBG Hamburg 2016

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Prüfung und Genehmigung des LSBG ist es nicht gestattet diesen dienstlichen Bericht oder Teile daraus zu veröffentlichen.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Naturräumliche Beschreibung der Modellregionen (LSBG) .....</b>	<b>7</b>
2.1	Modellregion Dove-Elbe.....	8
2.2	Modellregion Kollau .....	13
2.3	Derzeitiges Klima.....	16
<b>3</b>	<b>Hochwassermanagement und Umsetzung in den urbanen Projektgebieten (AP 3 und AP 5, LSBG) .....</b>	<b>18</b>
3.1	Nationale Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in den Küstenländern .....	18
3.2	Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in Hamburg .....	19
3.3	Modellregion Dove-Elbe.....	21
3.3.1	Vorbeugender Hochwasserschutz .....	21
3.3.2	Technischer Hochwasserschutz .....	22
3.3.3	Operativer Hochwasserschutz.....	26
3.3.4	Statistische Auswertungen .....	27
3.4	Modellregion Kollau .....	32
3.4.1	Vorbeugender Hochwasserschutz .....	32
3.4.2	Technischer Hochwasserschutz .....	33
3.4.3	Operativer Hochwasserschutz.....	34
3.4.4	Statistische Auswertungen .....	35
<b>4</b>	<b>Niederschlagsmessung und -vorhersage (AP 1, hydro &amp; meteo) .....</b>	<b>37</b>
4.1	Serviceleistungen/Datenbereitstellung .....	37
4.1.1	Datenbezug.....	37
4.1.1.1	Radardaten und Radardatenprodukte.....	37
4.1.1.2	Numerische Wettervorhersagedaten .....	39
4.1.1.3	Stationsmessdaten .....	41
4.1.2	Einrichtung von Hardware .....	41
4.2	Forschung und Entwicklung.....	42
4.2.1	Online Korrektur für die vier Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden .....	42
4.2.1.1	Bodenechos .....	42

4.2.1.2	Strahlenfehler .....	43
4.2.1.3	Bildinterpolation .....	43
4.2.1.4	Korrekturbewertung .....	43
4.2.2	Ereignisauswertung .....	45
4.2.2.1	Einleitung.....	45
4.2.2.2	Daten und Methodik.....	46
4.2.2.3	Ergebnisse .....	46
4.2.3	Minutenvorhersage.....	49
<b>5</b>	<b>Hydrologie und Flächenmanagement (AP 2, TUHH).....</b>	<b>51</b>
5.1	Echtzeitbestimmung von Abflüssen aus räumlich detaillierten Niederschlagsdaten (AP 2.1) .....	51
5.1.1	Ziel des Arbeitspaketes .....	51
5.1.2	Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Kollau .....	52
5.1.3	Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Dove-Elbe .....	56
5.2	Optimierung der hydrologischen Modellansätze und der Modellierung zur Berücksichtigung von Regelungsanlagen (AP 2.2 und AP 2.3) .....	57
5.3	Implementierung einer Kurzzeitvorhersage im hydrologisch-numerischen Modell zur Optimierung der Regelungsanlagen (AP 2.4).....	59
5.4	Optimierung des Flächenmanagements unter Berücksichtigung bestehender und zukünftig geplanter Nutzungen (AP 2.5).....	61
<b>6</b>	<b>Ökologie urbaner Fließgewässer (AP 4, Universität Hamburg) .....</b>	<b>62</b>
6.1	Darstellung des Ist-Zustandes im Hinblick auf die EG-WRRL (AP 4.1) .....	63
6.2	Vegetation (AP 4.2) .....	64
6.2.1	Vegetationsentwicklung eines Rückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion.....	64
6.2.2	Vegetationsentwicklung entlang der Dove-Elbe seit der Abdämmung im Jahr 1951 .....	68
6.3	Kartierung und Analyse der Ressource Boden (AP 4.3) .....	70
6.4	Kohlenstoff (AP 4.4).....	72
6.5	Bodenwasserhaushalt (AP 4.5).....	73
6.6	Schadstoffinventar .....	74
<b>7</b>	<b>Ökonomische Analyse (AP 6, HWWI) .....</b>	<b>76</b>
7.1	Nutzungskonkurrenzen (AP 6.1) .....	76
7.1.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag.....	76

7.1.2	Analysegegenstand 1: Bodenversiegelung.....	77
7.1.3	Analysegegenstand 2: Ermittlung des zukünftigen Flächenbedarfs .....	78
7.1.4	Analysegegenstand 3: Bedeutung der Hochwassersicherheit für die Grundstückswerte .....	81
7.2	Ökosystemleistungen (ÖSL) (AP 6.2) .....	84
7.2.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag.....	84
7.2.2	Analysegegenstand 1: Erfassung der Ökosystemleistungen urbaner Gewässer und deren Randbereiche .....	85
7.2.3	Analysegegenstand 2: Bewertung von Ökosystemleistungen.....	86
7.3	Risikobetrachtungen (AP 6.3) .....	88
7.3.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag.....	88
7.3.2	Analysegegenstand: Leitfaden Schadensanalyse und Fallstudien.....	89
7.4	Dokumentation der Notwendigkeit fachübergreifender Zusammenarbeit (AP 6.4) ..	90
<b>8</b>	<b>Kommunikation und Vernetzung (AP 7, hydro &amp; meteo) .....</b>	<b>92</b>
8.1	Projektwebseite .....	92
8.2	FTP-Server .....	93
<b>9</b>	<b>Projektmanagement (AP 8, LSBG).....</b>	<b>94</b>
9.1	Externe fachliche Vernetzung .....	94
9.1.1	Besuch von Tagungen, Kolloquien und Seminaren .....	94
9.1.2	Wissenschaftlicher Austausch .....	94
9.2	Interne fachliche Vernetzung .....	95
9.3	Veröffentlichungen, Publikationen und Präsentationen .....	97
9.3.1	Studienarbeiten .....	97
9.3.2	Konferenzen .....	98
9.3.3	Seminare .....	98
<b>10</b>	<b>Synopse.....</b>	<b>100</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>103</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>104</b>
<b>13</b>	<b>Aufstellungsvermerk .....</b>	<b>112</b>

# 1 Einleitung

Im Verbundforschungsprojekt zur „Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels“ (Stuck) erarbeitet der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) der Freien und Hansestadt Hamburg mit einem multidisziplinären Projektteam ein Sektor übergreifendes Konzept der küstennahen Gewässerbewirtschaftung für urban geprägte Fließgewässer. Die Bearbeitung erfolgt parallel in acht Arbeitspaketen und gliedert sich wie folgt:

AP 1: Niederschlagsmessung und -vorhersage (hydro & meteo GmbH & Co. KG)

AP2: Hydrologie und Flächenmanagement (Technische Universität Hamburg)

AP 3: Hochwassermanagement (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer)

AP 4: Ökologie urbaner Fließgewässer (Universität Hamburg)

AP 5: Umsetzung in urbanen Projektgebieten (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer)

AP 6: Ökonomische Analyse (Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH)

AP 7: Kommunikation und Vernetzung (hydro & meteo GmbH & Co. KG)

AP 8: Projektmanagement (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer)

In Stuck wird ein Schwerpunkt auf die Entwässerung im Fall von Extremwetterereignissen unter besonderer Berücksichtigung der Steuerung von Schöpfwerken (Pumpen), Rückhaltebecken und Retentionsräumen gelegt. Als Extremwetterereignisse sind hier Starkregen, die zu Binnenhochwasser führen, Sturmfluten und Elbehochwasser zu verstehen. Dabei werden sowohl urban geprägte Gewässer mit freier Vorflut in der Modellregion Kollau, als auch Gewässer mit abflussbehindernder, tidebeeinflusster Vorflut im Modellgebiet Dove-Elbe betrachtet. Das zeitgleiche Auftreten von Binnenhochwasser mit hohen Tidewasserständen oder sogar Sturmfluten verhindert zeitweise die freie Entwässerung in das Tidegewässer, die Elbe (Sperrtiden). So entsteht zusätzlich ein Rückstau in den zufließenden Binnengewässern. Der Klimawandel birgt, neben dem Meeresspiegelanstieg, das Risiko, dass die auslösenden Wetterlagen zukünftig häufiger auftreten und die Gefahrenlage länger andauern kann. Für beide urban geprägten Fließgewässertypen fehlen bisher nachhaltige, allgemeingültige Lösungsansätze. Das Konzept wird beispielhaft für die Stadt Hamburg erarbeitet und auf andere Städte mit ähnlicher Problemlage übertragbar sein.

In Stuck erfolgt zunächst die Analyse der hydrologischen Zusammenhänge bisheriger Hochwasserereignisse. 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 und veränderter, zukünftiger Gewässerbewirtschaftung quantifiziert.

Für eine vorausschauende Bewirtschaftung der Gewässer im städtischen Raum sind meteorologische Informationen über zu erwartende Extremwetterereignisse mit einem Zeithorizont

von mehreren Stunden erforderlich. Auf der kleinräumigen Skala von städtischen Gewässern und Kanalnetzen sind diese zurzeit nicht mit genügender Verlässlichkeit verfügbar und sollen im Rahmen des Projektes aus bestehenden Informationen weiterentwickelt werden. Um aus diesen verbesserten Niederschlagsprognosen resultierende Wasserstände und Abflüsse zu ermitteln, werden Niederschlags-Abfluss-Modelle (NA-Modelle) aufgebaut, die in den operationellen Betrieb gehen sollen.

Die Ergebnisse aus Planungs- und Bewirtschaftungsaktivitäten sollen nach Erprobung im Projekt in den operationellen Betrieb des LSBG (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer) und der Bezirksämter eingeführt werden. Damit wird ein nachhaltiger Beitrag zum küstennahen, urbanen und vorausschauenden Wassermanagement geleistet werden.

Das Projekt wird im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) im Bereich „Instrumente der Gewässerbewirtschaftung“ bearbeitet, enthält jedoch viele Bezüge zum nachhaltigen Wasserressourcenmanagement. Es werden sowohl die Planung von einzugsgebietsbezogenen Maßnahmen (Bemessung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Retentionsräumen und dem Gewässerökosystem und der Bewertung konkurrierender Nutzungen) als auch die Umsetzung und der Betrieb in Echtzeit (Bewirtschaftung, Risikomanagement mit Warnung per Email und Mobiltelefon) im Projekt durchgeführt. Die zu entwickelnde Methodik ist prinzipiell ortsungebunden und übertragbar.

Auf Grund der kleinräumigen Einzugsgebiets- und Gewässerstruktur in den Modellregionen wird zunächst die Kurzzeitvorhersage des Niederschlags, das sog. „Nowcasting“, in zeitlicher und räumlicher Hinsicht verbessert (Kap. 4.2). Anhand der optimierten Niederschlagsvorhersage werden mit Niederschlags-Abfluss-Modellen Abflüsse und mit Hilfe hydrodynamischer Modelle Wasserstände und Überschwemmungsflächen berechnet.

Die Modelle werden zunächst genutzt, um die gängige Praxis des Hochwassermanagements in den Einzugsgebieten der Modellregionen abzubilden. In einem weiteren Schritt werden alternative Managementstrategien hinsichtlich ihrer Schutzwirkung getestet und bewertet. Neben den Maßnahmen während eines Hochwasserereignisses werden auch langfristige Bewirtschaftungsstrategien entwickelt. Dazu notwendige Flächen, wie Rückhaltebecken und Retentionsflächen, werden im aktuell genutzten Zustand boden- und vegetationskundlich kartiert und deren Ökosystemfunktionen und damit Ökosystemleistungen, wie beispielsweise Kohlenstoffsinkung oder Wasserregulationsfunktionen, ermittelt. Eine veränderte Bewirtschaftung führt auch zu einer veränderten Ökosystemleistung, die im Projekt monetär bewertet wird. Auf Grundlage der Kosten für Hochwasserschutzmaßnahmen, der genauen Kenntnis deren Wirkung im Eintrittsfall, der Bilanzierung der veränderten Ökosystemleistung, der Folgenabschätzung des Klimawandels und dem bestehenden Schadenspotenzial können nachhaltige Handlungsempfehlungen für urbane Bereiche erstellt werden.

## 2 Naturräumliche Beschreibung der Modellregionen (LSBG)

Als Modellregionen des Projekts Stuck wurden das Einzugsgebiet der Kollau und der Hamburgische Teil des Einzugsgebiets der Dove-Elbe gewählt (Abb. 1). Die naturräumliche Beschreibung der Modellregionen ist die Grundlage für die Beschreibung des derzeitigen Hochwassermanagements, des aufzuzeigenden Handlungsbedarfs und der möglichen Optimierungen, die als Ergebnis des Stuck-Projekts angestrebt werden.

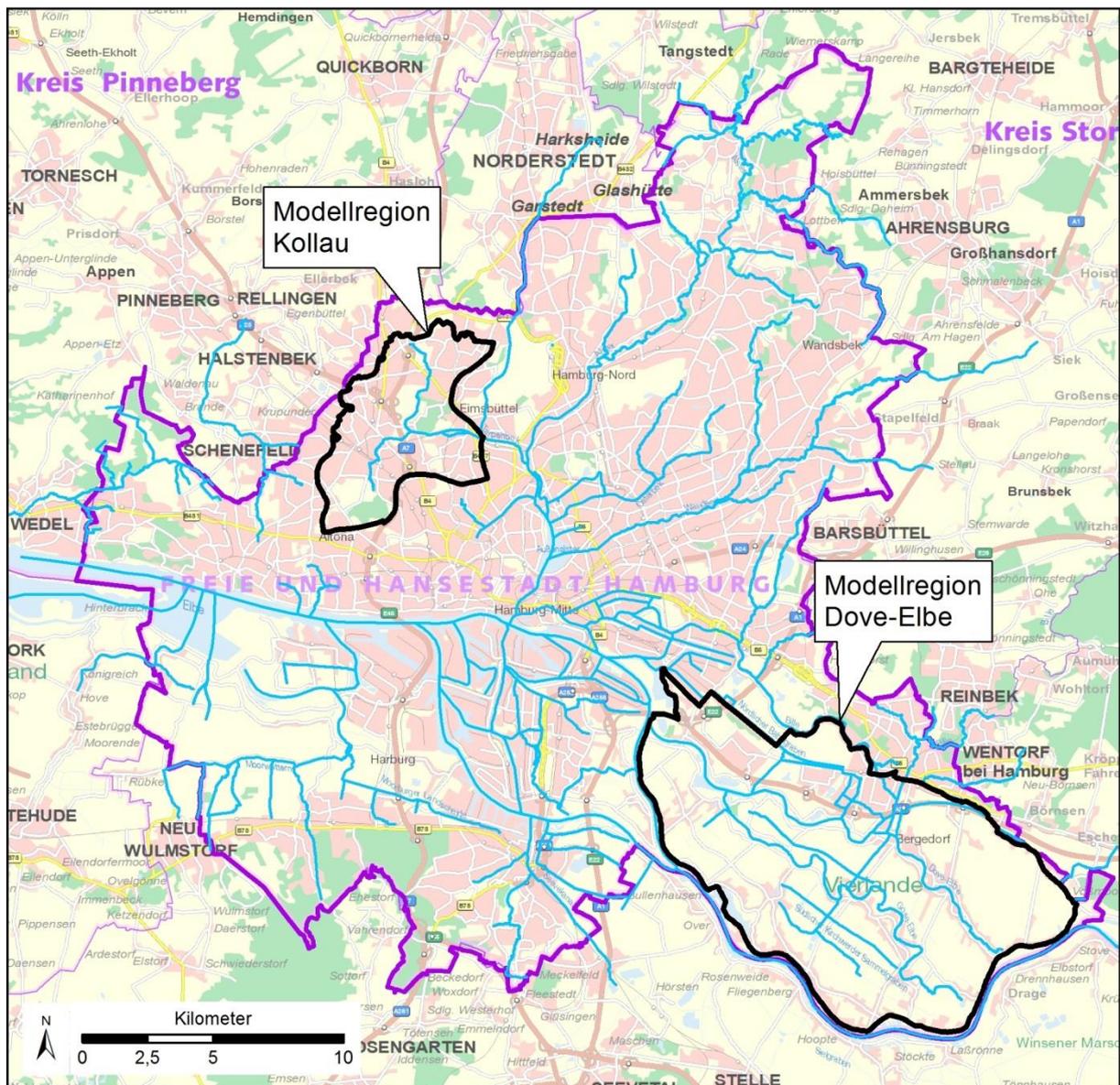


Abb. 1: Lage und Begrenzung der Modellregionen Kollau und Dove-Elbe im Stadtgebiet von Hamburg. Das dargestellte Gewässernetz ist aus Gründen der Übersichtlichkeit generalisiert (Geodatenquelle: LGV).

## 2.1 Modellregion Dove-Elbe

Als Modellregion wird der in Abb. 1 dargestellte Ausschnitt des Dove-Elbe Einzugsgebiets betrachtet. Außerhalb der Modellregion schließen sich die Einzugsgebiete der Bille, der Schulenbrooksbek und der Dallbek an. Die Modellregion unterscheidet sich damit vom tatsächlichen Einzugsgebiet der Dove-Elbe, wie in Kap. 5.1 gezeigt wird (Abb. 24 und Abb. 29).

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. 1). Die Dove-Elbe entspringt am Gammer Ort, zwischen Neuen- und Altengamme, verläuft in nordwestlicher Richtung und mündet über das Deichsiel an der Tatenberger Schleuse östlich von Hamburg Moorfleet in die Tideelbe. Das Einzugsgebiet der Dove-Elbe, ohne den Zufluss der Bille über das Serrahnwehr und den Schleusengraben, ist 159,9 km<sup>2</sup> groß und liegt im östlichen Teil in den „Vierlande“, die aus Altengamme, Neuengamme, Curslack und Kirchwerder bestehen. Der westliche Teil des Einzugsgebiets liegt in den Marschlanden, die im Wesentlichen aus den Stadtteilen Spadenland, Tatenberg, Allermöhe, Reitbrook, Ochsenwerder und Teilen von Moorfleet und Billwerder gebildet werden. Das Hauptgewässernetz entspricht dem berichtspflichtigen Gewässernetz nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 2000) und ist ebenfalls in Abb. 2 dargestellt.

Die Dove-Elbe wird untergliedert in Obere und Untere Dove-Elbe, wobei die Trennung unterhalb der Dove-Elbe-Schleuse gezogen wird, wo der Neue Schleusengraben (westlicher Teil der Gabelung in Abb. 2) in die Dove-Elbe mündet. Die Obere Dove-Elbe, mit einer Länge von gut 7 km und einer Einzugsgebietsgröße von 24,9 km<sup>2</sup>, stellt die Stadtteilgrenzen von Curslack und Altengamme im Norden und Neuengamme im Süden dar. Im westlichen Teil trennt die Untere Dove-Elbe die Stadtteile Reitbrook, Ochsenwerder, Tatenberg, Spadenland und Teile von Neuengamme im Süden von den Stadtteilen Moorfleet und Allermöhe im Norden (Abb. 2).

Über den Serrahn, ein künstlich angelegtes Hafenbecken, und den Schleusengraben entwässert der Großteil des Billeabflusses, abgeleitet am Serrahnwehr in Bergedorf, in die Dove-Elbe. Nur ein kleiner Teil fließt in den ursprünglichen weiteren Verlauf der Bille (Mittlere Bille und Untere Bille). Zusammen mit der Oberen Bille ( $A_E = 347,1 \text{ km}^2$ , Länge 46 km), ein Gewässer erster Ordnung, ergibt sich eine gesamte Einzugsgebietsgröße von 507 km<sup>2</sup>, wobei das Einzugsgebiet der Bille zu 98% in Schleswig-Holstein liegt (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009). Die Bille entspringt östlich von Hamburg in der Nähe von Linau in Schleswig-Holstein.

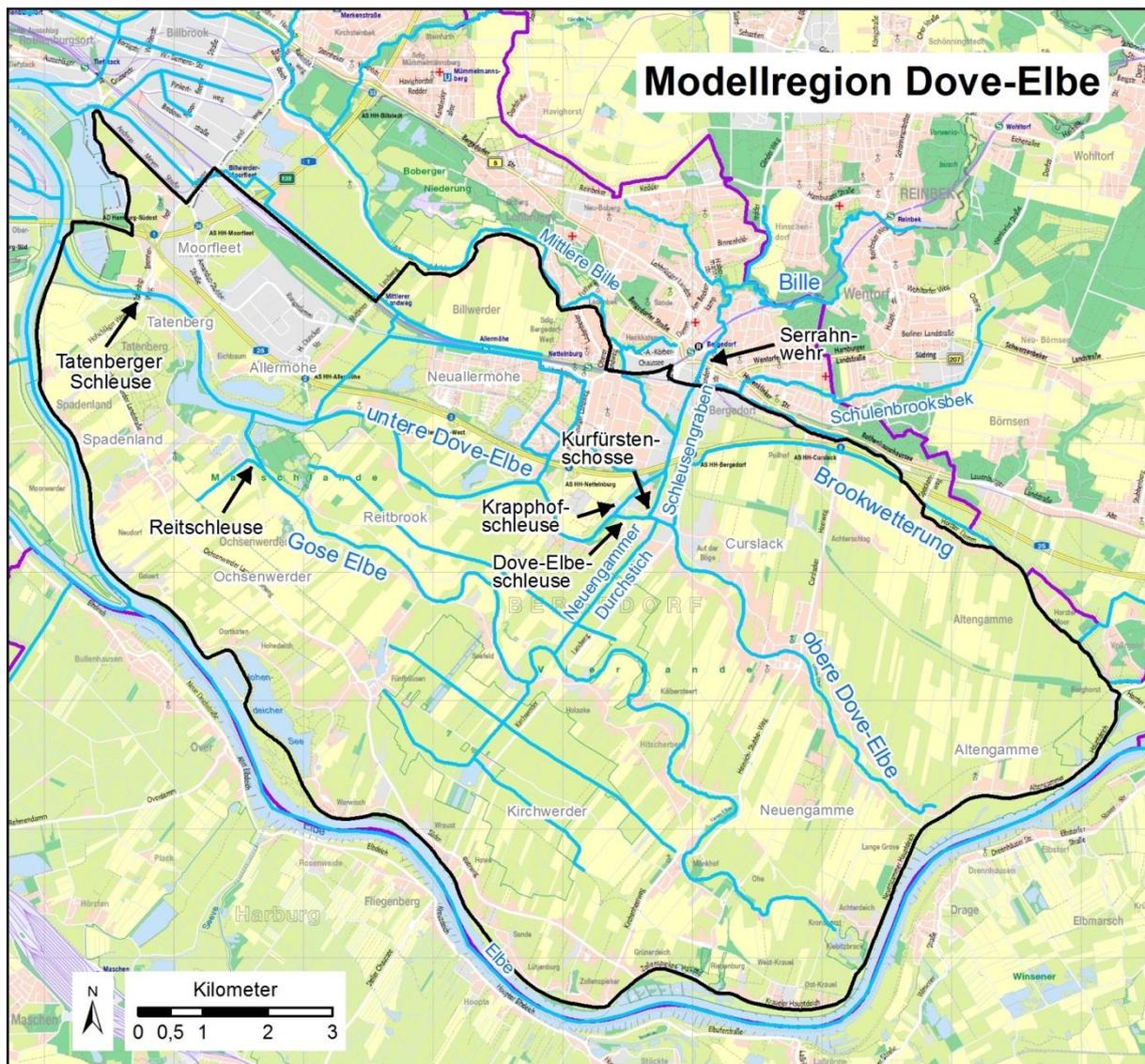


Abb. 2: Übersichtskarte der Modellregion Dove-Elbe. Dargestellt ist das Hauptgewässernetz mit wichtigen wasserwirtschaftlichen Bauwerken. Information zur Flächennutzung: Industrie- und Gewerbegebiet: grau, Wohnbebauung: rot, Gewässer: blau, Grünland: grün, Ackerbau: gelb (Geodatenquelle: LGV).

Weitere Zuflüsse erfolgen über die Brookwetterung ( $A_E = 28,9 \text{ km}^2$ , Länge knapp 9 km), die alte Brookwetterung mit Schleusengraben und Schulenbrooksbek ( $A_E = 8,9 \text{ km}^2$ ), Gose-Elbe ( $A_E = 68,5 \text{ km}^2$ ) sowie den Entwässerungsgebieten Eichbaum/(Moorfleet) ( $A_E = 8,0 \text{ km}^2$ ) und Allermöhe/Billwerder ( $A_E = 14,2 \text{ km}^2$ ). Die Gose-Elbe stellt hierbei den größten Zufluss dar: Sie hat einen verbliebenen Talraum von  $4,8 \text{ km}^2$  und wird selbst über die Schöpfwerke Ochsenwerder ( $A_E = 18,1 \text{ km}^2$ ), Reitbrook ( $A_E = 7,0 \text{ km}^2$ ), Seefeld ( $A_E = 19,1 \text{ km}^2$ ), Neuengamme ( $A_E = 11,7 \text{ km}^2$ ) und Riepenburg ( $A_E = 7,9 \text{ km}^2$ ) gespeist (BWS GmbH 2011). Über den Neungammer Durchstich (verläuft etwa in Verlängerung des Schleusengrabens) wurden Dove-Elbe und Gose-Elbe verbunden. Das Gebiet Curslack/Altengamme entwässert im Normalfall nicht, sondern dient als Wassergewinnungsgebiet des Wasserwerks Curslack und wird über eine Rohrleitung vom Serrahnwehr mit Wasser aus der Bille bewässert. Überschüssiges

Niederschlagswasser wird über Durchlässe unter dem Curslack-Deich in die Obere Dove-Elbe abgeführt. Eine schematische Skizze der Einzugsgebiete zeigt Abb. 3.

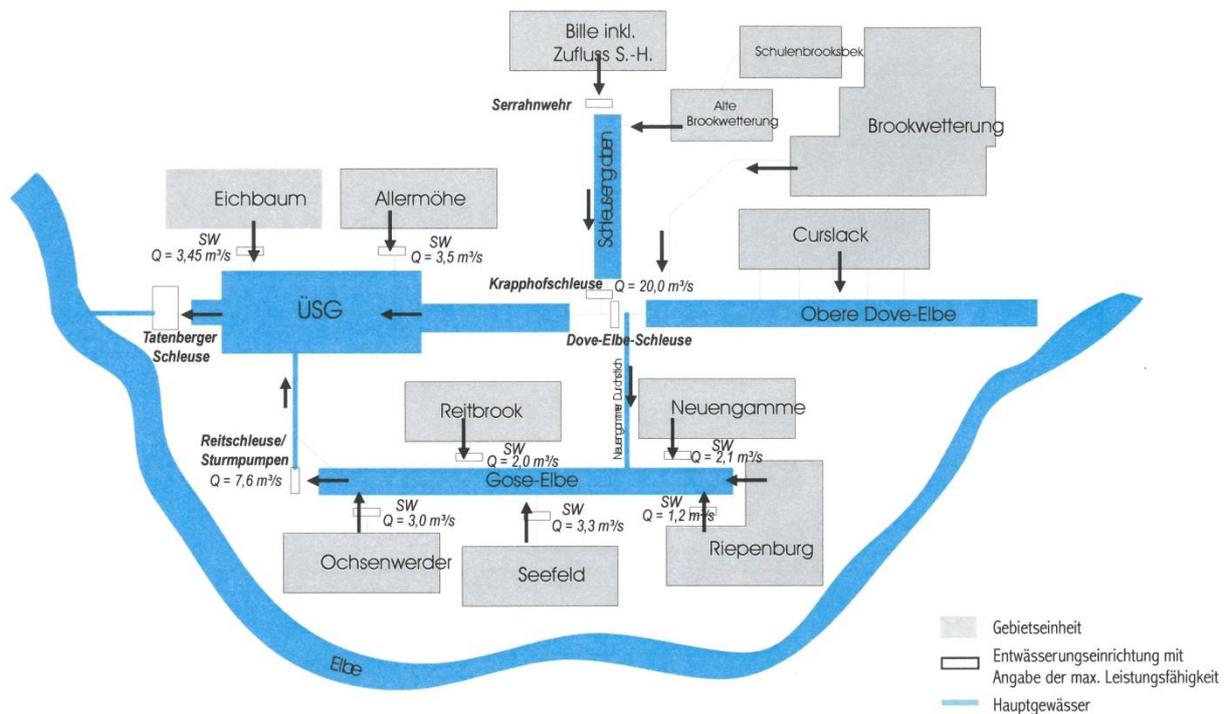


Abb. 3: Schematische Darstellung der Teileinzugsgebiete der Dove-Elbe mit Schöpfwerken und deren jeweiliger Schöpfleistung. Die Pfeile stellen die Entwässerung im Normalfall dar (BWS GmbH und Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH 2007).

Ein Bereich der Unteren Dove-Elbe wurde zur Regattastrecke Hamburg-Allermöhe erweitert. Zusammen mit dem Eichbaumsee, der als Baggersee beim Bau der A 25 entstand, bildet sie den Wasserpark Dove-Elbe. Die gewerbliche und Freizeit-Nutzung der Dove-Elbe ist bedeutend. Direkt unterhalb der Regattastrecke befindet sich die Sportboothafen-Gemeinschaft Moorfleeter Deich mit sechs Hauptstegen, die bis zu 28 Liegeplätzen bieten. Den Sportboothafen nutzen der Tatenberger Yacht Club und vier weitere Clubs bzw. Vereine. Im Unterstrom befindet sich der Jachthafen Tatenberg mit Liegeplätzen des Bootsclubs-Biber Hamburg und des Hamburger Yacht-Clubs. Direkt oberhalb der Tatenberger Schleuse befinden sich Liegeplätze des privaten Sportboothafens Möller. An der Tatenberger Schleuse fanden 2015 6.071 Schleusungen statt, bei denen 10.431 Mal private Boote und 734 Mal gewerbliche Schiffe geschleust wurden (Volkman 2016). Die Strecke von der Tatenberger Schleuse bis zur Blauen Brücke in der oberen Dove-Elbe und über den Schleusengraben bis Serrahn wird von der Bergedorfer Schifffahrtslinie gewerblich genutzt.

Das gesamte Einzugsgebiet ist durch Marschböden geprägt, die im Bereich von Gose- und Dove-Elbe z. T. auch als Flusskleimarsch ausgeprägt sind. Die Marschlande weisen Geländehöhen zwischen -1 m NHN und +1 m NHN auf, die zu den Vierlande bis zu +3 m NHN ansteigen (Abb. 4). Das Bergedorfer Stadtgebiet liegt auf der Geest mit Geländehöhe von ca. +5 m NHN.

Der überwiegende Teil der Marschen-Fläche wird von Klei bedeckt mit kleineren Flächen von Talsanden im Bereich der Dove- und Gose-Elbe. Die Quartärbasis liegt im Einzugsgebiet teilweise bis über 200 m unter NHN, in einigen Bereichen aber auch zwischen 0 und 25 m unter NHN. Unterhalb der quartären Ablagerungen befinden sich Tertiäre Ablagerungen. Im Übergang zur Geest treten im östlichen Bereich sowie entlang der Bille in Bergedorf Torfböden auf, die von artesischem Wasser der Geest gespeist werden.

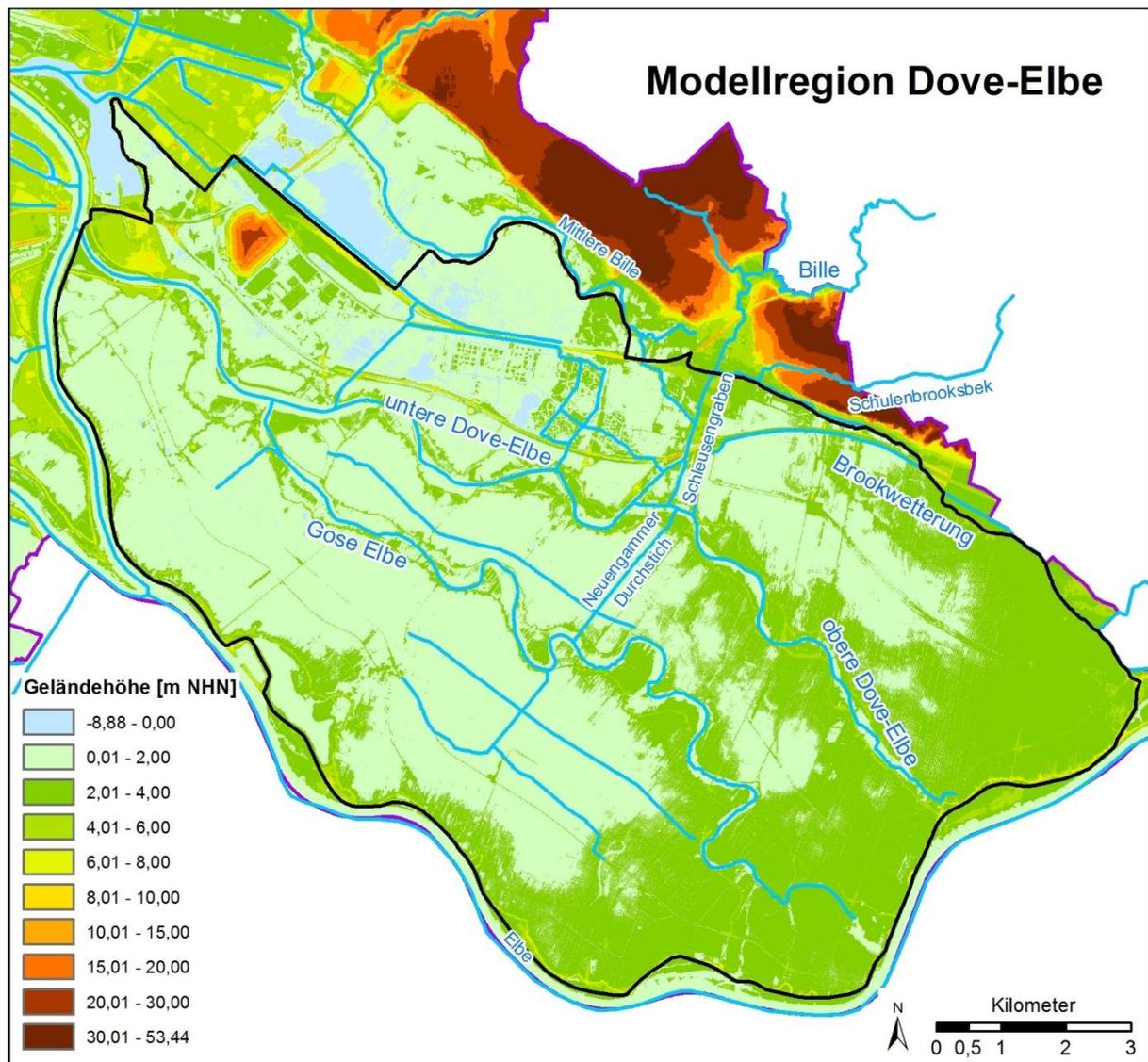


Abb. 4: Digitales Geländemodell, horizontale Auflösung: 1x1 m (LGV 2013).

Die jeweiligen Stadtteile des Untersuchungsgebietes 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 (Abb. 2). In den Marschlanden wird überwiegend Gemüse angebaut, in den Vierlanden dominiert der Anbau von Zierpflanzen. 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 und es findet noch immer eine Zunahme der Versiegelung statt. Der südliche, landwirtschaftlich geprägte Bereich weist entsprechend seiner Nutzung weitaus geringere Bodenversiegelungswerte von unter 20 % auf. In den hier vorhandenen dörflichen Strukturen steigt die Bodenversiegelung auf rund 50 %. Insgesamt ist die Modellregion Dove-Elbe noch relativ gering versiegelt (Abb. 5).

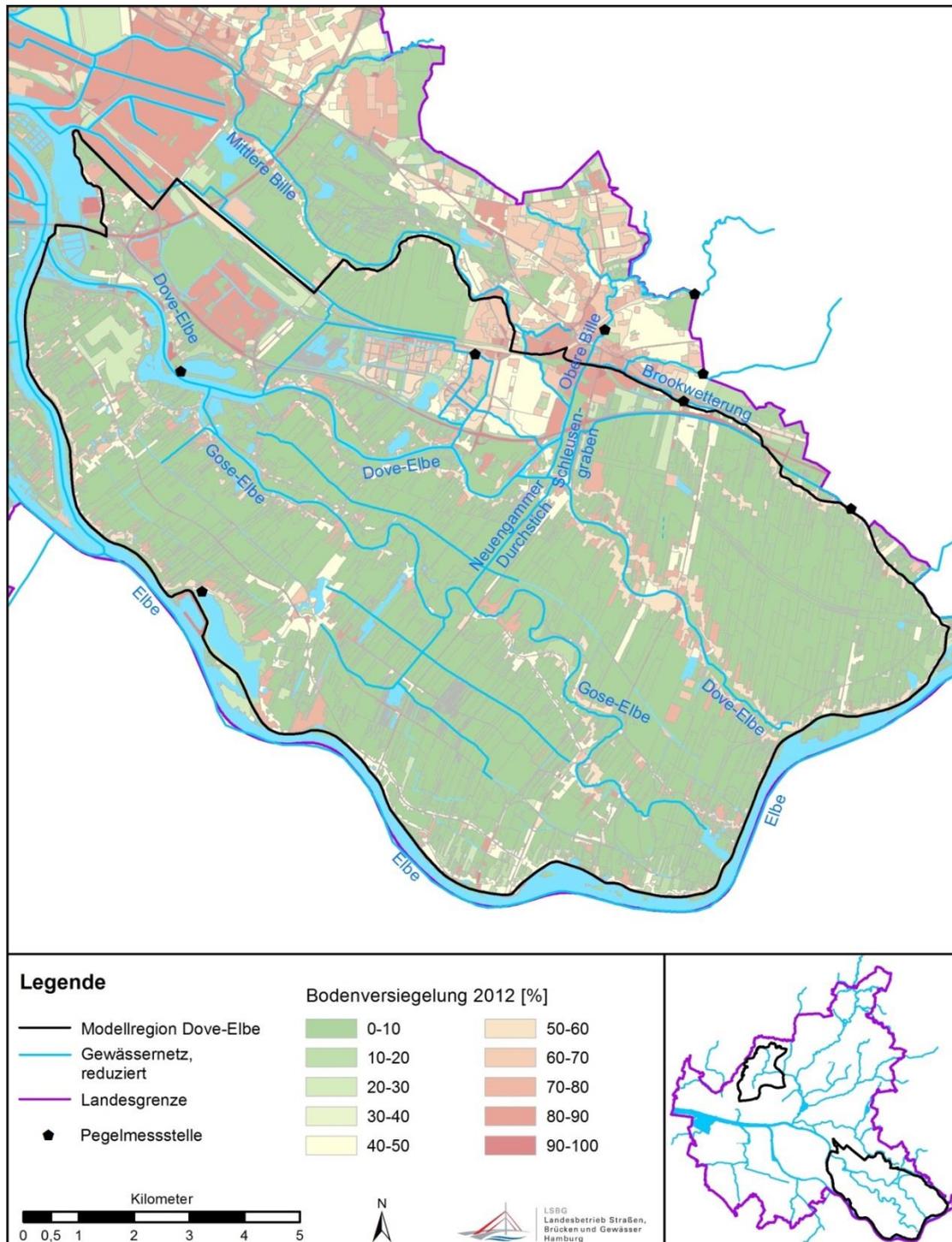


Abb. 5: Bodenversiegelung in der Modellregion Dove-Elbe (Geodatenquelle: LGV).

Im Einzugsgebiet der Dove-Elbe ist das Wasserschutzgebiet Curslack-Altengamme ausgewiesen (24 km<sup>2</sup>), sowie Landschaftsschutzgebiete entlang von Dove- und Gose-Elbe, Naturschutzgebiete und FFH-Gebiete. Das größte Naturschutz- und FFH-Gebiet, die Kirchwerder Wiesen, liegt im Stadtteil Kirchwerder (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

## 2.2 Modellregion Kollau

Die Kollau entspringt im nordwestlichen Hamburger Stadtteil Schnelsen und mündet nach einer Fließstrecke von etwa 7,3 km in die Tarpenbek, welche wiederum in die Alster mündet (Abb. 6). Das sehr urban geprägte Einzugsgebiet umfasst eine Gesamtfläche von 31,6 km<sup>2</sup> und liegt vollständig im Hamburger Stadtgebiet. Die Entwässerung der urbanen Flächen erfolgt weitgehend über das städtische Kanalnetz. 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 ( $A_E = 2,0 \text{ km}^2$ ), die Geelebek ( $A_E = 1,0 \text{ km}^2$ ) und die Alte Kollau ( $A_E = 0,2 \text{ km}^2$ ). Das mittlere Gefälle der Kollau beträgt 0,1 %. Größere unbebaute Flächen im Einzugsgebiet sind der Altonaer Volkspark (Fläche ca. 2 km<sup>2</sup>) und das Niendorfer Gehege (Fläche ca. 3 km<sup>2</sup>). Prägend ist die hohe Anzahl von 23, zumeist kleineren, Rückhaltebecken im Haupt- oder Nebenschluss der Kollau und ihrer Nebengewässer.

Wenige hundert Meter nach ihrer Quelle passiert die Kollau den Kollauteich, der als Rückhaltebecken im Nebenschluss fungiert. Im weiteren Verlauf durchquert die Kollau ebenes, unbebautes Gelände. Dabei nimmt sie den Zufluss des Vielohgrabens auf, der über das Rückhaltebecken Jägerdamm in die Kollau entwässert. Bis zur Einmündung der Mühlenau fließt die Kollau durch ein abschnittsweise urban geprägtes Gelände. Dabei wird sie von einigen Brücken gekreuzt und nimmt viele Regenwassereinleitungen sowie die Zuflüsse des Schippelmoorgrabens, des Brookgrabens und des Duvenackergrabens auf. Im Bereich der Straße Amerkamp verläuft die Kollau, nach Umsetzung einer Renaturierungsmaßnahme, stark mäandrierend. Die Mühlenau mündet bei km 3+000 in die Kollau, also kurz nach der Hälfte des Flusslaufs von der Quelle aus betrachtet (Abb. 6). Die Mühlenau stellt mit Abstand den größten Zufluss der Kollau dar.

Stromab der Einmündung der Mühlenau folgt ein weiterer renaturierter Abschnitt von etwa 400 m Länge, in dem der Gewässerlauf ebenfalls stark mäandriert. Kurz darauf folgend verläuft die Kollau bis zu ihrer Mündung in die Tarpenbek entlang eines Bahndamms, der die Geelebek und die Alte Kollau oberirdisch von der Kollau abtrennt. In diesem Abschnitt wird die Kollau von einigen Brücken und Querbauwerken gekreuzt und nimmt die Zuflüsse aus der Geelebek (verrohrt), der Schillingsbeek und einige Regenwassereinleitungen auf. Unmittelbar stromaufwärts, an der Fußgängerbrücke Wehmerweg, befindet sich eine Hochwasserstauanlage, die den Gewässerquerschnitt seitlich und nach oben einschränkt. Die Einschnürung führt schon bei Mittelwasser zu einer Anhebung des Wasserstandes.

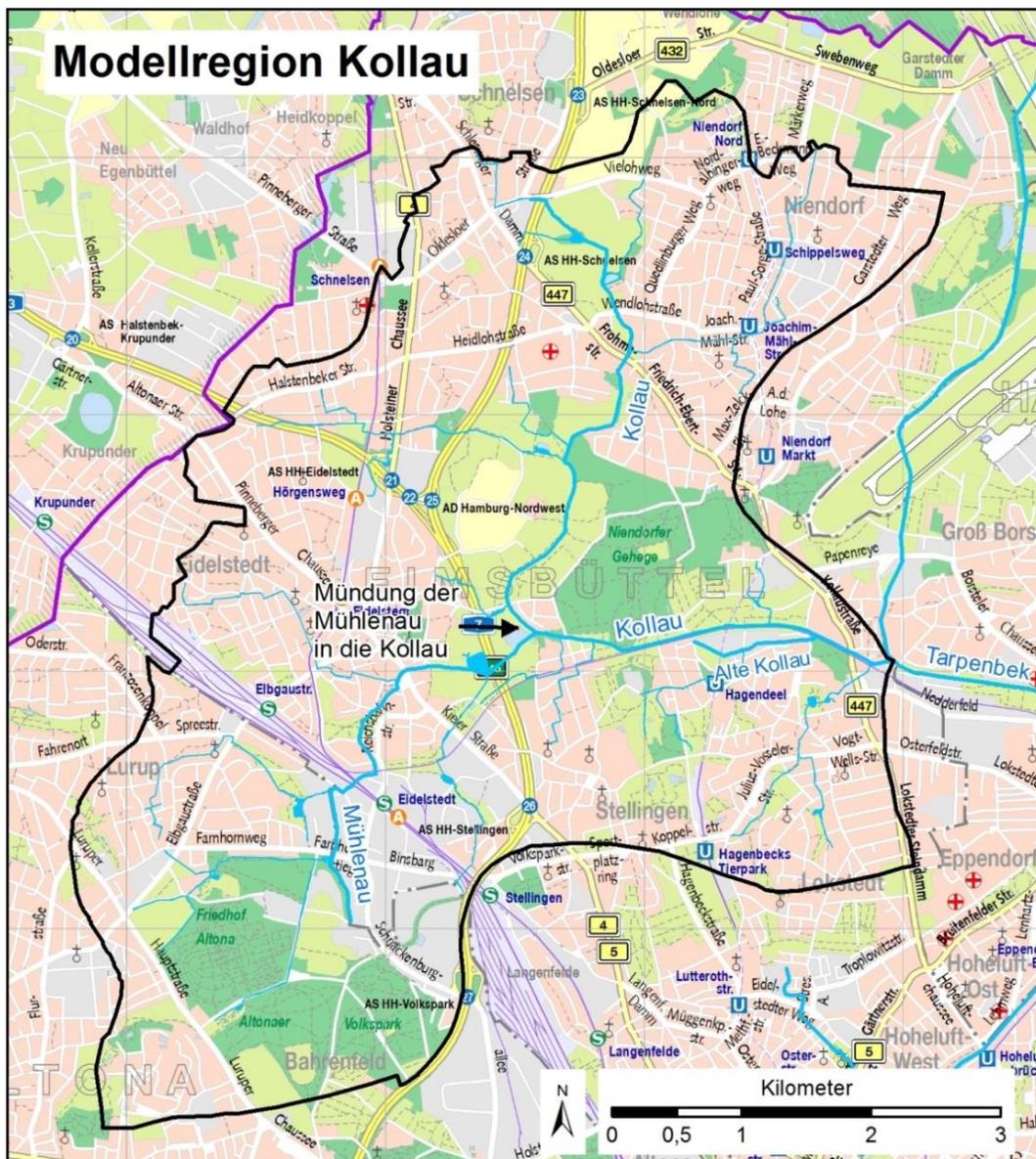


Abb. 6: Übersichtskarte der Modellregion Kollau. Dargestellt ist das Hauptgewässernetz. Information zur Flächennutzung: Industrie- und Gewerbegebiet: grau, Wohnbebauung: rot, Gewässer: blau, Grünland, Parks, sonstige Grünflächen: grün. (Geodatenquelle: LGV)

Die Bodenversiegelung in der Modellregion der Kollau (Abb. 7) variiert je nach Flächennutzung stark, sodass Bereiche mit einer geringen Versiegelung von 0-10 % bis hin zu einer Bodenversiegelung von 90-100 % vorhanden sind. Teilweise grenzen diese Flächen direkt aneinander. Unter hinzuziehen der vorangegangenen Abb. 6 lässt sich der höchste Grad an Versiegelung entlang von Straßen und Gewerbe-/ Industrieflächen erkennen. Besonders am östlichen Rand der Modellregion und im Süden auf Höhe der S-Bahn Station Stellingen gibt es eine großflächige hohe Versiegelung von 80-90 % teils 90-100 %. Letztere grenzt an den Altonaer Volkspark, welcher, wie das zentral im Modellgebiet gelegene Niendorfer Gehege, die geringste Versiegelung aufweist. Die Werte betragen hier 10-20 % beziehungsweise 0-10 %. Die umliegende Wohnbebauung weist größtenteils eine Bodenversiegelung von 50-70 % auf. Bei der Betrachtung des Verlaufes der Kollau fällt auf, dass das Gewässer im

Norden vornehmlich von Flächen mit einer Bodenversiegelung von 0-10 % und 20-30 % im Osten umgeben ist.

