



BMBF-PROJEKT STUCK

ZWISCHENBERICHT

2016–2017

Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 1/2017

Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – das BMBF-Forschungsprojekt Stuck
Zweiter Zwischenbericht 2016–2017



LSBG
Landesbetrieb Straßen,
Brücken und Gewässer
Hamburg



Hamburg



Zweiter 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)
Biozentrum Klein Flottbek
Angewandte Pflanzenökologie
Ohnhorststraße 18, 22609 Hamburg
Prof. Dr. Kai Jensen
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN),
Institut für Bodenkunde
Allendeplatz 2, 20146 Hamburg
Prof. Dr. Annette Eschenbach



Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)
Baumwall 7, 20459 Hamburg
Dr. Malte Jahn

© LSBG Hamburg 2017

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

Inhalt

1	Einleitung.....	11
2	Naturräumliche Beschreibung der Modellregionen (LSBG)	13
2.1	Modellregion Dove-Elbe	14
2.2	Modellregion Kollau	19
2.3	Derzeitiges Klima	22
3	Hochwassermanagement und Umsetzung in den urbanen Projektgebieten (AP 3 und AP 5, LSBG)	25
3.1	Nationale Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in den Küstenländern.....	25
3.2	Praxis von Binnenentwässerung und Hochwasserschutz in Hamburg.....	26
3.3	Modellregion Dove-Elbe	28
3.3.1	Vorbeugender Hochwasserschutz.....	28
3.3.2	Technischer Hochwasserschutz.....	29
3.3.3	Operativer Hochwasserschutz	33
3.3.4	Statistische Auswertungen.....	36
3.4	Modellregion Kollau	43
3.4.1	Vorbeugender Hochwasserschutz.....	44
3.4.2	Technischer Hochwasserschutz.....	45
3.4.3	Operativer Hochwasserschutz	45
3.4.4	Statistische Auswertungen.....	46
3.5	Vorfeuchteindex (API)	48
3.6	Szenarienbetrachtung	50
4	Niederschlagsmessung und -vorhersage (AP 1, hydro & meteo).....	57
4.1	Datenbezug und -bereitstellung.....	57
4.1.1	Radardaten und Radardatenprodukte	57
4.1.2	Numerische Wettervorhersagedaten.....	59
4.1.3	Stationsmessdaten	61
4.2	Einrichtung von Hardware (Serviceleistungen)	61
4.3	Forschung und Entwicklung: Online Korrektur für die vier Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden.....	61
4.3.1	Bodenechos	62
4.3.2	Strahlenfehler	63
4.3.3	Bildinterpolation.....	63

4.3.4	Korrekturbewertung.....	64
4.4	Kompositierung	65
4.5	Aneichung	66
4.6	Radarnowcast	67
4.7	Nowcast-Ensembles	68
4.8	Ereignisauswertung	71
4.8.1	Einleitung	71
4.8.2	Daten und Methodik	71
4.8.3	Ergebnisse	72
4.9	Interpolierte Vorhersage.....	75
5	Hydrologie und Flächenmanagement (AP 2, TUHH)	77
5.1.1	Echtzeitbestimmung von Abflüssen aus räumlich detaillierten Niederschlagsdaten (AP 2.1)	78
5.1.2	Ziel des Arbeitspaketes	78
5.1.3	Modellansatz.....	78
5.1.4	Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Kollau.....	82
5.1.5	Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Dove-Elbe	84
5.2	Optimierung der hydrologischen Modellansätze und der Modellierung zur Berücksichtigung von Regelungsanlagen (AP 2.2 und AP 2.3).....	88
5.3	Implementierung einer Kurzzeitvorhersage im hydrologisch-numerischen Modell (AP 2.4)	90
5.4	Optimierung des Flächenmanagements unter Berücksichtigung bestehender und zukünftig geplanter Nutzungen (AP 2.5).....	93
6	Ökologie urbaner Fließgewässer (AP 4, UHH)	95
6.1	Darstellung des Ist-Zustandes im Hinblick auf die EG-WRRL (AP 4.1).....	95
6.2	Vegetation (AP 4.2)	96
6.2.1	Vegetationsentwicklung eines Hochwasserrückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion.....	96
6.2.2	Vegetationszusammensetzung urbaner Überschwemmungsflächen.....	100
6.2.3	Biodiversität von urbanen Hochwasserrückhaltebecken	102
6.2.4	Vegetationsentwicklung entlang der Dove-Elbe seit der Abdämmung im Jahr 1951	103
6.3	Kartierung und Analyse der Ressource Boden (AP 4.3).....	106
6.4	Kohlenstoff (AP 4.4).....	109
6.4.1	Kurz- und langfristige Kohlenstofffestlegung in der Vegetation von urbanen Überschwemmungsflächen	110

6.4.2	Kohlenstoffpools in Böden von Überschwemmungsflächen	111
6.5	Bodenwasserhaushalt (AP 4.5)	113
6.6	Schadstoffinventar	118
7	Ökonomische Analyse (AP 6, HWWI)	123
7.1	Flächennutzungskonkurrenzen (AP 6.1).....	123
7.1.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag	123
7.1.2	Analysegegenstand 1: Flächenentwicklung	124
7.1.3	Analysegegenstand 2: Bodenversiegelung	129
7.2	Ökosystemleistungen (ÖSL) (AP 6.2).....	131
7.2.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag	131
7.2.2	Analysegegenstand: Erfassung und Bewertung der ÖSL urbaner Gewässer und deren Randbereiche	132
7.3	Risikobetrachtungen (AP 6.3).....	138
7.3.1	Hintergrund und Arbeitsauftrag	138
7.3.2	Analysegegenstand: Leitfaden Schadensanalyse und Fallstudien	138
8	Kommunikation und Vernetzung (AP 7, hydro & meteo)	141
8.1	Projektwebseite	141
8.2	FTP-Server.....	142
9	Projektmanagement (AP 8, LSBG)	143
9.1	Externe fachliche Vernetzung.....	143
9.1.1	Besuch von Tagungen, Kolloquien und Seminaren	143
9.1.2	Wissenschaftlicher Austausch	144
9.2	Interne fachliche Vernetzung.....	145
9.3	Veröffentlichungen, Publikationen und Präsentationen.....	148
9.3.1	Studienarbeiten	148
9.3.2	Konferenzen	149
9.3.3	Seminare	150
10	Synopse	151
11	Literatur	154
12	Aufstellungsvermerk.....	160

Glossar

A_E	Fläche eines Einzugsgebiets
A_i	Von der Nutzungsart eingenommene Fläche
A_v	Insgesamt versiegelte Fläche
AKN	Altona-Kaltenkirchen-Neumünster Eisenbahn AG
ANOVA	analysis of variance
AP	Arbeitspaket
API	Antecedent Precipitation Index
ARGE WRRL-HOF	Arbeitsgemeinschaft Wasserrahmenrichtlinie – Hamburger Oberflächengewässer
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
$\beta_{i,1}; \beta_{i,2}$	Parameter, die für die jeweilige Nutzungsarten ermittelt wurden
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHD	Brusthöhendurchmesser
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BUE	Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg
BÜK	Bodenübersichtskarte
BWS	Bruttowertschöpfung
$C_{Anorg.}$	Anteil anorganischer Kohlenstoffe
$C_{Ges.}$	Anteil gesamter Kohlenstoff
$C_{Org.}$	Anteil organischer Kohlenstoff
CAPE	Convective Available Potential Energy
CDF	cumulative distribution function
COSMO	Consortium for Small Scale Modelling Europe
COSMO-DE	Regionales numerisches Wettervorhersagemodell des DWD; Abdeckung: Deutschland und Teile der Nachbarländer
COSMO-DE-EPS	s. COSMO-DE, zusätzlich Generierung von Ensemble-Membren durch Variationen im Vorhersagesystem (EPS = Ensemble Prediction System)
D	Dichtemaß als Quotient aus SuV und Fläche der tatsächlichen Nutzung
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DGM	Digitales Geländemodell
DMG	Deutsche Meteorologische Gesellschaft
DRWBM	Dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst

EG-WRRL	Europäische Gemeinschaft-Wasserrahmenrichtlinie
EOX	Extrahierbare organisch gebundene Halogene
EPA	Eicosapentaensäure
ERAD	European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology
EZG	Einzugsgebiet
F	Freiheitsgrade
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FTP	File transfer protocol
GIS	Geoinformationssystem
GOF	Geländeoberfläche
HHQ	Höchster Hochwasserabfluss
HHW	Höchstes Hochwasser
H-N-Modell	Hydrodynamisch-Numerisches Modell
HPA	Hamburg Port Authority
HQ _x	Hochwasser mit einer Jährlichkeit von x
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HSD	Honestly Significant Difference
h&m	Hydro und Meteo GmbH & Co KG, Lübeck
HUSCO	Hamburg Urban Soil Climate Observatory (Forschungsprojekt)
HWWI	Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH
HyFox	Improving Hydrometeorological Forecasting Using High-Resolution X-Band Radars (Forschungsprojekt)
i	Index für Nutzungsarten
In_StröHmunG	Innovative Systemlösungen für ein transdisziplinäres und regionales ökologisches Hochwasserrisikomanagement und naturnahe Gewässerentwicklung (Forschungsprojekt)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWASA	Internationales Wasserbausymposium Aachen
KAREL	KlimaAnpassung des Regenwassernetztes von Elmshorn und UmLand (Forschungsprojekt)
KLIMZUG	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (Forschungsprojekt)
KOGGE	Kommunale Gewässer gemeinschaftlich entwickeln im urbanen Raum (Forschungsprojekt)
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs Auswertungen
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LGV	Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Hamburg
l. H.	Lichte Höhe
LKN	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Schleswig-Holstein
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein

LSBG	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Hamburg
LUWG	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Rheinland-Pfalz
I. W.	Lichte Weite
MEA	Millenium Ecosystem Assessment
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss
MHW	Mittleres Hochwasser
MKR	Mineralölkohlenwasserstoffe
MLUR-SH	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein
MQ	Mittlerer Abfluss
MTHW	Mittleres Tidehochwasser
MTNW	Mittleres Tideniedrigwasser
MW	Mittelwasser[stand]
n	Anzahl
N-A-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
NHN	Normalhöhennull
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
ÖSL	Ökosystemleistung
OW	Oberwasser
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PM	Particulate Matter
PTJ	Projektträger Jülich
Q	Abfluss eines Gewässers
Q _A	Abfluss eines Gewässers ab einem bestimmten Punkt
Q _Z	Zufluss eines Gewässers zu einem bestimmten Punkt
R ²	Statistisches Bestimmtheitsmaß
RCP	Representative Concentration Pathways
ReWaM	Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (BMBF-Fördermaßnahme)
RHB	Rückhaltebecken
RL	Richtlinie
ROC	Relative Operative Characteristics
RRB	Regenrückhaltebecken
SAWA	Strategic Alliance for integrated Water Management Actions (Forschungsprojekt)
SIR	Substrat-induzierte Respiration
SP	Schwerpunkt
Stuck	Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels (Forschungsprojekt)
SUBV	Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen

SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
SW	Schöpfwerk
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
Tnw	Tideniedrigwasser
TOC	Total Organic Carbon
TR	Technische Regel
TUHH	Technische Universität Hamburg
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder
UHH	Universität Hamburg
ÜSG	Überschwemmungsgebiet
UVF	Universelles Variables Format
UTC	Coordinated Universal Time
UW	Unterwasser
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VGRdL	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder
VM	Virtuelle Windows Maschine
W	Wasserstand
WaBiHa	Warndienst Binnenhochwasser Hamburg
WETRAX	Weather Patterns, Cyclone Tracks and related precipitation Extremes (Forschungsprojekt)
WEXICOM	Wetterwarnungen: von der EXTremereignis-Information zu KOMmunikation und Handlung (Forschungsprojekt)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WSPM	Wasserspiegellagenmodell
WTA	willingness to accept
WTP	willingness to pay
XML	Extensible Markup Language

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, Edgar Nehlsen
- hydro & meteo GmbH & Co. KG, Lübeck
Dr. Thomas Einfalt, Alexander Strehz, Alrun Jasper-Tönnies
- Universität Hamburg
 - o Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Institut für Bodenkunde
Prof. Dr. Annette Eschenbach, Dr. Alexander Gröngröft, Kira Kalinski
 - o Biozentrum Klein Flottbek, Abteilung Angewandte Pflanzenökologie
Prof. Dr. Kai Jensen, Nikola Lenzewski, Kolja Ole Dudas
- Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH
Dr. Malte Jahn, Andreas Röhlig, Marie-Christin Rische

Weiterhin danken wir Frau Sonja Peters (LSBG) für ihre umfangreiche Hilfe bei Gestaltung und Layout dieses Berichts.

1 Einleitung

Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko Westphal, Matthias Strauer, Sarah Gennis

Mit dem vorliegenden zweiten Zwischenbericht des Verbundforschungsprojektes zur „Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels“ (Stuck) wird der Stand der Bearbeitung mit den Ansätzen, Methoden und Ergebnissen zum April 2017 vorgestellt.

Der Bericht repräsentiert die über den gesamten bisherigen Projektverlauf durchgeführten Arbeiten und gewonnenen Ergebnisse und beinhaltet auch die im ersten Zwischenbericht dargestellten Inhalte. Dieses Verfahren wurde gewählt, um auch im zweiten Zwischenbericht das Projekt und seinen Bearbeitungsstand umfassend und somit gut nachvollziehbar zu beschreiben. In diesem Sinne stellt er eine Fortschreibung des vorherigen Projektberichtes dar.

Im Projekt Stuck erarbeitet der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) 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)

AP 2: 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 Optimierung der Binnenentwässerung bei erhöhten Tidewasserständen im Fall von Extremwetterereignissen unter besonderer Berücksichtigung der Steuerung von Schöpfwerken, Deichsielen, Hochwasserrückhaltebecken (HRB) 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 FHH erarbeitet und auf andere Regionen 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 (N-A-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 und Risikomanagement) 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. Anhand der optimierten Niederschlagsvorhersage werden mit N-A-Modellen Abflüsse und mit Hilfe hydrodynamischer Modelle (H-N-Modelle) Wasserstände und Überschwemmungsflächen berechnet.

Die Modelle werden zunächst genutzt, um die gängige Praxis des Hochwassermanagements in den Einzugsgebieten (EZG) 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 HRB und Retentionsflächen, werden im aktuell genutzten Zustand boden- und vegetationskundlich kartiert und deren Ökosystemfunktionen und damit Ökosystemleistungen, wie beispielsweise Kohlenstoffspeicherung 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)

Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko Westphal, Matthias Strauer, Sarah Gennis

Als Modellregionen des Projekts Stuck wurden das Einzugsgebiet der Kollau und der Hamburgische Teil des Einzugsgebiets der Dove-Elbe gewählt (Abb. 1). Die Bezeichnung „Modellregionen“ weist auf den modellhaften Charakter und die gegebene Übertragbarkeit auf andere Regionen hin. Die naturräumliche Beschreibung der Modellregionen bildet die Grundlage für die Beschreibung des derzeitigen Hochwassermanagements, des aufzuzeigenden Handlungsbedarfs und der möglichen Optimierungen, die als Ergebnis des Projekts angestrebt werden.