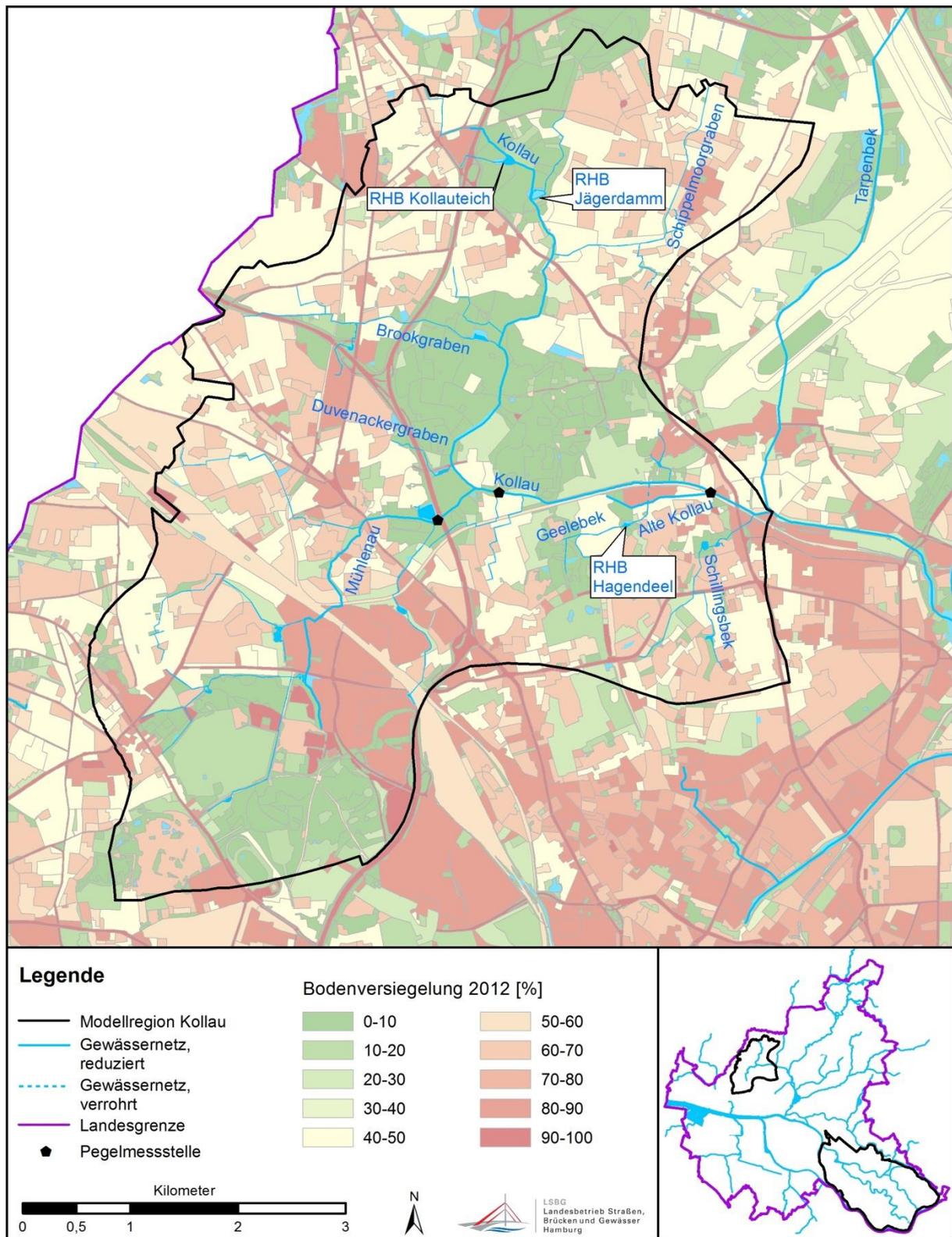


Abb. 7: Bodenversiegelung in der Modellregion Kollau (Geodatenquelle: LGV).

Die Geländehöhe der Modellregion Kollau liegt zwischen +0,67 m und +58 m NHN, wobei der Süden des Gebiets größere Erhebungen aufweist als der Norden. Ein Großteil der Fläche befindet sich auf +8 m bis +25 m NHN. Das Gebiet mit den geringsten Erhebungen bildet deutlich den Gewässerverlauf der Kollau ab, wie in Abb. 8 ersichtlich ist.

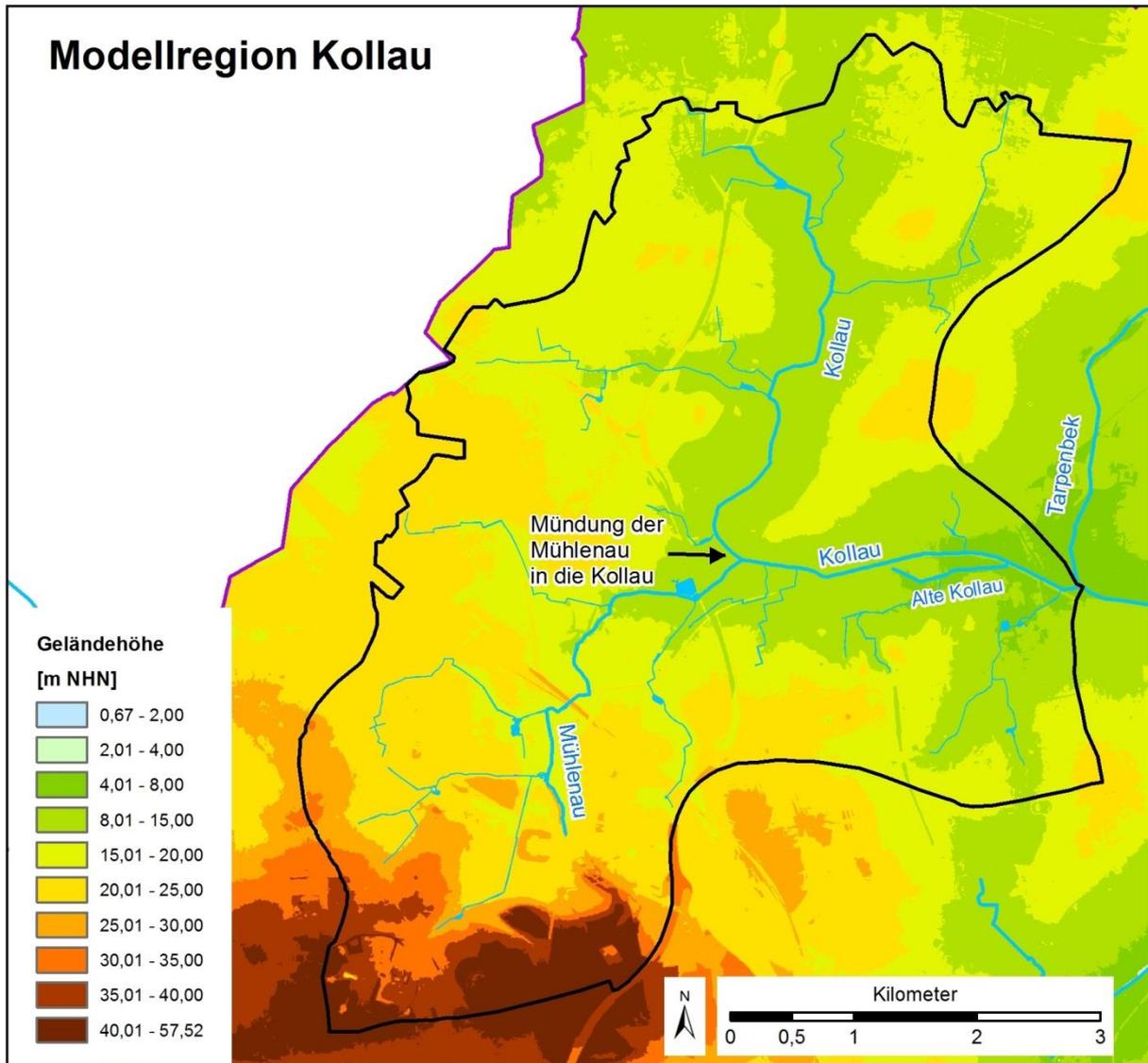


Abb. 8: Geländehöhe [m NHN] der Modellregion Kollau (Geodatenquelle: LGV)

## 2.3 Derzeitiges Klima

Hamburg liegt in der feuchtwarmen gemäßigten Klimazone mit dominierendem maritimem Wettereinfluss durch vorherrschende Winde aus westlicher Richtung. Dies führt zu milden Wintern und kühlen Sommern. Winde aus Nordwesten treten vor allem im Sommer, Winde aus Südsüdwest und Westsüdwest hauptsächlich im Herbst und Winter auf. Östliche Winde sind vorwiegend im Frühjahr zu beobachten. Innerhalb des Stadtgebiets wird die Windrichtung vom Verlauf der Elbe und der Bebauung beeinflusst. Die Luftmassen erwärmen sich im Bereich des bebauten Gebiets und steigen auf. So gebildete Regenwolken ziehen mit der

Hauptwindrichtung weiter. In Hamburg werden jährliche Niederschlagshöhen von im Schnitt 764 mm gemessen (Normalperiode 1961-1990, DWD). Über die Normalperiode hinweg gesehen fällt der meiste Niederschlag im August und der geringste im März (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

In der Metropolregion Hamburg wurden umfangreiche klimatische Untersuchungen, z. B. im Projekt KLIMZUG-NORD (KLIMZUG-NORD Verbund 2014), durchgeführt und der KlimaCampus zur Bündelung der Aktivitäten gegründet. Vom KlimaCampus wurde der „Klimabericht für die Metropolregion Hamburg“ (Storch und Claussen 2011) herausgegeben. Demnach hat sich in der Region die Temperatur von 1901 bis 2006 um insgesamt 1°C erhöht, wobei sich der Trend in den letzten drei Jahrzehnten deutlich verstärkt hat. Bei den Winden konnte weder bei den mittleren Windgeschwindigkeiten, noch bei Stürmen eine Zunahme beobachtet werden (Rosenhagen und Schatzmann 2011). Seit 1891 nahm der Niederschlag um ca. 8 mm pro Dekade im Jahresmittel zu, wobei im Sommer eine leichte Abnahme zu verzeichnen ist (Schlünzen et al. 2010).

Für die Jahresniederschlagssumme wurde ein insgesamt positiver Trend mit einem deutlichen Anstieg der Niederschlagssumme im Herbst und Winter sowie einer leichten Abnahme im Sommer nachgewiesen (KLIMZUG-NORD Verbund 2014).

### 3 Hochwassermanagement und Umsetzung in den urbanen Projektgebieten (AP 3 und AP 5, LSBG)

#### 3.1 Nationale Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in den Küstenländern

Die vorliegende Literatur aus den Bundesländern mit Gewässern, die in tidebeeinflusste Gewässer entwässern, beschreibt in erster Linie die Umsetzung der HWRL und die Bemessung von ÜSG-Flächen.

In den DWA Schriften finden sich keine expliziten Hinweise auf die Entwässerung tidebeeinflusster Gewässer. Jedoch beschreibt Merkblatt 609 (DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2009) wie urbane Fließgewässer zeitgemäß entwickelt werden können und die DWA-Themen 1 (DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2013) stellen den Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge zu Starkregen und urbanen Sturzfluten dar.

##### Schleswig-Holstein

Im Generalplan Binnenhochwasserschutz und Hochwasserrückhalt - Schleswig-Holstein (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR-SH) 2007) werden Überschwemmungsgebiete nach der betroffenen Fläche eines  $HQ_{100}$  bemessen. Im Übergang zu einem Tidegewässer werden für den tidebeeinflussten Bereich ein  $HQ_{100}$  im zufließenden Gewässer zzgl. der, wenn vorhanden, Zuflüsse aus maximaler Schöpfwerksleistung und drei Sperrtiden angesetzt. Als überschwemmungsgefährdete Gebiete gelten Flächen, die von einem  $HQ_{200}$  betroffen sind. Die Flächenermittlung erfolgt mit 1D- und 2D-HN-Modellen. Auswirkungen eines Klimawandels gehen noch nicht in die Ermittlung des Bemessungswasserstands ein.

Schleswig-Holstein betreibt eine Homepage mit Hochwasser- und Sturmflut-Informationen (<http://www.umweltdaten.landsh.de/public/hsi/index.html>), die auch die an der Bille gelegenen Pegel Sachsenwaldau und Reinbek beinhaltet. Auf der ebenfalls online einsehbaren Hochwassergefahrenkarte ist der untere Teil der Bille von der Bismarckquelle nördlich Aumühle bis zur Landesgrenze in den Uferbereichen bei einem  $HQ_{100}$  betroffen. In diesem Bereich liegen laut Hochwassergefahrenkarte auch Siedlungsgebiete mit 100 betroffenen Personen in Wentorf und 30 in Reinbek. Überschwemmungsgebiete wurden, bis auf den letzten Abschnitt der Bille, der die Landesgrenze bildet, entsprechend festgesetzt ([http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/H/hochwasserschutz/Downloads/FGE\\_Elbe\\_gefahr.html](http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/H/hochwasserschutz/Downloads/FGE_Elbe_gefahr.html)). Auf Hamburger Seite bestehen ÜSG-Flächen, die bis zum Serrahn reichen (<http://www.geoportal-hamburg.de/Geoportal/geo-online/index.html>; dort unter „Themen“ den Fachdatensatz „Umwelt und Klima“ auswählen und dann „Hochwasser / Überschwemmungsgebiete (festgesetzte)“).

## Niedersachsen und Bremen

In Niedersachsen wird ebenfalls die Ausdehnung der Überflutungsfläche bei  $HQ_{100}$  verwendet, um Überschwemmungsgebiete zu definieren (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) 2005). Die Wasserbehörden können durch Verordnung die Überschwemmungsgebiete zu „gesetzlichen Überschwemmungsgebieten“ festsetzen. Höher gelegene Flächen gelten bis zur Höhe des HHW als hochwassergefährdetes Gebiet.

In Niedersachsen und Bremen werden die Vorgaben der HWRL (Europäische Union 2007) in drei Schritten umgesetzt. Bis Ende 2011 wurden die Risikogebiete an den Binnengewässern und an der Küste der EU mitgeteilt. Bis Ende 2013 wurden die Risikogebiete in ihrer flächenhaften Ausdehnung dargestellt. Bis Ende 2015 wurden die Hochwasserrisikomanagementpläne erstellt (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz und Freie Hansestadt Bremen - Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr 2012). Entsprechende Gefahren- und Risikokarten sind im Internet verfügbar (<http://www.bauumwelt.bremen.de/umwelt/hochwasserschutz/hochwasserrisikomanagement-23599>). In Bereichen mit überwiegendem Tideeinfluss können durch die Hochwassergebietsverordnung Weser (Freie Hansestadt Bremen 2013), entsprechend des Bemessungswasserstands, hochwassergefährdete Gebiete ausgewiesen werden.

Anlässlich des Hochwassers an der Elbe vom August 2002 hat die Stadt Bremen einen Hochwasserschutzbericht veröffentlicht (Freie Hansestadt Bremen - Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr 2003). Hier werden Hochwasserszenarien beschrieben die Sturmfluten und einen hohen Oberwasserabfluss der Weser berücksichtigen. Die Nebenflüsse Lesum, Ochtrum und Geeste sind mit Sturmflutsperrwerken versehen worden, wobei am Lesumsperrwerk zusätzlich mit ein leistungsfähiges Schöpfwerk vorhanden ist. An allen drei Nebenflüssen ist genügend Speicherraum vorhanden, um Binnenhochwasser während der Schließzeiten aufzunehmen. Es wird ein extremes Hochwasser der Wümme (Juli/August 2002) beschrieben, das innerhalb der vorgesehenen Überschwemmungsgebiete verblieben ist. Auf Hochwasser an kleineren tidebeeinflussten Zuflüssen wie die Ihle, Schönebecker Aue, Beckedorfer Beeke und Blumentahler Aue wird in diesem Hochwasserschutzbericht nicht eingegangen. Im Rahmen der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie wurden für diese vier Gewässer besondere Hochwasserrisiken festgestellt und deshalb Risiko- und Gefahrenkarten erstellt.

In Bremen wird die Steuerung der Hochwasserschutzanlagen inkl. Sperrwerke überwiegend von den Bremischen Deichverbänden am rechten und linken Weserufer übernommen. Maßnahmen werden aufgrund von großer Erfahrung, die in den Deichverbänden vorhanden ist, getroffen.

## 3.2 Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in Hamburg

Von der Freien und Hansestadt Hamburg wird ein Drei-Säulenkonzept zum Hochwasserschutz verfolgt (Abb. 9).

Es setzt sich aus folgenden Säulen zusammen (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009):

- Vorbeugender Hochwasserschutz (z. B. Retention, ÜSG-Ausweisung, Risikokommunikation)
- Technischer Hochwasserschutz (Bewirtschaftung von Abflussverhältnissen mit baulichen Maßnahmen)
- Operativer Hochwasserschutz (z. B. Warndienst, Hochwasserabwehr, Unterhaltung)

Wie die Maßnahmen der einzelnen Säulen in den jeweiligen Modellregionen umgesetzt sind, wird in den Kapiteln 3.3 und 3.4 beschrieben.

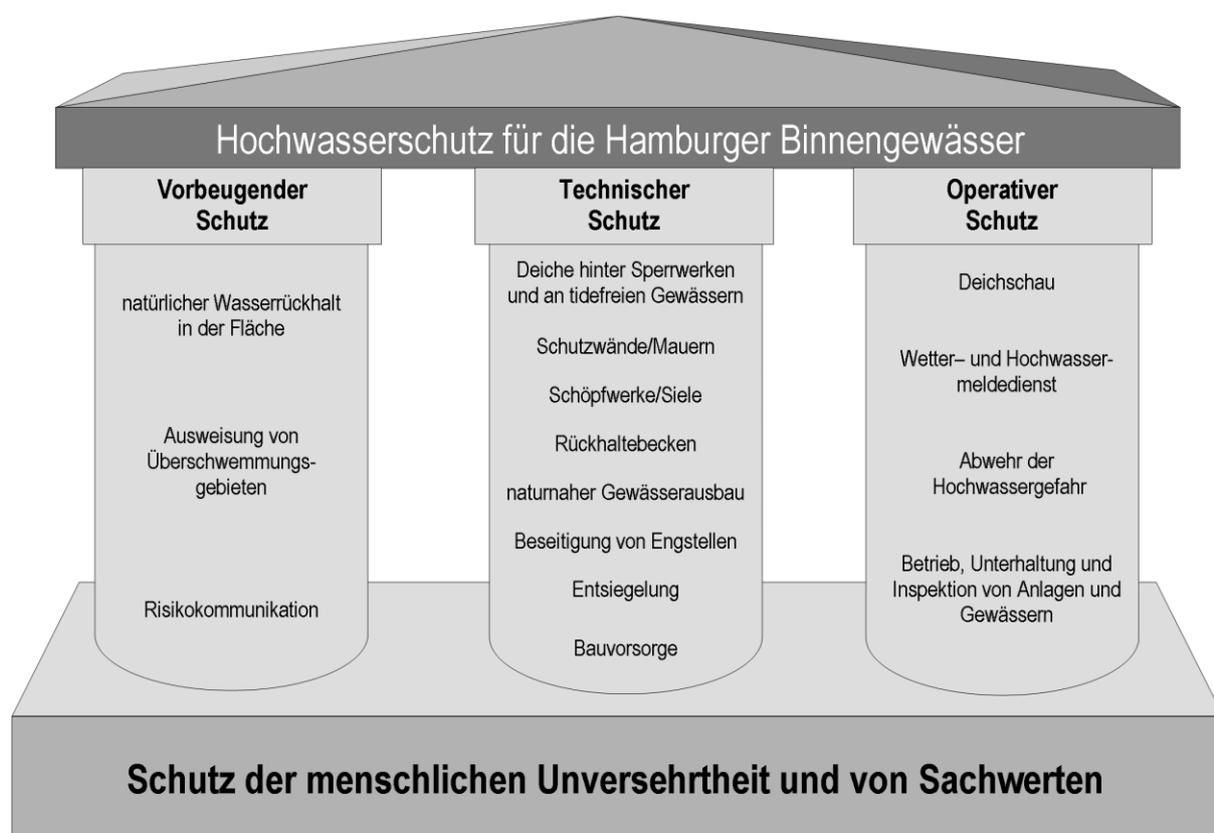


Abb. 9: Drei-Säulenkonzept des Hochwasserschutzes für Binnengewässer in der Freien und Hansestadt Hamburg (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Zum operativen Hochwasserschutz zählt der „Warndienst Binnenhochwasser burg“ (WaBiHa), der vom LSBG für die gesamte Freie und Hansestadt Hamburg betrieben wird (Abb. 10). Eingangsdaten sind zum einen COSMO-DE Prognosen des DWD und zum anderen aktuelle Wasserstände ausgewählter Gewässer. Im LSBG werden diese Informationen zusammengeführt und auf dieser Basis die Warnlage eingeschätzt. Über Warnungen und Meldungen werden die Bezirksamter, die Polizei und die Feuerwehr informiert. Zu den dann notwendigen präventiven Hochwasserschutzmaßnahmen gehört die Kontrolle der Ge-

wässer und ggf. die Räumung von Hindernissen an Durchlässen und anderen durchströmten Bereichen (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

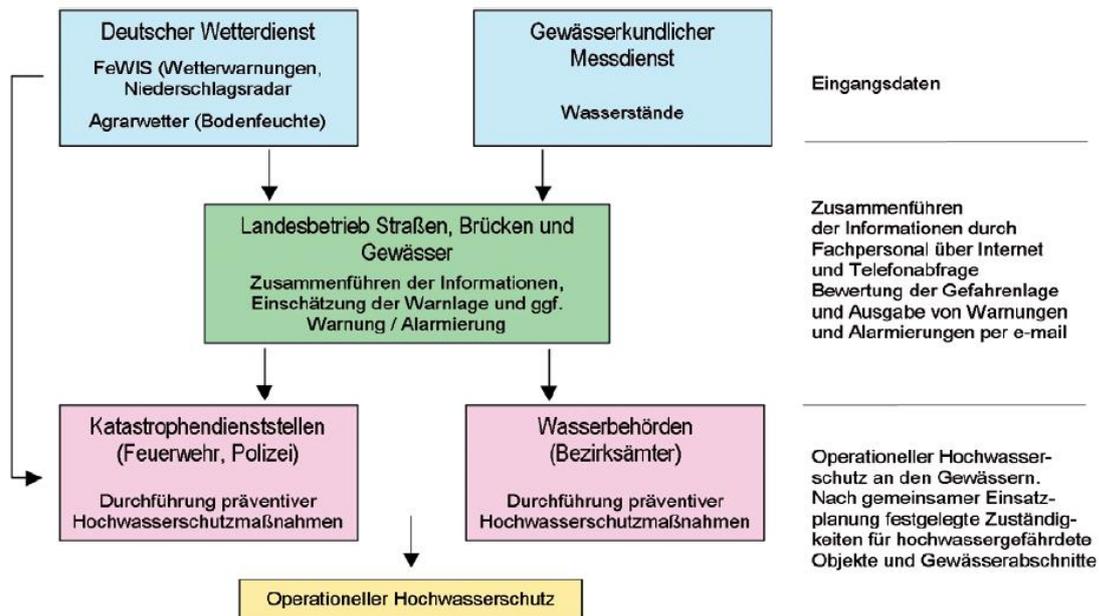


Abb. 10: Schematischer Ablaufplan des Warn- und Meldedienstes

Auch Anwohner können sich im Internet mittels des WaBiHa über den aktuellen Warnstatus an ihrem jeweiligen Gewässer informieren.

Für die Nebenflüsse der Tideelbe, die mit Sperrwerken an der Mündung versehen sind, wurde festgelegt: „Der Stauraum hinter den Sperrwerken ist so ausgelegt, dass ein Hochwasser mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren (HQ 10) plus Zufluss über die Schöpfwerke für die Dauer von zwei gesperrten Tideniedrigwassern (~30 h) aufgenommen werden kann. Die Deiche verhindern dabei ein Überlaufen des Wassers in das Deichhinterland“ (KLIMZUG-NORD Verbund 2014).

### 3.3 Modellregion Dove-Elbe

In der tiefliegenden Modellregion Dove-Elbe liegt ein komplexes Entwässerungssystem vor (Abb. 2 und Abb. 3), das aus Gräben, Wehranlagen und Schöpfwerken besteht. Entlang der gesamten unteren Dove-Elbe wurde 1966 ein Überschwemmungsgebiet (ÜSG), das als Zwischenspeicher bei eingeschränkter Entwässerung in die Tideelbe dient, durch Verordnung des Hamburger Senats festgesetzt (Hamburger Senat 1966). Das ÜSG wird aus der Gewässer- und Vorlandfläche gebildet, das durch die alten Deichlinien (sichtbar im DGM, Abb. 4) begrenzt wird und eine Fläche von etwa 5 km<sup>2</sup> hat.

#### 3.3.1 Vorbeugender Hochwasserschutz

Das ÜSG untere Dove-Elbe gehört zur Säule des vorbeugenden Hochwasserschutzes der Stadt Hamburg. Im weiteren Verlauf der Bille (Obere Bille) zwischen Landesgrenze und der

Alten Holstenstraße wurde 1982 ebenfalls ein ÜSG ausgewiesen (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009). Entlang der oberen Dove-Elbe wurde im Zuge der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie ein Risikogebiet ermittelt und auf Grundlage des §76 WHG als ÜSG vorläufig gesichert (Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE) 2015). Ein NA-Modell und ein im Aufbau befindliches Wasserspiegellagenmodell dienen als Werkzeuge zur Ermittlung von Risikogebieten.

Als Beispiel für Wasserrückhalt in der Fläche kann das Güterverkehrszentrum Moorfleet genannt werden. Mit einer Fläche von 300.000 m<sup>2</sup> bei einem Versiegelungsgrad von 85 % liegt es im Marschgebiet mit einem hohen Anteil von Klei und Mudde im anstehenden Boden. Der schlecht durchlässige Boden und der geringe Flurabstand des Grundwassers von nur 20 bis 30 cm erlauben es kaum, das Niederschlagswasser zu versickern. Regenwassersiele sind nicht vorhanden und der Moorfleeter Schlauchgraben als lokaler Vorfluter des Geländes ist hydraulisch ausgelastet. Zur Retention des Niederschlagswassers wurden deshalb zwei Grabensysteme angelegt, die über einen gedrosselten Ablauf in den Moorfleeter Schlauchgraben entwässern (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Das Risikobewusstsein ist in der Region Vier- und Marschlande aufgrund der Historie und tiefgelegenen Topographie hoch und die Eigenvorsorge findet statt. Ein Dialog mit den Betroffenen findet dennoch statt. So z. B. über die Onlinediskussion „Hochwasserschutz – wat tut Not?“ initiiert von KLIMZUG-NORD (TuTech Innovation GmbH 2011), bei der die Bürger auch aufgefordert waren Maßnahmenvorschläge zu machen.

### 3.3.2 Technischer Hochwasserschutz

Die Säule des technischen Hochwasserschutzes wird durch eine Vielzahl baulicher Anlagen repräsentiert. Mit deren Hilfe wird entweder das Abflussvermögen eines Gewässers auf begrenzter Breite und Länge gewährleistet oder auf die Höhe und Dauer von Hochwasserereignissen steuernd eingegriffen. Im Bereich der Dove-Elbe sind das vor allem ein Deichsiel, Schleusen, Wehre und, wegen der tiefliegenden Marschgebiete, Schöpfwerke (Abb. 3). Ein Hochwasserrückhaltebecken befindet sich im Stadtgebiet Bergedorf (Bergedorfer Rathausteich an der Schulenbrooksbek) (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Im Bereich des Gewässerausbaus wurde 2004 für das Einzugsgebiet der Brookwetterung mit Schleswig-Holstein eine länderübergreifende Zusammenarbeit vereinbart und Maßnahmen an 18 Standorten umgesetzt. Dazu gehören die Grundinstandsetzung der Brookwetterung, die Errichtung von Sandfängen, Konzepte zum Regenrückhalt in den Siedlungsräumen, Schaffung von Retentionsflächen im Geestrandbereich, Veränderung der Einleitung von Niederschlagswasser in die Gewässer und die Umgestaltung der Einmündung des Sander-Knollgrabens (größtes Teileinzugsgebiet) in die Brookwetterung (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Für die Hauptgewässer im Einzugsgebiet der Dove-Elbe sind die Steuerungs- und Regelanlagen in Tab. 1 detailliert dargestellt. Neben den Betriebswasserständen finden sich auch die jeweiligen kritischen Wasserstände für die Bereiche vor den Bauwerken. Die Lage der Bauwerke kann Abb. 2 entnommen werden.

23 Tab. 1: Steuerungs- und Regelungsbauwerke zur Bewirtschaftung der Hauptgewässer (BWS GmbH 2011)

Nr.	Gebietseinheit	Bezeichnung	EZG [km <sup>2</sup> ]	Geometrie / Leistung	Betriebswasserstand [m NHN]	kritischer Wasserstand [m NHN]	Steuerung
1	ÜSG (Untere) Dove-Elbe	Deichsiel Tatenberg	ca. 507	3 Sieltunnel je I.W. 4,20 m, I.H. 4,00 m, Sohle -2,5 m NHN, Länge 53 m	+0,90 ± 0,20	+1,80	automatische Schließung bei gleichen Wasserständen innen und außen, ereignisbedingte Entwässerung bis auf min. +65 cm NHN
2	Obere Dove-Elbe	Dove-Elbe-Schleuse	ca. 54	I.W. 7,00 m, Sohle -3,50 m NHN, Länge 30 m	+0,90 ± 0,20	+1,25	manuelle Schließung bei +116 cm NHN, selbsttätige Öffnung der Stemttore bei sinkendem UW
3	Gose Elbe	Reitschleuse	ca. 69	I.W. 7,00 m Sohle -3,54 m NHN, Länge 27 m	+0,90 ± 0,10	+1,25 / +1,45*)	manuelle Schließung bei +110 cm NHN, manuelle Öffnung bei sinkendem UW
		Sturmpumpen Ochsenwerder		4 x 1.900 l/s			Betrieb der Sturmpumpen bei geschlossener Reitschleuse bis +90 cm NHN im OW bzw. Wiederöffnung
4	Neuer Schleusengraben	Krapphofschleuse	ca. 357	I.W. 12,00 m Sohle -2,10 m NHN, Länge 105 m	+1,35 ± 0,10	+2,15	Notentwässerung bei Hochwasser über Torumläufe möglich
		Stauanlage Umfluter		2 Schütztafeln je I.W. 2,50 m, I.H. 2,75 m, Sohle +0,26 m NHN			automatische Steuerung auf Betriebswasserstand, Öffnung im Hochwasserfall
		Grundablass Umfluter		2 Schütztafeln (absenkbar) je I.W. 1,65 m, I.H. 1,60 m, Sohle +0,26 m NHN			manuelle Öffnung bei etwa +160 cm NHN im Schleusengraben (keine feste Betriebsregel)
5	Schleusengraben	Stauanlage Kurfürstendeichschosse mit Fischpass	ca. 357	3 Schütztafeln gesamt I.W. 5,40 m, I.H. 4,00 m Sohle -0,60 m NHN	+1,35 ± 0,10	+2,15	Schließung im Hochwasserfall
6	Bille	Serrahnwehr	ca. 348	3 Schütztafeln gesamt I.W. 13,0 m, I.H. 1,60 m Drempelhöhe +1,92 m NHN	+3,15 ± 0,10	+3,50	Automatiksteuerung auf Betriebswasserstand, vollständige Öffnung bei Hochwasser
		Kornwassermühle		3 überströmbare Wehrschwellen I.W. 5,80 m, Sohle +1,65 m NHN, Schwellenhöhe +3,00 m NHN			Öffnung der Tafeln ab 340 cm NHN im OW

I.W.: lichte Weite  
I.H.: lichte Höhe

\*) im Oberlauf

UW: Unterwasser  
OW: Oberwasser

Beim Bau der Anlagen wurden definierte Lastfälle zugrunde gelegt, die schadlos bewältigt werden können. Bei der Dove-Elbe liegt dieser Lastfall bei einem 5-jährlichen Binnenabfluss und zwei Sperrtiden mit einem Mindestwasserstand des Tideniedrigwassers von 140 cm NHN, bei denen keine Entwässerung über das Siel an der Tatenberger Schleuse möglich ist (BWS GmbH 2011).

Die Schöpfwerke (SW) verfügen über folgende Förderleistungen (Senat der Freien und Hansestadt Hamburg 2012):

SW Moorwerder	440 l/s
SW Ochsenwerder (Sturmpumpen Gose-Elbe)	7.600 l/s
SW Ochsenwerder (Entwässerung Ochsenwerder)	3.000 l/s
SW Reitbrook	2.000 l/s
SW Seefeld	3.300 l/s
SW Neuengamme	2.000 l/s

Die wasserbaulichen Anlagen dienen auch dazu, die Wasserstände im Normalfall zu steuern (Betriebswasserstände in Tab. 1). An den drei großen Stauanlagen Dove-Elbe-Schleuse, Reitschleuse und Deichsiel an der Tatenberger Schleuse (Abb. 2) wird der Wasserstand auf +90 cm NHN für die Marsch geregelt. Die tieferliegenden Gebiete der Marsch sind durch Deiche geschützt und werden über Schöpfwerke entwässert (Abb. 3). Das höhere Niveau der nördlich anschließenden Geest, mit dem Zufluss der Bille, wird gestaffelt über die Krapphofschleuse mit +135 cm NHN und das Serrahnwehr mit +315 cm NHN gesteuert.

In Abb. 3 sind die Fließwege des Wassers im Normalfall dargestellt. Im Falle eines Hochwassers werden die dargestellten Anlagen so gesteuert wie es in der letzten Spalte der Tab. 1 beschrieben wird. Steigt im Überschwemmungsgebiet untere Dove-Elbe bei einem Hochwasser der Wasserstand auf +110 cm NHN an, werden die obere Dove-Elbe über die Dove-Elbeschleuse und die Gose-Elbe über die Reitschleuse hydraulisch entkoppelt (Abb. 11). Im Bereich der oberen Dove-Elbe kommt es zum Rückstau bzw. zu einer Entwässerung über den Neuengammer Durchstich in die Gose-Elbe. An der Reitschleuse entwässert die Gose-Elbe über Sturmpumpen in das ÜSG untere Dove-Elbe.

Das ÜSG untere Dove-Elbe entwässert in die Tideelbe. Liegt der Außenwasserstand der Elbe bei Tideniedrigwasser höher als im ÜSG, ergibt sich eine Sperrtide, bei der das ÜSG nicht entwässern werden kann und der Wasserspiegel bis zum nächsten Tideniedrigwasser weiter ansteigt (Abb. 12).

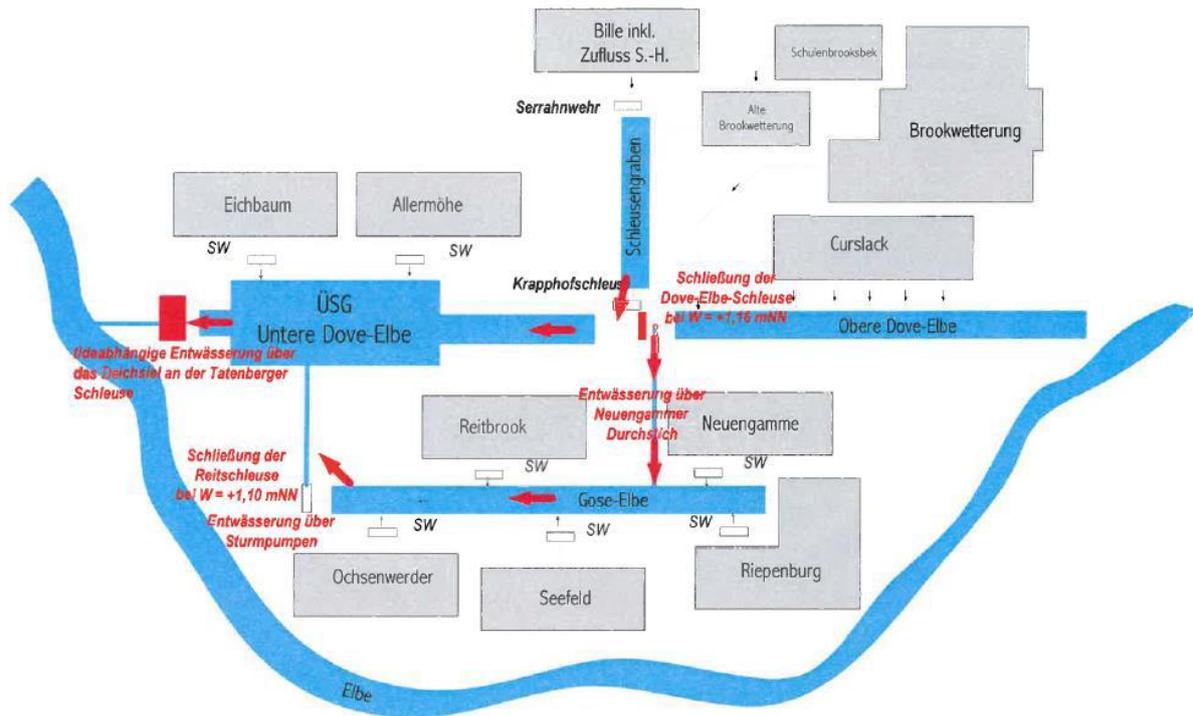


Abb. 11: Schematische Darstellung der Teileinzugsgebiete der Dove-Elbe mit Schöpfwerken. Die roten Pfeile stellen die Entwässerung im Hochwasserfall dar (BWS GmbH und Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH 2007).

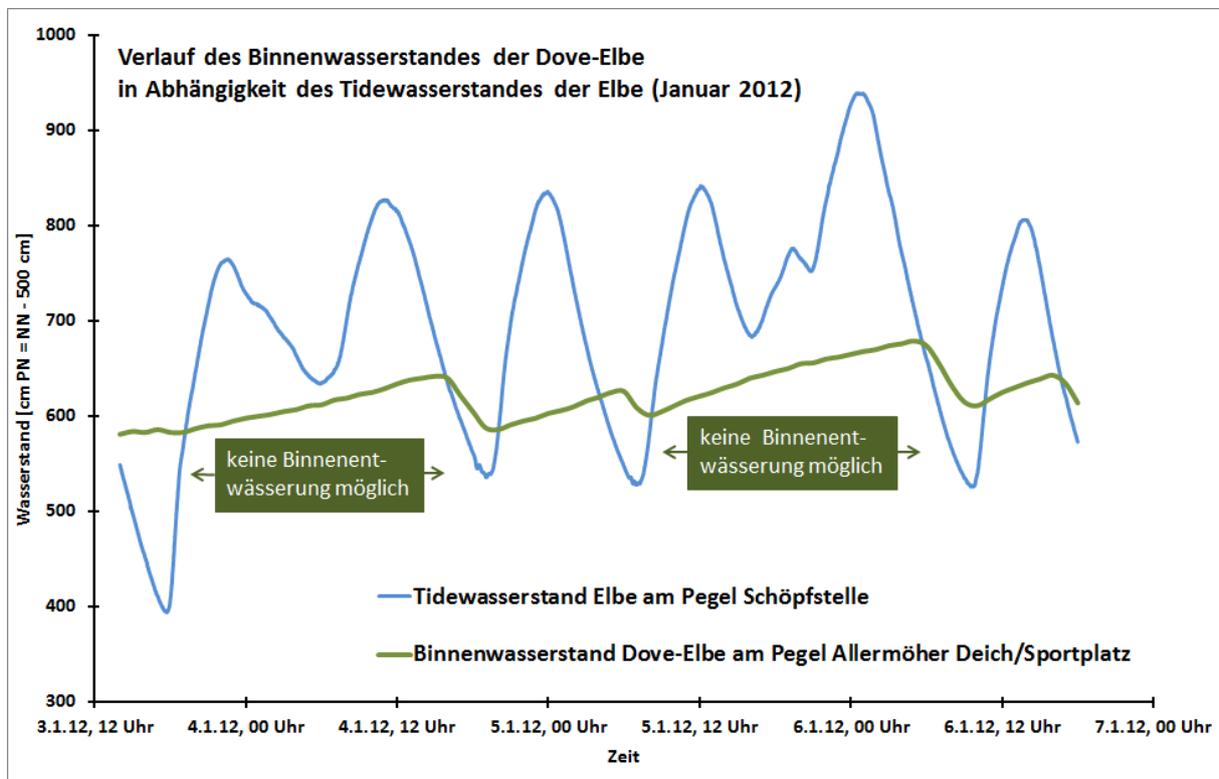


Abb. 12: Verlauf des Binnenwasserstandes der Dove-Elbe am Pegel Allermöhler Deich/Sportplatz und des Tidewasserstandes am Pegel Schöpfstelle der Elbe im Januar 2012 (Daten: BUE, HPA).

Im ÜSG können ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Wasser aufgenommen werden, bevor der kritische Wasserstand von 180 cm NHN erreicht wird. Dieser Wert wurde empirisch festgelegt, da es bei höheren Wasserständen zu einem Rückstau in den Schleusengraben und dann weiter in die Obere Bille kommt. Auch innerhalb des ÜSG liegen bauliche Anlagen, die bereits bei diesem Wasserstand betroffen sind. Die begrenzenden Deiche des ÜSG würden einen höheren Einstau erlauben.

In der oberen Dove-Elbe liegt der kritische Wasserstand bei +125 cm NHN. Ab diesem Wasserstand kommt es zur Überschwemmung von Vorlandflächen im Talraum. Zudem verursacht dieser Wasserstand bereits einen Rückstau in die Curslacker Sielgräben und eine Vernässung der dortigen tiefliegenden Bereiche (BWS GmbH 2011).

Im Schleusengraben liegt der kritische Wasserstand bei +215 cm NHN. Ab diesem Wasserstand kommt es zu Aussickerungen am alten Deich. Zudem kommt es durch die nachlassende Entwässerungsleistung zu einem Rückstau in die Alte Brookwetterung (BWS GmbH 2011), die entlang des Geestrands verläuft und in den oberen Teil des Schleusengrabens entwässert. Die Schulenbrooksbek fließt ebenfalls durch Bergedorf und entwässert über eine Rohrleitung in die Alte Brookwetterung. Im Bergedorfer Rathauspark wurde für die Schulenbrooksbek ein Rückhaltebecken gebaut.

In der Bille liegt der kritische Wasserstand bei +350 cm NHN. Bei einem weiteren Ansteigen sind Teile der angrenzenden Stadtgebiete gefährdet.

Auch in der Gose-Elbe gilt der kritische Wasserstand von +125 cm NHN wie in der oberen Dove-Elbe, die über den Neuengammer Durchstich hydraulisch verbunden sind. Auch im Bereich der Gose-Elbe sind bei Wasserständen von +145 cm NHN bereits mehrere bauliche Anlagen betroffen und landwirtschaftliche Nutzflächen überflutet (BWS GmbH 2011).

### 3.3.3 Operativer Hochwasserschutz

Das Bezirksamt Bergedorf, die BUE, die HPA und der LSBG sind für den Betrieb, die Unterhaltung und die Inspektion der Gewässer und Anlagen im Dove-Einzugsgebiet zuständig. Daneben pflegen und unterhalten auch der Ent- und Bewässerungsverband der Marsch- und Vierlande im Bereich zwischen ÜSG Dove-Elbe und Tideelbe sowie der Wasserverband Nettelnburg westlich des Schleusengrabens die kleineren Gräben, die vom Bezirksamt Bergedorf nicht unterhalten werden.

Die Gewässerabschnitte Schleusengraben/Neuer Schleusengraben und Dove-Elbe werden so unterhalten, dass die für die Schifffahrt benötigten Wassertiefen gewährleistet werden (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Als tidebeeinflusstes Gewässer ist die Beobachtung und Vorhersage des Außenwasserstands am Pegel Schöpfstelle von Bedeutung. Seit dem hydrologischen Jahr 1999 liegen die gemessenen Daten vor. Vorhersagen des Wasserstandes für den Pegel Schöpfstelle werden vom BSH nicht zur Verfügung gestellt. Hier muss auf die Vorhersagen für die Pegel St. Pauli und Zollenspieker zurückgegriffen werden.

Für den Warndienst im Bereich des Modellgebiets Dove-Elbe werden auch die Schleswig-Holsteinischen Pegel betrachtet, von denen Reinbek und Sachsenwaldau im System „Hoch-

wasser-Sturmflut-Information“ aufgenommen sind. In Abb. 13 sind auch die weiteren Pegel der Bille (Trittau, Hamfelde, Friedrichsruh) dargestellt.