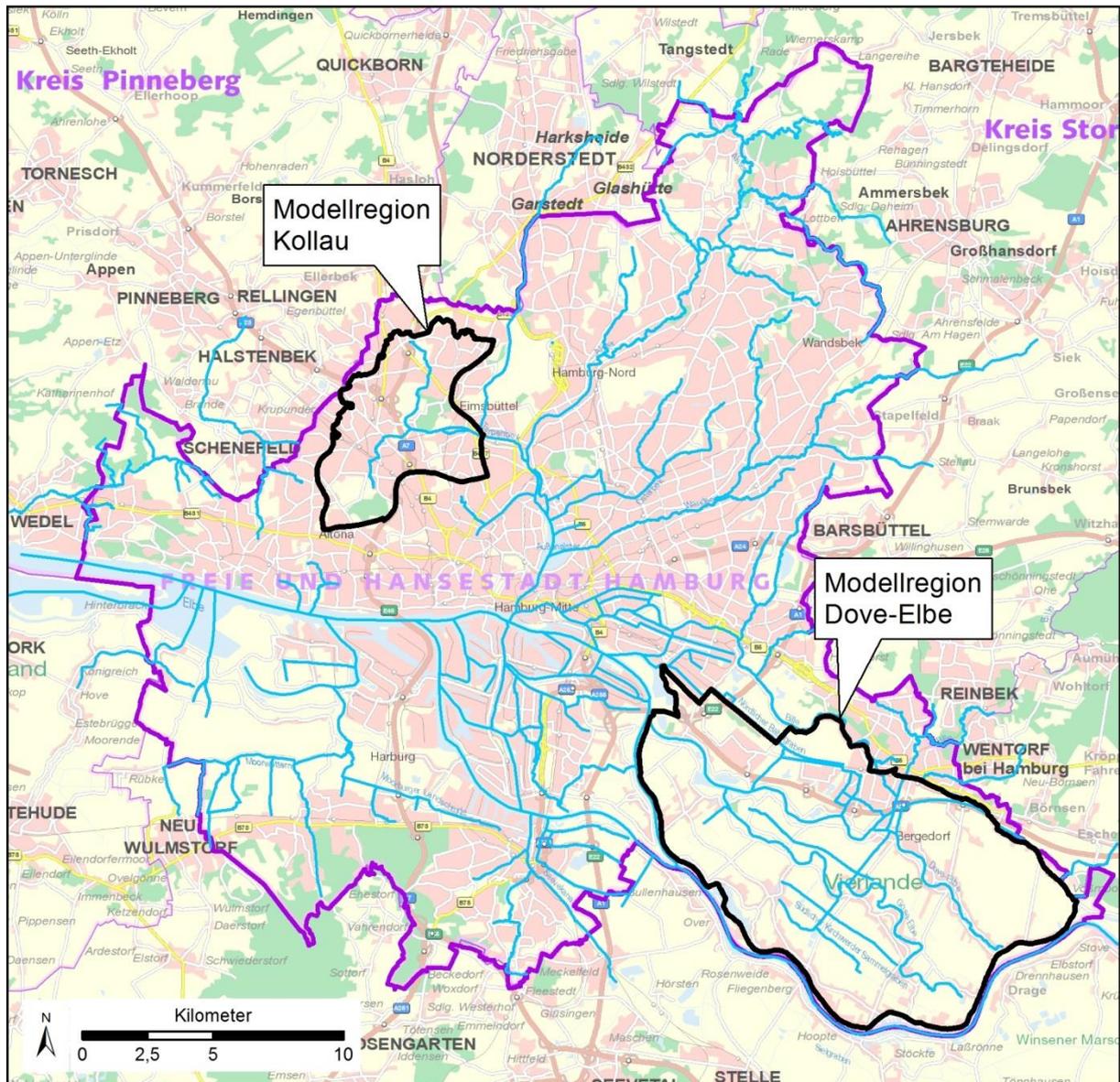


Abb. 1: Lage und Begrenzung der Modellregionen Kollau und Dove-Elbe im Stadtgebiet von Hamburg. Das dargestellte Gewässernetz ist aus Gründen der Übersichtlichkeit generalisiert (Geodaten: LGV).

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 Schulenbrooksbeck und der Dallbek an. Die Modellregion unterscheidet sich damit vom tatsächlichen Einzugsgebiet der Dove-Elbe, wie in Kap. 5.1.1 gezeigt wird (Abb. 38 und Abb. 41).

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 km² 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 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 km², 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). Die Hauptwerte der Pegel an Bille und Dove-Elbe finden sich in Tab. 1, deren Lage kann Abb. 13 entnommen werden.

Tab. 1: Hauptwerte der Pegel an der Dove-Elbe und oberen Bille (LKN Itzehoe, BUE)

Pegel A _E [km ²]	Gewässer	MW MHW [NHN + cm]	HHW [NHN + cm] Datum	MQ MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s] Datum	Bezugszeitraum Wasserwirtschaftsjahre
Hamfelde 66,5	Bille	2413 2543	2588 29.10.98	0,55 4,08	6,81 19.07.02	1986–2015
Sachsenwaldau 221,13	Bille	1279 1354	1392 27.02.02	1,74 10,5	26,6 12.03.81	W: 1990–2015 Q: 1971–2015
Reinbek 337,39	Bille	381,2 489,2	558,2 01.03.81	2,52 14,4	28 27.02.02	1976–2015
Möörkenweg 339,2	Bille	333 425	486 27.02.02	–	–	1967–2016 26 Jahre
Allermöher Deich/Sportz.	Dove-Elbe	87 135	181 06.01.12	–	–	1982–2016 14 Jahre

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^2 , wobei das Einzugsgebiet der Bille zu 98 % in Schleswig-Holstein liegt (LSBG 2009). Die Bille entspringt östlich von Hamburg in der Nähe von Linau in Schleswig-Holstein.