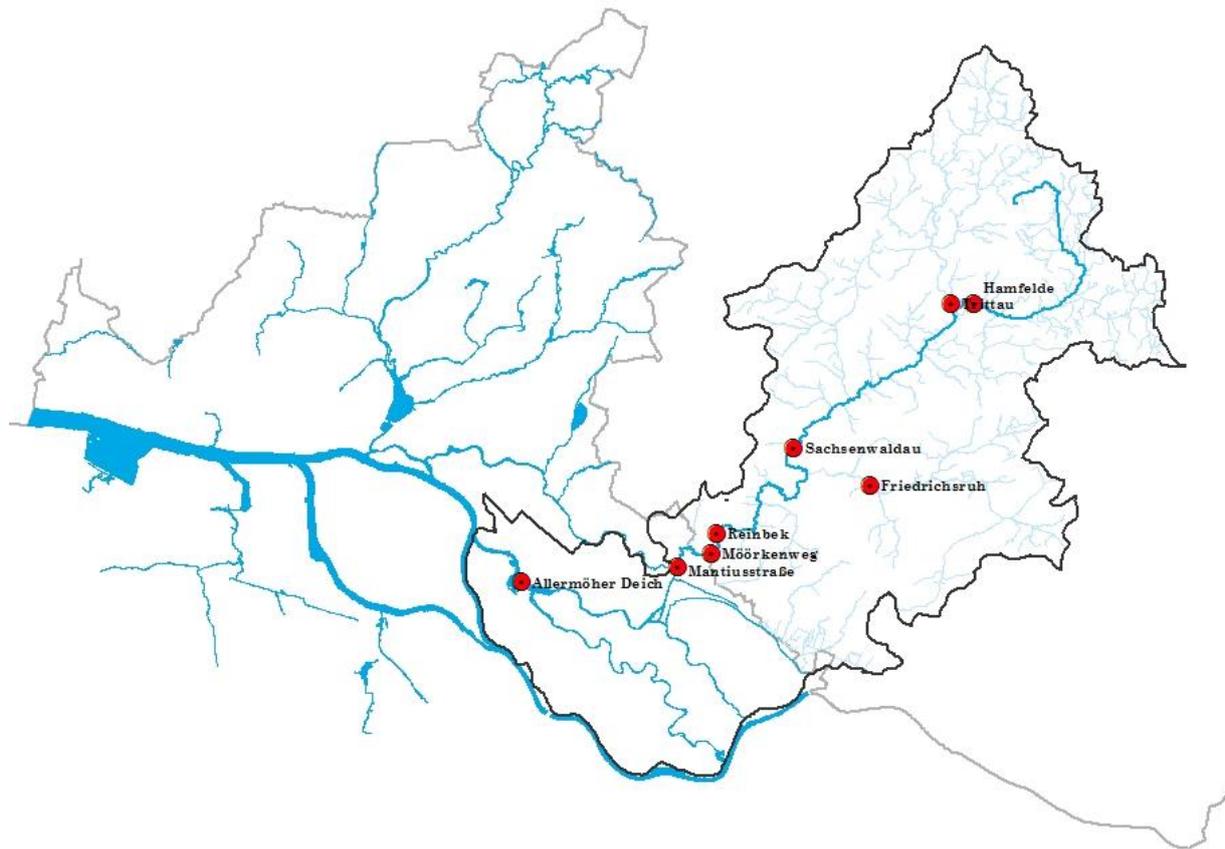


Abb. 13: Gesamtes Einzugsgebiet der von Dove-Elbe und Bille mit den betrachteten Pegeln in Hamburg und Schleswig-Holstein.

### 3.3.4 Statistische Auswertungen

Für den Hochwasserwarndienst werden für jeden betrachteten Pegel Warnstufen definiert. In Hamburg werden zwei Hochwasserwarnstufen – Gelb und Rot – empirisch festgelegt, ab Stufe Gelb treten erste Ausuferungen an den Gewässern auf und ab Stufe Rot größere Überschwemmungen. In Schleswig-Holstein werden die Hochwasserwarnstufen in Gelb, Orange und Rot angegeben. Sie belegen zu je einem Drittel den Raum zwischen MHW und HHW des jeweiligen Pegels (Lage der Pegel s. Abb. 13). Werte größer als das bisherige HHW werden mit der Warnstufe Violett gekennzeichnet. Unterhalb von Gelb werden in Schleswig-Holstein noch die Farbkennzeichnungen Gelb/Hellgrün und Hellgrün geführt. In Tab. 2 sind, neben den Hauptwerten des Wasserstands (Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE); Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und

Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR)), die Wasserstände der betrachteten Pegel aufgelistet, bei denen die jeweilige Warnstufe (ab Gelb) beginnt.

Tab. 2: Wasserstands-Hauptwerte (Stand April 2016) und Wasserstände der verschiedenen Warnstufen von Pegeln im Einzugsgebiet der Dove-Elbe und der Bille.

	Allermöher Deich	Möörkenweg	Reinbek	Sachsenwaldau	Hamfelde	Trittau	Friedrichsruh
MW [cm NHN]	87	332	381	1279	2413	2441	1970
MHW [cm NHN]	136	424	489	1354	2543	2499	2043
HHW [cm NHN]	181	486	558	1392	2588	2544	2067
Warnstufe Gelb [cm NHN]	140	380	489	1354	2543	2499	2043
Warnstufe Orange [cm NHN]			512	1367	2558	2514	2051
Warnstufe Rot [cm NHN]	180	420	535	1379	2573	2529	2059
Warnstufe Violett [cm NHN]			>HHW	>HHW	>HHW	>HHW	>HHW

Am Pegel Friedrichsruh wird erst seit dem 27.10.2011 gemessen, weshalb noch keine offiziellen Hauptwerte vorliegen. Die angegebenen Daten sind selbst ermittelt.

Zur statistischen Auswertung der Pegeldaten im Einzugsbereich der Dove-Elbe wird eine Tabelle mit 15 min Werten aufgebaut. Sie enthält die Daten der in Tab. 2 genannten Pegel zusätzlich des Wasserstandes am Pegel Schöpfstelle. Die Stundenwerte der Schleswig-Holsteinischen Pegel werden durch lineare Interpolation auf 15 min disaggregiert. Dieser Datensatz deckt den Zeitraum vom 19.12.2001 bis zum 29.02.2016 ab. Durchschnittlich sind ca. 500.000 Werte je Pegel enthalten, der Pegel Friedrichsruh weist erst rund 160.000 Messwerte auf, da er erst seit Oktober 2011 in Betrieb ist. (Tab. 3).

Tab. 3: Anzahl der ausgewerteten Daten und Anzahl der Wasserstände mit mindestens Warnstufe Gelb (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.02.2016).

	Allermöher Deich	Möörkenweg	Reinbek	Sachsenwaldau	Hamfelde	Trittau	Friedrichsruh
Anzahl der Messwerte	462452	470834	502531	502531	502531	502519	157025
Anzahl Werte >= Warnstufe Gelb	191	21031	2950	3128	1570	1820	206
Prozent Werte >= Warnstufe Gelb	0.04%	4.47%	0.59%	0.62%	0.31%	0.36%	0.13%

In Abhängigkeit der festgesetzten Wasserstände für die Warnstufe Gelb wird selbige mehr oder weniger häufig überschritten (Tab. 3). In Schleswig-Holstein werden diese Grenzwerte hydrologisch festgelegt, weshalb an den verschiedenen Pegeln auch eine ähnlich häufige Überschreitung zu finden ist. Das größte Datenkollektiv an Überschreitungen der Warnstufe Gelb liegt beim Pegel Möörkenweg vor. Die Überschreitungen liegen zu 86,45 % im hydrologischen Winterhalbjahr und zu 86,34 % innerhalb der Sturmflutsaison vom 15. September bis zum 31. März.

Vom 20.12.2001 bis 29.02.2016 kam es zu 14 Sperrtiden die in Tab. 4 dargestellt sind. Eine Sperrtide ist hier definiert als Tideniedrigwasser am Pegel Schöpfstelle größer gleich Binnenwasserstand am Pegel Allermöher Deich. Nur bei der Nikolausflut 2013, die der Orkan Xaver verursachte, traten zwei Sperrtiden in Folge auf. Binnenseitig waren zu dieser Zeit an der Bille keine hohen Wasserstände zu verzeichnen, so dass der Wasserstand im ÜSG Untere Dove-Elbe maximal +122 cm NHN erreichte. Bei einem Ereignis (23.02.2002 um 06:00 Uhr, Pegel Schöpfstelle +108 cm NHN, Pegel Allermöher Deich +116 cm NHN) trat ein

Tideniedrigwasser größer als +90 cm NHN auf, ohne dass eine Sperrtide vorlag. Am Pegel Allermöher Deich/Sportplatz sind vom 19.3.2004 bis 14.5.2004 und vom 1.7.2005 bis 20.6.2006 Datenlücken vorhanden. In diesen Zeiträumen betrug der Wasserstand aller Tideniedrigwasser am Pegel Schöpfstelle weniger als +90 cm NHN, so dass eine Binnenentwässerung möglich war.

Tab. 4: Ermittelte Sperrtiden: Das Tideniedrigwasser am Pegel Schöpfwerk liegt bei 14 Ereignissen über dem Wasserstand am Pegel Allermöher Deich. Ergänzend ist der Wasserstand des Pegels Möörkenweg dargestellt (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.02.2016). (Wasserstände in cm NHN, gelb = Warnstufe Gelb erreicht, rot = Warnstufe Rot erreicht)

Datum Uhrzeit	Tnw Schöpfstelle	Allermöher Deich	Möörkenweg
26.02.2002 19:30	191	116	437
28.10.2002 00:00	216	102	373
08.01.2005 18:30	156	94	347
01.11.2006 05:15	121	92	326
12.01.2007 01:45	121	102	360
18.01.2007 21:00	162	100	368
01.03.2008 14:45	192	108	366
12.11.2010 14:15	123	103	364
04.01.2012 05:45	135	108	371
05.01.2012 16:00	185	144	393
06.12.2013 02:00	164	91	331
06.12.2013 14:15	146	97	336
22.10.2014 10:15	145	96	334
31.03.2015 22:30	155	101	369

Auch wenn keine Sperrtide vorliegt, kann die Entwässerung hydraulisch und zeitlich eingeschränkt sein, wenn nur eine geringe Wasserstandsdifferenz zwischen buten zu binnen vorhanden ist. Werden auch diese Fälle betrachtet, kann das Datenkollektiv mit der geringen Anzahl eingetretener Sperrtiden (n=14) erweitert werden. Es finden sich insgesamt zwei zusätzliche Tiden, wenn der Außenwasserstand zu Tideniedrigwasser nur bis zu 10 cm niedriger ist als binnenseitig. In Dezimeterschritten wird diese Datenabfrage bis zu einer Wasserstandsdifferenz von einem Meter durchgeführt (Tab. 5; Zeilen 1 und 2).

Dieser Einbezug von erweiterten Sperrtiden erhöht die Anzahl der Ereignisse und ermöglicht damit eine qualitativ bessere statistische Ermittlung von Koinzidenzen zwischen hohen Tideniedrigwasserständen der Elbe und Hochwasser in der Bille. Verwendet werden nur Zeitpunkte, bei denen Messwerttripel vorhanden sind, d. h. zu denen gemessene Wasserstände aller drei Pegel (Schöpfstelle, Allermöher Deich und Möörkenweg) vorliegen. Ein relevantes Hochwasser der Bille wird definiert als ein Wasserstand, der die Warnstufe Gelb am Pegel Möörkenweg erreicht. In Tab. 5, Zeile 2 ist die Anzahl der erweiterten Sperrtiden in Abhängigkeit der jeweils angesetzten Wasserstandsdifferenz dargestellt, die bei einem Hochwasser der Bille beobachtet wurden. Während von allen betrachteten Tideniedrigwassern 4,6 % mit einem gleichzeitigen Hochwasser der Bille einhergehen, sind es bei den erweiterten Sperrtiden mit mindestens 18,8 % rund viermal so viele (Tab. 5, Zeile 4). Zu beachten ist, dass zwischen Pegel Möörkenweg und Auslass Tatenberger Siel noch die Laufzeit des Hochwasserscheitels zu berücksichtigen ist.

Tab. 5: Häufigkeit von Wasserstandsdifferenzen zwischen den Pegeln Allermöher Deich und Schöpfstelle bei Tideniedrigwasser, sowie Anzahl und Prozentsatz der dabei auftretenden Wasserstände am Pegel Möörkenweg, die die Warnstufe Gelb übersteigen (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.02.2016) (bezogen auf Messwerttripel, s. Text).

Wasserstandsdifferenz [cm]	<=0	<=10	<=20	<=30	<=40	<=50	<=60	<=70	<=80	<=90	<=100	alle Tnw
Anzahl (erweiterte-)Sperrtiden	14	16	18	21	28	42	50	67	80	105	126	9224
Anzahl Werte >= Warnstufe gelb	2	3	4	5	8	9	11	17	21	29	38	427
Anzahl in Prozent	14.3%	18.8%	22.2%	23.8%	28.6%	21.4%	22.0%	25.4%	26.3%	27.6%	30.2%	4.6%

Am Pegel Schöpfstelle sind saisonale Unterschiede im Wasserstand festzustellen. Bei ausschließlicher Datenverwendung im Falle eines Messwerttripels ergibt sich ein arithmetisches Mittel des Wasserstands von +50 cm NHN und das Mittel der Tideniedrigwasser liegt bei -145 cm NHN (Tab. 6). Während das arithmetische Mittel des Wasserstands im hydrologischen Sommerhalbjahr durchschnittlich +46 cm NHN aufweist, ergibt sich für das hydrologische Winterhalbjahr ein um 9 cm höherer Wert. Bei Betrachtung der Werte in und außerhalb der Sturmflutsaison ergibt sich eine Differenz von 10 cm.

Tab. 6: Statistische Auswertung der Wasserstandsmesswerte am Pegel Schöpfstelle in saisonaler Abhängigkeit (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.02.2016) (bezogen auf Messwerttripel, s. Text)

	Ganz-jährig	Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai-Okt.)	Hydrologisches Winterhalbjahr (Nov.-April)	Innerhalb der Sturmflutsaison (15.09.-31.03.)	Außerhalb der Sturmflutsaison (01.04.-14.09.)
<b>Anzahl aller Wasserstandsmessungen</b>	458.324	229.317	229.007	205.221	253.103
<b>Maximum [cm NHN]</b>	+610	+438	+610	+414	+610
<b>Arithmetisches Mittel [cm NHN]</b>	+50	+46	+55	+45	+55
<b>Anzahl der Tideniedrigwassermessungen</b>	9.224	4.614	4.610	4.129	5.095
<b>Maximum [cm NHN]</b>	+216	+216	+192	+38	+216
<b>Arithmetisches Mittel [cm NHN]</b>	-145	-150	-140	-154	-138
<b>Minimum [cm NHN]</b>	-293	-266	-293	-227	-293

Eine Selektion des Datensatzes auf die Zeitpunkte, bei denen sich der Wasserstand am Pegel Möörkenweg in der Warnstufe Gelb befindet, ergibt einen durchschnittlichen Wasserstand am Pegel Schöpfstelle von +90 cm NHN (n = 17.271). Während der Zeit an dem der Wasserstand die Warnstufe Rot überschreitet liegt das arithmetische Mittel des Wasserstands am Pegel Schöpfstelle bei +105 cm NHN (n = 3.760), mit einem durchschnittlichen Tideniedrigwasser von -90 cm NHN (n = 77).

Ein ähnliches Bild ergibt die Auswertung bezogen auf die Warnstufe Rot am Pegel Reinbek. Die hydrologische Ermittlung der Warnstufen in Schleswig-Holstein führt am Pegel Reinbek zu relativ hoch angesetzten Warnstufen im Vergleich zum Pegel Möörkenweg (Tab. 2). Da-

mit ist das Datenkollektiv auf die extremen Hochwasser von Februar und Juni 2002 sowie vom Februar 2011 beschränkt. Das arithmetische Mittel des Wasserstands am Pegel Schöpfstelle steigt hier auf +131 cm NHN (n = 259) und das durchschnittliche Tideniedrigwasser auf -63 cm NHN (n = 5 Werte).

Erste Betrachtungen der Laufzeiten von Hochwasserscheiteln zeigen in der Bille starke Variationen. Seit 2002 werden vom Pegel Hamfelde bis zum Pegel Mörkenweg Fließzeiten von rund 15 bis 45 Stunden gemessen (Abb. 14). In Abb. 14 sind die Markierungen (Marker der Linien auf Höhe der Pegel) der einzelnen Hochwasser unterschiedlich groß. Sie entsprechen in ihrer Größe einer Klassifizierung der Scheitelmaxia am Pegel Mörkenweg. Bei höheren Scheitelwasserständen, also größerer Markierung, nimmt die Laufzeit anscheinend ab. Zwischen Pegel Reinbek und Mörkenweg ist die Laufzeit relativ gesehen länger, was auf das geringere Gefälle und evtl. einem Rückstau am Serrahnwehr zurückgeführt werden kann.

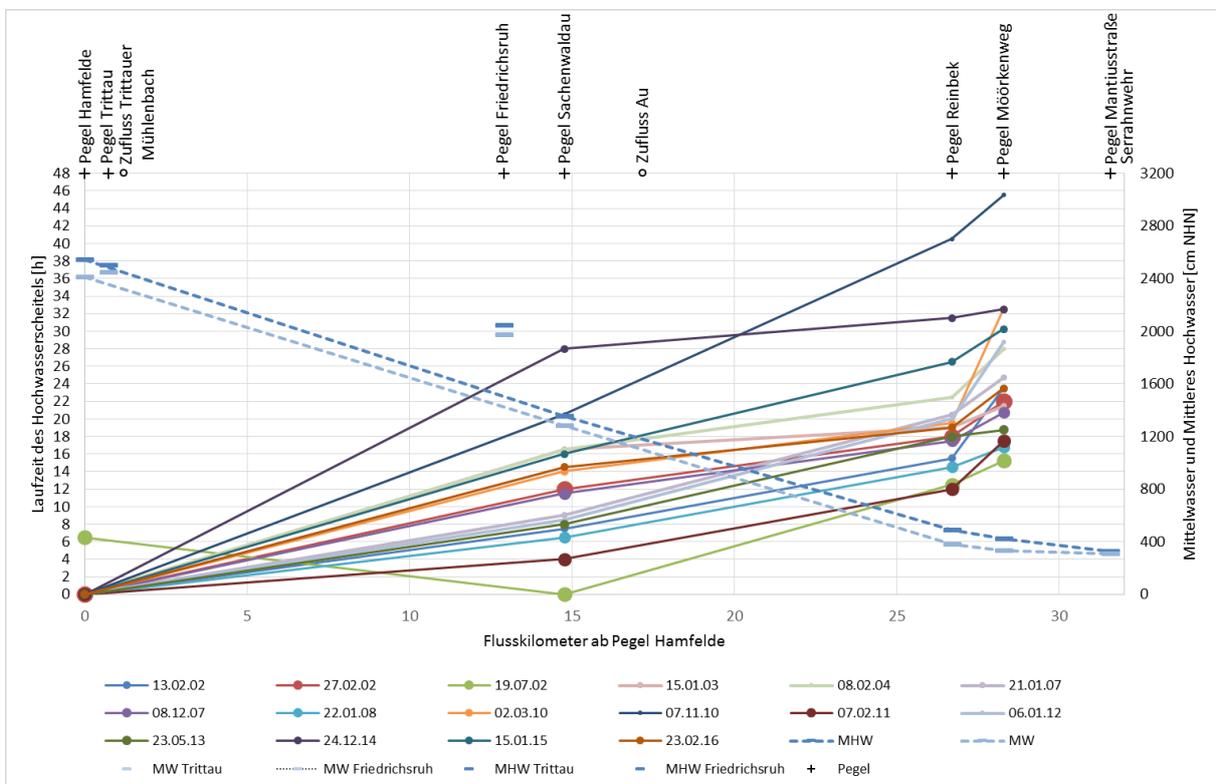


Abb. 14: Laufzeiten von Hochwasserscheiteln in der Bille von Pegel Hamfelde bis Pegel Mörkenweg. Die Höhe des Scheitelwasserstands am Pegel Mörkenweg wurde klassifiziert und als unterschiedliche Markierungsgröße dargestellt. Auf der Sekundärachse sind die Höhen des jeweiligen Mittelwassers und Mittleren Hochwassers dargestellt (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.02.2016).

Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit einer Koinzidenz von hohem Tideniedrigwasser und hohem Binnenwasserstand sind neben den binnenseitigen Laufzeiten sind auch die Laufzeiten der Sturmflutscheitel von Interesse. Nach aktuellen Auswertungen beträgt die Laufzeit des Sturmflutscheitels vom Pegel Cuxhaven bis zum Pegel St. Pauli derzeit ca. drei Stunden. Der Scheitelwasserstand liegt dabei am Pegel St. Pauli knapp einen Meter höher

als in Cuxhaven. Die mittlere Sturmflutdauer (1901 bis 2015) beträgt ca. 35 h bei einer Bandbreite von ca. 11 bis 109 h.

Mit den bisherigen Auswertungen kann zum einen gezeigt werden, dass hohe Binnenwasserstände in der Dove-Elbe mit durchschnittlich höheren Außenwasserständen in der Tideelbe korrelieren und zum anderen, dass die Laufzeiten des Hochwasserscheitels in der Bille von Ereignis zu Ereignis sehr unterschiedlich ausfallen.

Weitere statistische Auswertungen werden durchgeführt. Ebenso ist eine formalisierte Beschreibung bisheriger Hochwasserereignisse geplant (Laufzeiten, Vorfeuchte, Wetterlage etc.), dessen einzelne Kenngrößen ein weiteres Datenkollektiv für statistische Auswertung bilden. Zudem müssen entsprechend der EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (Europäische Union 2007) signifikante Hochwasser der Vergangenheit beschrieben werden. Die Wirkung bereits umgesetzter Maßnahmen kann so überprüft und ein weiterer Handlungsbedarf abgeleitet werden (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2011).

### **3.4 Modellregion Kollau**

Die Modellregion Kollau ist gekennzeichnet durch zum Teil sehr dichte Bebauung und damit einher gehender hoher Bodenversiegelung. Dies führt, insbesondere bei Starkregen, zu einem hohen Oberflächenabfluss, welcher die Wasserstände bereits in sehr kurzer Zeit, z. T. innerhalb von 30-60 Minuten stark ansteigen lassen kann. Diese Problematik tritt insbesondere an der Mühlenau, dem Hauptzufluss der Kollau, auf (Abb. 6, Abb. 7). Folglich treten, nach Zusammenfluss von Mühlenau und Kollau, Überschwemmungsproblematiken häufig im Unterlauf der Kollau auf. Zum Rückhalt der Hochwasserwelle können in der Modellregion Kollau insgesamt 23 Rückhaltebecken verwendet werden, allerdings dient zur Zeit nur ein Becken (Steinwiesenweg) dem Rückhalt der Mühlenau, ein weiteres RHB an der Mühlenau (Farnhornstieg) wird aktuell ertüchtigt.

#### **3.4.1 Vorbeugender Hochwasserschutz**

Das Überschwemmungsgebiet (ÜSG) der Kollau im Bezirk Eimsbüttel ist ein Baustein des vorbeugenden Hochwasserschutzes der Stadt Hamburg. Es erstreckt sich entlang der Kollau auf einer Fließstrecke von knapp sieben Kilometern, vom Kollauteich bis zu der Mündung der Kollau in die Tarpenbek, auf einer Fläche von 0,44 km<sup>2</sup> (Abb. 15). Das ÜSG umfasst landwirtschaftlich genutzte Flächen, Freiflächen, aber auch bebaute Flächen und Kleingartensiedlungen. Die ausgewiesenen ÜSG fungieren im Fall eines Hochwassers als Retentionsflächen, welche das Wasser zurück halten (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2014).

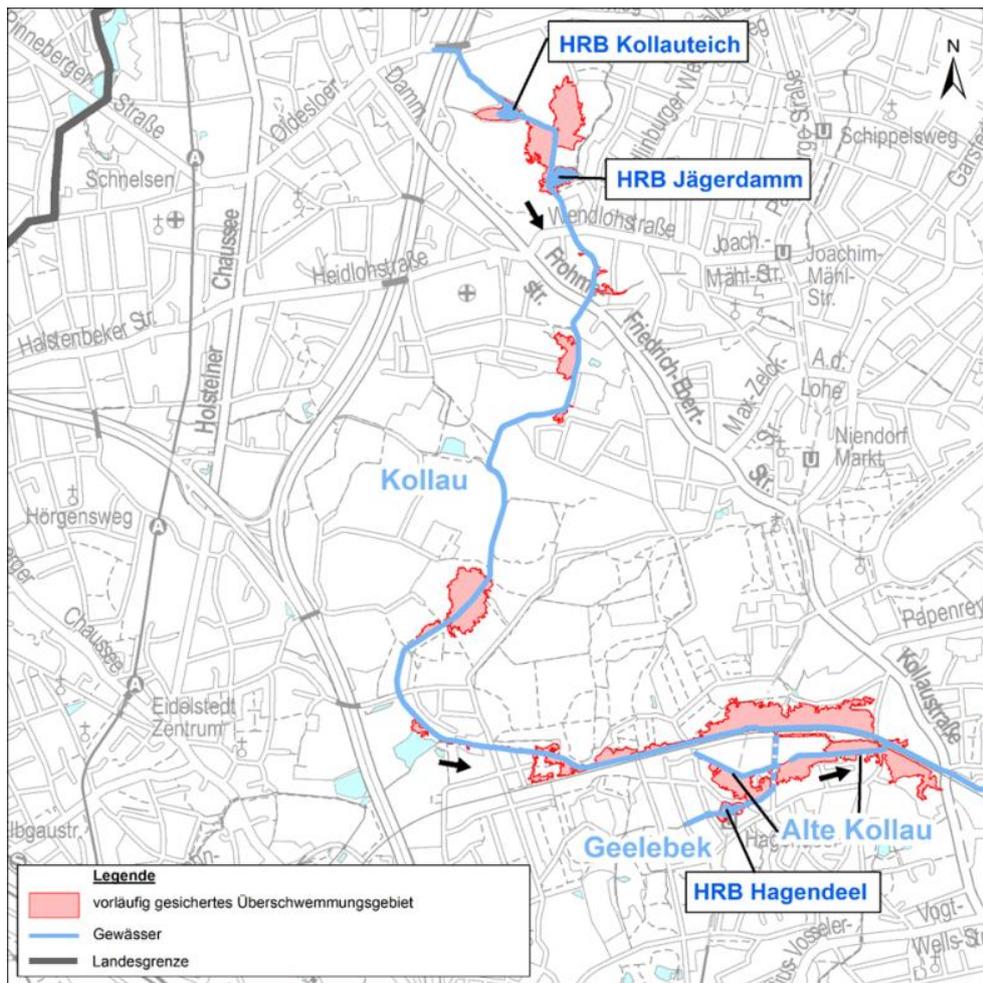


Abb. 15: Vorläufig gesichertes Überschwemmungsgebiet Kollau, ohne Maßstab (Kartengrundlage LGV) (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2014).

### 3.4.2 Technischer Hochwasserschutz

Der Technische Hochwasserschutz in der Modellregion Kollau hat, wie auch an anderen Hamburger Binnengewässern, die Aufgabe den Verlauf eines Hochwassers zu optimieren. Im Folgenden werden wesentliche Bestandteile des Technischen Hochwasserschutzes in der Modellregion Kollau beschrieben.

Ein Rückhaltebecken (RHB) bildet der Kollauteich (km 6+900), hier erfolgt die Regelung des Wasserstandes und des Abflusses in die Kollau über ein Wehr. Die Kollau ist im Nebenschluss an das RHB angebunden und durch eine Gabionenwand mit einer Überlaufschwelle von +10,60 m NHN abgetrennt (Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH 2012). Über das RHB Jägerdamm gelangt der Zufluss des Vielohgrabens in die Kollau. Die Alte Kollau verfügt ebenfalls über ein HRB, welches bei Regenereignissen den Zufluss der Geelebek aufnimmt und so den direkten Abfluss in die Kollau mindert. Weitere 20 kleinere Hochwasserrückhaltebecken befinden sich im Einzugsgebiet der Kollau.

Nach Aussage von Herrn Schneider (2015) weisen fast alle RHB im Einzugsgebiet der Kollau einen relativ niedrigen Wasserstand auf. So besteht ein größerer Puffer im Hochwasser-

fall. Die Steuerung der RHB, ggf. ein vorheriges Ablassen des Wasserstandes sollte per Modellierung geprüft werden. Herr Caspari (2016) hat mittlerweile dem numerischen Modell KalysoHydrology im Rahmen seiner Studienarbeit beispielhaft am RHB Kronsaalweg gezeigt, dass eine gesteuerte Abgabe aus dem RHB zu einer deutlich stärkeren Minderung des Hochwasserscheitels führt.

Ebenfalls als einen Teil des Technischen Hochwasserschutzes kann der Renaturierungsabschnitt Amerkamp (km 3+400 bis 3+900) und der Gewässerabschnitt an der Vogt-Kölln Straße (km 2+200 bis 2+600) gesehen werden. Hier wird eine naturnahe Entwicklung des Gewässerlaufs zugelassen. An diesen Stellen mäandriert die Kollau stark. Dies erhöht zum einen deren Ökologische Funktion, zum anderen sinkt die Abflussgeschwindigkeit.

Ein Querriegel, welcher das Gewässers seitlich und nach oben begrenzt und eine Anhebung des Wasserstandes bei Mittel- und Hochwasser zur Folge hat, befindet sich stromauf der Fußgängerbrücke Wehmerweg.

Zusätzlich sei der Gewässerausbau der Mühlenau erwähnt, denn die Mühlenau bildet bei Gewässerkilometer 3+000 den größten Zufluss der Kollau. Dort ist nördlich der Mündung ein Überlauf mit Retentionsspeicher und eine naturnahe Umgestaltung des Gewässers mit Bildung eines Altarmes umgesetzt worden. Dieses Vorhaben dient der Senkung der Wasserstände bei einem Hochwasserereignis an der Mühlenau und somit auch am weiteren Unterlauf der Kollau (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009).

Ein weiteres Element, welches Einfluss auf den Hochwasserschutz in der Modellregion der Kollau nimmt, ist eine Rückstauklappe an dem Zufluss der Alten Kollau. Diese verhindert einen Abfluss aus der Kollau in die Alte Kollau.

### **3.4.3 Operativer Hochwasserschutz**

Im Rahmen des Operativen Hochwasserschutzes existieren gegenwärtig fünf Abflussmessstellen im Einzugsgebiet der Kollau. Davon befinden sich drei Hauptpegel (HP) an der Kollau sowie ein Hauptpegel und ein Betriebspegel (BP) an der Mühlenau (Tab. 7).

Diese Pegel dienen der Abflussüberwachung- und Steuerung der Gewässer und werden teilweise für den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg eingesetzt (Kap. 3.2). Auf Grundlage der Hauptpegeldaten in Verbindung mit Niederschlagsmessungen können Prognosen für Pegelstände und mögliche Hochwasserereignisse herausgegeben werden. Der Betriebspegel an der Mühlenau dient der Steuerung und Betriebsüberwachung des RHB.

Neben der frühzeitigen Erkennung von drohenden Hochwasserereignissen sind die Information und Verstärkung des Hochwasserbewusstseins der potenziell betroffenen Bevölkerung für den Operativen Hochwasserschutz von Bedeutung. Einen Beitrag leisten die eingangs erwähnte Ausweisung der Überschwemmungsgebiete und die zugehörige Öffentlichkeitsarbeit.

Tab. 7: Übersicht der Pegel im Einzugsgebiet der Kollau (HP = Hauptpegel, BP = Betriebspegel) (Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE))

Pegel-Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Gewässer	Aufzeichnungszeitraum	W-Q-Beziehung vorhanden
99344	HP	Niendorfer Straße	Kollau	10.1966 bis dato	ja
99426	HP	Friedrich-Ebert-Straße	Kollau	01.2001 bis dato	nein
99425	HP	Wendlohstraße 154, Brücke Kollau-Wanderweg	Kollau	10.2001 bis dato	ja
99007	HP	Vogt-Kölln-Straße	Kollau	11.2015 bis dato	nein
99427	HP	Olloweg	Mühlenau	01.2001 bis dato	nein
99136	BP	RHB Olloweg Mühlenau	Mühlenau	10.1973 bis dato	nein

### 3.4.4 Statistische Auswertungen

In der Modellregion Kollau fanden bisher einige Untersuchungen zu Laufzeiten der Hochwasserscheitel statt, betrachtet wurden dabei bis dato drei Ereignisse in den Jahren 2015 und 2016. Seit November 2015 ist an der Kollau der Pegel Vogt-Kölln-Straße installiert, so dass erst wenige Hochwasserereignisse in ihrem Verlauf derart erfasst werden konnten (Abb. 16).

An drei aufgetretenen Ereignissen lässt sich eine Laufzeit des Hochwasserscheitels vom Pegel Olloweg bis zum Pegel Niendorfer Straße von fünf bis sechs Stunden ermitteln (Tab. 8). Trotz des längeren Fließwegs ist die Laufzeit des Hochwasserscheitels zwischen Vogt-Kölln-Straße und Niendorfer Straße nicht signifikant länger als im oberen Abschnitt. Mögliche Ursachen hierfür könnte zum einen das künstlich angelegte und sehr geradlinig verlaufende Gewässerbett entlang der Güterumgehungsbahn sein (hohe Fließgeschwindigkeiten), trotz des renaturierten Bereichs (langsame Fließgeschwindigkeiten) in Höhe des Wasserwerks. Zum anderen durchströmt die Mühlenau kurz vor Einmündung in die Kollau den neu errichteten Retentionsspeicher, der als „teilweise geschütztes Biotop“ ausgewiesen ist (Ausgleichsfläche für zweigleisigen Ausbau der AKN-Linie A1) und zu einer Minderung der Wasserstände bei Hochwasser führt (Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) 2009). Eine Überlagerung mit dem Oberwasser aus der Kollau ist wegen fehlender doppelter Spitzen am Pegel Niendorfer Straße nicht ersichtlich. In weiteren Untersuchungen wird derzeit die Frage nach den unterschiedlichen Laufzeiten versucht zu beantworten.

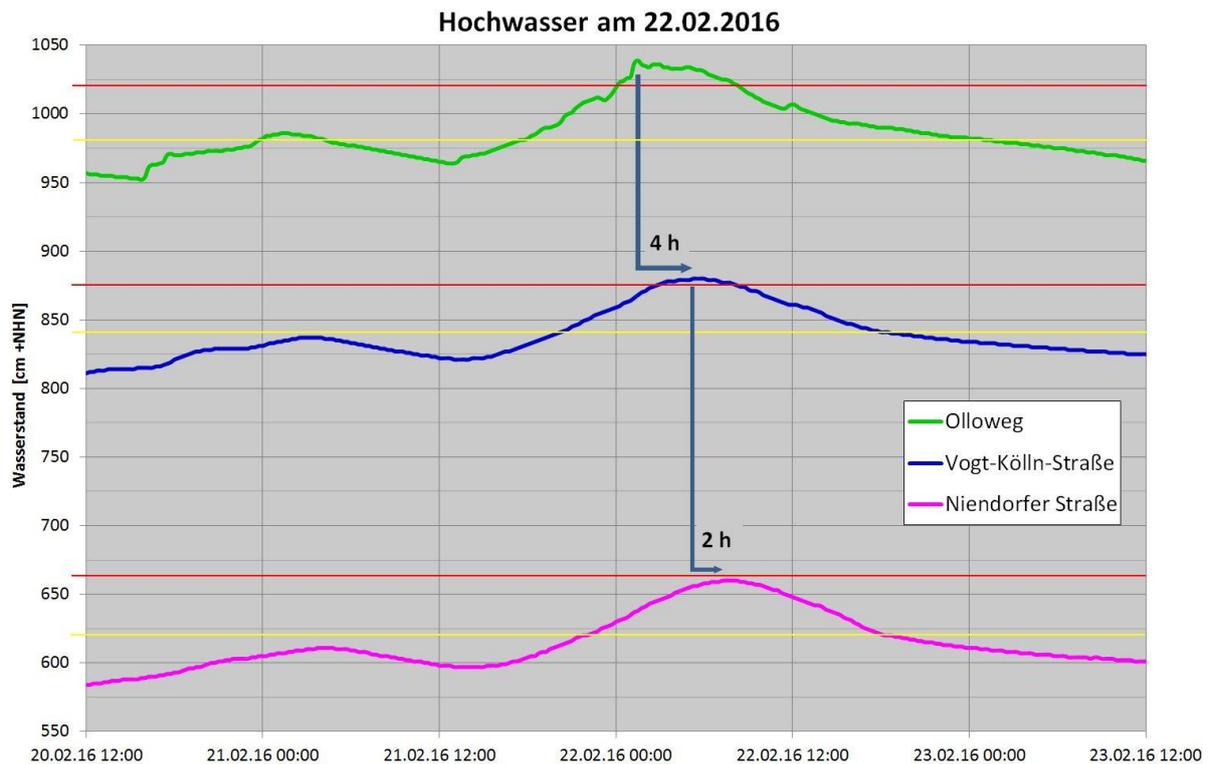


Abb. 16: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Mühlenau und Kollau während des Hochwassers am 22.02.2016.

Tab. 8: Laufzeiten des Hochwasserscheitels von der Mühlenau in die Kollau bis Pegel Niendorfer Straße.

Hochwasserereignis	Olloweg bis Vogt-Kölln-Straße 763 m	Vogt-Kölln Straße bis Niendorfer Straße 2.001 m	Gesamtstrecke: Olloweg bis Niendorfer Straße 2.764 m
15.11.2015	2 h	3 h	5 h
22.02.2016	4 h	2 h	6 h
23.05.2016	3 h	2 h	5 h

## 4 Niederschlagsmessung und -vorhersage (AP 1, hydro & meteo)

Im Projekt StucK bearbeitet die Firma hydro & meteo GmbH & Co. KG (hydro & meteo) zwei Arbeitspakete. Das Arbeitspaket 1 beschäftigt sich mit der Vorhersage von Niederschlag und der Bereitstellung weiterer meteorologischer Parameter für die anderen Arbeitspakete. Der Aufgabenbereich des Arbeitspaketes 7 umfasst die Bereiche Kommunikation und Vernetzung. In beiden Arbeitspaketen werden Serviceleistungen für andere Arbeitspakete erbracht, im AP 1 liegt der wesentliche Schwerpunkt auf Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

### 4.1 Serviceleistungen/Datenbereitstellung

#### 4.1.1 Datenbezug

Für die Nutzung im Projekt werden vom Deutschen Wetterdienst meteorologische Daten bereitgestellt, die sich in drei Kategorien unterteilen lassen:

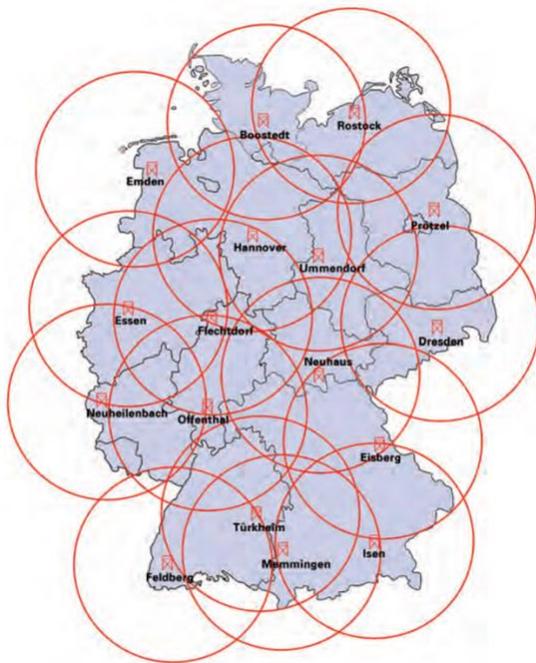
1. Radardaten und Radardatenprodukte,
2. Numerische Wettervorhersagedaten und
3. Stationsmessdaten.

##### 4.1.1.1 Radardaten und Radardatenprodukte

Neben den Radardaten der Standorte Boostedt, Emden, Hannover und Rostock/Warnemünde (Abb. 17) werden im Rahmen des Projektes auch das angeeichte Radar-Deutschlandkomposit des DWD und der Radar-Nowcast des DWD mit einem Vorhersagezeitraum von bis zu zwei Stunden bezogen (Tab. 9). Aus den Daten der vier Radarstandorte wird im weiteren Projektverlauf ein Komposit erstellt, welches den norddeutschen Raum abdeckt. Die Daten aller vier Radare werden in Echtzeit abgerufen, anschließend archiviert und für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Für die Radare Boostedt, Rostock und Hannover ist darüber hinaus eine Onlinekorrektur (Kap 4.2.1) eingerichtet. Die in Echtzeit korrigierten Daten der Radarstandorte Hannover und Rostock werden fortlaufend aktualisiert auf der Projektwebseite dargestellt (Abb. 45). An die Stelle der einzelnen Radarstandorte wird hier bald das Komposit der vier Radarstandorte treten.

Tab. 9: Übersicht über die vom DWD kontinuierlich bezogenen Radardaten und Radardatenprodukte.

Produkt	Beschreibung	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung
Radars Boostedt	Radarmessung/DX-Produkt	5 Minuten	1° x 1 km
Radars Emden	Radarmessung/DX-Product	5 Minuten	1° x 1 km
Radars Hannover	Radarmessung/DX-Produkt	5 Minuten	1° x 1 km
Radars Rostock/Warnemünde	Radarmessung/DX-Produkt	5 Minuten	1° x 1 km
RADOLAN	angeeichtes Radar-Deutschlandkomposit (Quelle: RADOLAN Kurzbeschreibung des DWD; Stand: April 2015)	1 Stunde	1 x 1 km
RADVOR-OP	Radars-Nowcast des DWD	5 Minuten	1 x 1 km



▲ Die 17 Radarstandorte des Deutschen Wetterdienstes - mit einer Reichweite von jeweils 150 km

Abb. 17: Das Radarnetzwerk des Deutschen Wetterdienstes bestehend aus 17 Standorten. Die Reichweite der einzelnen Radare von jeweils 150 km ist mit roten Kreisen gekennzeichnet (Quelle: DWD).

#### 4.1.1.2 Numerische Wettervorhersagedaten

Niederschlagsvorhersagen, die ausschließlich auf Radardaten beruhen, haben einen maximalen Vorhersagezeitraum von 2-3 Stunden. Um die weitere Entwicklung des Wetters abschätzen zu können, werden numerische Wettervorhersagen der Lokalmodelle COSMO-DE und COSMO-DE-EPS bezogen. Für alle in Tab. 10 aufgelisteten Größen wurde ein Echtzeitabruf eingerichtet. Die bezogenen Daten werden seit dem 7.9.2015 archiviert und direkt nach dem Abruf für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Der räumliche Ausschnitt der bezogenen Modelldaten ist in Abb. 18 dargestellt.



Abb. 18: Darstellung des im Projekt bezogenen Ausschnittes der Modelle COSMO-DE und COSMO-DE-EPS (rot umrahmter Bereich).

Tab. 10: Übersicht über die Vorhersagegrößen aus der numerischen Wettervorhersage, die im Projekt bezogen werden. Die grün markierten Größen wurden auch für historische Ereignisse nachbestellt. Die hellgrün markierten Größen werden nur für ein Jahr beim DWD archiviert, während dunkelgrün markierte abgeleitete Ensembleprodukte dort seit Modellstart im Jahr 2012 vorliegen.

Modell	Produkte
COSMO-DE	Niederschlag
	Wind in 10 m und 500 hPa
	CAPE Index
	Temperatur in 2 m
	Relative Luftfeuchte
	Direkte kurzwellige Einstrahlung
	Diffuse kurzwellige Einstrahlung
COSMO-DE- EPS	Niederschlag
	Überschreitungswahrscheinlichkeiten auf Originalgitter (15 und 25 mm für den Bezugszeitraum 1 Stunde, 20 und 25 mm für den Bezugszeitraum 6 Stunden, 25 und 40 mm für den Bezugszeitraum 12 Stunden)
	Überschreitungswahrscheinlichkeiten auf 10x10 Gitter (die gleichen Niederschlagsschwellen wie oben)
	Perzentile (10, 25, 50, 75, 90 Perzentile jeweils für die Bezugszeiträume 1, 6 und 12 Stunden)
	Ensemble-Spread (für die Bezugszeiträume 1, 6 und 12 Stunden)
	Ensemble-Minimum (für die Bezugszeiträume 1, 6 und 12 Stunden)
	Ensemble-Maximum (für die Bezugszeiträume 1, 6 und 12 Stunden)

In Abstimmung mit dem LSBG wurde folgende Liste für das Projekt interessanter Niederschlagsereignisse ausgewählt:

- 29.01. - 31.01.2013
- 05.05. - 09.05.2013
- 13.05. - 24.05.2013
- 12.06. - 22.06.2013
- 31.10. - 08.11.2013
- 08.12. - 11.12.2013
- 22.05. - 26.05.2014
- 07.07. - 10.07.2014
- 17.12. - 25.12.2014
- 07.01. - 15.01.2015
- 26.03. - 03.04.2015
- 04.05. - 05.05.2015

Für die grün markierten Zeiträume lagen zum Zeitpunkt der Datenanfrage beim DWD keine Niederschlagsdaten der beiden Modelle mehr vor, so dass für diese Zeiträume lediglich die in Tab. 10 dunkelgrün markierten Ensembleprodukte bestellt werden konnten. Allerdings hat sich bei einer Veranstaltung am 23. September 2015 beim Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) herausgestellt, dass dort COSMO-DE-EPS Daten vereinzelt ab Dezember 2010 und nahezu vollständig ab November 2012 vorliegen. Mit der Genehmigung des DWD hat sich das LUWG bereit erklärt dem Projekt Stuck diese Daten zur Verfügung zu stellen. Die Daten liegen mittlerweile bei hydro & meteo vor.

#### 4.1.1.3 Stationsmessdaten

5-Minutenwerte der Niederschlagshöhen für das Stadtgebiet Hamburg (Stationen Neuwiedenthal und Fuhlsbüttel) stehen ab dem 1.1.2010 zur Verfügung. Seit dem 3.2.2016 werden die Daten dieser beiden Stationen in nahezu Echtzeit über das XML-Austauschformat des DWD in 1-minütiger Auflösung bezogen und archiviert. Eine Umwandlung in das UVF-Format zur Weitergabe an die anderen Arbeitspakete und zur Nutzung in SCOUT (Einfalt 2009) ist derzeit in Arbeit.

#### 4.1.2 Einrichtung von Hardware

Im Arbeitspaket 1 wurden umfangreiche Hardwareanschaffungen für das Projekt vorgenommen, um den Anforderungen, die sich aus den großen Datenmengen und der Zeitanforderungen der Datensammlung, Verarbeitung und Weitergabe ergeben, gerecht zu werden. Die hiermit verbundenen Arbeiten beinhalten:

- Anschaffung eines leistungsfähigen Servers mit 44 TB direkt verfügbarem Plattenspeicher
- Anschaffung eines Serverschranks, einer Klimaanlage für den Server und eines weiteren Arbeitsplatz-PCs, der gleichzeitig zur Administration des Servers dient
- Inbetriebnahme der Hardware
- Einrichtung der Hardware für den Onlinebetrieb:
  - Umzug in einen Serverraum
  - Verbindung des Servers zum Büro über ein Glasfasernetz
  - Neuinstallation eines Server-Betriebssystems (Debian 8 Server)
  - Einrichtung eines separaten VDSL50 Internetanschlusses
  - Einrichtung mehrerer Virtueller Windows Maschinen (VM) mit Hilfe von Oracle Virtual Box
  - Erstellung von Skripten zur Überwachung des Servers über smartctl.
  - Einrichtung von Skripten und Cronjobs auf dem Server und den VMs zum Herunterladen und Verarbeiten der Echtzeit-Daten

## 4.2 Forschung und Entwicklung

### 4.2.1 Online Korrektur für die vier Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden

Im Rahmen des Projektes stehen Radardaten der Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden des Deutschen Wetterdienstes in Form des DX-Produktes zur Verfügung. Diese haben eine räumliche Auflösung von  $1^\circ \times 1\text{km}$ , eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten und eine mengenmäßige Auflösung von 0.5 dBZ. Diese Daten sind nicht im ausreichenden Maße gegenüber Störeinflüssen aufbereitet und korrigiert, so dass die Verwendung von Korrekturmethode für die Verwendung im Projekt unerlässlich ist.

Die Erstellung der Korrekturen erfolgt für jeden Radarstandort gesondert, um die standort-spezifischen Störeinflüsse bestmöglich zu minimieren.

Nachfolgend wurden die im Untersuchungszeitraum 01.06.2015 – 01.01.2016 aufgetretenen Fehlerquellen genauer analysiert.

#### 4.2.1.1 Bodenechos

Die Radardaten sind u. a. durch Bodenechos (hohe Einzelwerte) in ihrer Aussagekraft beeinträchtigt. Über diese „festgelegten“ Bodenechos hinaus gibt es Einzelpunkte, die nur zeitweise auftreten. Diese und die Bodenechos können von Bild zu Bild variieren.

Größere Bereiche mit Bodenechos liegen hauptsächlich in unmittelbarer Radarnähe. Insbesondere bei Inversionswetterlagen werden allerdings im gesamten Radarbild Bodenechos (Windkraftanlagen, Schiffe etc.) erkannt.

Bodenechokorrektur in fünf Schritten:

1. die Radarpixel mit dauerhaft vorhandenen Bodenechos wurden in einer sogenannten Bodenechokarte („Cluttermap“) zusammengefasst.
2. Einzelpixel bzw. zusammenhängende Pixel, die eine Größenordnung von mindestens  $6\text{ km}^2$  (dieser Wert ist räumlich und zeitlich variabel) nicht überschreiten, werden nicht als Niederschlagsechos gewertet.
3. „Negative Bodenechos“ (Nullwerte) innerhalb von Niederschlagsgebieten werden ebenfalls nicht gewertet.
4. Der „Specklefilter“ nach Gabella und Notarpietro (2002) glättet die räumlichen Ausreißer. Damit Starkregenereignisse im Sommer mit hohen Intensitätsänderungen innerhalb weniger Kilometer nicht ebenfalls als räumliche Ausreißer erkannt und geglättet werden, sind die Parameter (akzeptable Gradienten) für diesen „Specklefilter“ angepasst worden.
5. Die bekannten und markierten Bodenechopixel bzw. „negativen Bodenechos“ wurden mit dem Mittelwert der mindestens vier nächsten, bodenechofreien Pixel interpoliert.

Die Einstellungen der einzelnen Korrekturfilter variieren dabei je nach Radarstandort und auch räumlich. Entlang der Schifffahrtsrouten und an Pixeln, die während der Inversionswetterlagen Bodenechos aufweisen, werden häufiger Pixel nicht gewertet.

#### 4.2.1.2 Strahlenfehler

Im Untersuchungszeitraum gibt es bei den polarimetrischen Radargeräten geringe Teilabschattungen durch die vier Blitzableiterstangen direkt außerhalb des Radoms. Dadurch wird ein Teil des Strahles blockiert und es kommt im Strahlbereich zu einer geringeren Intensität gegenüber ihrer Umgebung, insbesondere in den Summenbildern über einen längeren Zeitraum sind diese Auffälligkeiten zu erkennen.

Daneben gibt es an den Radarstandorten Hannover, Emden und Rostock auch Teilabschattungen durch Hindernisse (Windkraftanlagen etc.) im Nahbereich des Radars.

Die Korrektur des Strahlfehlers bzw. der Teilabschattung des Radarstrahls erfolgte durch die Anhebung der Messwerte um einen bestimmten dBZ-Wert. Dabei wurde für jeden der betroffenen Winkel der Betrag durch Vergleich mit den nicht beeinflussten Radarstrahlen gesondert ermittelt, dies führt zu einer deutlichen Reduktion des Fehlers.

#### 4.2.1.3 Bildinterpolation

Die vorliegenden Radarbilder sind Momentaufnahmen in einem Abstand von ca. 5 Minuten. Bei schnellziehenden Regenzellen können bei der Summierung der Bilder auf der Zugbahn sowohl zu niedrige als auch zu hohe Niederschlagsmengen erzielt werden. Die Niederschläge erscheinen dann auf ihrer Zugbahn „gepunktet“, als wenn die Regenzelle nicht kontinuierlich gezogen, sondern gesprungen wäre. Um diese Probleme insbesondere bei der Aneicherung zu minimieren, wurde eine Bildinterpolation der 5 Minuten-Bilder auf Basis von Zellerkennungen mit einer Schrittweite von 1 Minute durchgeführt. Als Ergebnis wurden 5 Minuten-Summenbilder erstellt.

#### 4.2.1.4 Korrekturbewertung

Als Fazit kann festgehalten werden, dass Bodenechos und Strahlenfehler mit gutem Erfolg erkannt und korrigiert werden können und die Bildinterpolation einen positiven Einfluss auf die korrekte räumliche Darstellung der Niederschlagsmengen hat. Unkorrigierte und korrigierte Radarsummenbilder des untersuchten Zeitraumes sind in Abb. 19 und Abb. 20 in Form von Tagessummen und Gesamtsummen einander gegenübergestellt.

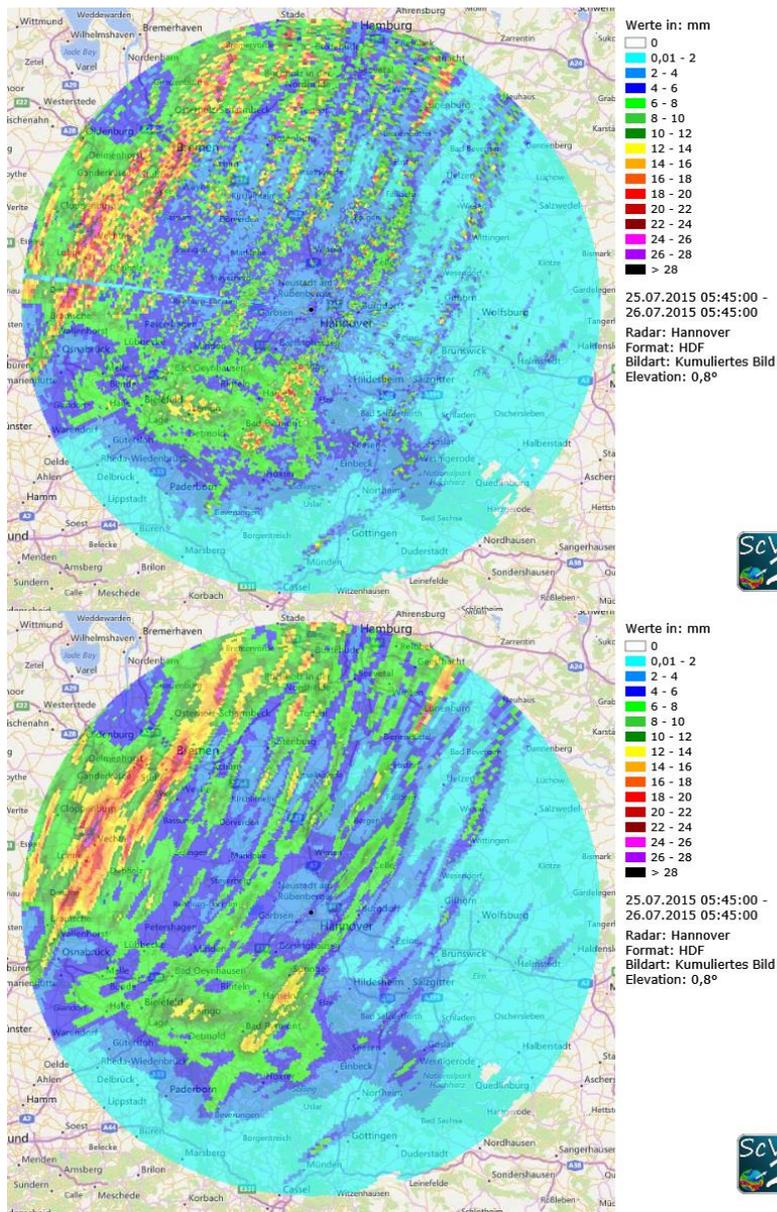


Abb. 19: Unkorrigierte (oben) und korrigierte (unten) Radarniederschlagssumme vom 25.07.2015 am Radarstandort Hannover.

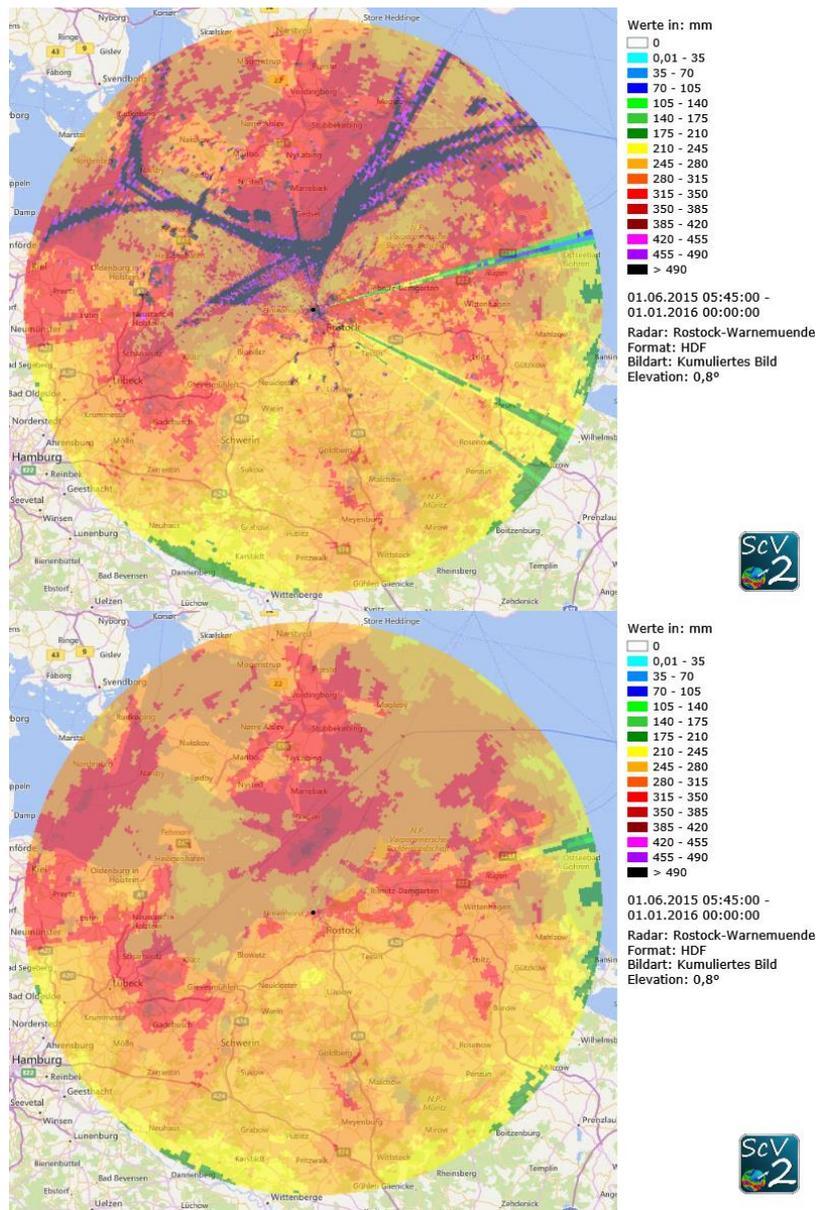


Abb. 20: Unkorrigierte (oben) und korrigierte (unten) Radarsummenbilder von dem Radar Rostock.

## 4.2.2 Ereignisauswertung

### 4.2.2.1 Einleitung

Eine Hauptaufgabe des Arbeitspaketes 1 ist die Bereitstellung von Niederschlagsdaten für die anderen Arbeitspakete. Diese Daten unterteilen sich in Messdaten und Vorhersagen. Durch die hohe räumliche und zeitliche Variabilität ist Niederschlag naturgemäß eine schwierig vorherzusagende Größe. Neben der numerischen Wettervorhersage stellen Radar-Nowcasts eine weitere etablierte Art der Niederschlagsvorhersage dar. Ein mit SCOUT gerechnetes Beispiel für ein Radar-Nowcast wird im Folgenden erläutert. Eine Möglichkeit die Unsicherheit in solchen Vorhersagen einzuschätzen, ist die Verwendung von Nowcast Ensembles (Bowler et al. 2006; Germann et al. 2009). Die in SCOUT implementierte Methode zur Erzeugung des Vorhersageensembles beruht auf unterschiedlichen Vorhersagemetho-

den unter Berücksichtigung der beobachteten Unsicherheiten in den Ausgangsgrößen. Ziel ist es, ein Ensemble zu erzeugen, das die Unsicherheiten in der Radarvorhersage realistisch darstellt. Um den Datenfluss zwischen Arbeitspaket 1 und Arbeitspaket 2 zu etablieren, wurden zwei erste Niederschlagsereignisse nachgerechnet. Es handelt sich dabei um den 5. Mai 2015 und den 25. Juli 2015. In Zusammenarbeit mit der TUHH haben die Auswertungen dieser beiden Ereignisse auch schon zu ersten Veröffentlichungen geführt. Die Ereignisse wurden sowohl auf dem Tag der Hydrologie (17.-18.03.2016 in Koblenz) als auch der 9. Internationalen Konferenz Novatech (28.06.-01.07.2016 in Lyon, Frankreich) als Posterpräsentation akzeptiert. Das Ereignis vom 5. Mai 2015 soll hier exemplarisch dargestellt werden.

#### 4.2.2.2 Daten und Methodik

Am 5. Mai 2015 befand sich Deutschland unter dem Einfluss von Tief ZORAN mit Zentrum über den Britischen Inseln. Gegen Mittag erreichte Norddeutschland von Westen her ein Niederschlagsgebiet mit eingelagerten Gewittern, welches sich vor der Kaltfront gebildet hatte. Im weiteren Tagesverlauf verlagerte sich dieses Niederschlagsgebiet mit der Kaltfront weiter ostwärts (Deutscher Wetterdienst (DWD) 06.05.2015).

Grundlage der Auswertung bilden die in Kap. 4.2.1 beschriebenen korrigierten Radardaten. Die Vorhersage basiert auf Daten des kompletten Gebietes, das durch das Radar Boostedt abgedeckt wird. Im weiteren Verlauf des Projektes wird die Radar-Kurzfristvorhersage auf einem Komposit der vier Radare Boostedt, Emden, Hannover und Rostock/Warnemünde bestehen. Dies wird, abhängig von der meteorologischen Situation, längere Vorhersagezeiträume ermöglichen. In diesem Beispiel beträgt der Vorhersagezeitraum eine Stunde bei einer zeitlichen Auflösung der Daten von 5 Minuten.

Die radarbasierte Vorhersage (in meteorologischen Kreisen mit **Nowcast** bezeichnet) beruht auf einem Semi-Lagrange-Verfahren. Hierbei wird zunächst eine Zellwiedererkennung von Niederschlagszellen basierend auf charakteristischen Zelleigenschaften wie Größe, Form und Intensität etc. durchgeführt. Ausgehend von den Masseschwerpunkten wird für jede wiedererkannte Zelle ein Bewegungsvektor berechnet. Dann werden die Bewegungsvektoren der einzelnen Zellen interpoliert, um ein 2D-Geschwindigkeitsfeld zu erhalten. Das so erhaltene Geschwindigkeitsfeld wird bei jedem Vorhersageschritt um den mittleren Geschwindigkeitsvektor weiter verschoben.

Um nun ein Ensemble von Vorhersagen zu generieren, werden der Mittelwert und die Standardabweichung der Bewegungsvektoren und der Wachstumsraten der Zellen (Größe und Intensität) über die letzten fünf Zeitschritte berechnet. Unter der Annahme einer Normalverteilung werden diese dazu benutzt, um für jeden Ensemblelauf neue Bewegungsvektoren und Wachstumsraten zu berechnen. Aus den Bewegungsvektoren wird dann für jeden Ensemblelauf ein neues 2D-Geschwindigkeitsfeld generiert. Auf diese Weise enthält das Ensemble sowohl Unsicherheiten in der Zellerkennung mit SCOUT als auch reale Variationen in der Entwicklung der Zellen (Tessendorf und Einfalt 2012).

#### 4.2.2.3 Ergebnisse

In Abb. 21 ist die Ausbreitung des Niederschlagsgebietes von Westen nach Osten gut zu erkennen. Unter mäßigen Veränderungen der Form und Intensität verlagert sich das Regengebiet vom Zeitpunkt der Initialisierung der Vorhersage um 14:35 UTC ostwärts. Die Zellen

mit der stärksten Niederschlagsintensität befinden sich um etwa 15:05 Uhr UTC über dem Einzugsgebiet der Kollau (Abb. 22).

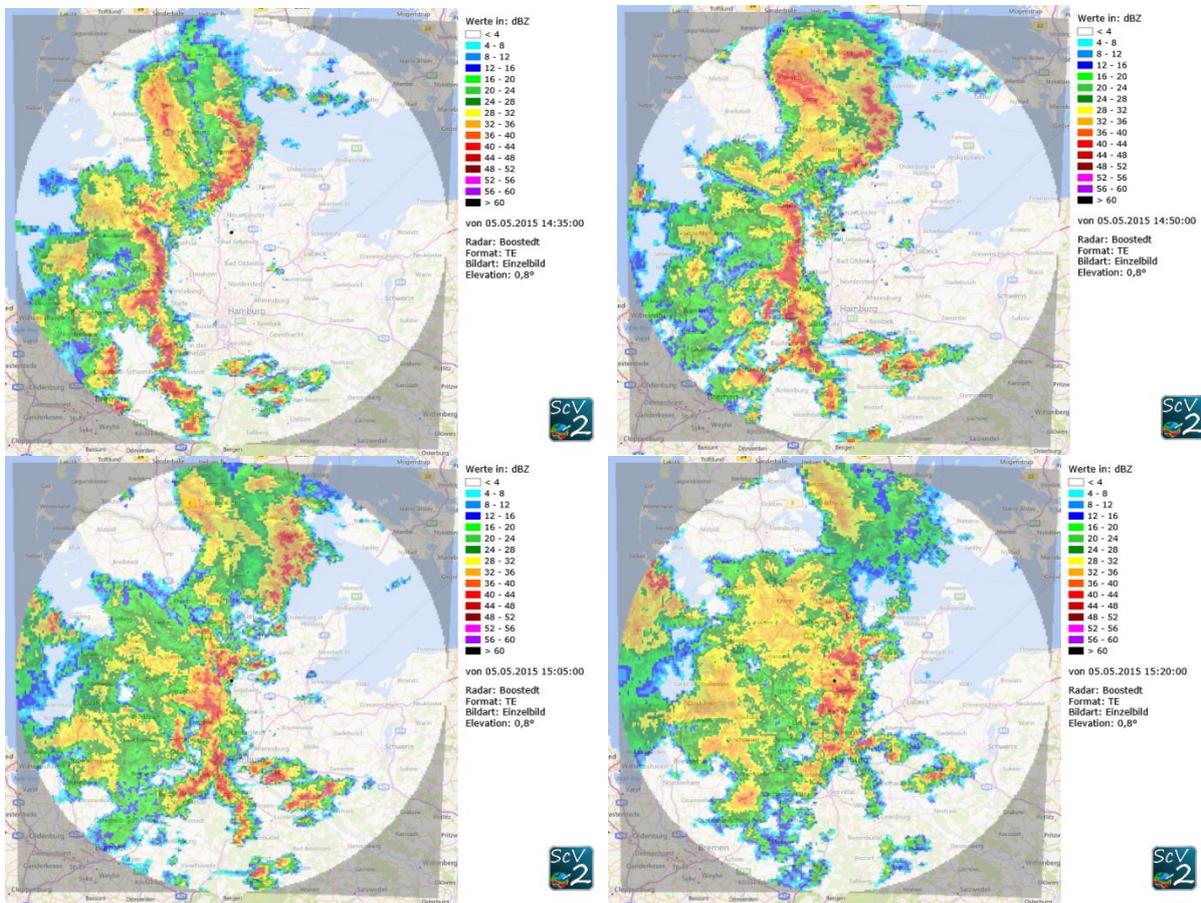


Abb. 21: Mit SCOUT korrigierte Messungen von Radar Boostedt vom 05.05.2015 (oben links um 14:35 Uhr UTC, oben rechts um 14:50 Uhr UTC, unten links um 15:05 Uhr UTC und unten rechts um 15:20 Uhr UTC).

In Abb. 22 ist derselbe Vorhersagezeitpunkt der einzelnen Ensembleläufe exemplarisch dargestellt. Die dargestellten Unterschiede ergeben sich aus unterschiedlichen Zugbahnen und Zuggeschwindigkeiten des Niederschlagsgebietes in den einzelnen Läufen. So ist zum Beispiel zu erkennen, dass das Maximum der Niederschlagsintensität im Lauf 4 noch westlich des Einzugsgebietes liegt, während es in den Läufen 6 und 9 bereits wesentlich weiter nach Osten gezogen ist. Auch die unterschiedliche Betroffenheit der Teileinzugsgebiete lässt sich erahnen. Der Vergleich von Lauf 2 und Lauf 10 zeigt zum Beispiel ein in dieser Momentaufnahme weiter südlich gelegenes Maximum der Niederschlagsintensität.

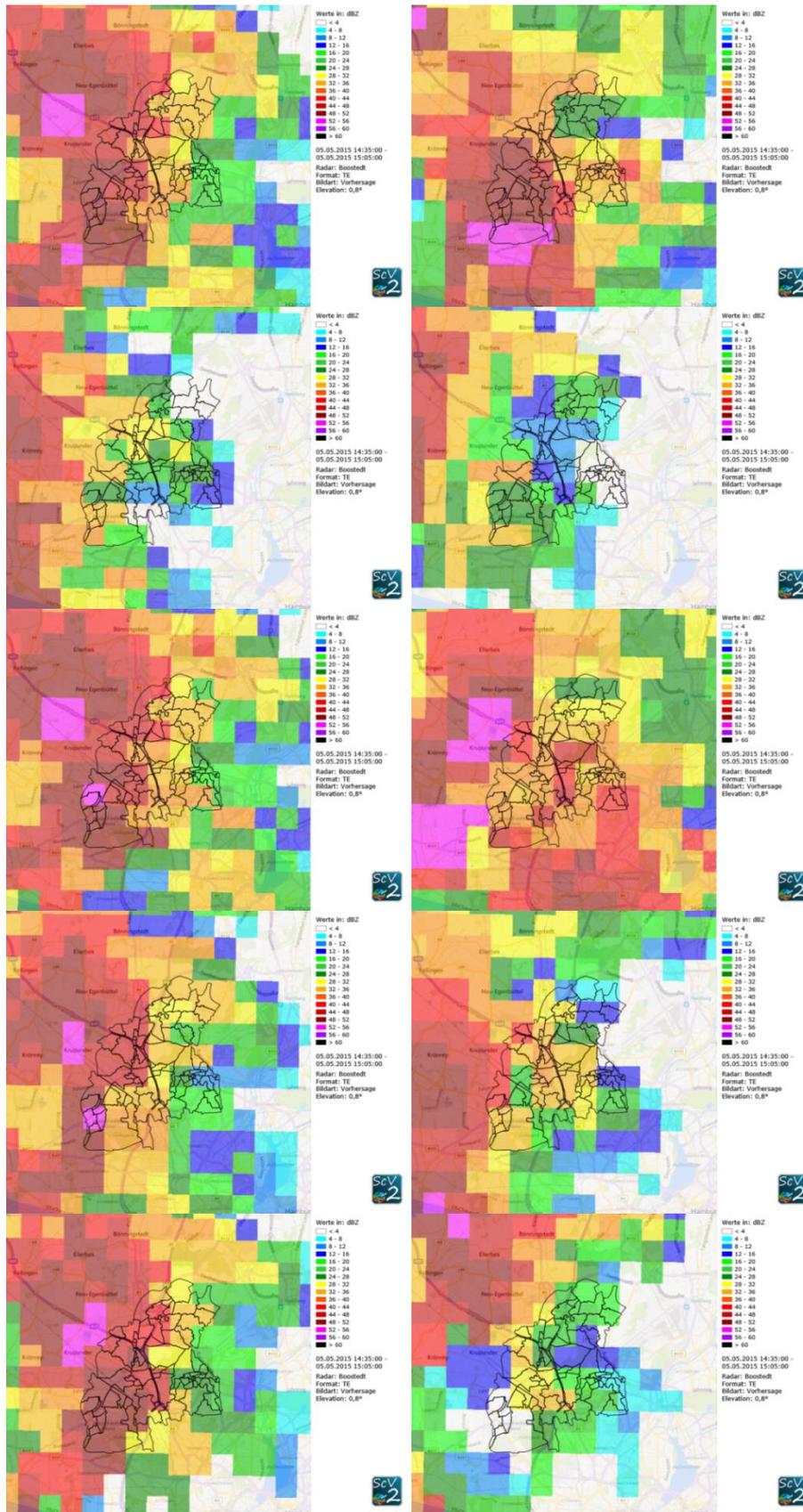


Abb. 22: Darstellung der 10 Ensembleläufe (von o. li. nach u. re.) um 15:05 Uhr UTC. Initialisierung aller Läufe um 14:35 Uhr UTC. Schwarze Darstellung: einzelne Teileinzugsgebiete der Kollau.

### 4.2.3 Minutenvorhersage

Im Gegensatz zu Regenschreibern, welche die kumulierte Niederschlagsmenge messen, wird bei der Auswertung von Radardaten die gemessene Reflektivität mittels empirischer Beziehungen in eine Niederschlagsintensität umgewandelt. Bei der Berechnung von Niederschlagsmengen aus Radardaten wird häufig angenommen, dass die zeitlichen und räumlichen Veränderungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen (zeitlicher Abstand von 5 Minuten) zu vernachlässigen sind. Unter dieser Annahme kann die Niederschlagssumme aus der Niederschlagsintensität durch Multiplikation mit der Zeit gewonnen werden. Insbesondere bei schnell ziehenden Niederschlagsgebieten können diese Annahmen allerdings zu Fehlern führen. In diesem Fall ist es sinnvoll, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen zu interpolieren.

In der Praxis werden in SCOUT die einzelnen Niederschlagszellen verfolgt, d.h. analysiert und automatisch wiedererkannt. Wurde eine Zelle in zwei aufeinanderfolgenden Messungen erkannt, kann der Zugvektor sowie das Größen- und Intensitätswachstum berechnet werden. Mittels linearer Interpolation werden aus diesen Größen dann Niederschlagsintensitäten mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute generiert. Diese hochaufgelösten Niederschlagsintensitäten können wiederum in Niederschlagssummen umgerechnet werden, welche beim Vergleich mit Regenschreibern eine deutlich bessere Vergleichbarkeit erzielen.

Um von diesen Verbesserungen auch bei der Vorhersage profitieren zu können, wurde dieses Verfahren in die Vorhersagefunktion von SCOUT implementiert. Der Hauptunterschied zur oben beschriebenen zeitlichen Interpolation ist, dass die charakteristischen Größen der Niederschlagszellen aus den Messungen der fünf vergangenen Zeitschritte bestimmt werden, wie in Kap. 4.2.2.2 beschrieben. Mit Hilfe dieser Größen werden nun ausgehend von der letzten Messung mittels Extrapolation zeitlich hochaufgelöste Niederschlagsintensitäten berechnet, aus welchen Niederschlagssummen bestimmt werden. Ein Beispiel für den 05.05.2015 ist in Abb. 23 dargestellt. Es ist klar zu sehen, wie die Niederschlagszelle in der Stundensumme basierend auf einer Vorhersage mit einem Zeitschritt von 5 Minuten zu springen scheint, während die Niederschlagssumme basierend auf der höher aufgelösten Vorhersage eine kontinuierlichere Zugbahn zeigt.

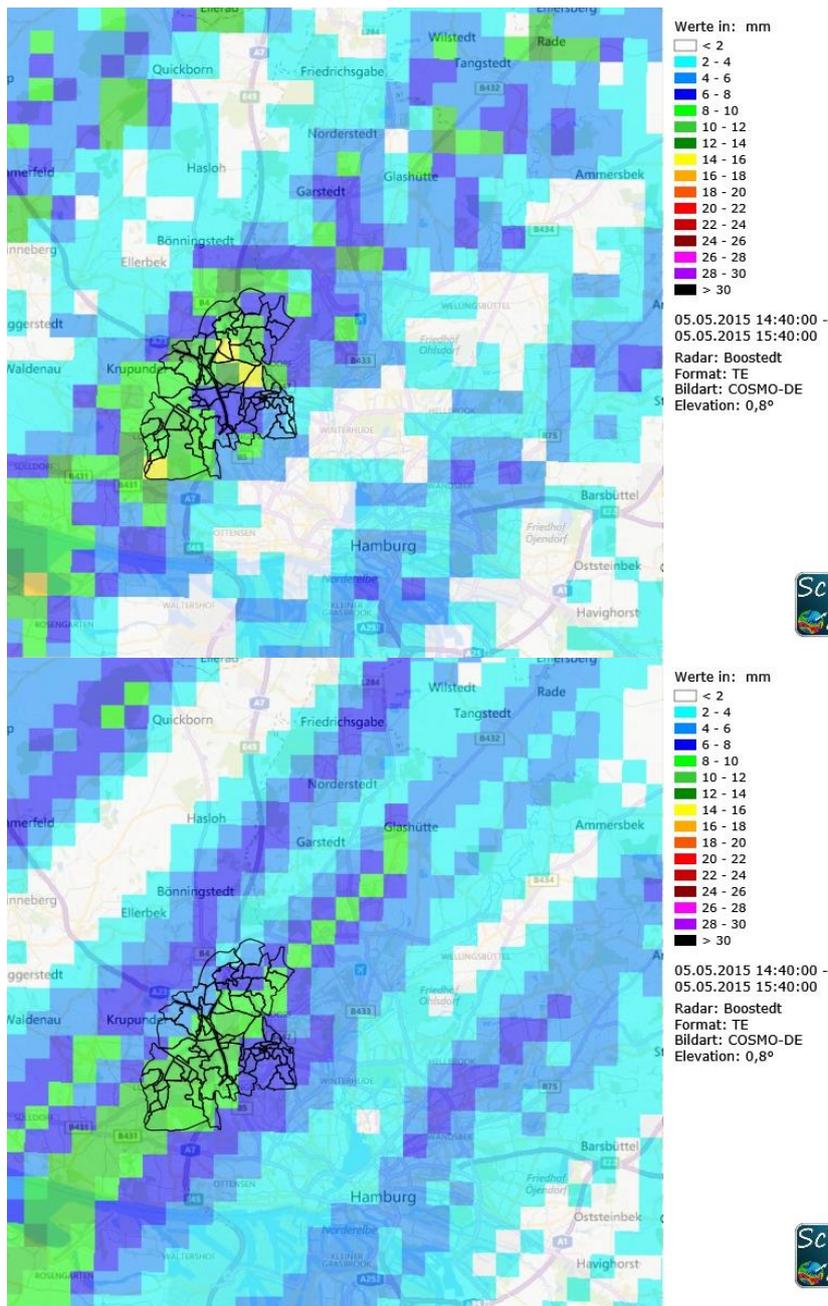


Abb. 23: Niederschlagssummen basierend auf einem Radar-Nowcast für den 05.05.2015. Die obere Abbildung stellt die Stundensumme der Vorhersage mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten, die untere Abbildung die Stundensumme einer Vorhersage mit einer minütlichen Auflösung dar.

## 5 Hydrologie und Flächenmanagement (AP 2, TUHH)

Das Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg (TUHH) erarbeitet im Projekt Stuck ein hydrologisches Kurzzeit-Vorhersagesystem und optimierte hydrologische Ansätze für Modellgebiete in küstennahen Regionen. Die Erarbeitung des Kurzzeit-Vorhersagesystems erfolgt im Arbeitspaket 2.1 mit dem Ziel der Echtzeitbestimmung der Abflüsse auf der Grundlage der detaillierten Radar-Niederschlagsdaten aus dem Arbeitspaket 1. Es wird eine online Datenschnittstelle entwickelt, um das meteorologische und das hydrologische System zu koppeln. Darauf aufbauend erfolgt die Entwicklung eines Vorhersage-Systems im Arbeitspaket 2.4. In beiden Arbeitspaketen erfolgt eine enge Zusammenarbeit zwischen hydro & meteo und TUHH.

Im Weiteren werden in diesem Arbeitspaket zwei wesentliche Fragestellungen der hydrologischen Modellierung insbesondere für küstennahe urbane Einzugsgebiete näher analysiert. Zum einen erfolgt die Analyse und Optimierung von Regelungsanlagen: z.B. Schöpfwerke, Rückhaltebecken und Retentionsräume, im AP 2.2. Und ein weiterer Schwerpunkt ist die Analyse urban geprägter Gewässer mit freier als auch Gewässer mit abflusshindernder (d.h. tidebeeinflusster) Vorflut im AP 2.3. Beide Aspekte der optimierten Steuerung und die Abbildung des Tideeinflusses im hydrologischen System sind hier aktuelle Forschungsschwerpunkte, die in hydrologischen Modellen nur ansatzweise oder gar nicht abgebildet werden können. Im Projekt Stuck erfolgt die Erarbeitung von hydrologischen Modellansätzen und es wird eine Implementierung in das in der Praxis bereits etablierte Niederschlags-Abfluss Modell angestrebt.

Im AP 2.5 erfolgt die Erarbeitung eines optimierten Flächenmanagements auf der Grundlage von zukünftigen Flächennutzungsszenarien und zukunftsorientierten Ansätzen der Risiko- und Schadensbetrachtung. Die Bearbeitung erfolgt integrativ mit den Projektpartnern.

### 5.1 Echtzeitbestimmung von Abflüssen aus räumlich detaillierten Niederschlagsdaten (AP 2.1)

#### 5.1.1 Ziel des Arbeitspaketes

Zur Echtzeit-Steuerung wasserwirtschaftlicher Anlagen ist eine Echtzeit-Analyse des hydrologischen Systems und der Abflussbedingungen erforderlich. Ziel des Arbeitspakets ist es, die aus den Niederschlägen (AP 1) resultierenden Abflüsse und Überflutungsflächen für die im Projektgebiet vorhandenen kleinen Einzugsgebiete mittels hydrologisch/hydrodynamischer numerischer Modellierung in Echtzeit als Grundlage für ein optimiertes Flächenmanagement und eine optimierte Echtzeit-Steuerung der Speicher- und Rückhalteanlagen abzubilden.

Für die Simulationsrechnungen wird das Programmpaket KALYPSO verwendet, welches im Institut für Wasserbau der TUHH in Kooperation mit dem Ingenieurbüro BjörnSEN entwickelt und gepflegt wird. In KALYPSO implementierte Module reichen von der Analyse der Hydrologie über die Wasserspiegel- und Überflutungsmodellierung bis hin zu Risikoanalyse und einem Evakuierungsmodul.

## 5.1.2 Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Kollau

Begonnen wurden die Arbeiten am Einzugsgebiet der Kollau. Das Einzugsgebiet der Kollau ist geprägt durch die komplexen Zusammenhänge der urbanen Entwässerungssysteme und es sind 23 Rückhaltebecken im gesamten Gewässerlauf eingebracht (s. Kap. 2.2). Das Einzugsgebiet der Kollau sowie der im nachfolgenden Abschnitt erläuterten Dove-Elbe ist in Abb. 24 dargestellt.

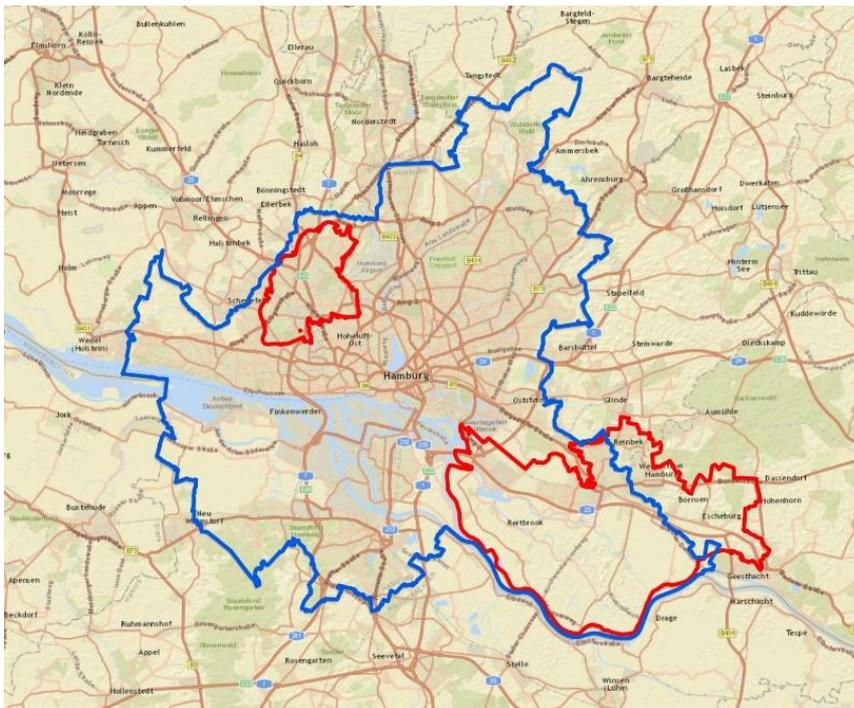


Abb. 24: Kennzeichnung des hydrologischen Einzugsgebiets der Kollau (nordwestlich, rot), der Dove-Elbe (südöstlich, rot) und der Stadtgrenze Hamburgs (blau). Im Modell KalypsoHydrology werden die hydrologischen Einzugsgebiete von Dove-Elbe und Kollau verwendet. Im Fall der Dove-Elbe geht das hydrologische Einzugsgebiet über die Modellregion (begrenzt durch die Landesgrenze der Freien und Hansestadt Hamburg) hinaus und umfasst auch Gebiete in Schleswig-Holstein.

Für die Echtzeitbestimmung der Abflüsse wurden die Simulationsdaten des numerischen hydrologischen Modells des Einzugsgebiets der Kollau bis zum jetzigen Zeitpunkt (Januar 2016) aktualisiert. Im Lauf des Projektes erfolgt eine automatische Aktualisierung der Datensätze über eine Datenschnittstelle in Zusammenarbeit mit dem Arbeitspaket 1. Die Daten der folgenden Zeitreihen wurden hierfür aktualisiert und in das Modell eingepflegt:

Meteorologische Daten der Messstation Fuhlsbüttel (von 1891 bis 2016) als Tageszeitreihen:

- Mittlere Luftfeuchte [%]
- Mittlere Temperatur [°C]
- Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]

- Sonnenscheindauer [h/dx]
- Niederschlagshöhen [mm/d]

Für die Pegelmessstationen Niendorfer Straße und Olloweg (Abb. 25) wurden die aktuellen Wasserstandsdaten in einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten von 2010 bis Dezember 2015 sowie die aktuellen Schlüsselkurven von der Behörde für Energie und Umwelt (BUE) an das Institut für Wasserbau übergeben. Die Messung an der Pegelmessstation Wendlohstraße wurde eingestellt und wird im Laufe dieses Projektes nicht mehr verwendet werden. Die bereits im Modell vorliegenden Abflussdaten des Pegels Niendorfer Straße konnten aktualisiert und die Abflussdaten am Pegel Olloweg erstmals im Modell eingepflegt werden. Die Datensätze dienen im Laufe des Projektes zum Abgleich der Echtzeit-Simulationen bis zum Zeitpunkt der Vorhersage-Simulationen. Es wird hier eine Schnittstelle zum Import der aktuellen Pegelreihen erstellt werden.

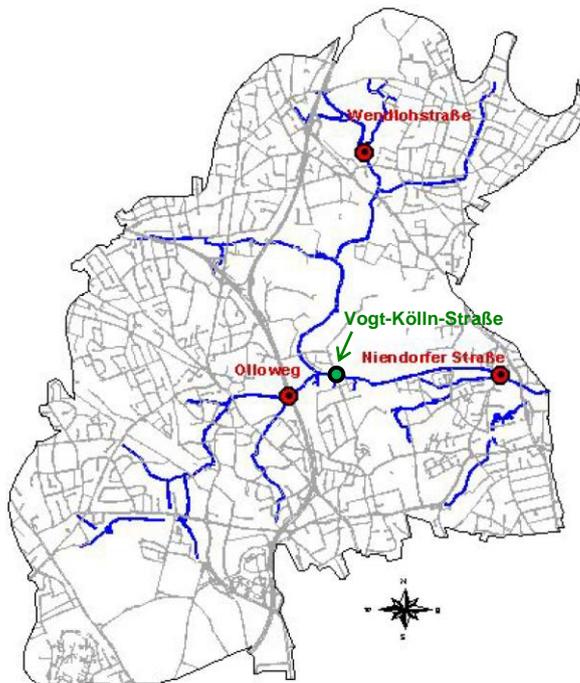


Abb. 25: Lage der im NA-Modell hinterlegten Pegel im Einzugsgebiet der Kollau (rot: aktuell eingepflegte Pegel, grün: neuer Pegel an der Vogt-Kölln-Straße ab 2016).

Für die numerische Modellierung in Echtzeit werden die in Arbeitspaket 1 aufbereiteten, räumlich hochaufgelösten Radardaten in das numerische hydrologische Modell importiert. Die räumliche Auflösung dieser Datensätze liegt in einem Raster von 1 km x 1 km vor. Nähere Informationen zu den Daten sind im Kap. 4.2 erläutert. Im Zuge dieses Arbeitspaketes erfolgte im Berichtszeitraum bis Ende 2015 in einem ersten Schritt die Erstellung einer manuellen Aufbereitung der Daten für zwei Testdatensätze. Die Überlagerung der geographi-

schen Lage der Radardaten über dem numerischen hydrologischen Modell ist in Abb. 26 dargestellt.

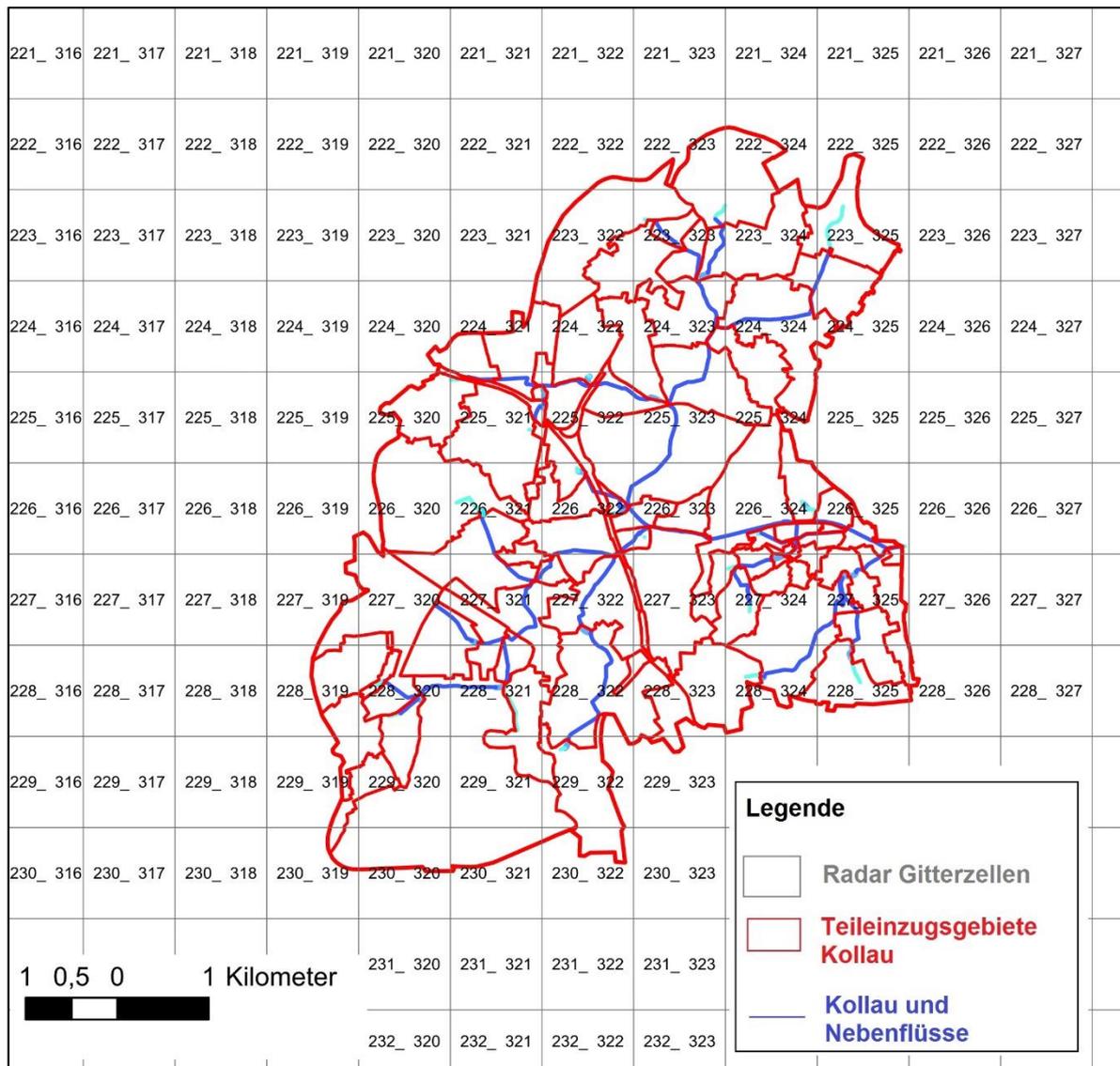


Abb. 26: Überlagerung der geographischen Lage der Radardaten mit dem numerischen hydrologischen Modell der Kollau

Die erweiterte Benutzeroberfläche des Software Moduls KalypsoHydrology ab der Version 13 unterstützt den Modellierer beim Erstellen sogenannter Gebietsmodelle. Bisher wurden Gebietsmodelle auf der Basis von Stationsdaten erstellt. Im Rahmen des Projektes Stuck erfolgt nun eine Erweiterung zur Erstellung von Gebietsmodellen auf der Basis von Radardaten. Dabei wird der Flächenniederschlag für die im Modell hinterlegten Flächenelemente (hier Teileinzugsgebiete) pro Zeitschritt mit Hilfe einer orthogonalen Rasterbildung und Gewichtung der nächstgelegenen Radarzellen mit einer Auflösung von 1 km<sup>2</sup> gebildet. Beispielfhaft ist dies dargestellt in Abb. 27.