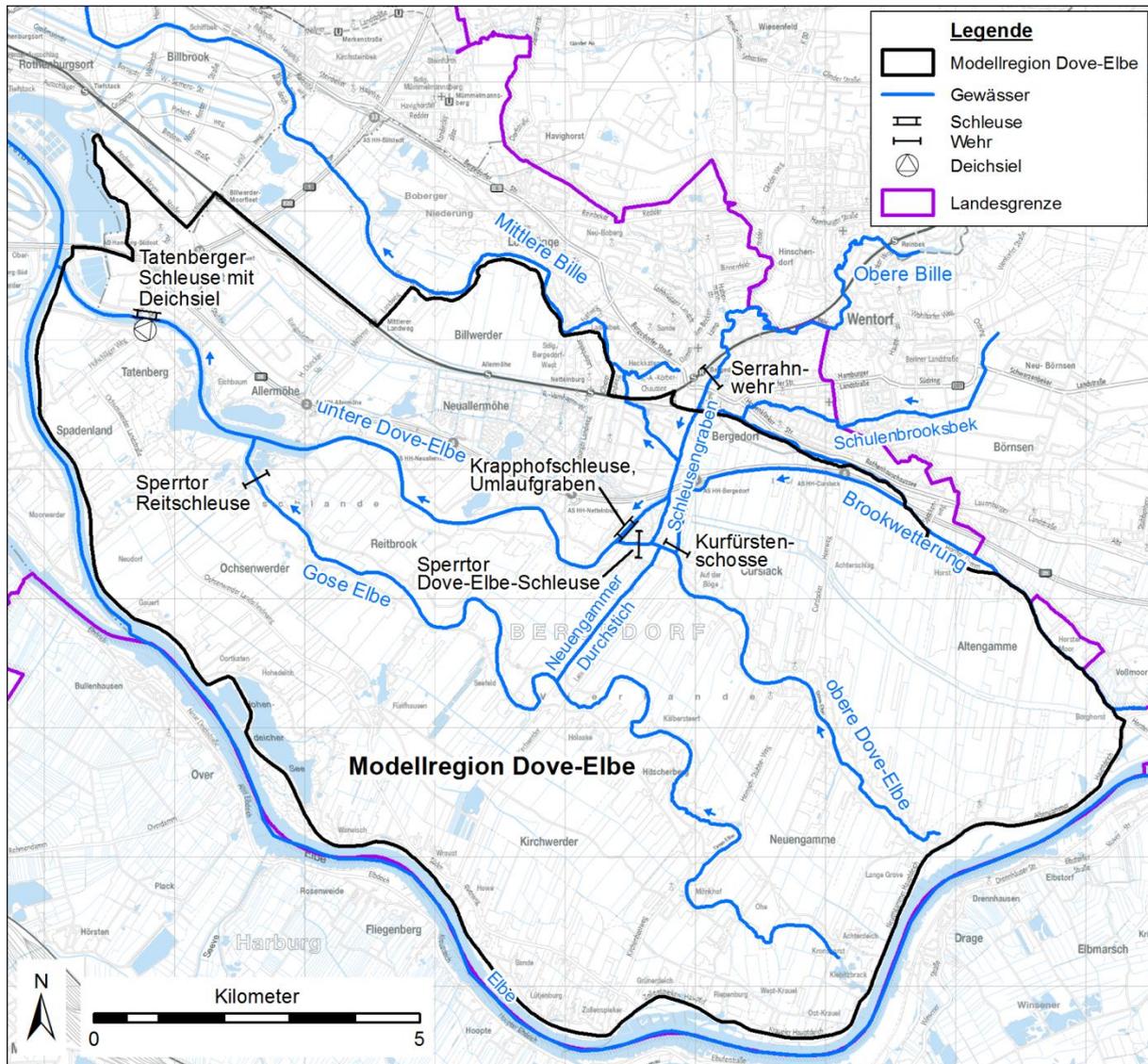


Abb. 2: Übersichtskarte der Modellregion Dove-Elbe. Dargestellt ist das Hauptgewässernetz mit wichtigen wasserwirtschaftlichen Bauwerken (Geodaten: LGV).

Weitere Zuflüsse zur Dove-Elbe erfolgen über die Brookwetterung ($A_E = 28,9 \text{ km}^2$, Länge knapp 9 km), die alte Brookwetterung mit Schleusengraben und Schulenbrooksbeke ($A_E = 8,9 \text{ km}^2$), 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 ($A_E = 19,1 \text{ km}^2$) und Neuengamme ($A_E = 11,7 \text{ km}^2$) gespeist (BWS GmbH 2011). Eine Ausnahme stellt das Schöpfwerk Riepenburg dar. Das Gebiet Riepenburg ($A_E = 7,9 \text{ km}^2$) wird über dieses Schöpfwerk in den Sommermonaten bei Bedarf bewässert. Über den Neuengammer 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. Abb. 3 zeigt eine schematische Skizze der Einzugsgebiete.

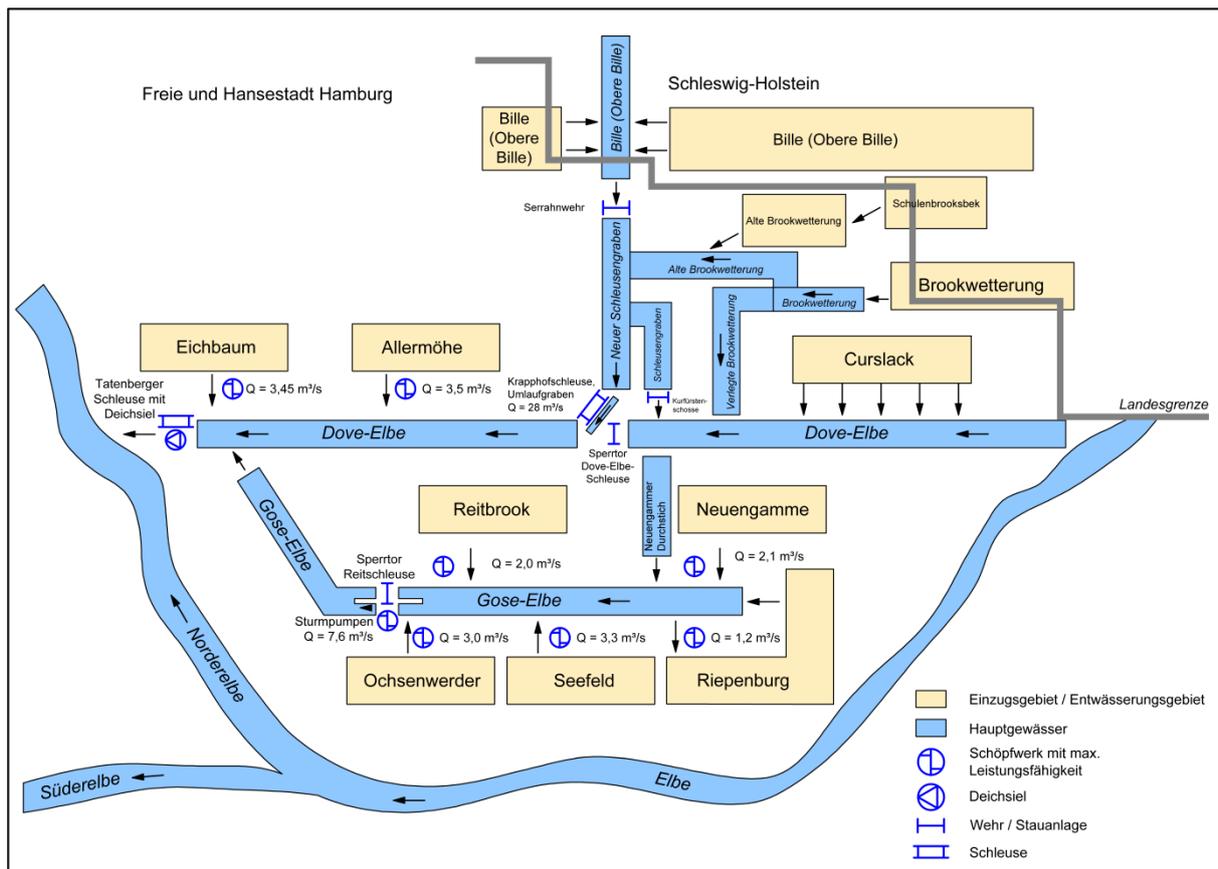


Abb. 3: Schematische Darstellung der Teileinzugsgebiete der Dove-Elbe mit Schöpfwerken und deren jeweiliger Schöpfleistung. Die Pfeile stellen die Ent- und Bewässerung im Normalfall dar.

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 insgesamt 6.071 Schleusungen statt, bei denen 10.431 private Boote und 734 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 NHN -1 m und NHN +1 m auf, die zu den Vierlande bis zu NHN +3 m ansteigen (Abb. 4). Das Bergedorfer Stadtgebiet liegt auf der Geest mit einer Geländehöhe von ca. NHN +5 m.

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 NHN -200 m, in einigen Bereichen aber auch zwischen 0 m und NHN -25 m. 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.