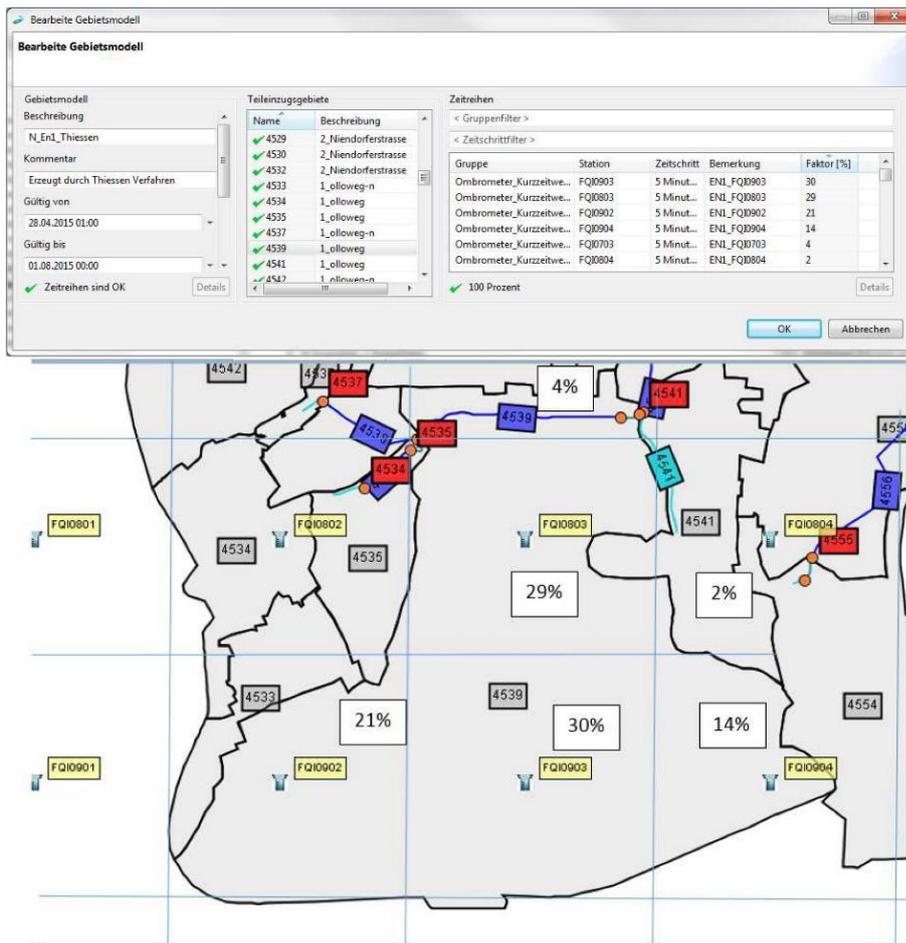


Abb. 27: Räumliche Verschneidung mit der erweiterten „Thiessen“-Methode der Radarniederschlags- und Teilgebietsdatensätze.

Neben der räumlichen Verschneidung der Radardaten im Gitter mit den Teileinzugsgebieten kann auch eine direkte Zuweisung der Gebietsdatensätze auf die Teileinzugsgebiete erfolgen (Abb. 28). Bei dieser Variante erfolgt eine vorherige Verschneidung auf gleicher Weise mit der erweiterten Thiessen Methode mit der Software SCOUT durch den Projektpartner hydro & meteo.

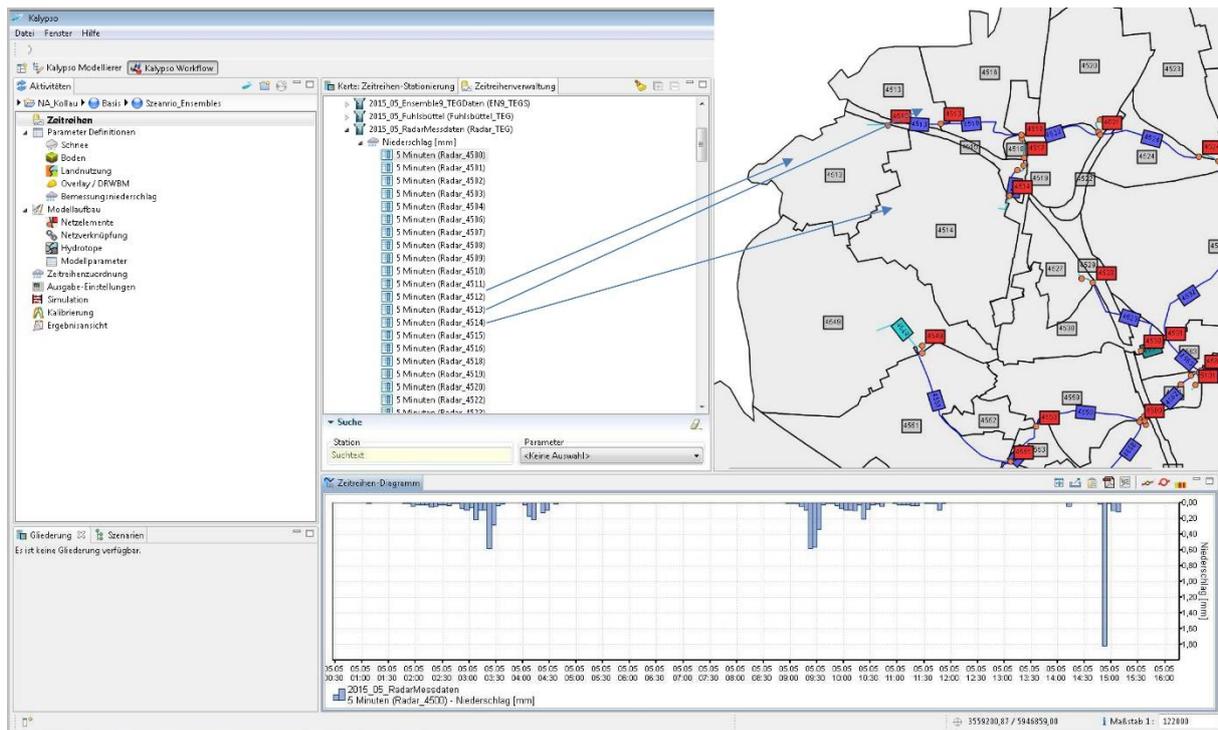


Abb. 28: Zuordnung der Zeitreihen pro Teileinzugsgebiet über die Funktion zur Erstellung von Gebietsmodellen

### 5.1.3 Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Dove-Elbe

Das Modellgebiet der Dove-Elbe ist charakterisiert durch eine tideabhängige Entwässerung durch die Tatenbecker Schleuse in die Elbe und ein komplexes Steuerungssystem (s. Kap. 2.1). Die Lage des Einzugsgebietes ist dargestellt in Abb. 24. Zur Erstellung eines NA-Modells wurden die Datengrundlagen beschafft und soweit vorhanden aufbereitet. Es wurden hier aktualisierte geologische und pedologische Daten der Stadt Hamburg (BUE) eingeholt. Dies umfasst unter anderem neue hydrologische Profiltypen und Grundwassergleichen für das Modellgebiet. Im Weiteren sind Daten der Pumpwerke und Gewässer bereitgestellt worden. Eine zeitliche Verzögerung ergibt sich durch die neue Aufbereitung der ALKIS-Daten mit Versiegelungsgraden für die Stadt Hamburg durch den LSBG bis Ende 2016. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Gesamtergebnisse des Projektes Stück in der geplanten Projektlaufzeit erreicht werden können und es hierdurch zu keinen Änderungen in der zeitlichen Planung kommt. Es wird davon ausgegangen, dass das NA-Modell der Dove-Elbe im Jahr 2017 lauffähig sein wird. Der aktuelle Stand der definierten Teileinzugsgebiete, der Gewässerverläufe und der aktuellen Radargitterzellen sind in Abb. 29 dargestellt.

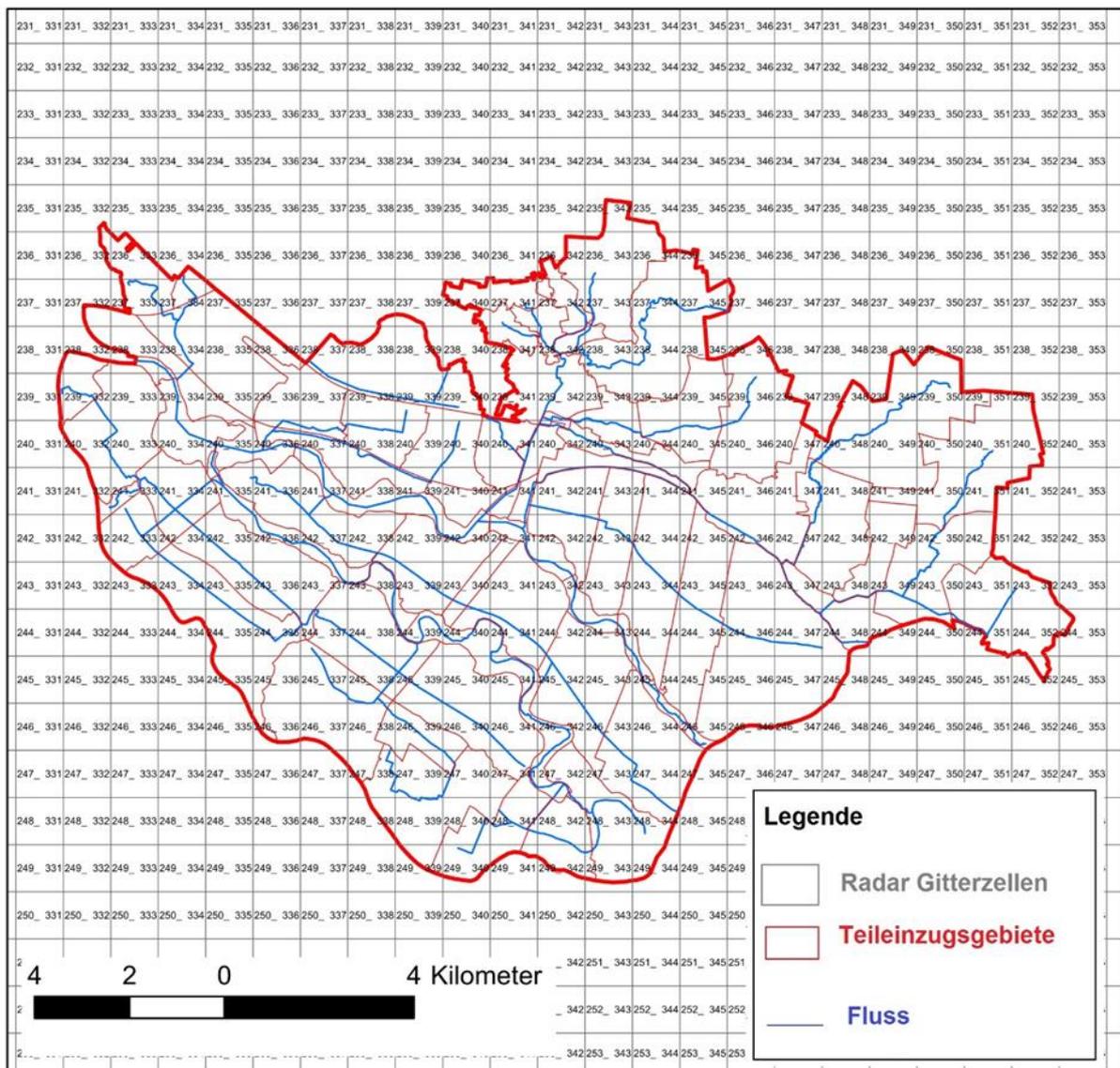


Abb. 29: Stand der Bearbeitung des Dove-Elbe Einzugsgebietes (Januar 2016): Teileinzugsgebietsabgrenzungen, Gewässerverlauf und Radargitterzellen.

## 5.2 Optimierung der hydrologischen Modellansätze und der Modellierung zur Berücksichtigung von Regelungsanlagen (AP 2.2 und AP 2.3)

Für küstennahe urbane Gewässer sind, zusätzlich zu den üblichen Lastfällen, wechselnde Außenwasserstände (Entwässerungswasserstände) sowie die, insbesondere in urbanen Räumen, vielfach verwendeten gesteuerten Regelungs-, Speicher-, Pumpen- und sonstigen Entwässerungsanlagen zu berücksichtigen. Die Funktionsfähigkeit der Entwässerung über das Gewässer und die Kanalisation ist wesentlich vom Außenwasserstand abhängig. Es muss ein ausreichendes Gefälle innerhalb der Entwässerungsanlagen bis zu den Steuerungsauslässen am Gewässer gewährleistet werden, um eine entsprechende Leistungsfähigkeit der Entwässerung zu erreichen – ansonsten kommt es zum Rückstau, der dann

entsprechend berücksichtigt werden muss. Insbesondere zur Abbildung der rückstauenden Abflüsse im Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes sind neue Modellansätze und -konzepte zu entwickeln, da diese bisher nur in Ansätzen vorliegen (z. B. Riedel 2004).

Steuerungselemente im Gewässer sind Stauanlagen und Aufteilungsbauwerke mit im urbanen Raum zumeist definierten Betriebsregeln. Insbesondere wenn mehrere Speicher in einem Gewässer vorliegen und hintereinandergeschaltet sind, wird eine umfassende Abbildung der Steuerung dieser Elemente zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Anlagen erforderlich. Beispielhaft zeigt sich dies im Flusseinzugsgebiet der Kollau, in dem 23 gesteuerte und ungesteuerte Rückhaltebecken vorhanden sind (Abb. 30). Die Abbildung der Steuerungsanlagen ist hier mit den aktuellen implementierten numerischen Ansätzen in hydrologischen Modellen nur bedingt möglich.

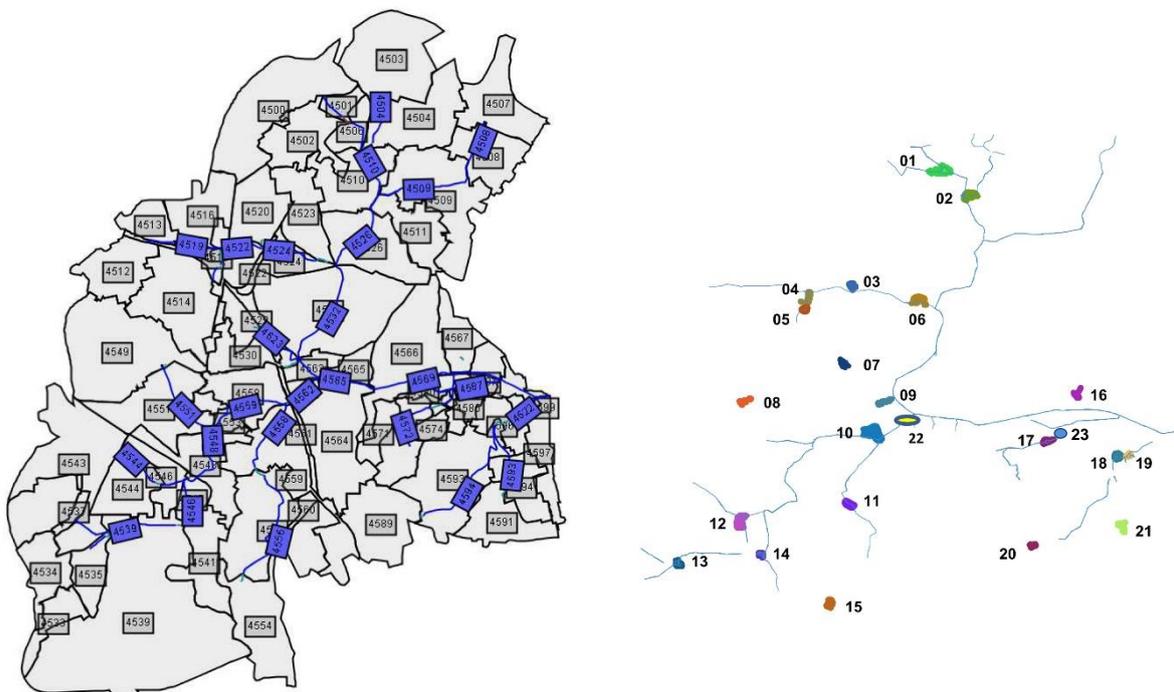


Abb. 30: Übersicht der Rückhaltebecken im Einzugsgebiet der Kollau

Eine erste Studie über mögliche Steuerungsstrategien erfolgte im Rahmen einer studentischen Arbeit am Institut für Wasserbau im Projekt Stuck. Die Arbeit mit dem Titel: „Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlichen Steuerungsstrategien für Hochwasserrückhaltebecken in urbanen Gewässern“ beschäftigte sich mit vier unterschiedlichen Steuerungsstrategien. Eine erste Anwendungsstudie erfolgte am Beispiel des Rückhaltebeckens Kronsalsweg (Abb. 30; RHB Nr. 11). Die weitere Ausarbeitung von Ansätzen zur Modellierung zur Berücksichtigung von Regelungsanlagen und zur Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Gewässer und Wasserständen im Einzugsgebiet ist bis Ende 2016 geplant. Die Implementierungen im hydrologischen Modell sind für Anfang 2017 geplant und die Testphase für Mitte 2017.

### 5.3 Implementierung einer Kurzzeitvorhersage im hydrologisch-numerischen Modell zur Optimierung der Regelungsanlagen (AP 2.4)

Für das Niederschlagsereignis am 5. Mai 2015 wurde in einem ersten Testlauf ein Vorhersage-Ensemble durch hydro & meteo im Rahmen des AP 1 erstellt und dem Institut für Wasserbau bereitgestellt. Informationen zum Hintergrund der Ensembles und der Erstellung der Datensätze mit der Software SCOUT siehe Kap. 4.2.2. Die Ergebnisse der Ensemble Niederschlagsdatensätze sind in Abb. 31 dargestellt.

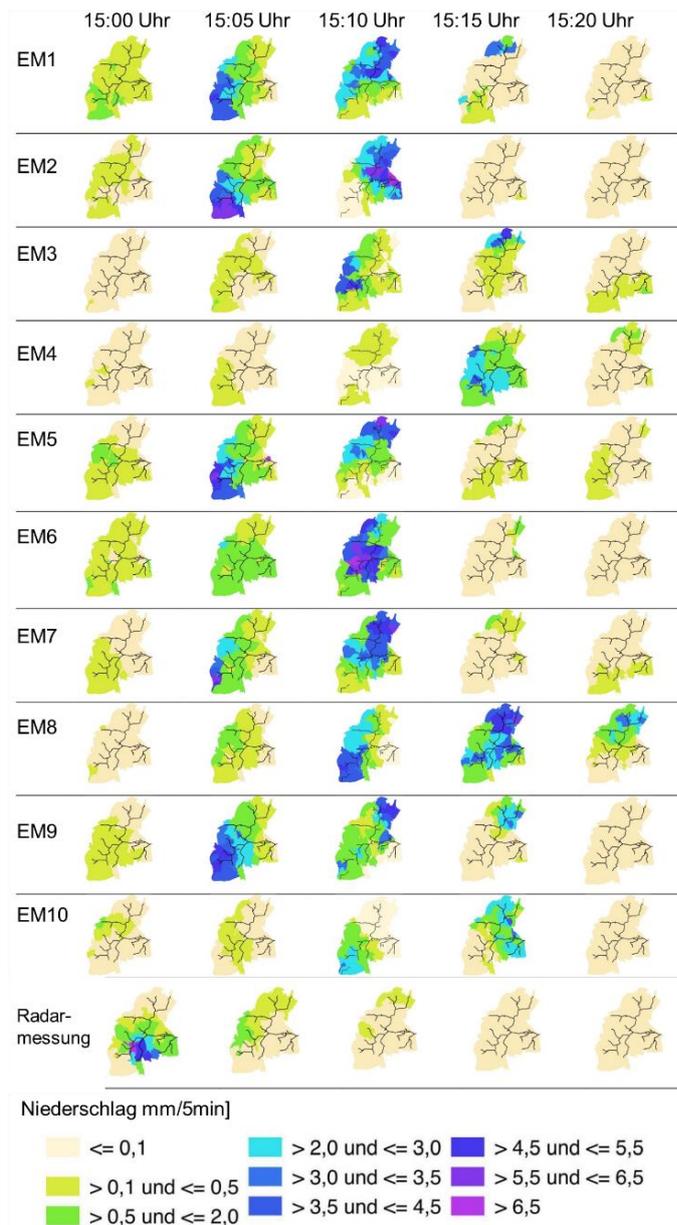


Abb. 31: Ergebnis der Vorhersage Ensemble Niederschlagsdatensätze

Die Vorhersage-Ensemble Datensätze wurden in das hydrologische Modell der Kollau importiert und die Abflüsse am Unterlauf der Kollau in Abb. 31 graphisch aufgetragen. Deutlich zu

erkennen ist die Spannweite der unterschiedlichen Vorhersage-Ensembles. Das Simulationsergebnis der Radarmessung ist schwarz-gestrichelt dargestellt. Der Umgang mit der Spannweite der unterschiedlichen Vorhersageergebnisse wird ein wichtiger Punkt im Projekt Stück sein.

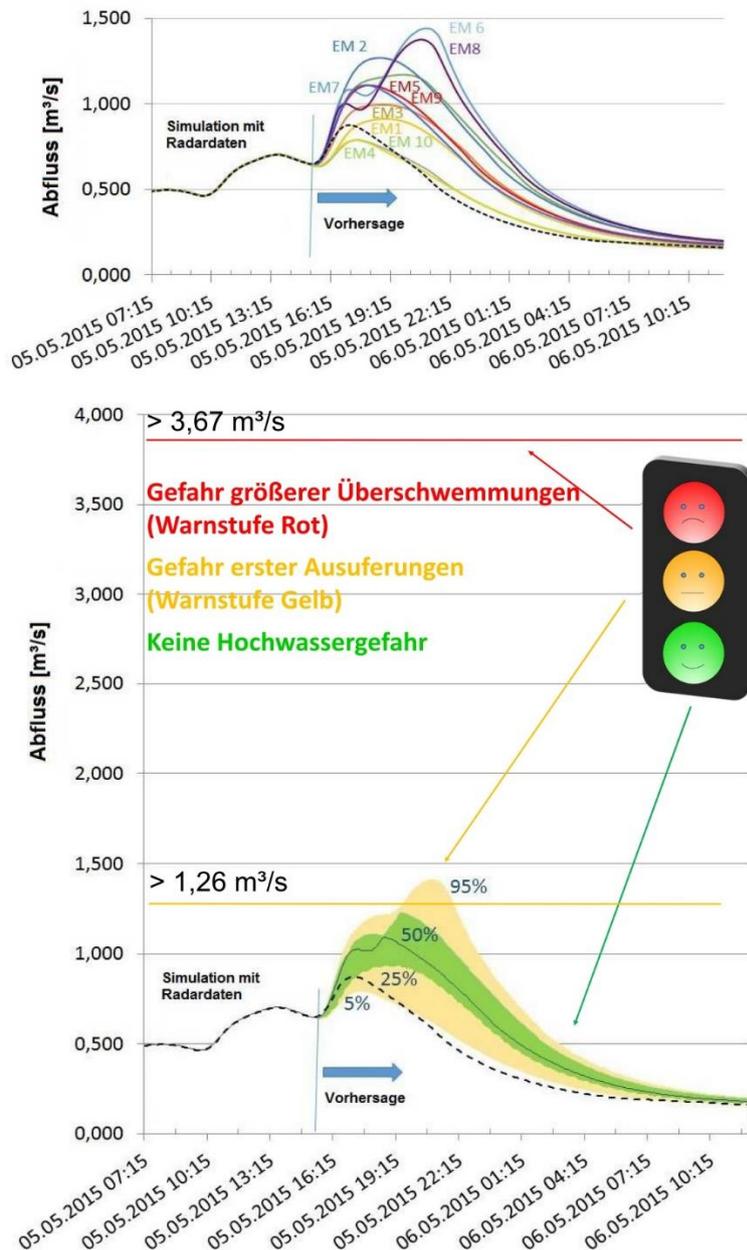


Abb. 32: Abflussberechnungen der 10 Nowcast Ensemble Member (oben) und Bewertung des Hochwasserrisikos mittels definierter Warnstufen für betrachtete Pegel unter Verwendung von Schlüsselkurven.

Auf Basis dieser beginnenden Aufbereitung der Vorhersage-Ensemble Datensätze im ersten Jahr, erfolgt im Verlauf des Projekts die Erstellung eines Online-Systems zum Import und

Processing der Kurzzeit-Vorhersage Daten in Zusammenarbeit der Projektpartner hydro & meteo, TUHH und LSBG.

Die Ergebnisse der Ensemble Radar Nowcasts (Abb. 31) und der Ensemble Abfluss Nowcasts (Abb. 32) können der Optimierung des Warndienstes Binnenhochwasser Hamburg (WaBiHa: <http://www.wabiha.de>) dienen (Abb. 33).

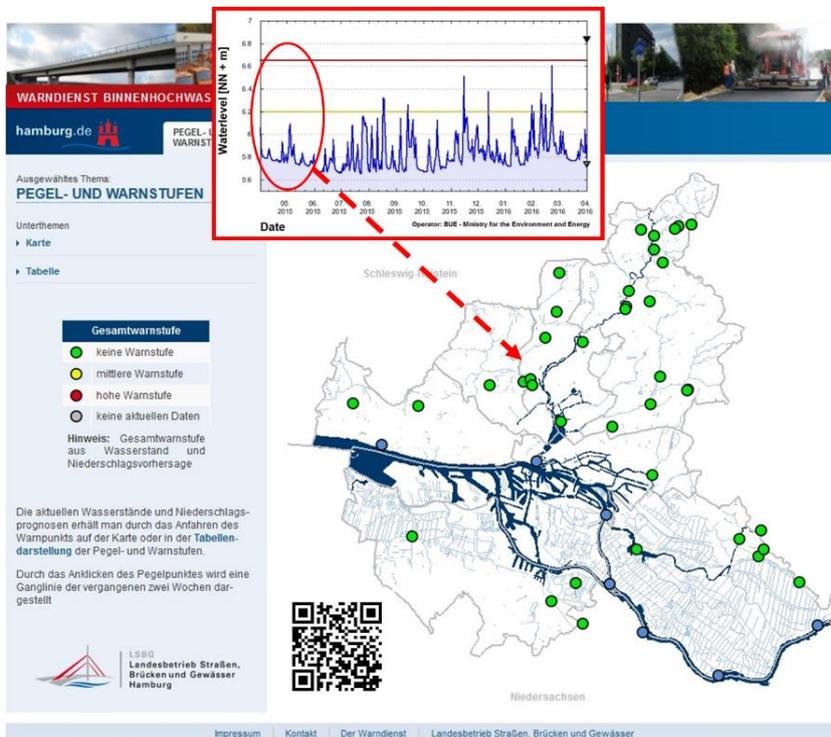


Abb. 33: Warndienst Binnenhochwasser Hamburg (WaBiHa).

## 5.4 Optimierung des Flächenmanagements unter Berücksichtigung bestehender und zukünftig geplanter Nutzungen (AP 2.5)

Im Rahmen dieses Arbeitspaktes erfolgt die Erarbeitung von bestehenden und zukünftigen Nutzungen, die als mögliche zukünftige Szenarien in die Simulationen eingehen. Die Szenarien werden interdisziplinär mit allen Projektpartnern definiert und sind in einem ersten Entwurf aufgezeichnet worden. Die konkreten Arbeiten am optimierten Flächenmanagement sind erst für das Jahr 2017 geplant, nachdem die Implementierungen im AP 2.3 und AP 2.4 abgeschlossen sind.

## 6 Ökologie urbaner Fließgewässer (AP 4, Universität Hamburg)

In diesem Arbeitspaket werden sowohl die Vegetation als auch der Boden untersucht. Innerhalb der Modellregion Kollau werden neben dem eigentlichen Gewässer auch der Vorfluter Tarpenbek und die in die Kollau mündende Mühlenau sowie die zufließenden Gräben bei der Analyse der Vegetation und des Bodens im aktuellen Zustand und unter sich ändernder Gewässerbewirtschaftung betrachtet. Dies geschieht auf Grund der Tatsache, dass die drei Gewässer ein zusammenhängendes Fließgewässersystem im Hamburger (Nord-)Westen bilden, so dass die Hochwasserproblematik an der Kollau nicht separat betrachtet werden kann. In diesem Einzugsgebiet fanden in der Vergangenheit zahlreiche wasserbauliche Maßnahmen statt, insbesondere die Anlage von Regen- und Hochwasserrückhaltebecken sowie Eingriffe in den Verlauf der Gewässer. Trotzdem treten bei starken Abflüssen Überschwemmungen im urbanen Bereich auf.

Besonderer Fokus wird auf die Vegetation von Rückhaltebecken und Retentionsflächen gelegt, da über diese die Hochwasser-Entwässerung im Fließgewässersystem gewährleistet wird. Für die Modellregion Dove-Elbe werden vorherrschend die eingedeichten Flächen des Unterlaufs, von der Tatenberger Schleuse bis zur Krapphofschleuse betrachtet, die das durch die Hansestadt Hamburg festgesetzte Überschwemmungsgebiet Dove-Elbe darstellen. Grundsätzlich wird in beiden Modellregionen sowohl die Gewässervegetation als auch die Vegetation der Ufer und der angrenzenden Flächen untersucht.

Die bodenkundlichen Untersuchungen werden auf ausgewählten Überschwemmungsflächen und in einer Auswahl von Rückhaltebecken in den Modellregionen Kollau und Dove-Elbe durchgeführt. Übergeordnetes Ziel ist es, die Böden beider Modellregionen auf ihre ökologischen Funktionen im Ist-Zustand und unter sich ändernder Gewässerbewirtschaftung zu analysieren und zu bewerten. Die folgenden Abschnitte stellen den Bearbeitungsstand sechs Monate nach Beginn des Projekts dar.

Die Analyse von Ökosystemleistungen (ÖSL) ist ein wichtiges Instrument um die Bedeutung von Ökosystemen für den Menschen umfassend zu charakterisieren und deren Wichtigkeit interdisziplinär zu verdeutlichen (Kap. 7.2). Seit den Berichten von Brunotte et al. (2009) und Scholz et al. (2012) existiert eine detaillierte Beschreibung der wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und ihren Überschwemmungsgebieten. Von diesen Autoren werden mit Bezug auf die Böden genannt:

- Wasserrückhaltevermögen
- Kohlenstofffestlegung
- Schadstoffretention

Diese Auswahl bildet die Basis für die Analyse der ökologischen Funktionen von Böden in den Überschwemmungsgebieten im Stuck Projekt.

## 6.1 Darstellung des Ist-Zustandes im Hinblick auf die EG-WRRL (AP 4.1)

In diesem Arbeitspaket soll nach einer Literaturrecherche eine zusammenfassende Darstellung des Ist-Zustandes von Kollau und Dove-Elbe sowie deren Nebengewässern nach EG-Wasserrahmenrichtlinie erfolgen. Nach einer vorläufigen Literaturrecherche sind hier erste Ergebnisse für die biologische Qualitätskomponente Makrophyten für die Dove-Elbe (Oberflächenwasserkörper bi\_15) dargestellt.

Für die Untersuchung der biologischen Qualitätskomponente Makrophyten an der Dove-Elbe wurden im Jahr 2008 vier Probestellen ausgewählt (Abb. 34), wobei sich deutliche Unterschiede bezüglich des Vorkommens von Makrophyten zeigten. Von den insgesamt 13 gefundenen Makrophytenarten kamen alleine 12 Arten an der Probestelle Db O im Oberlauf der Dove Elbe vor. Mit *Hydrocharis morsus-ranae* (Europäischer Froschbiss; RL HH V), *Potamogeton pectinatus* (Kamm-Laichkraut; RL HH 3), *Potamogeton trichoides* (Haarblättriges Laichkraut; RL HH 3) und *Zannichellia palustris* (Sumpf-Teichfaden; RL HH 1) kamen vier Arten der Hamburger Roten Liste an dieser Probestelle vor (vgl. Poppendieck et al. 2010). Auf Grund des Vorkommens wertgebender Arten für den Gewässertyp „schmale bis mittelbreite geestbeeinflusste Marschgewässer“ wurde die Probestelle Db 0 mit einem guten (2) ökologischen Potenzial für diese Teilkomponente bewertet. An den Probestellen Db 2-1 und Db 5-2 kamen mit *Nuphar lutea* (Große Teichrose) und *Zannichellia palustris* (Sumpf-Teichfaden) jeweils nur eine Makrophytenart vor, sodass hier ein schlechtes (5) ökologisches Potenzial für die Teilkomponente Makrophyten für den Gewässertyp „breite geestbeeinflusste Marschgewässer“ vorliegt. Keine Makrophyten wurden hingegen an der Probestelle Db 5-1 gefunden, welches ebenfalls eine schlechte (5) Bewertung des ökologischen Potenzials ergibt (Planula 2008; Stiller 2010).

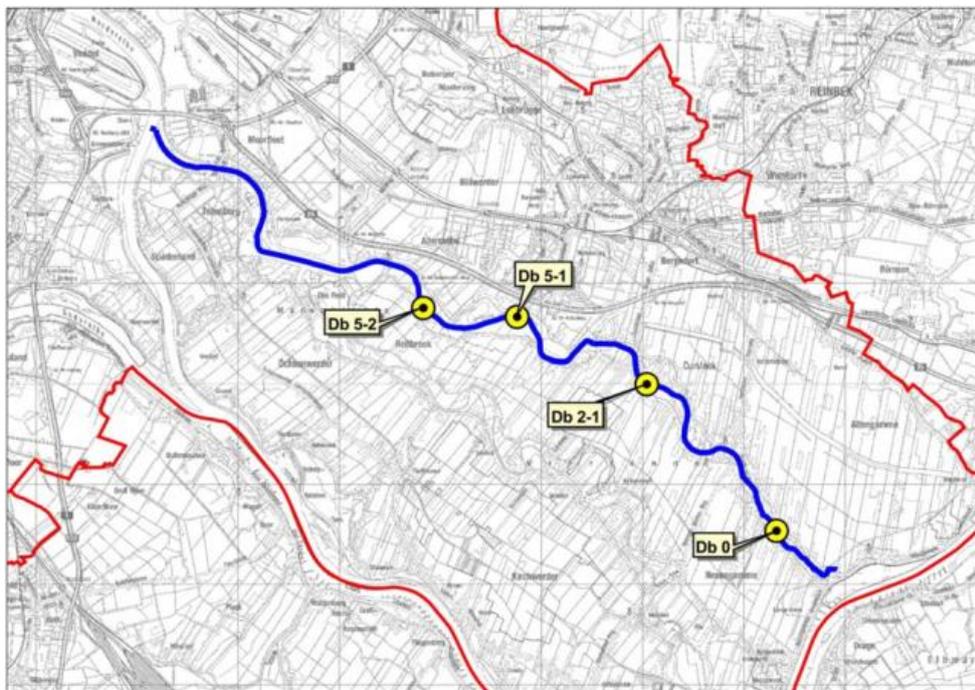


Abb. 34: Lage der Probestellen für die Untersuchung der biologischen Qualitätskomponente Makrophyten an der Dove-Elbe (OWK bi\_15). Quelle: Planula 2008.

Im Sommer 2016 soll die bereits begonnene Literaturrecherche zum Ist-Zustand der Gewässer nach Wasserrahmenrichtlinie abgeschlossen werden, die Berichte und Gutachten gesichtet und ausgewertet werden und die Ergebnisse abschließend in einem Bericht zusammengefasst werden.

## 6.2 Vegetation (AP 4.2)

In dem Arbeitspaket 4.2. soll der aktuelle Zustand der Vegetation sowie der Zustand der Vegetation unter sich ändernder Gewässerbewirtschaftung in den Modellregionen analysiert werden. Für die Modellregion Kollau wurde eine Untersuchung zur Vegetationsentwicklung eines Rückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion begonnen. Des Weiteren erfolgten Planungen zu einer Untersuchung zum Ist-Zustand der Vegetation von Retentionsflächen und zu einem Mesokosmenexperiment zum Einfluss der Dauer von Trockenphasen auf die Vegetation von Rückhaltebecken bei einem simuliertem Ablassen des Wassers bei vorhergesagten Starkniederschlägen. Für die Modellregion Dove-Elbe wurde eine Untersuchung zur Vegetationsentwicklung seit der Abdämmung im Jahr 1951 entlang der Dove-Elbe konzipiert. Im Folgenden wird ausführlich auf die Untersuchung zur Vegetationsentwicklung eines Rückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion eingegangen und im Anschluss kurz die für 2016 geplante Untersuchung zur Vegetationsentwicklung entlang der Dove-Elbe nach der Abdämmung beschrieben.

### 6.2.1 Vegetationsentwicklung eines Rückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion

Das Rückhaltebecken dieser Untersuchung befindet sich auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich des Farnhornstiegs im Hamburger Stadtteil Eidelstedt (Abb. 35). Nach dem Abriss des Fabrikgebäudes im Jahr 1998 erfolgte auf der Fläche eine Bodensanierung durch Bodenaustausch, nach deren Ende eine Ausmuldung zurückblieb, welche als Retentionsmulde dienen sollte. Auf Grund von ausbleibenden Pflegemaßnahmen entwickelte sich auf der Fläche ein Sumpfwald mit *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) und verschiedenen *Salix*-Arten (Weiden; Abb. 36), wodurch die Retentionsfunktion des Beckens eingeschränkt wurde. Im Februar 2016 erfolgte die Wiederherstellung der Retentionsfunktion des Beckens (Abb. 37). Hierfür wurde ein Großteil des Sumpfwaldes gerodet und die Sohle profiliert, so dass ein wellenartiges Profil entstand. Da der Boden nicht großflächig abgetragen wurde, besteht die Möglichkeit, dass sich die Vegetation in den folgenden Jahren aus der Samenbank reetablieren kann.



Abb. 35: Lage des Rückhaltebeckens Farnhornstieg auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich der Straße Farnhornstieg. Dargestellt sind zudem die fünf Zonen (Fläche, Gerinne, Sumpfwald, untere Böschung und obere Böschung), die im Zuge der Baumaßnahmen zur Wiederherstellung der Retentionsfunktion eingerichtet werden. Kartenquelle: Google Maps 2016.



Abb. 36: Vegetation des Rückhaltebeckens auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich des Farnhornstiegs im Juni 2015. Die Baum- und Strauchschicht wird dominiert von *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) und verschiedenen *Salix*-Arten (Weiden). In der Krautschicht finden sich, neben typischen Feuchtezeigern wie *Scirpus sylvaticus* (Wald-Simse), ruderale, stickstoffliebende Arten wie *Urtica dioica* (Große Brennnessel). Foto: N. Lenzewski.



Abb. 37: Gerodetes Rückhaltebecken auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich des Farnhornstiegs im Februar 2016. Auf der linken Seite erkennt man den erhaltenen Teil des Sumpfwaldes. Foto: N. Lenzewski.

Es soll analysiert werden, wie sich die Vegetation nach der Wiederherstellung eines eingeschränkt funktionsfähigen Rückhaltebeckens entwickelt. Hierfür wurden, ausgehend von der Planung des zukünftigen Rückhaltebeckens, fünf verschiedene Zonen identifiziert, die im Folgenden kurz beschrieben werden (Abb. 35). Durch das Gerinne soll die Mühlenau das Becken von Südosten nach Nordwesten durchfließen (Gerinne), wobei die ebenen Flächen seitlich vom Gerinne im Bedarfsfall überflutet werden können (Fläche). Im westlichen Teil des Beckens verbleibt ein Rest des Sumpfwaldes, da dieser mittlerweile nach §30 BNatSchG als gesetzlich geschützt gelten müsste (plan.et 2015). Begrenzt wird das Rückhaltebecken durch eine Böschung (untere Böschung), die im Nordosten in eine Ebene ausläuft (obere Böschung). Pro Zone wurden fünf Untersuchungsplots à 1 m<sup>2</sup> randomisiert ausgewählt. Im August 2015 erfolgte die Erhebung der Vegetation des Beckens vor der Wiederherstellung der Retentionsfunktion. Hierfür wurden Vegetationsaufnahmen an den Untersuchungsplots durchgeführt und der Wassergehalt in Prozent und das Redox-Potenzial des Bodens gemessen. Zusätzlich wurden Bodenproben entnommen und im Labor der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit in µS bestimmt. Um das Potenzial einer natürlichen Reetablierung der Vegetation zu untersuchen wurden Samenbankproben an den Untersuchungsplots entnommen, die nach einer mehrwöchigen Kälte-Stratifikation im Gewächshaus zur Keimung ausgebracht wurden. In den Sommermonaten 2016 und 2017 soll jeweils eine erneute Erfassung der Vegetation durchgeführt werden. Im Folgenden werden hier kurz erste Teilergebnisse der Vegetationserhebung vor der Wiederherstellung der Retentionsfunktion dargestellt.

Vor der Reaktivierung bestand die Baum- und Strauchschicht des Rückhaltebeckens Farnhornstieg vorherrschend aus feuchteliebenden Gehölzen wie *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) und verschiedenen *Salix*-Arten (Weiden). Mit Hilfe des Ellenberg Feuchtwerts lassen sich Pflanzenarten hinsichtlich ihrer Präferenz im Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit klassifizieren, wobei die Werte zwischen 1 (Starktrockniszeiger) und 12 (Unterwasserpflanze) liegen können. In der Krautschicht fanden sich neben Nässezeigern mit einem Ellenberg Feuchtwert

von 9 und 8 wie *Calamagrostis canescens* (Sumpf-Reitgras) oder *Lythrum salicaria* (Gewöhnlicher Blutweiderich) auch Wechselwasserzeiger wie *Phragmites australis* (Schilf) mit einem Feuchtwert von 10. Hinzu traten Arten mit deutlich niedrigeren Feuchtwerten bis 6 wie *Glechoma hederacea* (Gewöhnlicher Gundermann) oder *Calystegia sepium* (Gewöhnliche Zaunwinde). Die Arten der oberen Böschungen haben fast ausschließlich niedrige Feuchtwerte von 6 bis 4, während unter den Arten der unteren Böschung auch Arten mit höheren Zeigerwerten vertreten waren. Im Sumpfwald und den ebenen Flächen des Beckens wurden im Mittel die geringsten Artenzahlen mit 3 bzw. 4 Arten gefunden. Mit 6 Arten wurden in den Untersuchungsplots des zukünftigen Gerinnes und der unteren Böschung leicht höhere Artenzahlen ermittelt. Die höchste Artenzahl mit im Mittel 12 Arten konnte in der oberen Böschung festgestellt werden (Abb. 38a). Hinsichtlich der Artenzahl unterscheiden sich die Zonen höchst signifikant voneinander (ANOVA:  $F=13,0$ ;  $p<0,001$ ), wobei sich die Artenzahl der oberen Böschung signifikant von den Artenzahlen der anderen Zonen unterscheidet (Tukey-HSD Post-Hoc-Tests). Die mittleren Ellenberg Zeigerwerte für Feuchte nehmen von den ebenen Bereichen des Beckens (Fläche, Gerinne und Sumpfwald) zu den zwei Böschungsbereichen ab. So lag der mittlere Zeigerwert für Feuchte in der Fläche und im zukünftigen Gerinne bei 8,4 bzw. 8,0. Die Untersuchungsplots im Sumpfwald wiesen mit 9,1 im Mittel einen höheren Zeigerwert auf. Deutlich niedrigere Zeigerwerte zeigten die Untersuchungsplots der unteren Böschung mit 6,6 und oberen Böschung mit 5,7 (Abb. 38b). Der mittlere Ellenberg Zeigerwert für Feuchte unterschied sich höchst signifikant zwischen den Zonen (ANOVA:  $F=11,5$ ;  $p<0,001$ ), wobei sich der Zeigerwert der oberen Böschung signifikant von den Zeigerwerten der Fläche, des Gerinnes und des Sumpfwaldes unterschied (Tukey HSD Post-Hoc-Test).

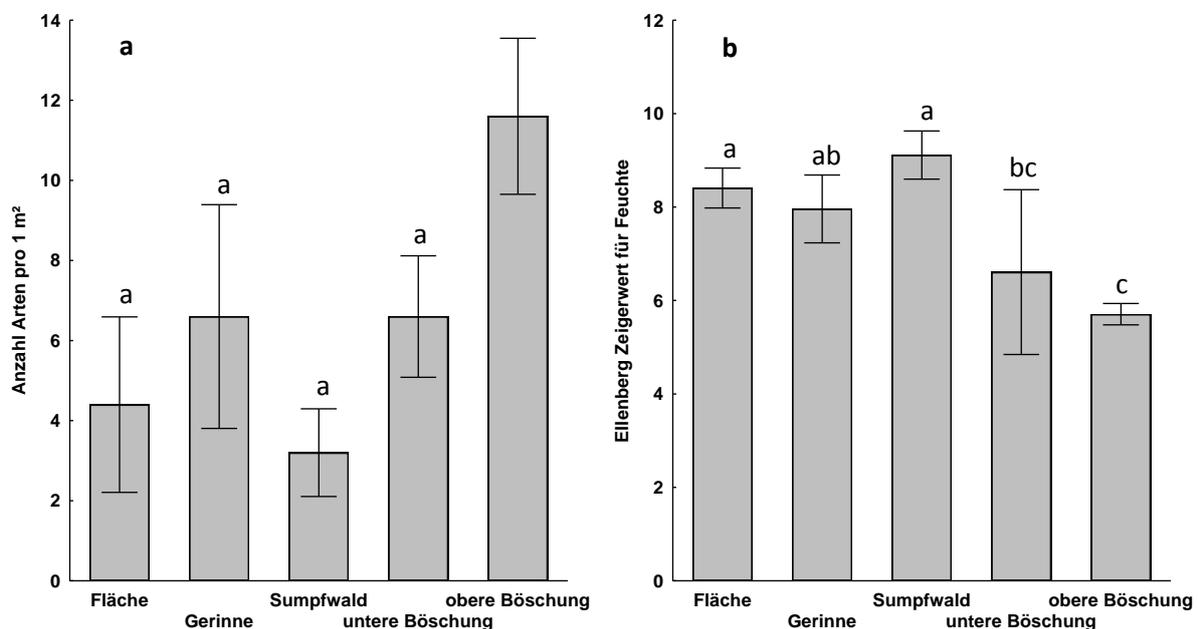


Abb. 38: Anzahl Arten pro 1 m<sup>2</sup> (a) und gewichteter mittlerer Ellenberg Zeigerwert für Feuchte (Ellenberg et al. 1991) (b) der Untersuchungsflächen in den unterschiedlichen Zonen (Fläche, Gerinne, Sumpfwald, untere Böschung und obere Böschung) des Rückhaltebeckens Farnhornstieg. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Gruppen (Tukey HSD Post-Hoc-Test).

In den Samenbankproben sind bis Ende Februar insgesamt 48.168 Keimlinge von bisher 35 identifizierten Arten aufgelaufen (Abb. 39), wobei ein Großteil der Arten nicht in der bestehenden Vegetation gefunden wurde. Das Artenspektrum reicht von ausgesprochenen Trocken- bis Frischezeigern mit einem Ellenberg Zeigerwert für Feuchte von 4 bis hin zu Nässezeigern mit einem Wert von 9. Zu Letzteren zählen die gefundenen Arten *Epilobium parviflorum* (Kleinblütiges Weidenröschen), *Glyceria fluitans* (Flutender Schwaden), *Lycopus europaeus* (Ufer-Wolfstrapp), *Poa palustris* (Sumpf-Rispengras) und *Ranunculus sceleratus* (Gift-Hahnenfuß). Diese Arten wurden zu einem Großteil in den ebenen Bereichen des Beckens gefunden (Fläche, Gerinne, Sumpfwald), so dass bereits vor dem Ende der Samenbankuntersuchung davon ausgegangen werden kann, dass sich nach der Wiederherstellung der Retentionsfunktion bei entsprechenden hydrologischen Bedingungen eine typische Vegetation aus feuchteliebenden Arten aus der Samenbank reetablieren kann.



Abb. 39: Aufgelaufene Keimlinge aus einer Samenbankprobe vom 11.08.2015 aus dem zukünftigen Gerinne des Rückhaltebeckens Farnhornstieg. Aufnahme 23 Tage nach Beginn der Samenbankuntersuchung. Foto: N. Lenzewski

## 6.2.2 Vegetationsentwicklung entlang der Dove-Elbe seit der Abdämmung im Jahr 1951

Zur Vegetation der unteren Dove-Elbe liegt eine Diplomarbeit von Meyer (1954) vor, der die Vegetation der Dove-Elbe zwischen Krapphofschleuse und (heutiger) Tatenberger Schleuse sowohl kurz vor als auch kurz nach der Abdämmung untersuchte. Insgesamt wurden 100 Untersuchungsflächen (Abb. 40) auf ihre Artenzusammensetzung hin untersucht und daraufhin die vorkommenden Pflanzengesellschaften bestimmt. Vor der Abdämmung konnte Meyer (1954) im Gebiet die folgenden Pflanzengesellschaften feststellen: Röhrichte, *Archangelica*-Gesellschaften, Rohrglanzgraswiesen, feuchte Fettwiesen, Ufer- und Schlenkengesellschaft-

ten, Kriechhahnenfußrasen und Fettweiden. Bereits wenige Jahre nach der Abdämmung konnten Unterschiede in der Vegetation festgestellt werden. Durch den Wegfall des täglichen Tide-Einflusses kam es zu einer Abnahme der mittleren Ellenberg Feuchtigkeitszahl der Untersuchungsflächen. Pflanzengesellschaften im Übergangsbereich von aquatischen und terrestrischen Lebensräumen wie *Archangelica*- und Schlämmlingsgesellschaften gingen verloren und damit einhergehend kam es auch zum Verlust von Arten der Roten Liste wie z.B. *Hippuris vulgaris* (Gewöhnlicher Tannenwedel, RL HH 1) und *Limosella aquatica* (Gewöhnliches Schlammkraut, RL HH 1). Im Sommer 2016 soll die Vegetation auf einer Auswahl der von Meyer (1954) untersuchten Flächen erneut erfasst und diese Ergebnisse mit denen aus den 1950er Jahren verglichen werden.

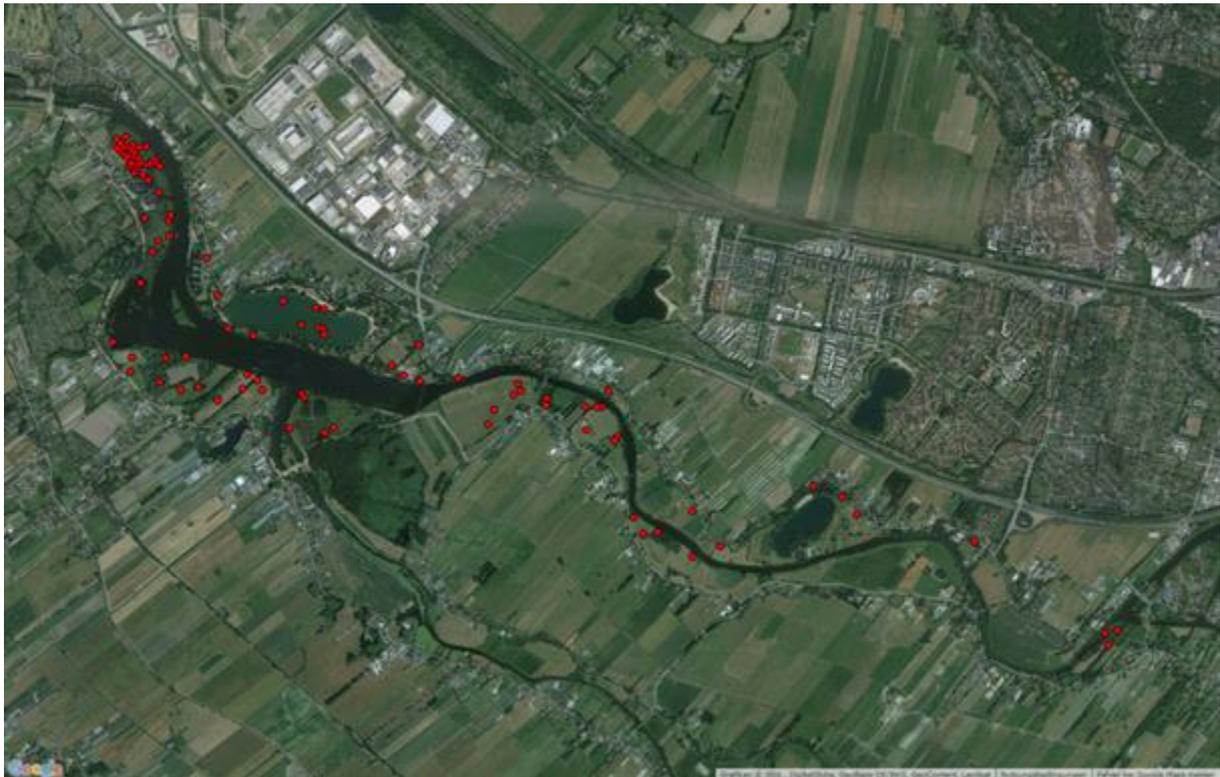


Abb. 40: Verteilung der Untersuchungsflächen von Meyer (1954) entlang der Dove-Elbe zwischen der Krapphofs Schleuse und Tatenberger Schleuse. Kartenquelle: Google Maps 2016

Im Frühjahr 2016 sollen die Planungen für die Vegetationsuntersuchung von Retentionsflächen und das Mesokosmen-Experiment zum Einfluss der Dauer von Trockenphasen auf die Vegetation von Rückhaltebecken abgeschlossen werden. Die Untersuchung zur Vegetationsentwicklung entlang der Dove-Elbe seit der Abdämmung im Jahr 1951 erfolgt in der Vegetationsperiode 2016, so dass im Herbst mit der Datenauswertung begonnen werden kann. Parallel dazu erfolgen Planungen für weitere Untersuchungen zur Vegetation in den Modellregionen.

### 6.3 Kartierung und Analyse der Ressource Boden (AP 4.3)

In diesem Arbeitspaket werden für beide Modellregionen die Verbreitung und die Eigenschaften der Böden in den von Überschwemmung betroffenen Teilflächen erfasst.

Die Standortauswahl für eine bodenkundliche Kartierung an der Kollau umfasst sieben HQ 100 Überschwemmungsflächen (Abb. 41). An jedem der Standorte wurde bisher eine Bohrstockkartierung bis in 2 m Tiefe und an vier Standorten ein zusätzliches Leitprofil angelegt. Eine Probenentnahme erfolgte pro Profil für eine weiterführende Analytik. Als Kartiergrundlage dient die bodenkundliche Kartieranleitung (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2005).

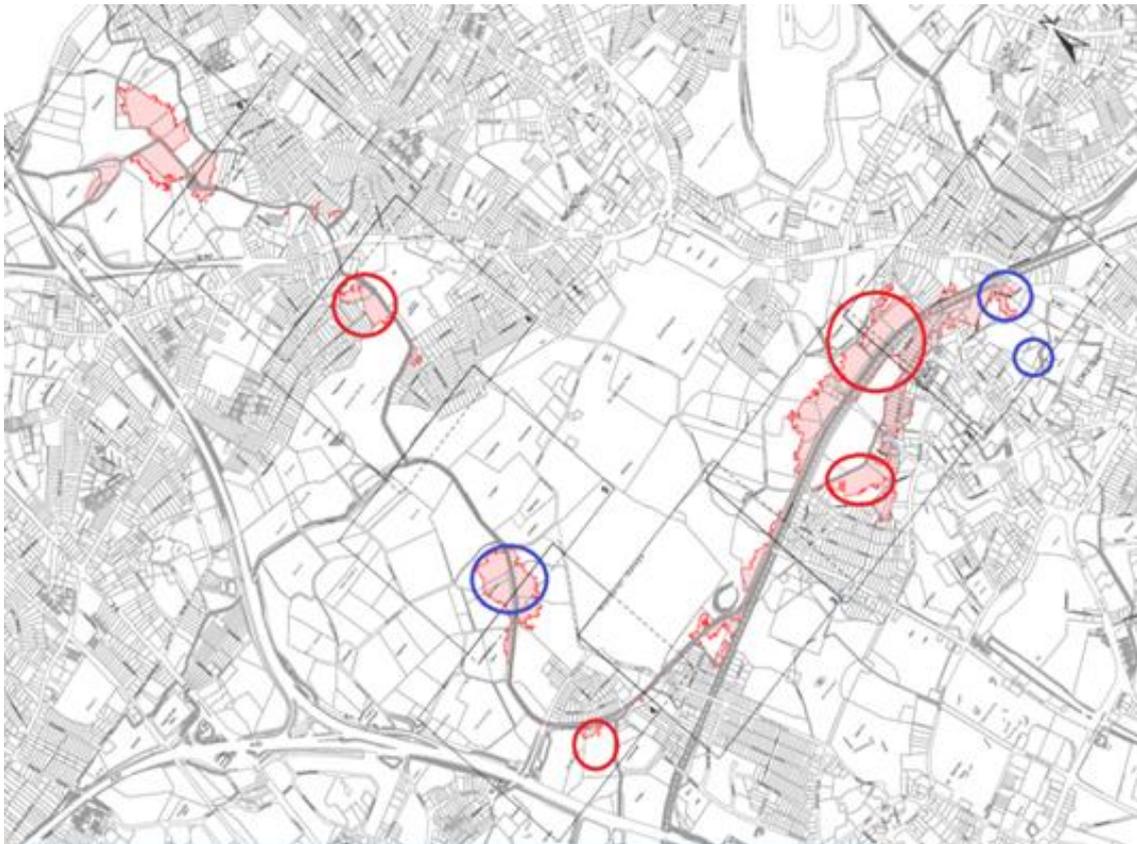


Abb. 41: Kartiergebiete an der Kollau; rote Kreise: Kartierung, blaue Kreise: Kartierung und Probenentnahme; Quelle: LSBG, Kartengrundlage LGV.

In dem Gebiet dominieren Böden aus der Klasse der Gleye. Je nach Standorteigenschaften traten unterschiedliche Subtypen auf. Der Oberlauf der Kollau liegt in einem ländlichen Raum mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlicher Nutzung. Hier sind an sehr feuchten Standorten Subtypen des Norm-Nassgleye (Abb. 42) und an besser belüfteten Standorten Brauneisengleye (Abb. 42) anstehend. Unter Waldflächen sind Varietäten des Podsol-Gleys häufig. Der Unterlauf der Kollau liegt in einem Siedlungsbereich. Hier sind die oberen Horizonte der Böden durch Aufschüttungen und Umgrabungen von Siedlungsbauerschutt stark gestört. Ehemals natürliche Oberbodenhorizonte können unter aufgeschüttetem Material reliktsch

vorliegen. In diesem Bereich ist der dominierende Subtyp ein Kolluvisol-Gley (Abb. 42). In Niederungen sind, aufgrund der in den oberen Horizonten großflächig vorhandenen Niedermoortorfe (Relikte der hier ehemals ausgedehnten Moore), dominierend Anmoorgleye ausgewiesen worden. Das Substrat im Kollau Einzugsgebiet zeichnet sich durch einen Wechsel von Geschiebelehm, Schmelzwassersanden, Niederungssanden und Flugsanden aus (Krons 1989). Als dominierende Bodenart konnten daher Sande ausgewiesen werden, lokal aber auch Lehme mit Einflüssen von Wasserstau.



Abb. 42: Subtypen des dominierenden Bodentyps Gley an der Kollau; links: Oberlauf – Norm-Nassgley und Brauneisengley; rechts: Unterlauf- Kolluvisol-Gleye; Fotos: K. Kalinski.

Eine Probenentnahme wurde an zwei Profilen im ländlichen Bereich des Oberlaufes und an zwei Profilen im siedlungsdominierten Unterlauf durchgeführt. Die Proben wurden nach den in Tab. 11 aufgeführten Parametern analysiert. Die Auswertung der Ergebnisse ist in Bearbeitung und wird 2016 abgeschlossen. Die Ergebnisse fließen in die weitere Analyse der ökologischen Funktionen und in die Modellierungen der Modellregionen ein. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Behörde für Umwelt und Energie für eine Aktualisierung der bodenkundlichen Datenbank zur Verfügung gestellt.

Eine Auswahl von 11 Rückhaltebecken soll im Kollau Einzugsgebiet untersucht werden. Nach den bisherigen Kartierungen konnte in den Uferbereichen als dominierender Subtyp ein Kolluvisol-Gley und in den überstauten Bereichen ein Sapropel ausgewiesen werden. Die Kartierung aller ausgewählten Rückhaltebecken wird bis zum Juni 2016 abgeschlossen sein.

Tab. 11: Bodenkundliche Parameter zur Laboranalytik.

Analytik					
Bodenphysik		Bodenchemie		Bodenbiologie	
Parameter	Einheit	Parameter	Einheit	Parameter	Einheit
Korngrößenverteilung	%	pH		Basalatmung	µmCO <sub>2</sub> /TGd
Partikeldichte	g/cm <sup>3</sup>	Leitfähigkeit	µS/cm	SIR	µmCO <sub>2</sub> /TGd
Lagerungsdichte	g/cm <sup>3</sup>	Kohlenstoff (ges/org/anorg)	%	Biomasse	mg/kg
Substanzvolumen	%	C/N Verhältnis			
Porenvolumen	%	Stickstoff (gesamt)	%		
vol. Wassergehalt	%	Eisen und Mangan	g/kg		
Wasserleitfähigkeit (ges. und unges.)	cm/d	Kalium und Phosphor	mg/kg		
		Kationenaustauschkapazität	mmoleq/kg		
		PAK	µg/kg		

Eine bodenkundliche Kartierung in der Modellregion Dove-Elbe wird zusammen mit der angewandten Pflanzenökologie durchgeführt. Zwischen der Tatenberger Schleuse und der Krapphofs Schleuse sollen die Vegetationsaufnahmen von Meyer (1954) mit heutigen Vegetationsaufnahmen verglichen werden. Parallel zu den heutigen Vegetationsaufnahmen, werden die Böden vor Ort kartiert und ausgewählte bodenkundliche Parameter im Labor analysiert. Die Vegetationsaufnahme und die bodenkundliche Kartierung werden im Sommer 2017 stattfinden.

## 6.4 Kohlenstoff (AP 4.4)

In diesem Arbeitspaket werden Pools und Prozesse des Kohlenstoffkreislaufs in den Modellregionen untersucht, wobei die Vegetation und der Boden parallel betrachtet werden.

Die Kohlenstofffestlegung in Überschwemmungsgebieten kann durch die Folgen des Klimawandels (längere Trockenphasen und Starkregenereignisse) und die aufgrund dessen notwendigen Anpassungen der Gewässerbewirtschaftung stark beeinträchtigt werden. Einige Studien konnten sogar eine Umkehrung von der Kohlenstofffestlegung zu einer vermehrten Kohlenstoffemission zeigen (Groffman et al. 2003). Eine genaue Kenntnis der Steuerungsfaktoren der Kohlenstofffestlegung in urbanen Überschwemmungsgebieten ist sehr wichtig, um auf Folgen des Klimawandels reagieren zu können. Einige Studien konnten zeigen, dass der Kohlenstoffhaushalt in einem ÜSG stark vom Bodenwassergehalt (Pacific et al. 2008), dem Eintrag an organischer Substanz durch Überflutungen (Samaritani et al. 2011) und der Landnutzung (Zehetner et al. 2009) abhängt. In urbanen Räumen wird die Kohlenstofffestlegung zusätzlich durch urbane Nutzungen und häufige Bodenumlagerungen überprägt. In

welcher Art und Intensität die Kohlenstofffestlegung entlang urbaner Fließgewässer stattfindet ist bislang noch nicht genügend erforscht.

Im Hinblick auf die Vegetation wird ein Großteil des Kohlenstoffs in Gehölzen langfristig gespeichert, während die Festlegung in krautiger Vegetation nur eine kurzfristige Festlegung darstellt. Auf Grund des Fehlens von großflächigen Auengehölzen muss auf eine Betrachtung der langfristigen Festlegung von Kohlenstoff in der Vegetation in diesem Projekt verzichtet werden. Die kurzfristige Festlegung von Kohlenstoff in der krautigen Vegetation kann jedoch mit Hilfe von Vergleichen der Biomasse zwischen verschiedenen Standorten erfolgen. Die Planung einer Untersuchung zur kurzfristigen Festlegung von Kohlenstoff in der krautigen Vegetation wird im Frühjahr 2016 in enger Abstimmung mit der Bodenkunde erfolgen.

Das Arbeitspaket Kohlenstofffestlegung befindet sich noch in der Konzeptionsphase. In der Modellregion Kollau sollen Teilflächen ausgewählt werden, um die Einflussfaktoren des Kohlenstoffhaushaltes zu überprüfen. Insbesondere sollen urbane Faktoren überprüft werden, die womöglich anders auf die Kohlenstofffestlegung einwirken, als die bislang bekannten Faktoren. Das Konzept für die Feldversuche und die Erfassung der urbanen Einflussfaktoren auf den Kohlenstoffhaushalt sind in Planung und sollen bis zum Sommer 2016 abgeschlossen sein.

Der Kohlenstoffhaushalt in den Böden der Rückhaltebecken wird analog zu den Analysen der Überschwemmungsflächen in den genommenen Mischproben bestimmt.

## **6.5 Bodenwasserhaushalt (AP 4.5)**

In diesem Arbeitspaket wird der Bodenwasserhaushalt in den urbanen Überschwemmungsflächen mit unterschiedlichen Landnutzungen untersucht.

Durch die Funktion des Wasserrückhaltes haben Überschwemmungsflächen die Fähigkeit Hochwasserereignisse zu regulieren und zu puffern (Bradley 2002, Tockner und Stanford 2002). Diese Funktion wird jedoch in urbanen Überschwemmungsgebieten im Zuge von erhöhter Flächennutzung (insbesondere Versiegelung) stark eingeschränkt. Inwiefern sich die Landnutzungen im Kollau Einzugsgebiet auf den Bodenwasserhaushalt auswirken und in welcher Form die bestehenden Flächen zu einer Regulation des Hochwassers beitragen können, wird in diesem Arbeitspaket untersucht.

Für die Analyse des Bodenwasserhaushaltes sollen 4-5 Überschwemmungsflächen mit unterschiedlicher Landnutzung (Landwirtschaft, Brache und Siedlungsgebiete) im Kollau Einzugsgebiet ausgewählt werden. Auf den Flächen wird der Bodenwasserhaushalt über 1-2 Jahre detailliert gemessen und Feldexperimente u.a. zur Infiltrationsleistung durchgeführt. Bodenwassermessstationen werden im Frühjahr 2016 eingebaut und eine gleichzeitige Probenentnahme für die Laboranalytik durchgeführt. Nach der Messkampagne werden beim Ausbau erneut Bodenproben entnommen und analysiert, um eventuelle Veränderungen der Bodenfunktionen zu erfassen.

Der Bodenwasserhaushalt in den Böden der Rückhaltebecken wird analog zu den Analysen der Überschwemmungsflächen in den genommenen Mischproben bestimmt.

Die Folgen des Klimawandels und eine veränderte Gewässerbewirtschaftung werden in einem Mesokosmosexperiment in Zusammenarbeit mit der angewandten Pflanzenökologie analysiert. Hierfür werden Bodenkerne samt Vegetation entnommen und in Gewächshausversuchen verschiedenen Trockenperioden ausgesetzt. Der Untersuchungsgegenstand ist die Auswirkung von Trockenphasen auf die Vegetation und den Böden. Im Boden werden vor und nach dem Experiment und nach jeder Trockenperiode die Kohlenstoffgehalte und Emissionen, die Schadstoffkonzentration und der Wassergehalt gemessen. Das Experiment wird im Frühjahr 2017 mit Beginn der Vegetationsperiode starten.

## 6.6 Schadstoffinventar

In diesem Arbeitspaket werden Schadstoffgehalte und Schadstoffdynamiken in den von den urbanen Fließgewässern überprägten Böden erfasst und analysiert.

In der Modellregion Kollau bestehen Überschwemmungsgebiete und 23 Rückhaltebecken, welche an den Gewässern für die Steuerung des Wasserrückhaltes im Hochwasserfall sorgen sollen. Ein Schadstoffeintrag findet in den Überschwemmungsgebieten über periodische Überflutungen und in den Rückhaltebecken über Regenabfluss- und Versickerung statt. Die Art und Konzentration der Schadstoffe unterscheidet sich dabei durch die jeweiligen Wassereinzugsgebiete, welche in der Modellregion Kollau durch unterschiedliche Nutzungen (Landwirtschaft, Autobahn, Industrie und Siedlungen) geprägt sind. Aufgrund von Entschlammungsmaßnahmen wurden bereits an einigen Rückhaltebecken die Sedimente analysiert und nach LAGA-Verordnung (Bertram und Bannick 2004) eingestuft. Dabei konnten LAGA Werte von Z2 bis Z5 in den Rückhaltebecken festgestellt werden, wobei die sehr hohen Werte in Rückhaltebecken an Autobahnen gefunden wurden. Die ausschlaggebenden Schadstoffe für die LAGA Klassen waren: organische Schadstoffe (MKW, PAK, PCB, EOX), Schwermetalle (Zink, Kupfer, Blei, Cadmium), Cyanid und TOC.

Die Recherche über die Eigenschaften und die Bewirtschaftung der Rückhaltebecken ist abgeschlossen. In 11 Rückhaltebecken (Abb. 43) werden die Schadstoffgehalte an verschiedenen Positionen analysiert. Dafür werden Bodenproben von den permanent überstauten und den periodisch überstauten Bereichen entnommen und zu Mischproben zusammengeführt. Die Probennahme erfolgt mit der Beeker Sampler Methode in Transekten quer zur Strömungsrichtung. Vor Ort findet zusätzlich eine Bodenkartierung der Uferbereiche und der überstauten Zonen statt. Im Labor werden neben den gängigen bodenkundlichen Parametern, die Schadstoffe gemäß LAGA-Verordnung analysiert. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, wie stark die Rückhaltebecken belastet sind und wie die Schadstoffe in Fließrichtung bewegt werden können. Die Erkenntnisse sollen dazu beitragen die Senkenfunktion der Rückhaltebecken zu identifizieren. Die Beprobung der Becken ist für April/Mai 2016 vorgesehen. Bisher wurde eine Beprobung des Rückhaltebeckens in der Max-Tau-Straße durchgeführt.

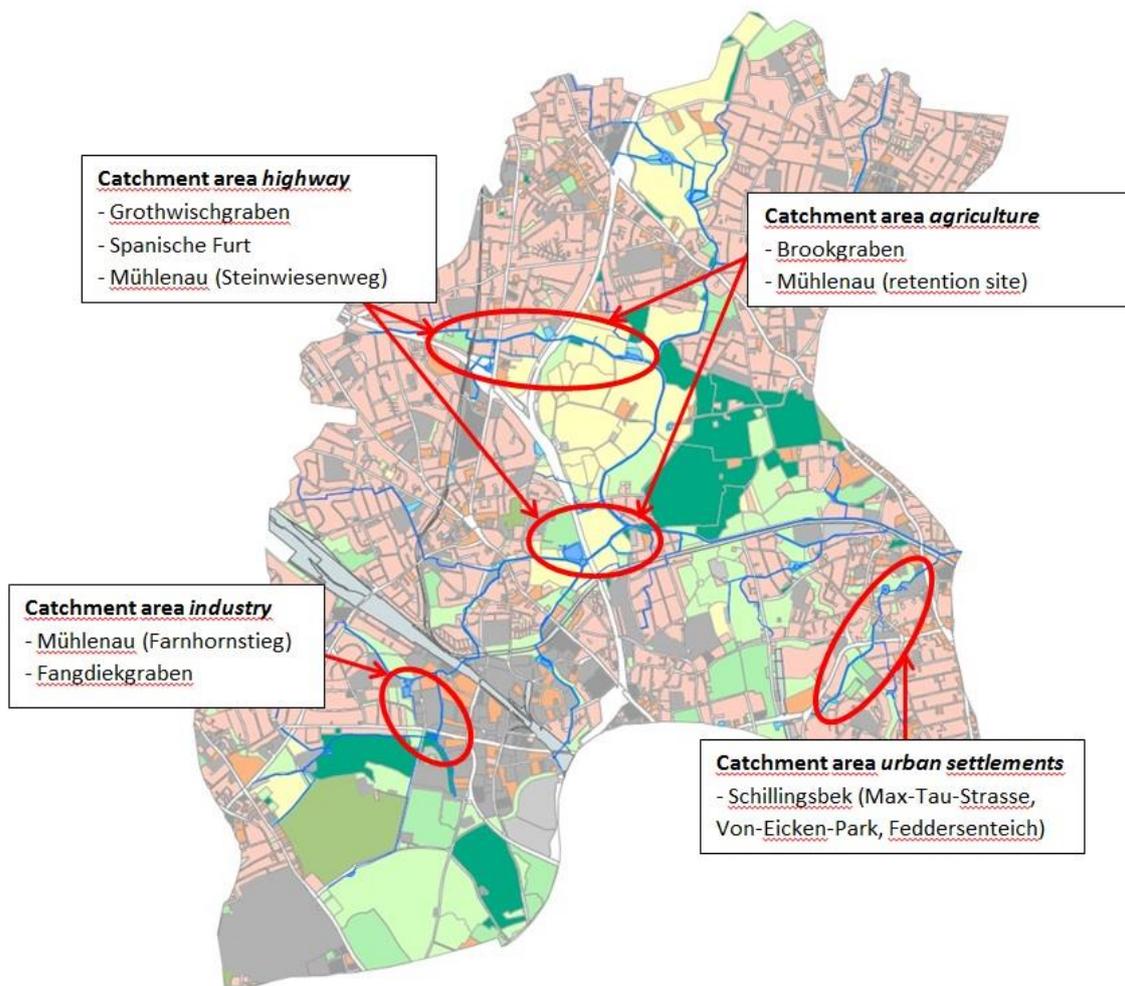


Abb. 43: Auswahl der zu beprobenden Rückhaltebecken an der Kollau; Kartengrundlage: LGV.

Das Schadstoffinventar auf den Überschwemmungsflächen wird analog zu den Analyseparametern der Rückhaltebecken in den genommenen Mischproben der Leitprofile analysiert.

## 7 Ökonomische Analyse (AP 6, HWWI)

Arbeitspaket (AP) 6, bearbeitet vom Hamburgischen WeltWirtschaftsinstitut (HWWI), widmet sich der Ökonomischen Analyse eines nachhaltigen Regenwassermanagements in urbanen Räumen und zielt auf die (Weiter-)Entwicklung dazu notwendiger Methoden der Entscheidungsunterstützung ab. Hierfür werden drei thematische Schwerpunkte abgedeckt: Konkurrenzen der Flächennutzung (AP 6.1), Einfluss und Wert von Ökosystemleistungen (AP 6.2) und Risikobetrachtungen der Hochwassersicherheit (AP 6.3).

Über fallbezogene Analysen wird der Nutzen ökonomischer Methoden für das urbane Regenwassermanagement demonstriert. Die verwendeten Ansätze werden mitsamt notwendigen Datenvoraussetzungen auf ihre Übertragbarkeit geprüft und in Leitfäden zusammengefasst. Ergebnis wird eine allgemein anwendbare ökonomische Heuristik zur Entscheidungsunterstützung im urbanen, nachhaltigen Regenwasserentwässerungsmanagement sein. Darüber hinaus wird die Notwendigkeit fachübergreifender Zusammenarbeit demonstriert und festgehalten.

### 7.1 Nutzungskonkurrenzen (AP 6.1)

#### 7.1.1 Hintergrund und Arbeitsauftrag

Das Regenwassermanagement in urbanen Räumen ist maßgeblich durch die Knappheit städtischer Flächen und deren Nutzungsform limitiert. Hierfür sind mindestens zwei Gründe zu nennen. Erstens bestimmen die Art der Flächennutzung und die damit verbundene Bebauung den Anteil überbauter und versiegelter Flächen. Dadurch wird das Retentions- und Infiltrationspotenzial des Bodens verringert, sodass größere Anteile anfallenden Regenwassers in das Kanalisations- und Flusssystem eingeleitet werden müssen. Hierdurch kann sich das Hochwasserrisiko (punktuell) erhöhen. Da sich verschiedene Flächennutzungsarten in der Regel wechselseitig ausschließen, steht zweitens das Regenwassermanagement in Konkurrenz mit anderen Flächennutzungsarten (Wohnflächen, Gewerbeflächen, Verkehrsflächen etc.).

Sozio-ökonomische Entwicklungen sind maßgebliche Determinanten für die Flächennachfragen und beeinflussen daher die Stadtentwicklung und Bebauung. Für viele (Groß-)Städte sind eine künftige Nutzungsintensivierung und die Notwendigkeit zu Nachverdichtungen durch Wohn- und Gewerbebauten abzusehen. Entsprechend ist zu erwarten, dass sich (ungeachtet des Klimaeinflusses) Hochwasserrisiken erhöhen und zugleich weniger Flächen für die Hochwasserregulierung zur Verfügung stehen.

Hieraus ergeben sich folgende **Kernaufgaben** für die ökonomische Analyse:

- Identifikation relevanter Parameter und notwendiger Daten, um Nutzungskonflikte beurteilen und Lösungen vorschlagen zu können.
- Analyse des Zusammenhangs zwischen sozio-ökonomischen Variablen und der Flächennutzung.
- Fallbeispiel Hamburg:

- Entwicklung sozio-ökonomischer Szenarien der Flächennachfrage und Aufzeigen zukünftiger Nutzungskonkurrenzen in den Stuck-Modellregionen.
- Analyse des Zusammenhangs zwischen Flächennutzung und Bodenversiegelung und Berechnung zukünftiger Versiegelungswerte. (Ergebnisse fließen in das AP 2 und werden bei Modellierung künftiger Abflussmengen verwendet.)
- Erstellung eines allgemeinen Leitfadens zum Vorgehen bei der Bewertung und Einschätzung von Nutzungskonkurrenzen.
- Analyse des Einflusses von Hochwasserrisiko auf Grundstückspreise in urbanen Räumen.

### 7.1.2 Analysegegenstand 1: Bodenversiegelung

Flächen- bzw. Bodenversiegelung beschreibt die partielle bis komplette Abdichtung offener Böden durch die Überbauung mit Gebäuden, Verkehrswegen oder auch Erholungs- und Freizeitanlagen (Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder 2008). Da die Bodenversiegelung eine wesentliche Determinante der Entwässerung urbaner Räume ist, müssen städtische Entwässerungskonzepte gegenwärtige und zukünftige Versiegelungsgrade berücksichtigen. Der Versiegelungsgrad wird jedoch nicht flächendeckend in Deutschland für alle Regionen und Städte statistisch erfasst bzw. ist frei zugänglich zu erhalten (vgl. Frie und Hensel 2007). Eine genaue, projektbezogene Bestimmung des Versiegelungsanteils über Geoinformationssystem (GIS)-Daten ist aufwendig und verhältnismäßig kostenintensiv. Sie bildet zudem lediglich Ist-Zustände ab und ist daher für die Erstellung von Szenarien oder Prognosen ungeeignet. Zweckdienlicher ist vielmehr, den Zusammenhang zwischen Bodenversiegelung und den verschiedenen Flächennutzungsarten als Ausgangspunkt zu nehmen. Letztere werden als Bestandteile der *Fläche der tatsächlichen Nutzung* jährlich in den statistischen Berichten dokumentiert und sind aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Marktnachfrage ökonomischen Analysen zugänglich.

**Methodischer Ansatz und Datenbedarf:** Die Berechnung der Flächenversiegelung aus Daten der Flächennutzung wird mit dem Ansatz der *Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder* (UGRdL) ermöglicht. Es wird unterstellt, dass lediglich die Unterkategorie der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV; bestehend aus: Gebäude- und Freiflächen, Betriebsflächen, Verkehrsflächen, Erholungsflächen, Friedhofsflächen) zur Bodenversiegelung beiträgt, wobei nur ein bestimmter Prozentsatz tatsächlich versiegelt ist. Jedem der fünf SuV-Arten ist ein Versiegelungsanteil zugeordnet, der in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte einer betrachteten Region variiert. Entsprechend ergibt sich die versiegelte Fläche in den Modellregionen als Produkt aus SuV-Fläche und dem jeweiligen, für die Bebauungsdichte korrigierten Versiegelungsanteils.

Die entsprechenden Daten der SuV-Fläche für Gesamt-Hamburg können den jährlich erscheinenden Statistischen Jahrbüchern entnommen werden (siehe [www.statistik-nord.de/publikationen](http://www.statistik-nord.de/publikationen)). Auf Bezirksebene aufgeschlüsselte Daten (von 2000 bis 2014) sind zudem von Statistik Nord zu erhalten.

**Zwischenergebnisse:** Hierauf basierend wurde für das Jahr 2014 (Status Quo) ein Versiegelungsanteil an der Gesamtfläche Hamburgs (inkl. Wasserflächen) von 29,7 Prozent ermit-

telt, was einer Fläche von 22.414,2 ha entspricht. Für die beiden Stadtbezirke Eimsbüttel und Bergedorf, die weitestgehend mit den Modellregionen übereinstimmen, ergaben sich Werte von 52,5 % (2.616,3 ha) respektive 13,9 % (2.151,0 ha). Die große Spannweite zwischen beiden Werten spiegelt deutlich die Unterschiede in Bebauungsdichte und -struktur wider, die zwischen beiden Stadtbezirken herrschen. Dies kann als erster Hinweis darauf verstanden werden, dass das urbane Regenwassermanagement unterschiedlichen Herausforderungen gegenübersteht und entsprechend unterschiedliche Lösungsansätze entwickeln muss.

Ein erster Ausblick auf die künftige Entwicklung der Bodenversiegelung konnte unter Zuhilfenahme bereits vorliegender, unveröffentlichter SuV-Flächen-Prognosen gegeben werden, die vom *Bundesinstitut für Bau-, Stadt, und Raumforschung* (BBSR) für Gesamt-Hamburg erstellt wurden. Auf Basis dieser Prognose ist bis 2030 mit einem Anstieg der Versiegelung um 1,6 Prozentpunkte bzw. 1.215 ha zu rechnen.

**Anstehende Aufgaben und Herausforderungen:** Drei Hauptaufgaben sind im Themenbereich Bodenversiegelung als nächstes zu bewältigen:

- (1) Zwar zeichnet sich der UGRdL-Ansatz durch eine geringe Datenanforderung und seine vergleichsweise einfache Anwendung aus – was gerade im Hinblick auf die angestrebte Übertragbarkeit hier verwendeter Methoden auf andere Projekte und Regionen positiv ist – dennoch muss seine Anwendbarkeit auf kleinere Projektebenen überprüft werden. Hiervon betroffen sind die Berechnungen der Versiegelungswerte für die beiden betrachteten Stadtbezirke, die auf ihre Plausibilität zu überprüfen sind.
- (2) Basierend auf verschiedenen Szenarien der künftigen Flächennachfrage (siehe Analysegegenstand 2) sollen alternative zukünftige Flächenversiegelungsszenarien, die unterschiedliche sozio-ökonomische Entwicklungen abbilden, berechnet werden.
- (3) Die berechneten Versiegelungsanteile fließen als Variablen in die hydrologische Modellierung gegenwärtigen und künftigen Abflussverhaltens (siehe AP 2) ein. Hierfür ist eine Berechnung der versiegelten Fläche je Flächennutzungsart vonnöten. Zwar ist dies bereits geschehen, jedoch zeigt sich, dass bei der hydrologischen Modellierung eine andere Kategorisierung bzw. Auflösung der Flächennutzung verwendet wird. Entsprechend sind geeignete Übertragungsschlüssel zu finden.

### 7.1.3 Analysegegenstand 2: Ermittlung des zukünftigen Flächenbedarfs

Unter Flächenbedarf wird hier die Nachfrage nach den Komponenten der Fläche der tatsächlichen Nutzung verstanden. In der Regel betrifft dies die SuV-Flächen, deren Entwicklung aufgrund ihrer Abhängigkeit von sozio-ökonomischen Größen der ökonomischen Analyse zugänglich ist. So ist beispielsweise zu erwarten, dass sich durchschnittliches Einkommen und Haushaltsgrößen auf die Wohnflächennachfrage auswirken, genauso wie die Bruttowertschöpfung und Beschäftigungszahlen die Entwicklung der Gewerbe- und Industrieflächen beeinflussen sollten. Situativ kann es dabei notwendig werden, auch andere Nutzungsarten als die SuV-Komponenten einzubeziehen. So weist Bergedorf bspw. mit 55 % einen verhältnismäßig hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Fläche auf. Um die zukünftige Flächennachfrage zu berechnen, muss einerseits der Zusammenhang zwischen sozio-ökonomischen Parametern und der Flächennachfrage ermittelt werden und andererseits ist die Entwicklung der relevanten sozio-ökonomischen Parameter zu prognostizieren.

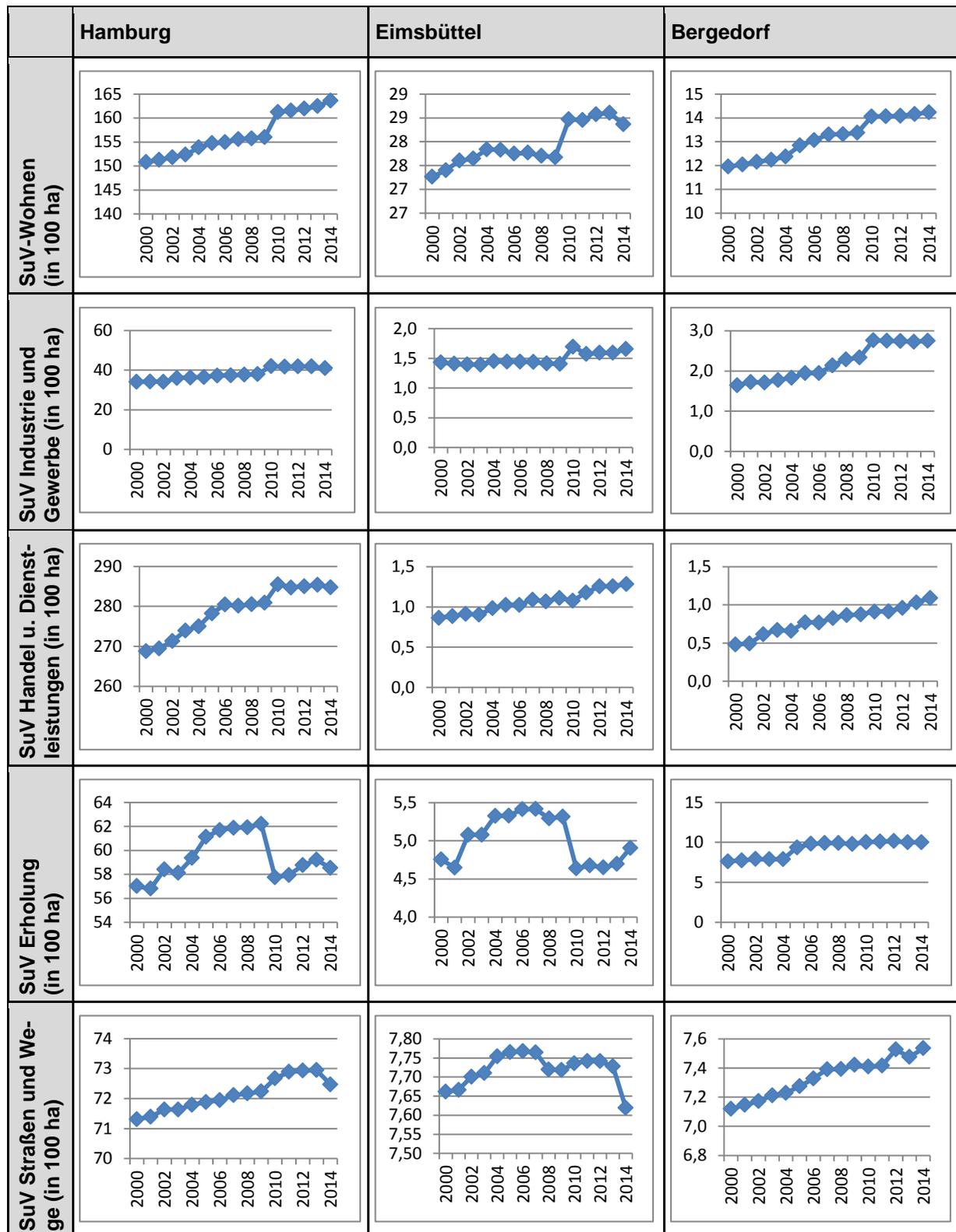
Aus der Flächennachfrage bzw. dem Flächenbedarf, leiten sich wiederum die Flächennutzungs-konkurrenzen ab. Verschiedenen Nutzungsformen schließen sich in der Regel wechselseitig aus. Gewerblich genutzte Flächen können nicht der Naherholung oder anderen Freizeitaktivitäten dienen. Wo Wohnhäuser stehen, können keine Rückhaltebecken (RHB) gebaut oder Überschwemmungsflächen ausgewiesen werden. Aufgrund der begrenzten Möglichkeiten zur expansiveren wie intensiveren Flächennutzung – gemeint sind erstens die räumliche Ausdehnung der jeweiligen Flächennutzungsart und zweitens die stärkere Nutzung innerhalb bereits ausgewiesener Flächen (bspw. höhere Wohnhäuser) – besteht gerade in der Enge des städtischen Raums ein Wettbewerb zwischen den verschiedenen Flächennutzungsformen. Dies gilt auch für den Hochwasserschutz.

**Methodischer Ansatz und Datenbedarf:** Um den zukünftigen Flächenbedarf zu berechnen und sich daraus entwickelnde Nutzungskonkurrenzen abzuleiten, müssen zunächst die Zusammenhänge zwischen sozio-ökonomischen Parametern und der Flächennutzung ermittelt werden. Hierfür werden zum einen erneut die Daten der Fläche der tatsächlichen Nutzung (siehe Analysegegenstand 1; 2000 bis 2014) benötigt. Zum anderen müssen für gleiche Referenzjahre verschiedene sozio-ökonomische Parameter ermittelt werden, die als unabhängige Variablen die Entwicklung des Flächenbedarfs erklären können. Zu diesem Zweck kann im Wesentlichen erneut auf die amtliche Statistik der Länder zurückgegriffen werden (siehe Statistik Nord). Die vorliegenden Daten decken den Zeitraum von 2000 bis 2014 ab, wobei für Flächennutzungsdaten eine Auflösung bis auf Bezirksebene möglich ist, wohingegen die meisten sozio-ökonomischen Daten nur für Gesamt-Hamburg erfasst werden.

**Zwischenergebnisse:** Nach der Datenbeschaffung wurden zunächst die Entwicklungen der wesentlichen SuV-Flächen für den Beobachtungszeitraum untersucht (Tab. 12). Insgesamt lässt sich ein deutlicher Anstieg der SuV-Flächen feststellen. Für Gesamt-Hamburg betrug der Zuwachs zwischen den Jahren 2000 und 2014 4,6 %, für Eimsbüttel und Bergedorf 2,8 % respektive 16,2 %. Die stärkere expansive Entwicklung der SuV-Flächen in Bergedorf ist vor allem auf das unterschiedliche Ausgangsniveau der Flächennutzung zurückzuführen – einem SuV-Anteil an der Bezirksfläche von 83 % in Eimsbüttel steht ein Anteil von lediglich 28 % in Bergedorf für das Jahr 2000 gegenüber. Entsprechend unterschiedlich zeigten sich die Entwicklungsdynamiken.

Genauere Untersuchungen zeigen, dass der Wohnungsbau sowie der Dienstleistungs- und Handelssektor maßgebliche Triebfeder der beobachteten Entwicklungen sind. Für den Industriesektor ist hingegen seit 2009 keine nennenswerte Änderung festzustellen. Auf den ersten Blick erstaunlich scheint die Entwicklung der Erholungsflächen, die erst einen deutlich ansteigenden Trend aufweisen und dann von einem raschen Einbruch betroffen sind. Grund für dieses verzerrte Bild ist ein neuer Zuordnungsschlüssel für die SuV-Kategorien, sodass bspw. Sportanlagen nach 2009 aus der Kategorie „Erholungsfläche“ herausfallen. Solche Strukturbrüche in den Daten seien hier beispielhaft erwähnt, um zu verdeutlichen, dass weitere Untersuchungen zunächst einer Datenbereinigung bedürfen.