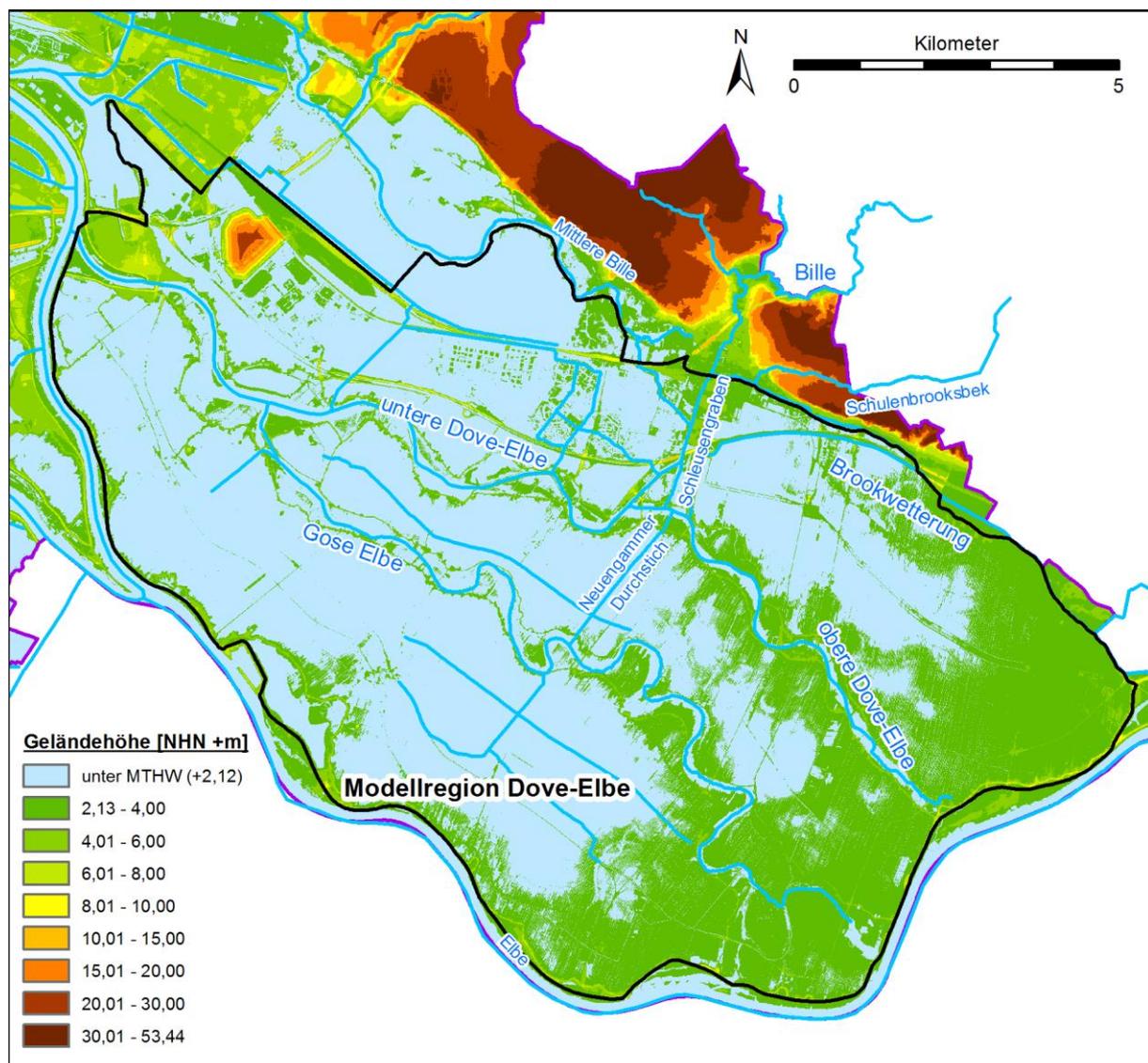


Abb. 4: Geländehöhen, horizontale Auflösung: 1 x 1 m (Geodaten: LGV)

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).

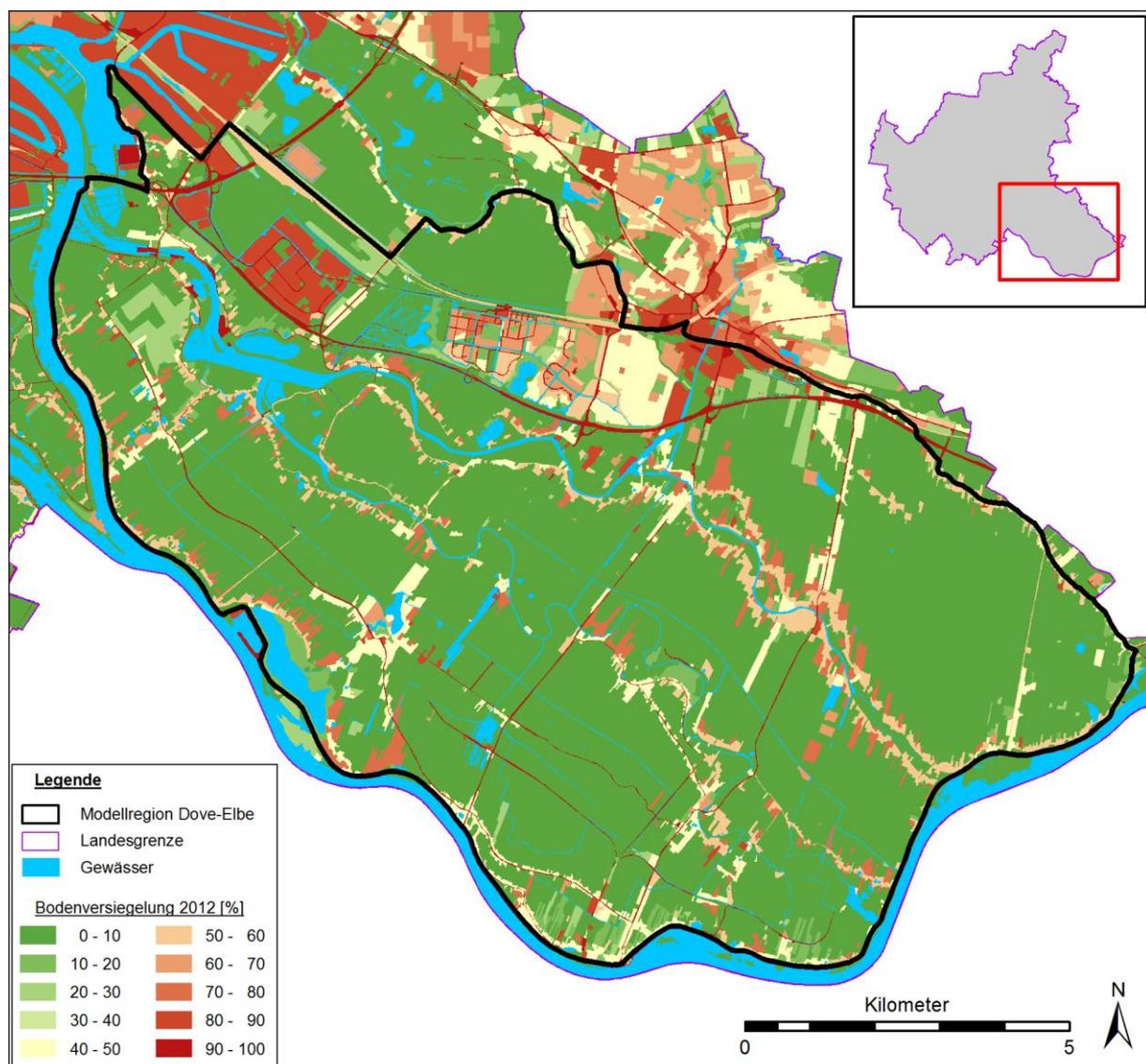


Abb. 5: Bodenversiegelung im Jahr 2012 in der Modellregion Dove-Elbe (Geodaten: LGV).

Im Einzugsgebiet der Dove-Elbe ist das Wasserschutzgebiet Curslack-Altengamme ausgewiesen (24 km²), 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 (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 km² und liegt vollständig im Hamburger Stadtgebiet. Die Entwässerung der urbanen Flächen erfolgt weitgehend über das städtische Kanalnetz in die Gewässer. Wichtige Nebenflüsse der Kollau sind die Mühlenau ($A_E = 13,3 \text{ km}^2$), der Brookgraben ($A_E = 3,8 \text{ km}^2$), die Schillingsbek ($A_E = 3,1 \text{ km}^2$), der Schippelmoorgraben ($A_E = 2,0 \text{ km}^2$), 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 km²) und das Niendorfer Gehege (Fläche ca. 3 km²). Prägend ist die hohe Anzahl von 22, zumeist kleineren, Hochwasserrückhaltebecken (HRB) im Haupt- oder Nebenschluss der Kollau und ihrer Nebengewässer.

Wenige hundert Meter nach ihrer Quelle passiert die Kollau den Kollauteich, der als HRB im Nebenschluss fungiert. Im weiteren Verlauf durchquert die Kollau ebenes, unbebautes Gelände. Dabei nimmt sie den Zufluss des Vielohgrabens auf, der über das HRB 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. Die Hauptwerte der Pegel an Mühlenau und Kollau sind in Tab. 2 aufgelistet, die Lage der Pegel ist in Abb. 6 dargestellt.

Tab. 2: Hauptwerte der Pegel an der Kollau (Quelle: BUE)

Pegel A_{Eo} [km ²]	Gewässer	MW MHW [NHN + cm]	HHW [NHN + cm] Datum	MQ MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s] Datum	Bezugszeitraum Wasserwirtschaftsjahre
RHB Olloweg –	Mühlenau	936 1059	1107 21.09.04	– –	–	1982–2016 13 Jahre
Vogt-Kölln-Straße –	Kollau	811 888	888 14.06.16	noch nicht Verfügbar		2016
Niendorfer Straße 29,4	Kollau	561 644	684 22.05.13	0,242 3,51	5,90 22.05.13	1967–2016 W: 33 Jahre Q: 14 Jahre

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 insbesondere oberhalb der Mittelwasserlinie einschränkt. Diese Einschnürung führt schon bei Mittelwasser zu einer Anhebung des Wasserstandes.

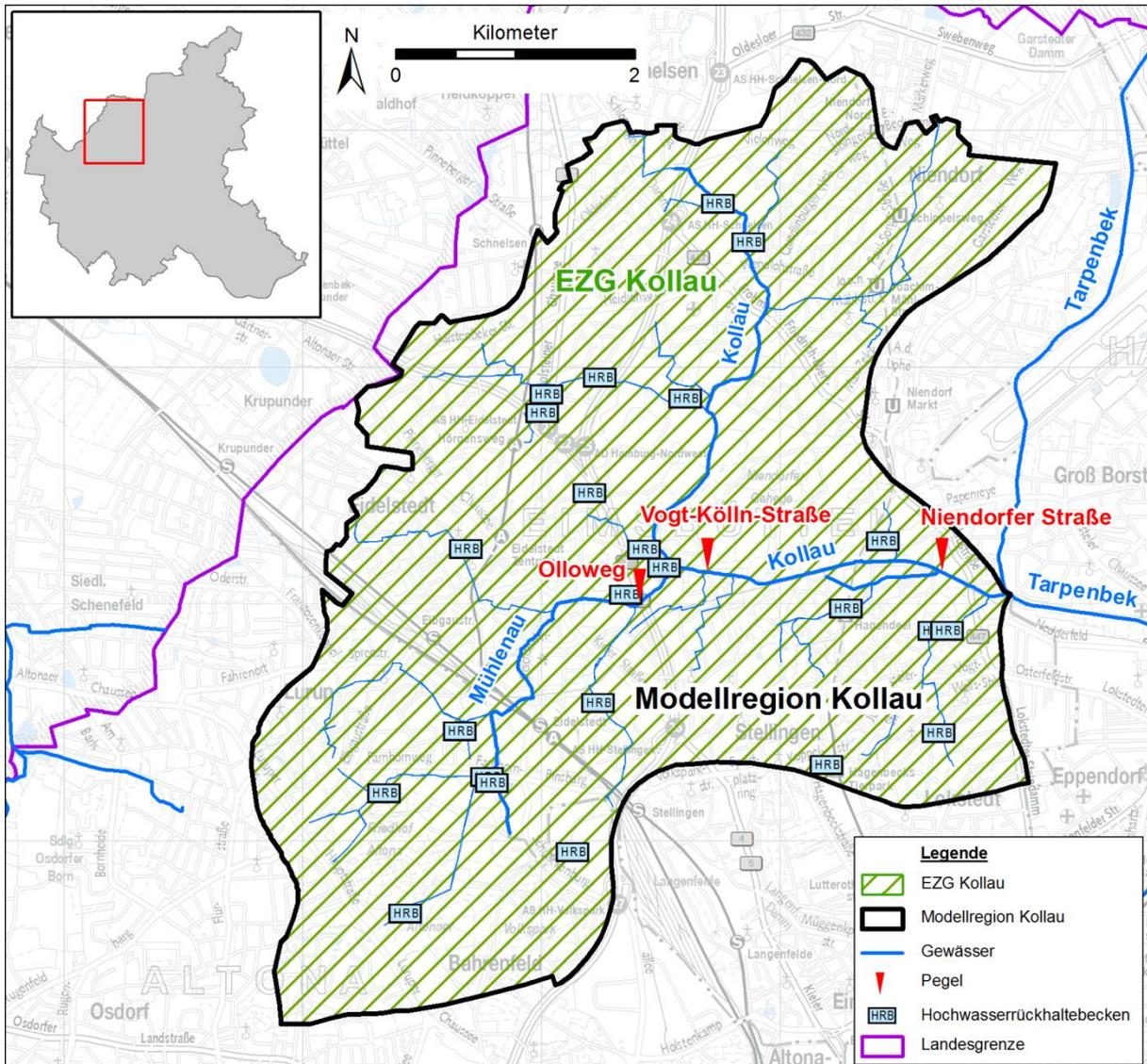


Abb. 6: Modellregion und EZG Kollau mit HRB und gewässerkundlichen Pegeln (Geodaten: LGV).

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.