Tab. 12: Entwicklung der Flächennutzung. SuV = Siedlungs- und Verkehrsfläche. (Quelle: Statistik Nord, HWWI)



Nach einer ersten Datenbereinigung und basierend auf den beobachteten Flächenentwicklungen wurden erste Regressionsanalysen für Gesamt-Hamburg durchgeführt, um einen Zu-

sammenhang mit sozio-ökonomischen Entwicklungen herzustellen. Für die Wohnflächen zeigen die Ergebnisse einen erwarteten hohen Erklärungsanteil der Entwicklungen der Bevölkerung und der verfügbaren Einkommen. Prognosen der Gewerbe-, Dienstleistungs-, Handels und Industrieflächen können voraussichtlich über die Beschäftigungsprognosen erfolgen. Der Zusammenhang zur Bruttowertschöpfung zeigte für Hamburg eine deutlich geringere Korrelation und scheint daher weniger geeignet zu sein. Auf den ersten Blick überraschend ist der negative Zusammenhang zwischen Industrieflächen und der Beschäftigung im Industriesektor, der sich jedoch durch den hohen Kapitaleinsatz erklärt. Für die Erholungsflächen ist ein positiver Zusammenhang mit der Einkommensentwicklung zu beobachten. Die Entwicklung der Verkehrsflächen scheint sich gut aus der Entwicklung der Wohnflächen und Industrie- und Gewerbeflächen ableiten zu lassen, sodass hier wahrscheinlich auf eine sozio-ökonomische Erklärung verzichtet werden kann. Grund hierfür ist, dass sich der Bedarf an Verkehrsflächen vor allem durch den Neubau von Wohn-, Industrie- und Gewerbeanlagen ergibt.

**Ausblick und Herausforderungen:** Folgende Schritte sind als nächstes umzusetzen:

- (1) Die beobachteten Strukturbrüche in den SuV-Daten aufgrund geänderter Zusammensetzung einiger Flächennutzungsarten (bspw. Erholungsflächen) müssen bereinigt werden, sodass konsistente Zeitreihen als Berechnungsgrundlage zur Verfügung stehen. Dabei ist die aktuelle Zusammensetzung der SuV-Kategorien auf die Vergangenheit zu übertragen.
- (2) Datenrecherche: Bislang kann der Zusammenhang zwischen Flächennutzung bzw. -bedarf und sozio-ökonomischen Größen vielfach nur für Gesamt-Hamburg durchgeführt werden, da Bezirksdaten mitunter fehlen. Diese sind nachfolgend möglichst zu beschaffen. Falls die Datenverfügbarkeit eingeschränkt sein sollte, sind Übertragungsschlüssel auf die Projektebene zu finden.
- (3) Modellspezifikation und Ermittlung von Regressionskoeffizienten, die den Zusammenhang zwischen SuV-Entwicklung und den als relevant ermittelten sozio-ökonomischen Parametern herstellen.
- (4) Szenarien-Entwicklung bzw. Prognose sozio-ökonomischer Entwicklungen.

#### **7.1.4 Analysegegenstand 3: Bedeutung der Hochwassersicherheit für die Grundstückswerte**

Ein weiterer Aspekt der Flächennutzung ist eine durch den Klimawandel getriebene potenzielle Veränderung des Wertes bestimmter Flächen. Während aufgrund der sozio-ökonomischen Trends Flächen in urbanen Räumen in Zukunft immer knapper und damit allgemein teurer werden, können einige Flächen durch die mit dem Klimawandel einhergehenden Risiken relativ an Wert verlieren. Dürren, Fluten oder andere durch das Klima beeinflusste Ereignisse können die Nutzbarkeit von Flächen verändern, einschränken oder unmöglich machen. Diese Einschränkungen gehen mit einem Wertverlust einher und erhöhen zusätzlich die Konkurrenz um die noch uneingeschränkt nutzbaren Flächen. In Deutschlands urbanen Räumen sind hierbei insbesondere Binnenhochwasser und der Hochwasserschutz relevant.

Sowohl tatsächliche (unerwartete) Flutereignisse als auch die Wahrnehmung eines gestiegenen Überflutungsrisikos sollten theoretisch zu Wertverlusten bei betroffenen Flächen führen, da in Zukunft mit Schäden oder eingeschränkter Nutzbarkeit gerechnet werden muss. Eine genaue Untersuchung und Prognose tatsächlicher Effekte gestaltet sich jedoch schwierig. Bisher gibt es nur wenige Studien, die empirische Analysen zu diesem Thema durchgeführt haben. Dies liegt insbesondere daran, dass eine valide Untersuchung sehr spezifische Daten erfordert, die oft nicht vorliegen.

In einem ersten Schritt wurde zunächst die Literatur gesichtet. Besonders häufig sind regionale Fallstudien, die spezielle Flutereignisse oder Politikinstrumente und deren Auswirkungen auf Immobilien und Grundstückswerte untersuchen. Allgemeine Übersichten und Metaanalysen gibt es nur vereinzelt. Votsis und Perrels (2015) untersuchen den Preiseffekt durch die Veröffentlichung von Hochwasserrisiko-Karten für drei finnische Städte. Die Veröffentlichung solcher Karten unterstützt nicht nur Grundstücksbesitzer dabei, ihr Risiko besser einzuschätzen, sondern informiert auch Käufer, denen es im Vergleich zu den Verkäufern potenziell an Erfahrungen mit den lokalen Hochwasserereignissen fehlt. Somit werden auch Informationsasymmetrien zwischen Verkäufern und Käufern abgebaut. Insgesamt ist somit eine Korrektur von Grundstückspreisen durch die Veröffentlichung von solchen Risiko-Informationen nicht unwahrscheinlich. Sie dürfte nur ausbleiben, wenn alle Marktteilnehmer das Risiko zuvor bereits ähnlich eingeschätzt haben. Votsis und Perrels (2015) finden einen signifikanten Preiseffekt, dessen Größe mit zunehmender Überflutungswahrscheinlichkeit/-häufigkeit steigt.

Doupé et al. (2014) untersuchen den Preiseffekt der Veröffentlichung von Risiko-Informationen und einem darauf folgenden tatsächlichen Flutereignis für die Stadt Brisbane in Australien. Falls die bereitgestellten Risiko-Informationen richtig bewertet waren und korrekt eingepreist worden wären, hätte das tatsächliche Flutereignis im Anschluss keine weitere Korrektur der Preise zur Folge haben sollen. Tatsächlich finden Doupé et al. (2014) aber, dass sowohl die Veröffentlichung der Risikoeinschätzung als auch das tatsächliche Flutereignis drei Jahre später die Verkaufspreise jeweils moderat fallen ließen. Allerdings ist der Informationseffekt nicht für alle Risikostufen signifikant. Für 5-jährliche und 100-jährliche Ereignisse konnten keine Preiseffekte festgestellt werden.

Metaanalysen von Beltran et al. (2014) und Daniel et al. (2009) über verschiedene Studien zeigen kein einheitliches Bild. Viele Studien finden demnach negative, einige aber auch positive Effekte. Zudem entsteht Heterogenität dadurch, ob tatsächliche Flutereignisse, die Lage in einem Risikogebiet oder die Veröffentlichung von (zusätzlichen) Informationen betrachtet werden. Unterschiedlich hohe Effekte können sich unter anderem auch durch den Gebietskontext jeder Studie, z. B. der vorherigen Informationslage, der Art der Risiko-Informationen oder Fluthäufigkeiten, ergeben. Ein Vergleich und das Ableiten allgemein gültiger Ergebnisse ist somit eher schwierig und die Übertragbarkeit von Ergebnissen damit eingeschränkt möglich.

Idealerweise müsste für die Region Hamburg oder zumindest Deutschland eine stadt- und politikspezifische Studie angefertigt werden, um dortige Wertverluste zu beziffern. Aufgrund der Datenlage und Zeiträume ist dies jedoch momentan schwierig.

**Methodischer Ansatz und Datenbedarf:** Die Veröffentlichung der Hochwassergefahren- und -risikokarten erfolgte in Hamburg im Dezember 2013 (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) 2013). Unter der Prämisse, dass vorher nicht allen Marktteilnehmern das volle Risiko-Ausmaß klar war, sollte die Veröffentlichung der Karten zu einem Wertverlust der betroffenen Grundstücke führen. Dieser würde sich darin äußern, dass betroffene Grundstücke nach der Veröffentlichung nur zu niedrigeren Preisen verkauft werden könnten, als dies ohne Veröffentlichung der Fall gewesen wäre. Da sich das Szenario ohne Veröffentlichung nicht beobachten lässt, werden üblicherweise Daten aus der Zeit vor der Veröffentlichung mit Daten nach der Veröffentlichung verglichen. Für den Zeitraum nach 2013 liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht viele Daten vor. Um nachzuweisen, dass die oben genannten potenziellen Informationsasymmetrien durch die Karten behoben wurden, benötigt man idealerweise Transaktionsdaten von Grundstücken und Immobilien. Angebotspreise und Bodenrichtwerte spiegeln nur einseitige Einschätzungen von Verkäufern oder Gutachtern wider und nicht den gesamten Markt. Das bedeutet aber, dass sich die Daten auf tatsächliche Verkaufsfälle beziehen müssen, was wiederum die verfügbare Datenmenge reduziert. Um sicherzustellen, dass tatsächlich der Effekt der Veröffentlichung betrachtet wird und nicht ein anderer zeitgleich auftretender Effekt, muss eine Vergleichsgruppe gebildet werden, die nicht von der Veröffentlichung betroffen und nicht risikogefährdet ist. Diese „Kontrollgruppe“ muss dabei ansonsten möglichst ähnliche Eigenschaften besitzen wie die Testgruppe. Ein besonderes Problem ergibt sich hierbei aus dem ambivalenten Effekt von Wasserlagen. Grundstücke oder Immobilien an Gewässern sind meist besonders beliebt, z.B. wegen ihrer schönen Aussicht und den sich bietenden Freizeitmöglichkeiten. Da dieser positive Wert ebenso wie das Hochwasserrisiko an der gewässernahen Lage liegt, überlagern sich beide Effekte beim Vergleich zu Objekten ohne Wasserlage. Im Idealfall sollten die Objekte der Kontrollgruppe die positiven Eigenschaften durch Wassernähe ebenfalls besitzen, dabei aber nicht hochwassergefährdet sein. Diese Anforderungen führen dazu, dass für die Kontrollgruppe meist auch nur wenige Fallzahlen ganz in der Nähe der betroffenen Objekte in Frage kommen.

**Zwischenergebnisse:** Die Fallstudien und darauf bezogenen Metaanalysen zeigen, dass eine enorme Heterogenität an Untersuchungskontexten und Ergebnissen besteht. Eine Verallgemeinerung und Übertragung ist daher schwer möglich und es zeigt sich, dass eine auf Hamburg oder Deutschland bezogene Studie durchaus sinnvoll erscheint. Allerdings lässt sich festhalten, dass für eine gute statistische Erfassung des potenziellen Effektes der Veröffentlichung von Hochwasserrisiko-Informationen sehr spezifische Datenanforderungen bestehen. Die bisherigen Versuche die notwendigen Daten zu sammeln gestalteten sich schwierig. Es ergaben sich erhebliche Probleme, insbesondere in Bezug auf geeignete Immobilien- oder Grundstückspreise. Benötigt werden idealerweise tatsächliche Transaktionsdaten aus der Zeit vor und nach der Veröffentlichung und das sowohl für die Risikogebiete, als auch für nicht betroffene Gebiete, die diesen ansonsten möglichst ähnlich sind. In Hamburg bzw. den Modellregionen dürfte die Fallzahl gerade nach Veröffentlichung der Karten derzeit noch viel zu gering für statistische Analysen sein. Die Hochwassergefahren- und -risikokarten weisen nur relativ wenige Grundstücke als gefährdet aus und bei denen dürfte es seit 2013 nicht genügend Verkaufsfälle gegeben haben. Außerdem sind Transaktionsdaten nicht öffentlich zugänglich.

**Ausblick und Herausforderungen:** Eine Suche nach alternativen Daten anstelle der Transaktionsdaten läuft bereits, gestaltet sich aber ebenfalls als schwierig. Daten wie Boden-

richtwerte oder Angebotsdaten spiegeln bspw. nur einseitig Einschätzungen von Verkäufern oder Gutachtern wider. Für Hamburg, und insbesondere für die Einzugsgebiete der Kollau und Dove-Elbe, dürften damit kaum genügend Fallzahlen für eine statistisch relevante Untersuchung zusammen kommen. Zukünftig muss also auch überlegt werden, wie in dem Falle vorgegangen wird, falls keine Hamburg-spezifische Analyse möglich ist. Für eine potenzielle Übertragung der Ergebnisse anderer Studien bedarf es aufgrund der eingeschränkten Übertragbarkeit einer genauen Auswahl von Studien mit möglichst ähnlichem Kontext.

## 7.2 Ökosystemleistungen (ÖSL) (AP 6.2)

### 7.2.1 Hintergrund und Arbeitsauftrag

Urbane Gewässer und ihre Randbereiche bilden eigenständige Ökosysteme, die in der dichten Bebauung des städtischen Umfelds zu den wenigen Naturflächen gehören. Dabei erfüllen sie verschiedene Funktionen und stellen eine Reihe nutzenstiftender Leistungen, sog. Ökosystemleistungen (Millennium Ecosystem Assessment 2005), für die Stadtbevölkerung bereit. Zu diesen ÖSL zählen unter anderem die Regulierung des urbanen Mikroklimas und Lärmpegels, die Schaffung eines Habitats für die städtische Flora und Fauna, Naherholungsmöglichkeiten aber auch die Bereitstellung von Überschwemmungs- und Retentionsflächen für den Hochwasserschutz. In Anbetracht der Vielfältigkeit ihrer Leistungen, der hohen Bevölkerungszahl, die in städtischen Gebieten davon profitieren kann, aber auch aufgrund der Knappheit naturnaher Flächen, ist eine besonders hohe Wertschätzung für diese urbanen Ökosysteme zu erwarten. Jedoch sind die meisten der erbrachten Leistungen nicht erfasst und ökonomisch bewertet, sodass sie bei der Stadtplanung und -entwicklung leicht übersehen werden bzw. ihre Bedeutung und Wertigkeit häufig unterschätzt wird. Die Bewertung eines Ökosystems mit Hilfe ökonomischer Methoden kann hierbei Abhilfe schaffen und, indem sie Wertschätzungen offenlegt, Entscheidungsgrundlagen verbessern.

Auch beim urbanen Entwässerungsmanagement sollte die Bewertung von ÖSLs in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. Hier gilt es technische (steuerbare Regenrückhaltebecken, Dammbau, etc.) und naturnahe Lösungen (Bspw. Auen und Überschwemmungsflächen, breite, bewachsene Randbereiche, mäandrierende Wasserläufe, etc.) gegeneinander abzuwägen. Dass in der Vergangenheit häufig zugunsten leicht zu unterhaltender und steuerbarer technischer Lösungen entschieden wurde, liegt auch daran, dass ein Großteil der nutzenstiftenden „Nebenprodukte“ naturnaher Hochwasserschutzmaßnahmen nicht adäquat berücksichtigt wurden. Durch umfassendere Informationen ließe sich daher auch das Management verbessern. Würden, neben dem Abflussverhalten und veränderten Hochwasserrisiken, auch die zu erwartenden Veränderungen in den ÖSL bei der Auswahl alternativer Maßnahmen berücksichtigt werden, so ließen sich wahrscheinlich bessere, integrierte Entscheidungen treffen.

Aufgabe des Arbeitspaketes ist die Untersuchung der Einbindungsmöglichkeiten ökonomischer Umweltbewertungsverfahren als Mittel der Entscheidungsunterstützung in das urbane Entwässerungsmanagement. Hierfür soll eine Übersicht relevanter ÖSL urbaner Gewässer erstellt werden. Dabei sind für die jeweiligen ÖSL geeignete Bewertungsverfahren zu identifizieren und die Voraussetzungen ihrer Anwendbarkeit festzuhalten. Da Ökosystemwerte in besonderem Maße kontextabhängig sind, wird eine vollständige ökonomische Bewertung

aufgrund von Budget- und Zeitrestriktionen meist nicht im erforderlichen Umfang durchführbar sein. Daher wird insbesondere die Anwendbarkeit der Benefit-Transfer Methode untersucht. Hierfür müssen eine umfangreiche Datenbank mit Ergebnissen existierender, kontextabhängiger Bewertungsergebnisse zusammengestellt und geeignete Übertragungsfunktionen ermittelt werden. Die Anwendbarkeit wird beispielhaft für die Kollau und Dove-Elbe demonstriert.

## 7.2.2 Analysegegenstand 1: Erfassung der Ökosystemleistungen urbaner Gewässer und deren Randbereiche

Ziel des AP 6.2 ist, verschiedene Alternativen des Entwässerungsmanagements hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Ökosystem urbaner Gewässer und ihrer Randbereiche zu untersuchen. Hierfür ist zu analysieren, wie Eingriffe die Funktionen und ÖSL eines betrachteten Ökosystems beeinflussen. Sich ändernde ÖSL müssen für den jeweiligen Praxisfall vollständig erfasst werden. Daher ist Aufgabe des Analysegegenstand 1, einen Katalog der ÖSL urbaner Gewässer und ihrer Randbereiche zu erstellen und allgemeine Hinweise darauf zu geben, welche Auswirkungen durch ergriffene Maßnahmen zu erwarten sind. Die Projektplanung erhält so ein Überblicksinstrument, aus dem erste Aussagen über mögliche Implikationen geplanter Maßnahmenpakete ermöglicht werden. Darauf basierend können im konkreten Fall gezielt Expertisen eingeholt werden, die in einem weiteren Schritt das konkrete Ausmaß sich ändernder Funktionen und davon abgeleiteter ÖSL bestimmen.

**Methodischer Ansatz und Datenanforderung:** Mit Hilfe einer umfassenden Literaturrecherche werden relevante ÖSL urbaner Gewässer und ihrer Randbereiche ermittelt und anhand der im Millennium Ecosystem Assessment (2005) und TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011) vorgeschlagenen Kategorisierung in bereitstellende (provisioning), regulierende (regulating), kulturelle (cultural) und unterstützende (supporting) Leistungen unterteilt. Beispielhaft ist dies in Tab. 13 gezeigt.

Die unterstützenden ÖSL sind grundlegende Leistungen, die jedoch nicht direkt vom Menschen wahrgenommen werden, sondern die Bereitstellung der anderen drei ÖSL-Kategorien ermöglichen. Da ihr Nutzen indirekt über die anderen Kategorien durch den Menschen wahrgenommen wird, wird ihr Wert auch über die Veränderungen in den anderen ÖSL-Kategorien bestimmt.

Tab. 13: Auswahl urbaner Ökosystemleistungen (Quelle: eigene Darstellung basierend auf TEEB 2011)

	Ökosystemleistung	Beispiele Ökosystemfunktion
<b>Bereitstellende Leistungen</b>	Frischwasserbereitstellung	Filtrationsprozesse des Wassereinzugsgebietes, Schadstoffretention
	Nahrungsbereitstellung	Habitat für Fische
<b>Regulierende Leistungen</b>	Mikroklimaregulation	Schattenbildung und Verdunstungsprozesse
	Hochwasserregulierung	Bereitstellung von Flächen für die Retention, Infiltration (Wasserrückhalt im Boden und Kondensation)
<b>Kulturelle Leistungen</b>	Naherholung und Freizeitgestaltung	Nutzung urbaner Ökosysteme der ansässigen Bevölkerung für Freizeitaktivitäten (Bspw. Laufstrecken entlang der Flussverläufe)
	Tourismus	Attraktivität des urbanen Ökosystem für Touristen
<b>Unterstützende Leistungen</b>	Biodiversität	Habitat für urbane Flora und Fauna
	Nährstoffkreislauf	Bodenbildung durch Zersetzungsprozesse und Stoffumwandlungen
	Kohlenstoffkreislauf	Kohlenstofffestlegung

**Zwischenergebnisse:** Eine umfassende tabellarische Zusammenstellung wichtiger ÖSL mit Beispielfällen befindet sich im Aufbau.

**Herausforderungen und Ausblick:** Siehe Herausforderungen und Ausblick Analysegegenstand 2 (Kap. 7.2.3).

### 7.2.3 Analysegegenstand 2: Bewertung von Ökosystemleistungen

Für die in Analysegegenstand 1 ermittelten ÖSL sind geeignete Bewertungsverfahren zu bestimmen und notwendige Voraussetzungen für deren Anwendung zu untersuchen. Da zu erwarten ist, dass Zeit- und Budgetbeschränkungen die Durchführung eigenständiger Bewertungsverfahren verhindern, ist insbesondere die Anwendbarkeit der Benefit-Transfer Methode zu untersuchen und eine umfassende Zusammenstellung von Referenzwerten und Übertragungsfunktionen zu erarbeiten. Dies erfolgt vor dem Hintergrund der Anwendung innerhalb der Modellregion, sodass sich auf entsprechende ÖSL beschränkt werden wird.

**Methodischer Ansatz und Datenanforderung:** Es erfolgt eine Literaturrecherche.

**Zwischenergebnisse:** Eine Methodenübersicht inklusive einer Beschreibung von Anwendungsbereichen und Erläuterungen zur Umsetzung sowie eine Abwägung methodischer Vor- und Nachteile und Listung geeigneter Referenzbeispiele befinden sich im Aufbau. Beispielhaft ist dies in Tab. 14 für die Methode der Hedonischen Preise im Ansatz dargestellt.

Tab. 14: Beispielhafte (reduzierte) Beschreibung von Bewertungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung basierend auf ecosystemvaluation.org).

<b>Hedonische Preise</b>	
<b>Erläuterungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgangspunkt der Bewertung sind Unterschiede in Hauspreisen bzw. Mieten.</li> <li>• Annahmen: Preise von Marktgütern sind abhängig von deren Eigenschaften oder bereitgestellten Leistungen. Variationen der Charakteristika variieren den Preis des Gutes.</li> <li>• Anwendung Ökonometrischer Methoden, um den Einfluss bestimmter ÖSL auf den Preis zu isolieren.</li> <li>• Hauspreise werden als Funktion verschiedener Charakteristika dargestellt.</li> </ul>
<b>Anwendungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung von ÖSL wie Luftqualität, Lärmschutz, Zugang zu Naherholungsmöglichkeiten, ästhetische Werte der Umgebung, etc.</li> </ul>
<b>Datenbedarf</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Querschnitts- oder Zeitreihendaten</li> <li>• Verkaufspreise der Häuser in der betrachteten Gegend</li> <li>• Preisbeeinflussende Charakteristika: Größe, Lage, Grundsteuer, Kriminalität, Verkehrsanbindung, Messzahlen für die betrachteten Umweltcharakteristika bzw. ÖSL</li> </ul>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sofern die Datenanforderungen erfüllt sind, ist die reine ökonometrische Analyse der aufgestellten Preisfunktion vergleichsweise einfach.</li> <li>• Ergebnisse beruhen auf Marktdaten und bilden tatsächlich beobachtete Entscheidungen und Verhalten ab.</li> <li>• Die benötigten Daten sind in der Regel einfach zu erhalten.</li> <li>• Der Wohnungsmarkt reagiert in der Regel relativ effizient auf Marktinformationen, sodass Unterschiede in wahrgenommenen ÖSL in den Marktpreisen abgebildet sein sollten.</li> <li>• Die Glaubwürdigkeit benötigter Daten ist vergleichsweise hoch.</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendbarkeit ist auf bestimmte ÖSL beschränkt.</li> <li>• Marktpreise bilden nur offensichtlich wahrzunehmende ÖSL ab.</li> <li>• Annahme und Voraussetzung ist, dass bei der Auswahl, die Auswahl zwischen verschiedenen Umweltzuständen / ÖSL-Ausprägungen in die Entscheidung einfließt.</li> <li>• Interpretation ist nicht immer eindeutig.</li> <li>• Ergebnisse sind sensitiv gegenüber der Modellspezifikation.</li> <li>• Hoher Datenbedarf (viele Beobachtungen) notwendig, um Unterschiede in den Hauspreisen unterschiedlichen ÖSL-Ausprägungen zuzuordnen.</li> <li>• Dies kann ggf. zu einer langwierigen Phase des Datensammelns und -aufbereitens führen und daher zeitaufwendig und teuer werden.</li> </ul>
<b>Referenzstudien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Day et al. (2007): Bewertung von Naherholungsmöglichkeiten</li> <li>• Costanza et al. (1997)</li> </ul>

Um die Benefit-Transfer Methode vorzubereiten wurde damit begonnen, wichtige ÖSL für die Modellregionen Kollau und Dove-Elbe zu identifizieren und Referenzwerte aus anderen Studien zu sammeln und in einer Datenbank zusammenzustellen. Tab. 15 zeigt dies beispielhaft für die Kohlenstoffsequestrierung.

Tab. 15: Referenzwert der ÖSL Kohlenstoffsequestration (eigene Darstellung).

ÖSL und damit verbundene Funktionen	Kohlenstoffsequestration
Mögliche Indikatoren	CO <sub>2</sub> -Abspaltung in Tonnen je Hektar Grünfläche je Jahr
Gängige Bewertungsmethoden	Vermiedene Schäden; Marktpreismethode, ...
Referenzwerte	→ Modesto (USA): <b>5 USD/tree</b> ; <b>460 000 USD/y</b> ; avoided costs method; → Philadelphia (USA): <b>9.8 Mio USD</b> [storage value]; <b>297 000 USD</b> [annual sequestration value ]; avoided costs method; → Washington (USA): <b>13 156 USD/ha*y</b> ; avoided costs method;
Literatur	McPherson und Simpson (1999); Nowak et al. (2007); Nowak und Crane (2002); Gómez-Baggethun et al. (2013)

### Herausforderungen und Ausblick:

- (1) In Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern (LSBG, UHH) sind die in der Projektregion erbrachten ÖSL vollständig zu erfassen und für den Benefit-Transfer entsprechende Referenzwerte zu sammeln.
- (2) Referenzstudien untersuchen in der Regel größere, zusammenhängende Ökosysteme. Die dort errechneten Werte sind nicht ohne weiteres auf einen urbanen Kontext übertragbar. Es ist daher zu untersuchen, inwiefern Größenanforderungen an ein Ökosystem bestehen, damit bestimmte ÖSL überhaupt bereitgestellt werden können.
- (3) Es muss untersucht werden, inwiefern bekannte Methoden anwendbar sind, wenn die Managemententscheidungen des urbanen Entwässerungsmanagements zu verhältnismäßig geringfügigen Auswirkungen auf das Ökosystem führen und ob in solchen Fällen sinnvolle ökonomische Werte berechnet werden können.
- (4) Es müssen Übertragungsschlüssel gefunden werden, um die Übertragbarkeit von Werten aus Referenzstudien zu gewährleisten (Einkommen, Größe des Ökosystems etc.). Hier ist auch die Übertragbarkeit erzielter Ergebnisse auf zukünftige Projekte zu berücksichtigen und ein Leitfaden für die ÖSL-Bewertung zur Unterstützung des urbanen Entwässerungsmanagements zu erstellen.

## 7.3 Risikobetrachtungen (AP 6.3)

### 7.3.1 Hintergrund und Arbeitsauftrag

Hochwasserrisiken bilden einen der zentralen Erkenntnisgegenstände des Projektes Stuck. Deshalb müssen potenzielle Schäden, insbesondere im Extremfall oder bei Unterlassen bestimmter Maßnahmen, ermittelt werden. Für einzelne Maßnahmen sollen ferner Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt werden, unter anderem mit Rückgriff auf die Ergebnisse der beiden anderen Arbeitspakete der ökonomischen Analyse.

## 7.3.2 Analysegegenstand: Leitfaden Schadensanalyse und Fallstudien

**Methodischer Ansatz:** Es erfolgt eine Literaturrecherche.

**Zwischenergebnisse:** Die Aufgaben laut Arbeitsplan erfordern die Identifikation des notwendigen Detailgrades für eine zielführende Schadensanalyse (Abwägung ingenieurs- versus wirtschaftswissenschaftliche Perspektive), die Prüfung geeigneter Szenario-Methoden für kleinräumige Risikountersuchungen (bei ungewisser Schadenswahrscheinlichkeit und Flächennutzung) sowie zusammenfassend die Erstellung allgemeiner Empfehlungen für eine projektbezogene Kosten-Nutzen-Analyse.

Für einen Leitfaden zur „Abschätzung von Hochwasserschäden in kleinen Modellgebieten“ wurden im ersten Projektjahr umfangreiche Recherchen zur relevanten Literatur und zu vorhandenen Daten zwecks Methodenerprobung in der Modellregion der Kollau durchgeführt.

Ausgangspunkt einer Schadenserfassung ist stets die gängige Kategorisierung von Hochwasserschäden, wie sie in Abb. 44 beschrieben ist.

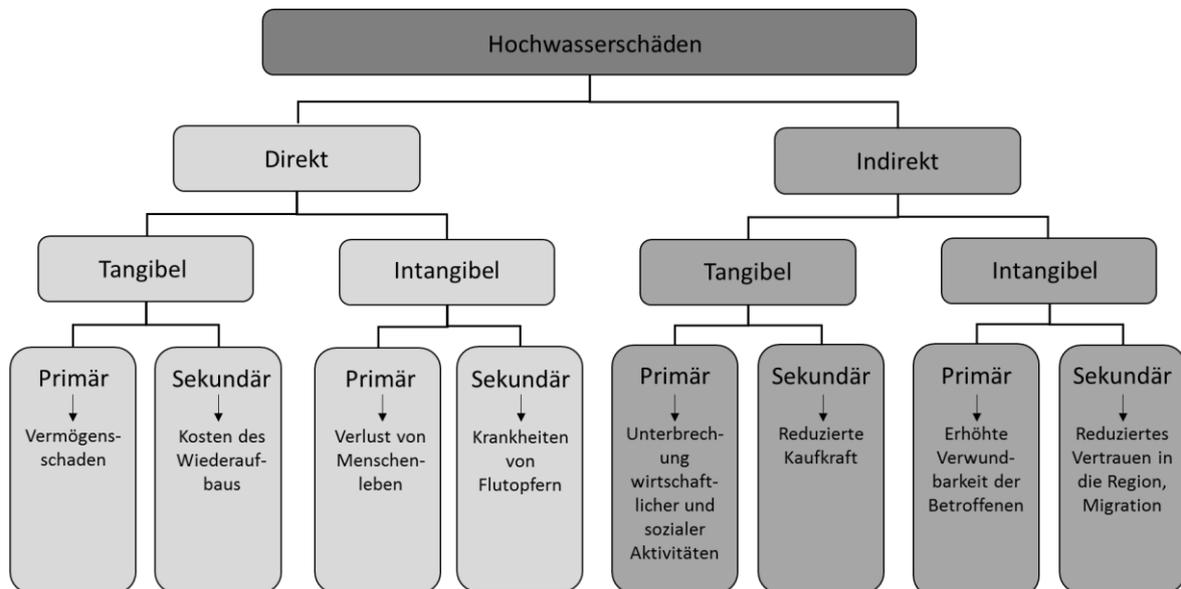


Abb. 44: Kategorisierung von Hochwasserschäden (Smith und Ward 1998, S. 35)

Für deren Erfassung in kleineren Gebietseinheiten kommen entweder mikro- oder mesoskalige Methoden in Frage. Die mikroskalige Untersuchung findet auf der Ebene einzelner Gebäude oder Flurstücke statt, während bei der mesoskaligen Untersuchung Landnutzungen auf der Ebene von Fluren oder topographischen Raumeinheiten genutzt werden. In beiden Fällen besteht die zentrale Problematik darin, Schadensfunktionen zu etablieren, mit deren Hilfe eine Monetarisierung von Hochwasserschäden erfolgen kann. Dabei ist zwischen relativen und absoluten Schadensfunktionen zu unterscheiden. Relative Schadensfunktionen geben den Schaden als Prozentsatz vom Gesamtwert des geschädigten Objektes an, absolute Funktionen drücken den Schaden unmittelbar in Geldeinheiten aus. Im Projekt ist es nicht vorgesehen, hierfür originäre Untersuchungen anzustellen. Stattdessen werden systematisch

Ergebnisse aus der Literatur zusammengetragen und aufbereitet. Dies ist weitgehend im Jahr 2015 geschehen.

Für den mikroskaligen Ansatz kann beispielsweise auf Tab. 16 zurückgegriffen werden:

Tab. 16: Matrix der Schadensermittlung für unterschiedliche Schadenskategorien (Reese et al. 2003, S. 95)

Schadenskategorie	Überflutungshöhe über Geländeoberkante in m																			
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
Gebäude (Evaluation gesamte Gebäudesubstanz)	Schäden in %																			
2 geschossige Gebäude mit Keller	4,25	5,50	6,75	8,00	9,25	10,50	11,75	13,00	14,25	15,50	16,75	18,00	19,25	20,50	21,75	23,00	24,25	25,50	26,75	28,00
2 geschossige Gebäude ohne Keller	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50	13,75	15,00	16,25	17,50	18,75	20,00	21,25	22,50	23,75	25,00
4 geschossige Gebäude mit Keller	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25	9,00	9,75	10,50	11,25	12,00	12,75	13,50	14,25	15,00	15,75	16,50	17,25	18,00
4 geschossige Gebäude ohne Keller	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25	9,00	9,75	10,50	11,25	12,00	12,75	13,50	14,25	15,00
Hallenartige Gebäude	3,125	6,25	9,38	12,50	15,63	18,75	21,88	25,00	28,13	31,25	34,38	37,50	40,63	43,75	46,88	50,00	53,13	56,25	59,38	62,50
Gebäudeinhalt (Evaluation einzelner Stockwerke)																				
Privates Inventar	30	42,43	51,96	60,00	67,08	73,48	79,37	84,85	90,00	95,00										
Ausrüstungsvermögen Dienstleistung + Verwaltung	33,5	45,31	54,36	62,00	68,73	74,81	80,40	85,61	90,50	95,00	95,00	95,00								
Ausrüstungsvermögen Produktionsgewerbe (Hallenbauweise)	8,5	12,00	15,50	19,00	22,50	26,00	29,50	33,00	36,50	40,00	43,50	47,00	50,50	54,00	57,50	60,00				
Ausrüstungsvermögen Produktionsgewerbe (Geschossbauweise)	9,59	14,17	18,76	23,34	27,93	32,51	37,10	41,68	46,27	50,85	55,44	60,00								
Vorratsvermögen (Hallenbauweise)	13,00	21,00	29,00	37,00	45,00	53,00	61,00	69,00	77,00	85,00	93,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00				
Vorratsvermögen (Geschossbauweise)	14,50	24,00	33,50	43,00	52,50	62,00	71,50	81,00	90,50	100,00	100,00	100,00								
Sonstige																				
PKW	0	25,00	27,19	38,13	49,06	60,00	60,00	60,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nutzfahrzeuge	0	0,00	0,00	25,00	25,00	30,00	42,50	55,00	60,00	60,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Windkraftanlagen	0,575	1,15	1,73	2,30	2,88	3,45	4,03	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60

Dieser Ansatz, bei dem Bezug auf vorhandene Quellen genommen und die dortigen Daten ausgewertet werden, unterliegt einigen Einschränkungen, die künftig noch zu untersuchen sind. So ist zum einen zu fragen, wovon die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Räume abhängt und inwieweit es nötig ist, diese für andere Untersuchungsräume anzupassen. Zum anderen ist zu fragen, wie eine Fortschreibung der Schadensfunktionen über die Zeit möglich ist. Dies hat wiederum zwei Aspekte. Erstens sind die Resultate aus anderen Projekten bereits einige Jahre alt, sodass man zur Abbildung des Status quo zumindest den allgemeinen Preisauftrieb berücksichtigen müsste. Andernfalls unterstellte man implizit, mit realen Werten zu operieren. Zweitens ist bei mesoskaligen Ansätzen zu beachten, dass sich die Landnutzung im Zeitverlauf verändert, sodass bei Szenarien mehrere Unsicherheiten zusammenkommen, und zwar nicht nur die künftige Landnutzung sondern auch die klimatischen Bedingungen und damit Ausprägung und Häufigkeit von Extremwetterereignissen. Auch diese Fragestellungen werden im nächsten Projektjahr weiter bearbeitet.

Im vergangenen Projektjahr hat in diesem Arbeitspaket ein Austausch mit der TUHH stattgefunden. Es wurden gemeinsam die Modellregionen analysiert, diese auf Daten- und Informationsverfügbarkeit geprüft und die oben ausgeführten Schadensfunktionen diskutiert. Dieser Austausch wird im folgenden Jahr weiter fortgeführt.

## 7.4 Dokumentation der Notwendigkeit fachübergreifender Zusammenarbeit (AP 6.4)

Wie die vorangehende Beschreibung der Arbeitsaufträge und Analysegegenstände zeigt, bedarf die Forschung in so breitgefächerten Themengebieten wie dem nachhaltigen urbanen

Entwässerungsmanagements, die Einbindung unterschiedlichster Disziplinen. Hieraus ergeben sich vielfältige Schnittstellen zwischen den verschiedenen (disziplinären) Arbeitspaketen, sodass sich die beteiligten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen austauschen und koordinieren müssen. Dass eine fachübergreifende Kooperation in Verbundprojekten dabei gewisse Konfliktpotenziale und Stolpersteine beinhaltet, die dem Erkenntnisauftrag abträglich sein können, ist hinlänglich bekannt und in den Abschlussberichten einiger Projekte ex post dokumentiert. Aus diesen Erfahrungen gilt es zu lernen, um den Ablauf der eigenen Projektarbeit reibungsloser zu gestalten. Zu diesem Zweck wird in Arbeitspaket 6.4. ein kurzes Überblickspapier erstellt, das die Formen fachübergreifender Zusammenarbeit und die sich daraus ergebenden, häufig beobachteten Herausforderungen beschreibt und bewährte Lösungsstrategien benennt. So soll für potenzielle Herausforderungen innerhalb von Stuck bereits frühzeitig sensibilisiert werden.

Für die Projektphase von Stuck etabliert sich eine vorrangig interdisziplinäre Form der Kooperation, die insbesondere die gemeinsame Standortauswahl und Erarbeitung von zu untersuchenden Szenarien sowie den Austausch und die Integration disziplinär erarbeiteter Ergebnisse und Daten beinhaltet. Darüber hinaus wird versucht transdisziplinäre Ansätze umzusetzen, indem die Expertise nicht-wissenschaftlicher assoziierter Partner eingeholt wird. Aus der Literatur ergeben sich hieraus vier wesentliche Spannungsfelder: kognitive und sprachliche Dissonanzen (Unterschiede in den Denkweisen, Forschungsinteressen und in der Terminologie der Wissenschaftssprachen), Unterschiede in den Forschungskonventionen (Unterschiede im Datenbedarf, der Datenanalyse, der Modellskalierung und epistemologische Beweisführung), institutionelle Rahmenbedingungen (Anreizstrukturen und wissenschaftliche Karrieremöglichkeiten) und organisatorische Herausforderungen (Management und Koordinierung des Verbundes). Zwar ist ein Teil dieser Herausforderungen innerhalb des Projektrahmens nicht beeinflussbar, dennoch kann eine Reihe genannter Hürden durch vorausschauende Organisation, Kommunikation sowie individuelle Offenheit gegenüber der Zusammenarbeit umgangen werden. Kognitive Dissonanzen und Sprachbarrieren lassen sich beispielsweise durch die Bereitschaft zur Reflexion der Grenzen eigener Forschungstätigkeit, durch Lernbereitschaft und Offenheit gegenüber fremden Methoden sowie die Schaffung eines gemeinsamen Glossars überwinden. Probleme, die sich aus den unterschiedlichen Forschungskonventionen heraus ergeben, lassen sich unter anderem dadurch abschwächen, dass Form und Einschränkungen disziplinärer Forschungsergebnisse genauso kommuniziert werden wie die Anforderungen an den Datenaustausch. Die Lösung solcher Probleme beginnt dabei bereits in der Projektplanungsphase. Geschaffene Organisations- und Managementstellen sind in der Durchführungsphase besonders gefordert und müssen Forschungsabläufe und den Ergebnisaustausch so koordinieren, sodass die Ergebnisintegration erleichtert wird. Hierbei sind insbesondere die gemeinsame Erstellung eines Zeitplans, die Definition von Zwischenzielen und Präsentation von Zwischenergebnissen zuträglich.

Zusätzlich zu der Beschreibung allgemeiner Herausforderungen und Lösungsansätze zielt das AP 6.4. zudem darauf ab, die gesonderten Herausforderungen bei der Integration sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Akteure in die, durch Natur- und Ingenieurwissenschaften dominierte, Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung zu beleuchten.

## 8 Kommunikation und Vernetzung (AP 7, hydro & meteo)

### 8.1 Projektwebseite

Für die Außendarstellung wurde unter [www.stuck-hh.de](http://www.stuck-hh.de) eine Projektwebseite eingerichtet.

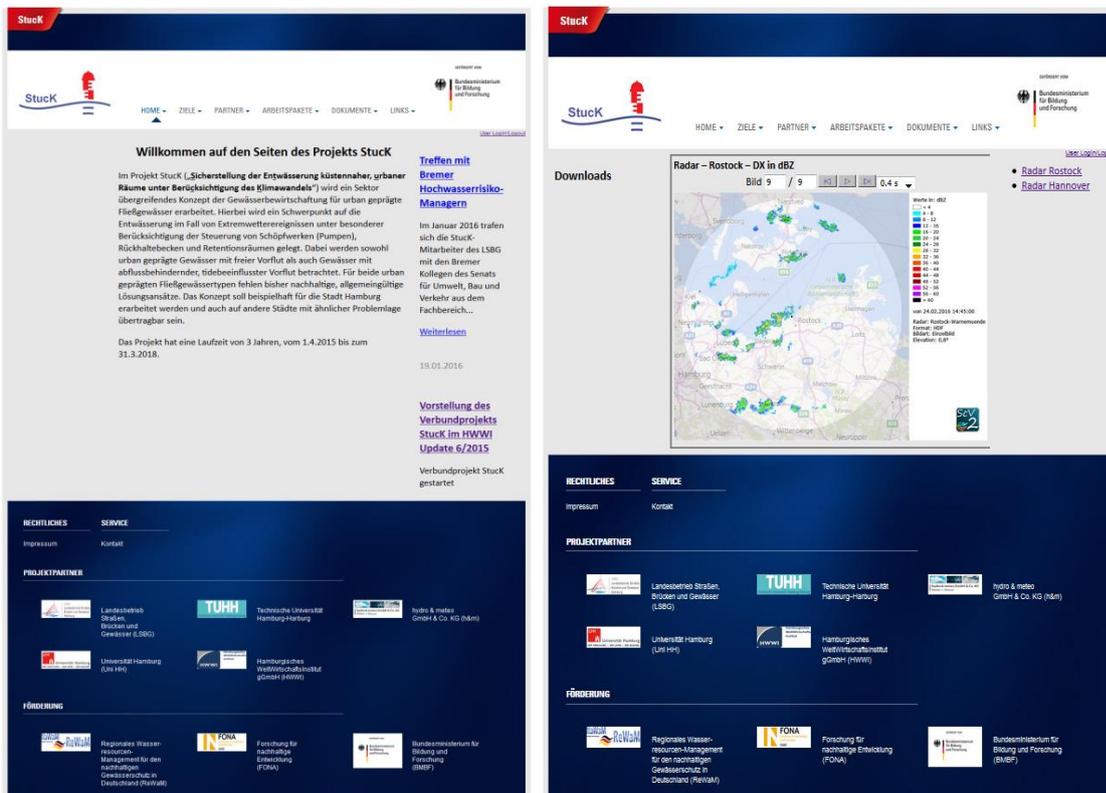
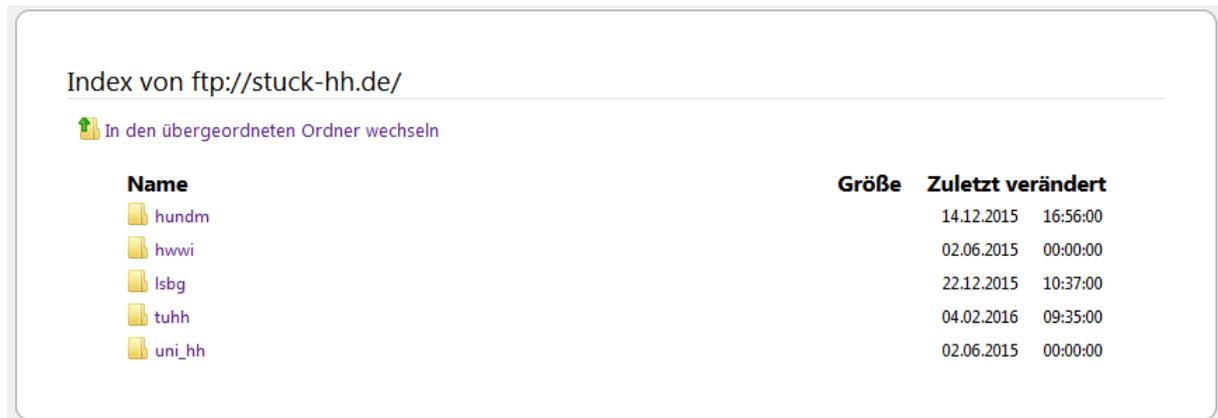


Abb. 45: Die Projektwebseite [www.stuck-hh.de](http://www.stuck-hh.de). Links ist die Startseite mit den verlinkten News der einzelnen Arbeitspakete in der rechten Spalte zu sehen. In der rechten Abbildung ist die passwortgeschützte Seite des Arbeitspaketes 1 zu sehen. Hier werden zurzeit die korrigierten Radardaten der Standorte Rostock/Warnemünde und Hannover in Echtzeit dargestellt.

Auf der Webseite hat jedes Arbeitspaket eigene Unterseiten, welche von den für dieses Arbeitspaket verantwortlichen Projektpartnern mit Inhalt gefüllt werden. Das einfache Einpflegen neuer Inhalte durch alle Projektpartner wird unterstützt durch ein Content-Management-System (typo3.org). Darüber hinaus ist für jedes Arbeitspaket eine eigene News-Kategorie angelegt, welche ebenfalls von den Mitarbeitern des entsprechenden Arbeitspaketes gepflegt wird. Um auch die Startseite aktuell und interessant zu halten, werden diese News auch auf die Startseite verlinkt und dort nach Datum sortiert dargestellt. Für die interne Vernetzung innerhalb des Projektes steht für jedes Arbeitspaket eine passwortgeschützte Unterseite zur Verfügung. Dies bietet unter anderem die Möglichkeit den Arbeitsfortschritt den anderen Projektpartnern und assoziierten Partnern zu veranschaulichen. Weitere Inhalte der Webseite werden von hydro & meteo nach Rücksprache oder im Auftrag von dem Projektleiter LSBG geändert. Weiterhin steht hydro & meteo allen Projektpartnern bei Fragen bezüglich der Webseite zur Verfügung.