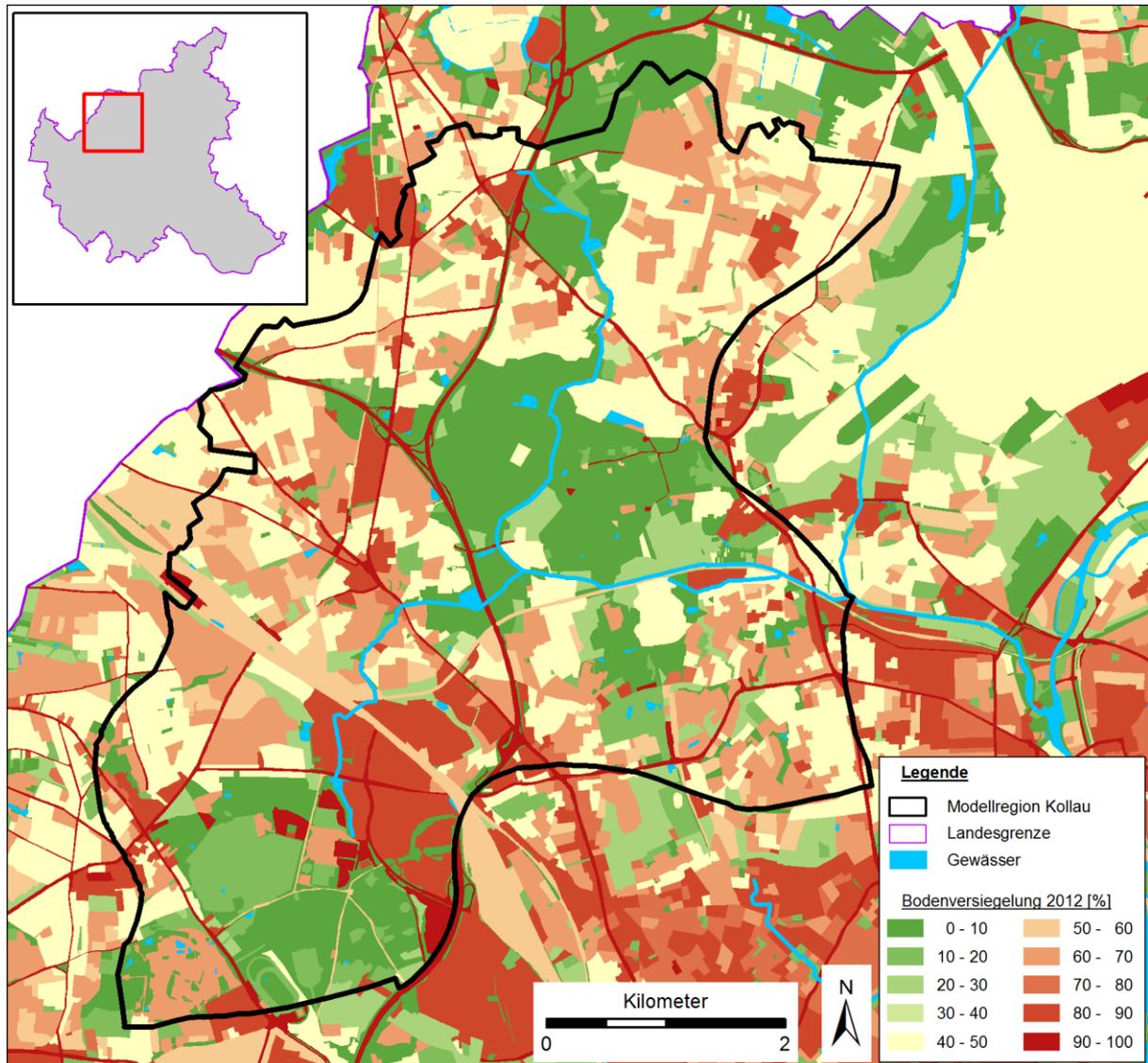


Abb. 7: Bodenversiegelung im Jahr 2012 in der Modellregion Kollau (Geodaten: LGV).

Die Geländehöhe der Modellregion Kollau liegt zwischen NHN +0,67 m und NHN +58 m, wobei der Süden des Gebiets größere Erhebungen aufweist als der Norden. Ein Großteil der Fläche befindet sich auf NHN +8 m bis NHN +25 m. Die niedrig gelegenen Flächen bilden deutlich das Tal der Kollau ab, wie in Abb. 8 ersichtlich ist.

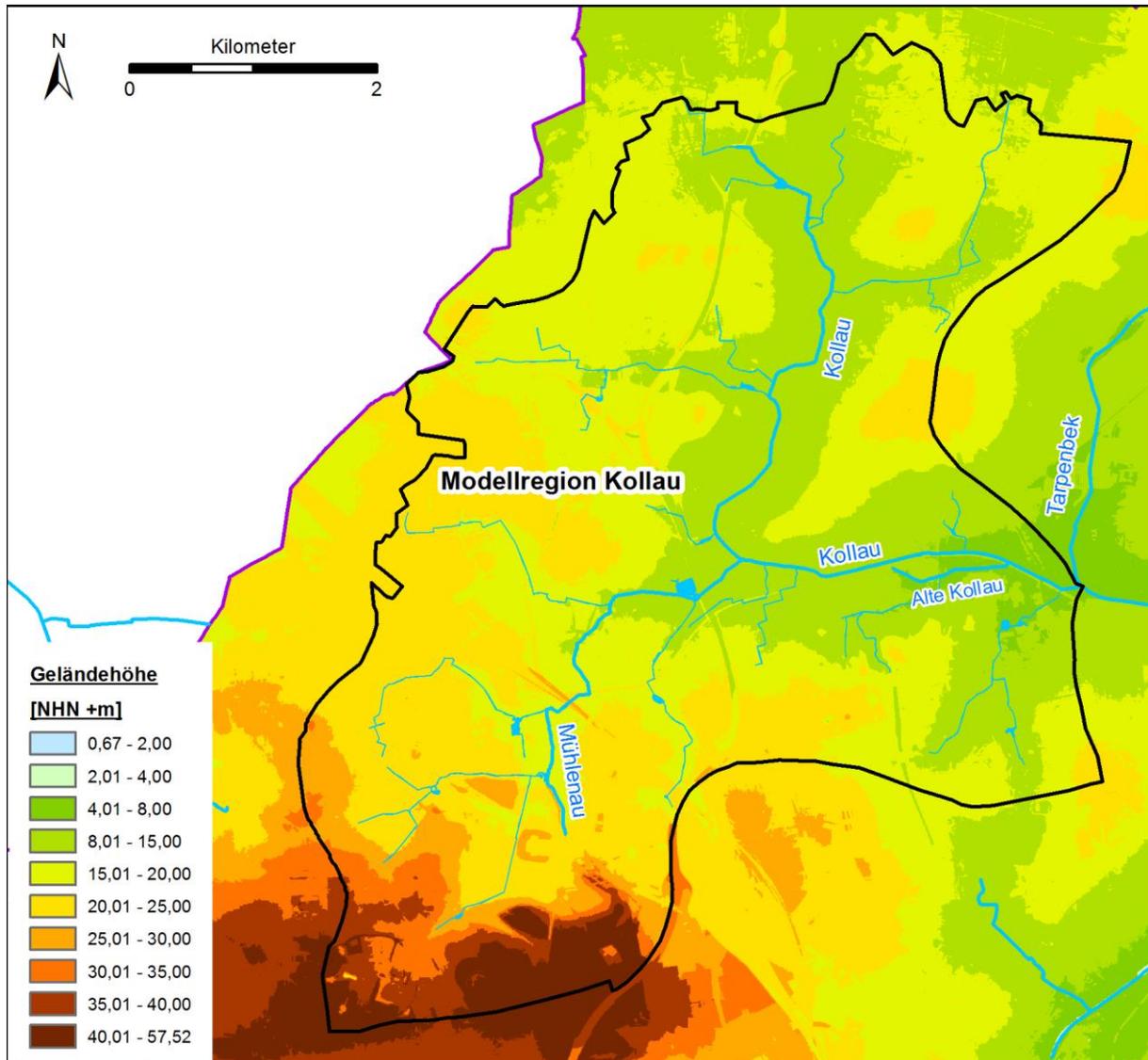


Abb. 8: Geländehöhen der Modellregion Kollau, horizontale Auflösung: 1 x 1 m (Geodaten: LGV).

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 durchschnittlich 764 mm gemessen (Normalperiode 1961–1990, DWD). Über die Normalperiode hinweg gesehen fällt der meiste Niederschlag im August und der geringste im März (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. Im Rahmen eines Projektes des KlimaCampus Hamburg wurde der „Klimabericht für die Metropolregion Hamburg“ (Storch & Claussen 2011) erstellt. 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 & 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)

Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko Westphal, Matthias Strauer, Sarah Gennis

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 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) das am 1.3.2010 in Kraft trat (BMUB 2009) und die Ermittlung sowie Festsetzung von ÜSG-Flächen.

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

Schleswig-Holstein

Im Generalplan Binnenhochwasserschutz und Hochwasserrückhalt – Schleswig-Holstein (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). Auf Hamburger Seite besteht das am 20.4.1982 festgesetzte ÜSG Bille (Senat der Freien und Hansestadt Hamburg 2004), dessen Flächen von der Landesgrenze 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 (NLWKN 2005). Die Wasserbehör-

den 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 des WHG 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 & 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 Hochwasserergebetsverordnung 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, Ochtum und Geeste sind mit Sturmflutsperrwerken versehen worden, wobei am Lesumsperrwerk zusätzlich 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 Ihle, Schönebecker Aue, Beckedorfer Beeke und Blumenthaler Aue wird in diesem Hochwasserschutzbericht nicht eingegangen. Im Rahmen der Umsetzung des WHG 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 durchgeführt (Wunsch 2016).