## 8.2 FTP-Server

Für den Datenaustausch zwischen den Projektpartnern innerhalb des Projektes wurde ein FTP-Server eingerichtet (Abb. 46). Der Datenaustausch ist wie folgt organisiert: Jeder Projektpartner hat Schreibrechte in seinem eigenen Bereich, kann hier also Inhalte für die anderen Projektpartner zur Verfügung stellen; auf allen anderen Bereichen des Servers hat man nur lesenden Zugriff, so dass die bereitgestellten Inhalte anderer Projektpartner genutzt aber nicht verändert werden können.



Index von ftp://stuck-hh.de/

 In den übergeordneten Ordner wechseln

Name	Größe	Zuletzt verändert
 hundm		14.12.2015 16:56:00
 hwwi		02.06.2015 00:00:00
 lsbg		22.12.2015 10:37:00
 tuhh		04.02.2016 09:35:00
 uni_hh		02.06.2015 00:00:00

Abb. 46: Der Datenaustauschserver des Projektes Stuck.

## 9 Projektmanagement (AP 8, LSBG)

Das Arbeitspaket dient der regelmäßigen Organisation und Durchführung von Projektgruppen-, erweiterten Projektgruppen- und Arbeitstreffen, sowohl innerhalb des Verbundes als auch mit externen Partnern. Weiterhin wird hier die zeitliche und inhaltliche Koordination der Aufgaben zwischen Stuck und dem übergeordneten Forschungsverbund ReWaM und dem Projektträger Jülich (PTJ) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wahrgenommen. Auch die Berichterstattung gegenüber dem PTJ/BMBF ist hier angesiedelt. Nachfolgend werden die im Berichtszeitraum durchgeführten Treffen, Vernetzungsaktivitäten, Veröffentlichungen etc. aufgelistet.

### 9.1 Externe fachliche Vernetzung

#### 9.1.1 Besuch von Tagungen, Kolloquien und Seminaren

- 23. September 2015, beim Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz mit dem Titel "Ensemble-Vorhersagen mit COSMO-DE-EPS" (hydro & meteo)
- 11. November 2015, ReWaMnet-Auftaktveranstaltung in Koblenz (LSBG, TUHH, UHH, hydro & meteo, HWWI)
- 1. Dezember 2015, Kolloquiumsvortrag der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V. mit dem Thema „Extreme Gebietsniederschläge im Klimawandel in Mitteleuropa – das Projekt WETRAX“ (Vortragender: Prof. Dr. Jucundus Jacobeit) (LSBG)
- 1.-5. Dezember 2015, 10. Internationale Tagung zu „Precipitation in Urban Areas“ (Urban-Rain15, <http://www.ifu.ethz.ch/urbanrain>) (hydro & meteo)
- 12. Januar 2016, Kolloquiumsvortrag der Sektion Norddeutschland der DMG mit dem Thema „Warnen oder nicht Warnen, das ist hier die riskante Frage - Das transdisziplinäre Projekt WEXICOM des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung“ (Vortragender: Dr. Martin Göber) (hydro & meteo)
- 17.-18. März 2016, Tag der Hydrologie 2016 (LSBG, TUHH, hydro & meteo)
- 12. Mai 2016, Auftaktworkshop zum BMVI-Expertennetzwerk Küste (LSBG)

#### 9.1.2 Wissenschaftlicher Austausch

##### **Treffen mit Vertretern des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) am 2.11.2015**

LSBG, hydro & meteo

Das BSH wird im Rahmen des Expertennetzwerkes die Entwässerung des Nord-Ostsee-Kanals bearbeiten. Es ergeben sich deshalb thematische Überschneidungen, die besprochen wurden. Das BSH hat reges Interesse gezeigt bezüglich der Niederschlagsprognose mittels Radar und dessen Möglichkeiten und Grenzen. Darüber hinaus wurde über die Berechnung eines Vorfeuchte-Indexes für EZG diskutiert (Schröter et al. 2015). Das BSH hat

einen Vorfeuchte-Index für das Dezember Hochwasser 2014 ermittelt und ein plausibles Ergebnis erhalten. Mit Herrn Einfalt wurde beschlossen, einen solchen Vorfeuchte-Index auch im operationellen Betrieb des Warndiensts zu testen.

### **Treffen mit Vertretern des DFG-Projektes PATTERN (Universität Hamburg) am 18.1.2016**

LSBG, hydro & meteo, TUHH

Im Projekt [PATTERN](#) werden lokale Niederschläge mit x-Band-Radaren im Raum Itzehoe und Hamburg ermittelt. In einem weiteren DFG-Projekt (HyFox, Katharina Lengfeld, 2015-2017) soll mit einem nachgeschaltetem NA-Modell der aus den Radaren ermittelte Niederschlag genutzt werden, um den resultierenden Abfluss in einem gebirgigen Einzugsgebiet in Spanien und einem (urbanen) Gebiet in Hamburg zu berechnen. Es wurde bei diesem Treffen zum einen beschlossen, dass die langen Messzeitreihen vom Wettermast Hamburg dem Stuck-Projekt zur Kalibrierung des NA-Modells der Dove-Elbe zur Verfügung gestellt werden und zum anderen, dass Frau Lengfeld einen entsprechend aufbereiteten Datensatz des Niederschlags aus dem Hamburger X-Band-Radar an hydro & meteo weitergibt, der wiederum so aufbereitet wird, dass er für das NA-Modell der Kollau als Input genutzt werden kann. Die Ergebnisse der NA-Modellierung werden an Frau Lengfeld zurückgegeben. Für das Stuck-Projekt ist es von Interesse, ob zeitlich und räumlich höher aufgelöste Niederschlagsinformationen zu einer Verbesserung der Ergebnisse auf einer „größeren“ Einzugsgebietsebene führen.

### **Treffen mit Vertretern des ReWaM-Projektes KOGGE am 8.3.2016**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Beim Besuch einer Delegation von Mitarbeitern des ReWaM-Projektes KOGGE aus Rostock wurden vormittags die Projekte KOGGE und Stuck in mehreren Vorträgen gegenseitig vorgestellt. Nach einer abschließenden Diskussion wurde am Nachmittag die Modellregion Kollau aufgesucht und vor Ort zentrale Elemente des Hochwasserschutzes erläutert.

### **Treffen mit Vertretern des Bezirksamtes Wandsbek am 3.3.2016**

LSBG

Mit zwei Vertretern des Bezirksamtes Wandsbek wurde über deren Praxiserfahrungen mit der 3-Wehrsteuerung, einer ereignisbezogenen automatischen Steuerung von drei Wehren, basierend auf Niederschlagsmesswerten, gesprochen. Die 3-Wehrsteuerung wurde vom LSBG im Rahmen des Forschungsprojekts SAWA entwickelt.

## **9.2 Interne fachliche Vernetzung**

### **Stuck Kick-Off am 18.5.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI, assoziierte Projektpartner sowie Projektträger Jülich

Das Projekt und seine Struktur wurden vorgestellt, Interessen der Teilnehmer bekundet und Ziele des Projekts diskutiert.

## **1. Projektgruppentreffen am 29.5.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Bei diesem Treffen wurden die Themen Kooperationsvereinbarung, Projektablauf, Datenaustausch, Szenarios und Standorte angesprochen und diskutiert.

## **Arbeitsgespräch mit Projektpartnern am 05.06.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Bei diesem Arbeitsgespräch wurde, unter anderem, über mögliche Szenarien einer zukünftigen Gewässerbewirtschaftung gesprochen. Eine Ortbegehung der Modellregionen wurde beschlossen.

## **Ortsbegehung am 07.07.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Die beiden Modellregionen Kollau und Dove-Elbe wurden begangen, potenzielle Untersuchungsstandorte erkundet und die wasserwirtschaftliche Steuerung vor Ort in Augenschein genommen.

## **Arbeitstreffen mit Projektpartnern am 15.07.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Dieses kurze Arbeitstreffen diente der weiteren Konkretisierung möglicher zukünftiger Szenarien der Gewässerbewirtschaftung und äußerer Rahmenbedingungen („Klimawandel“).

## **Arbeitstreffen am 18.8.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH

Themen des Treffens waren Datenübergabe, Datentransfer zwischen TUHH und hydro & meteo, Auswahl von Niederschlagsereignissen, Datenverfügbarkeit, Kalibrierungen, Modellierungen, weiterer Datenbedarf und Abstimmung des Textbeitrages der ReWaMnet-Broschüre sowie zum Stuck-Logo.

## **2. Projektgruppentreffen am 18.9.2015**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Es wurde über die Erweiterung der assoziierten Partner, den Sachstand der Projektarbeit, die Modellregionen, den Internetauftritt, die Vernetzung durch ReWaMnet sowie das Projektgruppentreffen mit assoziierten Partnern gesprochen.

## **Arbeitsgespräch mit den Bezirksämtern Bergedorf und Eimsbüttel am 12.10.2015**

LSBG, UHH

Es wurde über wasserwirtschaftliche Details in den Modellregionen Kollau und Dove-Elbe diskutiert. Das Fachwissen beider Ansprechpartner in den Bezirksämtern erweist sich als sehr hilfreich.

## **Arbeitsgespräch zwischen LSBG und HWWI am 16.12.2015**

Es wurde anhand einer geplanten Gewässer-Renaturierungsmaßnahme besprochen, wie diese ökonomisch bewertet werden kann, auch in Hinblick auf ihre Ökosystemleistung.

## **Treffen mit Freie Hansestadt Bremen, SUBV am 5.1.2016**

Im Januar 2016 trafen sich die Stuck-Mitarbeiter des LSBG mit den assoziierten Partnern vom Hochwasserrisikomanagement des Senats für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen.

Bei einem gemeinsamen Gespräch über die wasserwirtschaftliche Situation in Bremen und einer anschließenden Geländebegehung stellte sich heraus, dass die naturräumlich bedingte Entwässerungssituation in Bremen der in Hamburg sehr stark ähnelt. In beiden Städten gibt es tidebedingt Zeiten ohne Binnenentwässerungsmöglichkeiten, die zu einem Rückstau in den Binnengewässern führen können. Wie im Einzugsgebiet der Kollau in Hamburg, finden sich auch in Bremen vergleichsweise kurze Gewässer mit einem kleinen Einzugsgebiet und einer dementsprechend sehr schnell durchlaufenden Hochwasserwelle. Dies erfordert im Ereignisfall eine sehr kurze Reaktionszeit, die durch eine präzisere Niederschlagsprognose verkürzt werden kann. Insofern werden die für Hamburg in Stuck ermittelten Ergebnisse sehr gut auf die Gegebenheiten in Bremen übertragbar sein.

Der gemeinsame Ideenaustausch soll Synergien schaffen und zukünftig fortgesetzt werden.

## **3. Projektgruppentreffen am 20.1.2016**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Es wurde über den Sachstand der Projektarbeit, über die Erstellung des 1. Zwischenberichtes, die Internetseite [www.stuck-hh.de](http://www.stuck-hh.de), die ReWaMnet Auftaktveranstaltung in Koblenz, Berichte bisheriger Treffen, das erweiterte Projektgruppentreffen mit assoziierten Partnern und PTJ/BMBF sowie die Teilnahme an Tagungen gesprochen.

## **1. Erweitertes Projektgruppentreffen am 25.05.2016**

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI sowie assoziierte Projektpartner

Beim ersten erweiterten Projektgruppentreffen wurden, vornehmlich den assoziierten Projektpartnern, die bisherigen Arbeitsschritte und erste Zwischenergebnisse aus den Arbeitspaketen berichtet. In einer gemeinsamen Diskussion konnten alle Teilnehmer Ihre Anregungen, Fragen und Wünsche einbringen. In ca. einem Jahr wird erneut ein erweitertes Projektgruppentreffen ausgerichtet, sollte wichtige neue Ergebnisse vorliegen kann bereits Ende 2016 ein Treffen einberufen werden.

## **9.3 Veröffentlichungen, Publikationen und Präsentationen**

### **9.3.1 Studienarbeiten**

Am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg wurde von der Masterstudentin Nina Sophia Leese eine Masterarbeit mit dem Titel „Aufbereitung und Auswertung von Vorhersage-Ensembles für Niederschlagsereignisse und korrespondierende Abflüsse

am Beispiel des Hochwassermanagements für urbane Gebiete“ erstellt. Bearbeitungszeit: 01.04.2015 bis 01.09.2015. Erstprüfer war Herr Prof. Fröhle, Zweitprüfer Herr Prof. Schneider und die Betreuung erfolgte durch Frau Hellmers vom Institut für Wasserbau.

Eine weitere Studienarbeit über die Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken wurde von Herrn Oliver Caspari angefertigt. Der Titel der Arbeit lautet: „Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlicher Steuerungsstrategien für Hochwasserrückhaltebecken in urbanen Gewässern.“ Erstprüfer war Herr Prof. Fröhle. Zweitprüfer und Betreuerin war Frau Hellmers vom Institut für Wasserbau. Die Bearbeitung erfolgte Semesterbegleitend vom Oktober 2015 bis April 2016.

Im Rahmen des Projekts schreibt Sarah Gennis, Studentin an der Universität Hamburg, ihre Bachelorarbeit. Die Betreuung erfolgt durch Prof. Böhner und Prof. Gönnert.

### 9.3.2 Konferenzen

#### **ReWaMnet-Konferenz: Auftaktveranstaltung Kick-off 2015**

Gönnert, G. & Westphal, H. (2015): Stuck – Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels, Poster, ReWaM-Konferenz: Auftaktveranstaltung Kick-off 10.-11.11.2015, Koblenz

Gönnert, G., Ackermann, D., Westphal, H., Hesser, F., Gennis, S. & Strauer, M. (2015). Stuck – Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels, Vortrag, ReWaM-Konferenz: Auftaktveranstaltung Kick-off 10.-11.11.2015, Koblenz

#### **Tag der Hydrologie 2016 in Koblenz**

Hellmers, S., Strehz A., Leese N.S., Einfalt E. & Fröhle, P. (2016): Optimierung der Niederschlags-Abfluss-Modellierung für städtische Hochwasservorwarnsysteme durch Einsatz von Ensemble Radar Nowcasts. Posterbeitrag, Tag der Hydrologie 2016, Koblenz, Deutschland.

Westphal, H., Hesser, F., Ackermann, D. & Gönnert, G. (2016): Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – Stuck; Tag der Hydrologie, 17.3.2016.

#### **Novatech 2016 in Lyon**

Hellmers, S., Leese N.S., Strehz A., Einfalt E. & Fröhle, P. (2016): Ensemble Radar Nowcasts and Rainfall Runoff Modelling for Urban Flood Management. 9. internationale Konferenz NOVATECH 2016, Lyon, Frankreich.

### 9.3.3 Seminare

Zur Förderung der Zusammenarbeit und Interdisziplinarität erfolgte eine Vorstellung der Arbeiten des Instituts für Wasserbau (von Frau S. Hellmers) im Rahmen eines Seminars für Masterstudenten / Doktoranden an der Universität Hamburg des Instituts für Bodenkunde im laufenden Wintersemester 2015. Eine Vorstellung der Arbeiten des Instituts für Bodenkunde

(von Frau Prof. Eschenbach) im Rahmen des Wasserbau-Seminars am Institut für Wasserbau der TU Hamburg ist für das 2. Quartal 2016 vorgesehen.

## 10 Synopse

Insgesamt fünf Projektpartner erarbeiten im Verbundforschungsprojekt StucK ein Sektor übergreifendes Konzept der küstennahen Gewässerbewirtschaftung für urban geprägte Fließgewässer unter Berücksichtigung des Klimawandels. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwässerung im Fall von Extremwetterereignissen unter besonderer Berücksichtigung der Steuerung von Schöpfwerken (Pumpen), Rückhaltebecken und Retentionsräumen bei heutigen und zukünftigen (klimatischen) Bedingungen. Die konkrete Umsetzung erfolgt in den Modellregionen Kollau und Dove-Elbe.

Die Modellregion Kollau ist mit etwa 32 km<sup>2</sup> ein vergleichsweise kleines Einzugsgebiet und gekennzeichnet durch einen teilweise hohen Bodenversiegelungsgrad und damit sehr schnell auf Niederschlagsereignisse reagierende Gewässer (z. T. 30-60 Minuten). Entsprechend wird eine sehr kurzfristige und kleinräumige Niederschlagsprognose benötigt. In der Modellregion sind insgesamt 23 Rückhaltebecken vorhanden, deren Einbindung in eine optimierte Steuerung ist ein Ziel des Forschungsprojekts.

Die Modellregion Dove-Elbe ist im Vergleich zur Kollau wesentlich größer. Das Gesamteinzugsgebiet, inkl. Zufluss der Bille aus Schleswig-Holstein, beträgt ca. 507 km<sup>2</sup> und weist im Schnitt deutlich geringere Bodenversiegelungsraten auf. Damit erklärt sich eine deutlich langsamere Reaktion auf starke Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet. Die Besonderheit dieser Modellregion ist die direkte tideabhängige Entwässerung in die Elbe. Mangels vorhandenem Schöpfwerk kann ausschließlich bei geringeren Außenwasserständen am Siel der Tatenberger Schleuse entwässert werden. Im Fall von länger andauernden hohen Außenwasserständen, sog. Sperrtiden, kann nicht entwässert werden. Treten zusätzlich hohe Niederschläge im Einzugsgebiet auf, können Wasserstände in der Dove-Elbe entstehen, die einen Rückstau mit kritischen Wasserständen im Schleusengraben, der oberen Dove-Elbe und der Gose-Elbe zur Folge haben. Die Verbesserung des Managements solcher Situationen, unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Aspekte, ist ein weiteres Ziel des Forschungsprojekts.

Die Arbeitspakete 3 und 5 enthalten das Hochwassermanagement und die Umsetzung in den Projektgebieten, und damit auch den Schutz vor Hochwasserereignissen. Der Umgang mit dem Hochwasserschutz variiert bundeslandbezogen, in Hamburg erfolgt die Umsetzung mit dem sog. Drei-Säulen-Konzept:

1. Vorbeugender Hochwasserschutz. Dieser betrifft die Aspekte „natürlicher Wasserrückhalt in der Fläche“, Risikokommunikation zum Bürger und die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten durch Hochwasserrisiko- und Gefahrenkarten.
2. Technischer Hochwasserschutz. Hierunter werden bauliche Maßnahmen wie beispielsweise Deiche, Schutzwände/Mauern, Schöpfwerke/Siele, Rückhaltebecken, naturnaher Gewässerausbau, Beseitigung von Engstellen, Entsiegelung und die Bauvorsorge verstanden.
3. Operativer Gewässerschutz. In dieser Säule werden z. B. die Deichschau, der Wetter- und Hochwassermeldedienst, die Abwehr einer Hochwassergefahr sowie Betrieb, Unterhaltung und Inspektion von Anlagen und Gewässern zusammengefasst.

Die Verbesserung des Warn-/Meldedienstes und die Entwicklung alternativer und übertragbarer Steuerungsstrategien, welche ökologischen Ansprüchen genügen und ökonomisch (bestenfalls) positiv bewertet wurden sind wesentliche Merkmale dieser Arbeitspakete. Um verbesserte Steuerungsstrategien zu entwickeln werden zunächst die wesentlichen hydrologischen Gewässercharakteristika erfasst und statistisch ausgewertet. Untersuchungen der letzten 14 Jahre haben ergeben, dass im Mittel pro Jahr eine Sperrtide vorkommt. Auswertungen solcher Ereignisse und der dazugehörigen Wetterereignisse, sollen zu einem verbesserten operativen Hochwasserschutz führen, der betroffene Bürger auf eventuelle Risiken vorbereitet.

Auch die Häufigkeit eines Zusammentreffens von hohen Tidewasserständen und Niederschlagsereignissen wird betrachtet

Grundlegend für eine Verbesserung der Hochwasserwarnung ist eine Optimierung der Niederschlagsprognose. Dazu erfolgt im Arbeitspaket 1 die Auswertung von Radardaten, numerischen Wettervorhersagedaten und Stationsmessdaten. Als Grundlage dienen die Radardaten der vier Standorte Emden, Hannover, Boostedt und Rostock. Diese Daten werden kompositiert und einer Onlinekorrektur unterzogen (Bodenechos und Strahlenfehler), was zu homogeneren Niederschlagsmustern führt. Die Niederschlagsvorhersage erfolgt mit der Software SCOUT, indem Niederschlagszellen in ihrer Größe, Form und Intensität erfasst werden und über 2D-Geschwindigkeitsvektoren eine Vorhersage erstellt wird. Hervorgehoben werden muss die hohe räumliche (1 x 1 km) und zeitliche (5 Minuten) Auflösung der Niederschlagsprognose, welche nur so den Bedarf, insbesondere in der Modellregion Kollau, deckt.

Die von hydro & meteo in AP 1 berechneten Vorhersagedaten werden in das von der TUHH verwendete Modell KalypsoHydrology eingebettet und dienen der Modellierung von Wasserspiegel und Überflutungsflächen (Arbeitspaket 2). Durch fortlaufend aktuelle Niederschlagsprognosen kann ein operativer Einsatz ermöglicht werden und damit die Verbesserung des Warndienstes Binnenhochwasser Hamburg. Die Implementierung wechselnder Außenwasserstände (Tide) und alternativer Steuerungsstrategien von wasserwirtschaftlichen Regelbauwerken in KalypsoHydrology stellt einen weiteren wichtigen Baustein in AP 2 dar.

In Arbeitspaket 4 wird von der Universität Hamburg die Ökologie der Gewässer und ihrer Randbereiche in den Modellregionen erfasst. An ausgewählten Standorten erfolgt eine pflanzenökologische und bodenkundliche Kartierung und Bewertung des Ist-Zustands sowie zukünftiger Szenarien einer veränderten Gewässerbewirtschaftung. Ein wichtiger Baustein in AP 4 sind die Ökosystemsleistungen wie z. B. Wasserrückhaltevermögen, Kohlenstoffspeicherung oder Schadstoffretention, welche in AP 6 später in die ökonomische Bewertung eingehen. Eine Analyse ausgewählter Standorte an der Dove-Elbe hat bereits ergeben, dass die Tide der Elbe einen signifikanten Einfluss auf die Standortbedingungen hat und durch die Abdämmung der Dove-Elbe sich die Bedingungen soweit verändert haben, dass der Anteil gewisser Pflanzen der roten Liste zurückgegangen ist. Da die Entwässerung an der Kollau hauptsächlich mittels Rückhaltebecken geschieht, wird im Laufe des Projekts mit Mesokosmenexperimenten simuliert werden, wie sich der Ist-Zustand eines Rückhaltebeckens verändert, wenn temporäre Trockenperioden auftreten.

Im ersten Teil des Arbeitspaketes 6 vollzieht das Hamburgische WeltWirtschaftsinstitut die ökonomische Flächenanalyse. Sie befasst sich mit zunehmender Nutzungskonkurrenz und Flächenknappheit in urbanen Räumen. Insbesondere zwischen dem Hochwasserschutz in Form von Retentionsflächen und der Versiegelung der Flächen in Form von Siedlungs- oder Verkehrsflächen bestehen gegensätzliche Nutzungsansprüche. Eine Bebauung wirkt sich kontraproduktiv auf den Hochwasserschutz aus, weil durch die zunehmende Versiegelung eine höhere Belastung der Kanalisations- und Flusssysteme erfolgt. Der Anteil von Siedlungs- und Verkehrsflächen ist bislang Statistischen Jahrbüchern entnommen. In Zukunft sollen diese Flächen in ihren einzelnen Funktionen detaillierter dargestellt und in kleinerem Maßstab erfasst werden. Des Weiteren ist geplant einer eventuellen Veränderung der Flächennutzbarkeit im Zuge des Klimawandels Rechnung zu tragen. Dazu erfolgt die Berechnung eines Gefährdungsparameters, welcher die Grundstückspreise in Bezug auf Lage und Gefährdung kennzeichnet.

Im zweiten Teil des AP 6 erfolgen die Erfassung von Ökosystemleistungen und deren ökonomische Bewertung unter Berücksichtigung alternativer Nutzungsmöglichkeiten. Grünflächen am Gewässer dienen nicht nur als Retentions- oder Überschwemmungsflächen, sondern bieten gleichzeitig Naherholungsmöglichkeiten, sind ein Habitat für städtische Fauna und Flora und können das urbane Mikroklima und den Lärmpegel regulieren. Diese Funktionen sind zwar sehr wichtig, werden aber häufig in der Stadtplanung auf Grund des Platzmangels/Raumdrucks nicht berücksichtigt, deswegen soll dessen Wert gegenüber anderen Nutzungsformen in diesem Arbeitspaket verdeutlicht werden.

Abschließend erfolgt in AP 6 eine Kosten-Nutzen-Abschätzung bereits vorhandener Maßnahmen. Dabei soll der Wert der Maßnahme oder eines Bauwerks zum Hochwasserschutz daran festgemacht werden, welcher Schaden entstünde, wenn diese Maßnahmen oder das Bauwerk nicht existieren würden. Am Beispiel von Extremsituationen wird dargestellt, welcher maximale Schaden entstehen könnte.

In Arbeitspaket 7 hat hydro & meteo die Projektwebseite und einen FTP-Server zum projekt-internen Austausch von Daten und Forschungsergebnissen erstellt. Die Pflege und Wartung beider Produkte erfolgt an zentraler Stelle in AP 7.

Das Projektmanagement und die Koordination von StucK sind im Arbeitspaket 8 verankert. Hier erfolgt durch den LSBG die regelmäßige Organisation von Projektgruppen- und Arbeitstreffen, bei Bedarf auch mit externen Partnern, die Berichterstattung und Kommunikation zum PTJ, dem BMBF sowie zum Vernetzungsverbund ReWaMnet.

## 11 Danksagung

Die Autoren und Projektpartner von „Stuck“ danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Verbundforschungsprojekts im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM)“. Die Projektpartner von „Stuck“ sind:

- Freie und Hansestadt Hamburg – Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (Verbundprojektkoordination)  
*Prof. Dr. Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Dr. Heiko Westphal, Fred Hesser, Sarah Gennis und Matthias Strauer*
- Technische Universität Hamburg, Institut für Wasserbau  
*Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle, Sandra Hellmers*
- hydro & meteo GmbH & Co. KG, Lübeck  
*Dr. Thomas Einfalt, Alexander Strehz*
- Universität Hamburg
  - o Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Institut für Bodenkunde  
*Prof. Dr. Annette Eschenbach, Kira Kalinski*
  - o Biozentrum Klein Flottbek, Abteilung Angewandte Pflanzenökologie  
*Prof. Dr. Kai Jensen, Nikola Lenzewski*
- Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH  
*Dr. Sven Schulze, Dr. Julia Rose, Andreas Röhlig, Marie-Christin Rische, Malte Jahn*

## 12 Literaturverzeichnis

Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (Hg.) (2008): Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder. Fläche und Raum, Analysen und Ergebnisse. Statistische Ämter der Länder. Online verfügbar unter <http://www.ugrdl.de/veroeffentlichungen.htm>, zuletzt geprüft am 08.04.2016.

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) (2013): Information der Öffentlichkeit gemäß § 79 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) über die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) in der Flussgebietsgemeinschaft Elbe, Freie Hansestadt Hamburg. Hg. v. Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU).

Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE) (Hg.): Hydro-Net. der Hydrologische Internet / Intranet-Dienst von HYDRO 6.1. Unter Mitarbeit von Michael Korytko. Online verfügbar unter <http://hydroweb.geronimus.info>, zuletzt geprüft am 23.02.2016.

Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE) (2015): Information der Öffentlichkeit gemäß § 79 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) über die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) in der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Hintergrunddokument der Freien und Hansestadt Hamburg zum Hochwasserrisikomanagementplan der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE). Hamburg. Online verfügbar unter <http://www.hamburg.de/contentblob/4653328/data/d-3-hintergrunddokument-hwrm-plan.pdf>, zuletzt geprüft am 24.02.2016.

Beltran, Allan; Maddison, David; Elliott, Robert (2014): Is flood risk capitalized in property values? A meta-analysis approach from the housing market. Meta-Analysis of Economics Research Network 8th Annual Colloquium. University of Athens, Greece. Athen, 11.09.2014.

Bertram, Heinz-Ulrich; Bannick, Claus Gerhard (2004): Die LAGA-Mitteilung 20-Möglichkeiten und Grenzen. In: *WLB-TerraTech* 5, S. 4–7.

Bowler, Neill E.; Pierce, Clive E.; Seed, Alan W. (2006): STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. In: *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 132 (620), S. 2127–2155. DOI: 10.1256/qj.04.100.

Bradley, C. (2002): Simulation of the annual water table dynamics of a floodplain wetland, Narborough Bog, UK. In: *Journal of Hydrology* 261 (1-4), S. 150–172. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00012-4.

Brunotte, Ernst; Koenzen, Uwe; Mehl, Dietmar; Amberger, Patrick; Bonn, Rainer; Döpke, Martin (Hg.) (2009): Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und biologische Vielfalt, 87. 2009).

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hg.) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Mit 103 Tabellen und 31 Listen. Unter Mitarbeit von Herbert Sponagel. Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). 5., verb. und erw. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.

BWS GmbH (Hg.) (2011): Erweiterter Vergleich von Planungsvarianten zur Verbesserung des Binnenhochwasserschutzes im Bereich der Vier- und Marschlande. Hydraulische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Dove-Elbe/Bille. Unter Mitarbeit von Nils Petersen, Karl Lorenz und Lutz Krob. Hamburg.

BWS GmbH; Ingenieurgemeinschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH (2007): Verbesserung des Hochwasserschutzes und des Binnenhochwasserschutzes für die Vier- und Marschlande. Untersuchung von Planungsvarianten. Unter Mitarbeit von Marcus Keller, Nils Petersen, D. Wagener und Lutz Krob. Hamburg.

Caspari, Oliver (2016): Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlichen Steuerungsstrategien für Hochwasserrückhaltebecken in urbanen Gewässern. Projektarbeit. Technische Universität Hamburg Harburg (TUHH), Hamburg-Harburg. Institut für Wasserbau.

Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; Groot, Rudolf de; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce et al. (1997): The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. In: *Nature* 387, S. 253–260.

Daniel, Vanessa E.; Florax, Raymond J. G. M.; Rietveld, Piet (2009): Flooding risk and housing values: An economic assessment of environmental hazard. In: *Ecological Economics* 69 (2), S. 355–365.

Day, Brett; Bateman, Ian; Lake, Iain (2007): Beyond implicit prices: recovering theoretically consistent and transferable values for noise avoidance from a hedonic property price model. In: *Environmental and Resource Economics* 37 (1), S. 211–232. DOI: 10.1007/s10640-007-9121-8.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (06.05.2015): Unwetter mit Tornados richten am 5. Mai 2015 schwere Schäden in Norddeutschland an. Stand: 06. Mai 2015. Offenbach. Online verfügbar unter

[https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/2015/Unwetter\\_Tornado\\_Norddeutschland\\_PDF.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/2015/Unwetter_Tornado_Norddeutschland_PDF.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 30.03.2016.

Doupé, Patrick; Dobes, Leo; Jotzo, Frank (2014): Incorporating information over heterogeneous risks: Property price effects of flood risk evaluation and flooding in Brisbane, Australia. Working Paper. mimeo.

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hg.) (2009): Merkblatt DWA-M 609-1 Entwicklung urbaner Fließgewässer. Teil 1: Grundlagen. Planung und Umsetzung. [Stand] Juni 2009. Hennef: DWA (DWA-Regelwerk : Merkblatt DWA-M, 609,1).

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

Einfalt, Thomas (2009): SCOUT. Version 3.3. Lübeck: hydro & meteo GmbH & Co. KG.

Ellenberg, Heinz; Weber, Heinrich E.; Düll, Ruprecht; Wirth, Volkmar; Werner, Willy; Paulißen, Dirk (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Göttingen (Scripta Geobotanica, 18). Online verfügbar unter <http://tocs.ulb.tu-darmstadt.de/19090765.pdf>, zuletzt geprüft am 04.04.2016.

Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. WRRL. In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*. Online verfügbar unter [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF), zuletzt geprüft am 21.01.2016.

Europäische Union (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hwrm\\_rl.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hwrm_rl.pdf), zuletzt geprüft am 19.01.2016.

Freie Hansestadt Bremen (2013): Verordnung über hochwassergefährdete Gebiete im tidebeeinflussten Einzugsgebiet der Weser, der Lesum und der Ochtum in der Stadtgemeinde Bremen. Hochwassergebietsverordnung Weser - Weser-HwGebV, vom 21.11.2013 90, S. 574–579. Online verfügbar unter <http://bauumwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Hochwassergebietsverordnung%20Weser.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2016.

Freie Hansestadt Bremen - Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (Hg.) (2003): Hochwasserschutz im Land Bremen. Bericht des Senats zur Hochwasserschutzsituation im Land Bremen und Folgerungen anlässlich der Flutkatastrophe an der Elbe im August 2002. Hochwasserschutzbericht Land Bremen 2002. Unter Mitarbeit von Bremischer Deichverband am linken Weserufer, Bremischer Deichverband am rechten Weserufer, Hansestadt Bremisches Hafenamts mit bremenports GmbH, Umweltschutzamt Bremerhaven und Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Forschungsstelle Küste, Franziusinstitut, Universität Hannover. Bremen. Online verfügbar unter [www.dvr-bremen.de/Deichverband/web/download/hochwasser\\_in\\_bremen.pdf](http://www.dvr-bremen.de/Deichverband/web/download/hochwasser_in_bremen.pdf), zuletzt geprüft am 25.01.2016.

Frie, Britta; Hensel, Ralph (2007): Schätzverfahren zur Bodenversiegelung: UGRdL-Ansatz. Unter Mitarbeit von Britta Frie und Ralph Hensel. Hg. v. Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen (LDS-NRW). Düsseldorf (Statistische Analysen und Studien Nordrhein-Westfalen, 44).

Gabella, Marco; Notarpietro, Riccardo (2002): Ground clutter characterization and elimination in mountainous terrain. In: Herman Russchenberg (Hg.): Proceedings 2nd European Conference on Radar Meteorology. European Conference on Radar Meteorology (ERAD). Delft, 18.-22. November 2002. TU Delft: Copernicus Publications (ERAD Publication Series). Online verfügbar unter <http://www.copernicus.org/erad/online/erad-305.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2016.

Germann, Urs; Berenguer, Marc; Sempere-Torres, Daniel; Zappa, Massimiliano (2009): REAL-Ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region. In: *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 135 (639), S. 445–456. DOI: 10.1002/qj.375.

Gómez-Baggethun, Erik; Gren, åsa; Barton, David N.; Langemeyer, Johannes; McPhearson, Timon; O'Farrell, Patrick et al. (2013): Urban Ecosystem Services. In: Thomas Elmqvist, Michail Fragkias, Julie Goodness, Burak Güneralp, Peter J. Marcotullio, Robert I. McDonald et al. (Hg.): *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*.

A Global Assessment. A Part of the Cities and Biodiversity Outlook Project. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 175–251.

Groffman, Peter M.; Bain, Daniel J.; Band, Lawrence E.; Belt, Kenneth T.; Brush, Grace S.; Grove, J. Morgan et al. (2003): Down by the Riverside: Urban Riparian Ecology. In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 1 (6), S. 315–321. Online verfügbar unter [http://www.rolandpark.org/documents/Groffman\\_etal\\_riparian\\_03.pdf](http://www.rolandpark.org/documents/Groffman_etal_riparian_03.pdf), zuletzt geprüft am 05.04.2016.

Hamburger Senat (1966): Verordnung über Überschwemmungsgebiete am Unterlauf der Dove- und Gose-Elbe, 3. DVO/HWaG. In: Hamburger Justizbehörde (Hg.): Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt (HmbGVBl.). Online verfügbar unter <http://www.hamburg.de/contentblob/4273948/3000266b16fcddb40ac22d6927d6546e/data/download-dovegose-verordnung.pdf>, zuletzt geprüft am 04.05.2016.

Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH (Hg.) (2012): Aktualisierung der Modelle im Einzugsgebiet der Kollau. Erläuterungsbericht. Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH. Itzehoe.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg. Hamburg: TuTech Verlag. Online verfügbar unter [http://klimzug-nord.de/file.php/2014-03-20-Kursbuch\\_Komplett\\_20140320\\_web.pdf](http://klimzug-nord.de/file.php/2014-03-20-Kursbuch_Komplett_20140320_web.pdf), zuletzt geprüft am 14.12.2015.

Krons (1989): Naturräumliche Gliederung Hamburgs.

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) (Hg.): Hochwasser-Sturmflut-Information. Wasserstand. Online verfügbar unter <http://www.umweltdaten.landsh.de/public/hsi/index.html>, zuletzt geprüft am 24.02.2016.

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (Hg.) (2009): Hochwasserschutz für die Hamburger Binnengewässer. Unter Mitarbeit von Antje Müller, Jeff Marengwa, Olaf Müller, Dieter Ackermann, Björn Ruge, Roland Zander und Doris Föllmer. Hamburg (Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, 3).

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (Hg.) (2011): Hochwasser an Hamburgs Binnengewässern am 6. und 7. Februar 2011. Unter Mitarbeit von Dieter Ackermann, Frauke Reichel, Klaus Kluge und Olaf Müller. Hamburg (Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, 6).

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (Hg.) (2014): Überschwemmungsgebiete in Hamburg. Unter Mitarbeit von Gabriele Gönnert, Klaus Kluge, Olaf Müller, Dieter Ackermann, Claudia Brüning, Sonja Peters et al. Hamburg (Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, 15).

McPherson, E. Gregory; Simpson, James R. (1999): Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters. Albany, California: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station (General technical report PSW, GTR-171).

Meyer, Franz (1954): Vegetationsuntersuchungen an der Doveelbe. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Hamburg. Fachbereich Biologie.

Millennium Ecosystem Assessment (Hg.) (2005): Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Island Press.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR-SH) (Hg.) (2007): Binnenhochwasserschutz und Hochwasserrückhalt - Schleswig-Holstein. Generalplan. Kiel, zuletzt geprüft am 07.12.2015.

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (Hg.) (2005): Hochwasserschutz in Niedersachsen (Oberirdische Gewässer, 23). Online verfügbar unter [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=7903&article\\_id=44328&psmand=26](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=7903&article_id=44328&psmand=26), zuletzt geprüft am 08.12.2015.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz; Freie Hansestadt Bremen - Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (Hg.) (2012): Die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Niedersachsen und Bremen. Online verfügbar unter [http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/74244/Broschuere\\_Die\\_Umsetzung\\_der\\_Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie\\_in\\_Niedersachsen\\_und\\_Bremen\\_Dez.\\_2012\\_.pdf](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/74244/Broschuere_Die_Umsetzung_der_Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie_in_Niedersachsen_und_Bremen_Dez._2012_.pdf), zuletzt geprüft am 25.01.2016.

Nowak, David J.; Crane, Daniel E. (2002): Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. In: *Environmental Pollution* 116 (3), S. 381–389. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7.

Nowak, David J.; Hoehn, Robert E., III; Crane, Daniel E.; Stevens, Jack C.; Walton, Jeffrey T. (2007): Assessing urban forest effects and values New York City's urban forest. Hg. v. USDA Forest Service. U.S. Department of Agriculture. Newtown Square, PA (Resource Bulletin, NRS-9).

Pacific, Vincent J.; McGlynn, Brian L.; Riveros-Iregui, Diego A.; Welsch, Daniel L.; Epstein, Howard E. (2008): Variability in Soil Respiration across Riparian-Hillslope Transitions. In: *Biogeochemistry* 91 (1), S. 51–70.

plan.et (2015): Standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls für den Ausbau des Rückhaltebeckens RRB südlich Farnhornstieg/östlich der Mühlenau im B-Plan Bahrenfeld 37/Eidelstedt 64.

Planula (2008): Untersuchung der Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos gemäß WRRL in der Dove Elbe (OWK bi\_15).

Poppendieck, Hans-Helmut; Bertram, Horst; Brandt, Ingo; Engelschall, Barbara; Prondzinski, Jörg von (Hg.) (2010): Der Hamburger Pflanzenatlas. von a bis z. mit Roter Liste und CD-ROM. Botanischer Verein zu Hamburg. 1. Aufl., korrigierte u. um 1 CD-ROM erw. Fassung der Erstaufl. [=erw. 2. Aufl.]. München: Dölling und Galitz. Online verfügbar unter <http://www.botanischerverein.de/aktuelle-informationen-detail/items/hamburger-pflanzenatlas.html>.

Reese, Stefan; Markau, Hans-Jörg; Sterr, Horst (2003): MERK - Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen. Abschlussbericht. Forschungs- und Technologiezentrum Westküste.

Riedel, Gerhard (2004): Ein hydrologisches Modell für tidebeeinflusste Flussgebiete. Dissertation. Technische Universität Carola-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig. Leicht-

weiß-Institut für Wasserbau. Online verfügbar unter [http://digisrv-1.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal\\_derivate\\_00001644/Document.pdf;jsessionid=81C3007C6649E76EE2CF5A4612340656](http://digisrv-1.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal_derivate_00001644/Document.pdf;jsessionid=81C3007C6649E76EE2CF5A4612340656), zuletzt geprüft am 30.05.2016.

Rosenhagen, Gudrun; Schatzmann, M. (2011): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: Hans von Storch und Martin Claussen (Hg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Samaritani, E.; Shrestha, J.; Fournier, B.; Frossard, E.; Gillet, F.; Guenat, C. et al. (2011): Heterogeneity of soil carbon pools and fluxes in a channelized and a restored floodplain section (Thur River, Switzerland). In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15 (6), S. 1757–1769. DOI: 10.5194/hess-15-1757-2011.

Schlünzen, K. Heinke; Hoffmann, Peter; Rosenhagen, Gudrun; Riecke, W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. In: *Int. J. Climatol.* 30 (8), S. 1121–1136. DOI: 10.1002/joc.1968.

Schneider, Stephan (2015): Rückhaltebecken im Einzugsgebiet der Kollau. Hamburg, 12.10.2015. mündlich an Projekt StuckK.

Scholz, Mathias; Mehl, Dietmar; Schulz-Zunkel, Christiane; Kasperidus, Hans Dieter; Born, Wanda; Henle, Klaus (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion : Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3508 850 100). Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und biologische Vielfalt, 124).

Schröter, Kai; Kunz, M.; Elmer, F.; Mühr, B.; Merz, Bruno (2015): What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydro-meteorological evaluation. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19 (1), S. 309–327. DOI: 10.5194/hess-19-309-2015.

Senat der Freien und Hansestadt Hamburg (2012): Schriftliche Kleine Anfrage. des Abgeordneten Dr. Kurt Duwe (FDP) vom 10.01.2012 und Antwort des Senats. Drucksache 20/2801. Senat der Freien und Hansestadt Hamburg. Hamburg (20/2801). Online verfügbar unter [http://www.kurt-duwe.name/doku/Drs20-02801-SKA\\_Ueberflutungen.pdf](http://www.kurt-duwe.name/doku/Drs20-02801-SKA_Ueberflutungen.pdf), zuletzt geprüft am 24.03.2016.

Smith, Keith; Ward, Roy (1998): Floods. Physical processes and human impacts. Chichester: Wiley. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley034/2003268678.html>.

Stiller, G. (2010): Bewertung der Qualitätskomponente Makrophyten in Hamburger Marschgewässern mit dem BEMA-Verfahren gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Storch, Hans von; Claussen, Martin (Hg.) (2011): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011): TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. Unter Mitarbeit von André Mader, Shela Patrickson, Elisa Calcaterra und Jacques Smit. [www.teebweb.org](http://www.teebweb.org). Online verfügbar unter [www.teebweb.org](http://www.teebweb.org).

Tessendorf, Alrun; Einfalt, Thomas (2012): Ensemble radar nowcasts - a multi-method approach. In: Robert J. Moore, Steven J. Cole und Anthony J. Illingworth (Hg.): Weather radar

and hydrology. Proceedings of a symposium held in Exeter, UK, April 2011. Wallingford: IAHS Press (IAHS publication, 351), S. 310–316.

Tockner, Klement; Stanford, Jack Arthur (2002): Riverine flood plains: Present state and future trends. In: *Envir. Conserv.* 29 (3), S. 308–330. DOI: 10.1017/S037689290200022X.

TuTech Innovation GmbH (2011): Dokumentation der Onlinediskussion „Hochwasserschutz – wat tut Not?“. Im Rahmen des Verbundprojektes KLIMZUG-NORD. Unter Mitarbeit von Rolf Lühns und Birgit Hohberg. Online verfügbar unter <http://klimzug-nord.de/file.php/2011-09-20-Hohberg-Birgit-Luehrs-Rolf-2011-Dokumentation-der-Onl>, zuletzt geprüft am 09.05.2016.

Volkman, Oliver (2016): Schiffsverkehr Tatenberger Schleuse 2015. Hg. v. Hamburg Port Authority (HPA), zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Votsis, Athanasios; Perrels, Adriaan (2015): Housing Prices and the Public Disclosure of Flood Risk: A Difference-in-Differences Analysis in Finland. In: *Journal of Real Estate Finance and Economics*.

Zehetner, Franz; Lair, Georg J.; Gerzabek, Martin H. (2009): Rapid carbon accretion and organic matter pool stabilization in riverine floodplain soils. In: *Global Biogeochem. Cycles* 23 (4), S. n/a-n/a. DOI: 10.1029/2009GB003481.



## 13 Aufstellungsvermerk

Bearbeitet, fachtechnisch geprüft und aufgestellt von:

Dieter Ackermann, LSBG (Kap. 1-3 und 9-13)

Dr. Thomas Einfalt, hydro & meteo (Kap. 4 und 8)

Prof. Dr. Annette Eschenbach, UHH (Kap. 6)

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle, TUHH (Kap. 5)

Sarah Gennis, LSBG (Kap. 1-3 und 9-13)

Dr. Alexander Gröngröft, UHH (Kap. 6)

Sandra Hellmers, TUHH (Kap. 5)

Fred Hesser, LSBG (Kap. 1-3 und 9-13)

Malte Jahn, HWWI (Kap. 7)

Prof. Dr. Kai Jensen, UHH (Kap. 6)

Kira Kalinski, UHH (Kap. 6)

Nikola Lenzewski, UHH (Kap. 6)

Marie-Christin Rische, HWWI (Kap. 7)

Andreas Röhlig, HWWI (Kap. 7)

Dr. Sven Schulze, HWWI (Kap. 7)

Matthias Strauer, LSBG (Kap. 1-3 und 9-13)

Alexander Strehz, hydro & meteo (Kap. 4 und 8)

Dr. Heiko Westphal, LSBG (Kap. 1-3 und 9-13)

Hamburg, den 20. Juli 2016

elektronisch gezeichnet

---

Prof. Dr. Gabriele Gönnert  
(Fachbereichsleitung G1, LSBG)

Freie und Hansestadt Hamburg  
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer  
Sachsenfeld 3-5  
20097 Hamburg

Titelbild:  
Kollau im Mai 2015