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 (LSBG 2009):

- Vorbeugender Hochwasserschutz (z. B. hydrologische Auswertungen, 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 (LSBG 2009).

Zum operativen Hochwasserschutz zählt der „Warndienst Binnenhochwasser Hamburg“ (WaBiHa) des LSBG (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 Bezirksämter, die Polizei und die Feuerwehr informiert. Zu den dann notwendigen präventiven Hochwasserschutzmaßnahmen gehört die Kontrolle der Gewässer und ggf. die Räumung von Hindernissen an Durchlässen und anderen durchströmten Bereichen, die der LSBG bei entsprechender Lage empfiehlt (LSBG 2009).

Auch Dritte, wie Betroffene, Anwohner oder Interessierte können sich im Internet über den aktuellen Warnstatus der Gewässer informieren (www.wabiha.de).

Neben dem Schutz vor Eindringen des Hochwassers gibt es in Hamburg auch das Schutzkonzept „Leben mit dem Wasser“. Dabei werden Bauten und Infrastruktur so ausgelegt, dass eine Überflutung schadlos bleibt. Ein Beispiel hierfür ist der Fischmarkt, der vor der Hochwasserschutzlinie liegt und bei Sturmfluten regelmäßig unter Wasser steht. Ein weiteres Beispiel ist die Hafencity, in der der Hochwasserschutz durch Objektschutz umgesetzt ist.

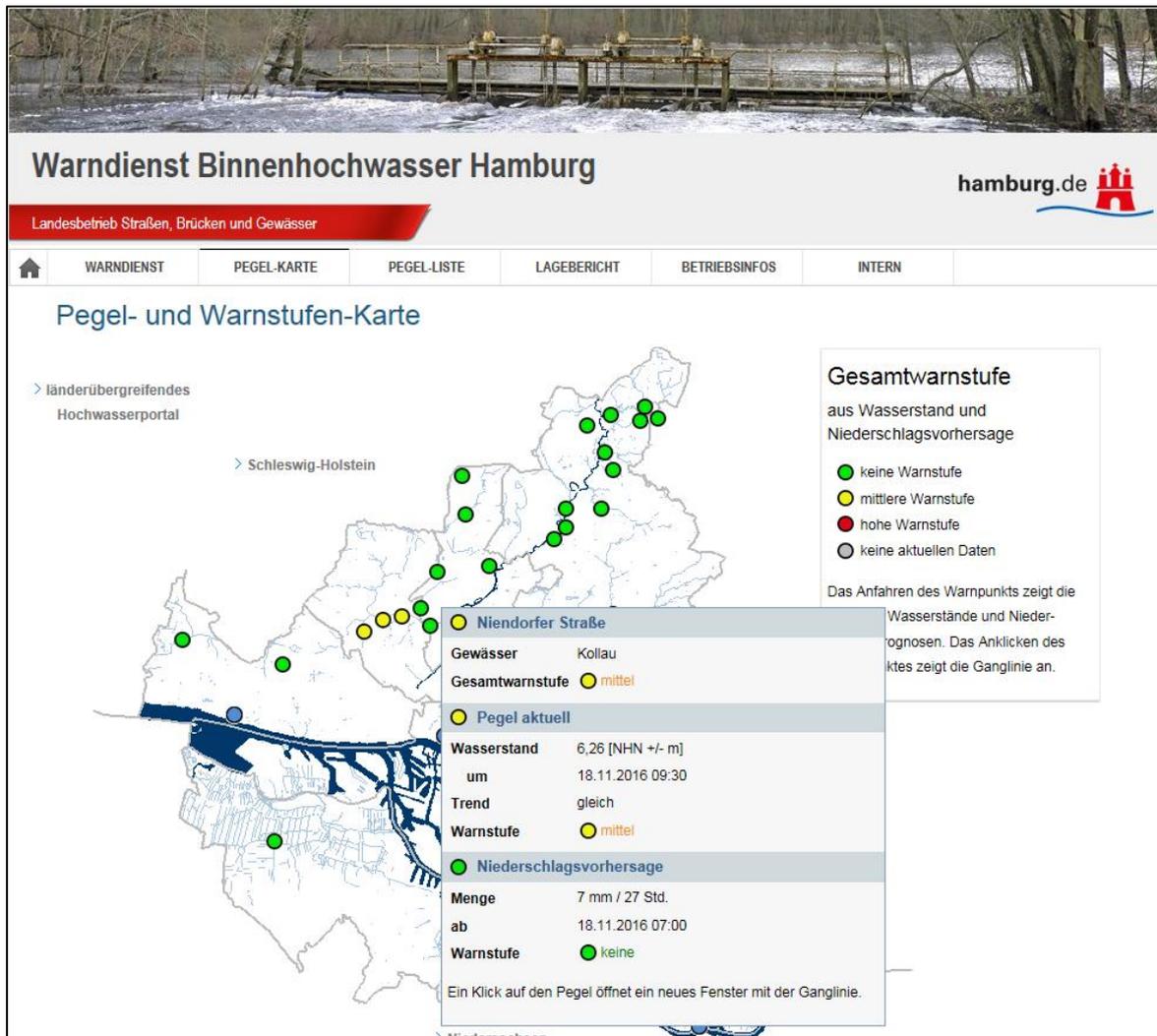


Abb. 10: Darstellung der Hochwassersituation am 18.11.2016: Niederschläge im EZG der Kollau führen zum Erreichen der mittleren Warnstufe an drei Pegeln.

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 km² hat.

3.3.1 Vorbeugender Hochwasserschutz

Das ÜSG 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 das ÜSG Bille ausgewiesen (s. Kap. 3.1). Entlang der oberen Dove-Elbe wurde im Zuge der Umsetzung des WHG ein Risikogebiet ermittelt und auf

Grundlage des § 76 WHG als ÜSG Obere Dove-Elbe vorläufig gesichert (BUE 2015). Entlang der Brookwetterung und der Gose-Elbe wurden ÜSG vorläufig gesichert.

Als Beispiel für Wasserrückhalt in der Fläche kann das Güterverkehrszentrum Moorfleet genannt werden. Mit einer Fläche von 300.000 m² 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 (LSBG 2009).

Das Risikobewusstsein ist in der Region Vier- und Marschlande aufgrund der Historie und tiefgelegenen Topographie hoch und es wird eine Eigenvorsorge betrieben. 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 insbesondere 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 (HRB) befindet sich im Stadtgebiet Bergedorf (Bergedorfer Rathausteich an der Schulenbrooksbek) (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 (LSBG 2009).

Für die Hauptgewässer im Einzugsgebiet der Dove-Elbe sind die Steuerungs- und Regelanlagen in Tab. 3 detailliert dargestellt. Neben den Betriebswasserständen finden sich auch die jeweiligen kritischen Wasserstände für die Bereiche vor den wasserwirtschaftlichen Bauwerken. Die Lage der Bauwerke kann Abb. 2 entnommen werden.

Tab. 3: Steuerungs- und Regelungsbauwerke zur Bewirtschaftung der Hauptgewässer (BWS GmbH 2011)

Gebiets-einheit	Bezeich-nung	EZG-Größe [km ²]	Geometrie/Leistung	Betriebs-wasser-stand [NHN cm]	kritischer Wasser-stand [NHN cm]	Steuerung
ÜSG (Unte-re) Dove-Elbe	Deichsiel Tatenberg	ca. 507	3 Sieltunnel je l. W. 4,20 m, l. H. 4,00 m, Sohle NHN -2,5 m, Länge 53 m	+90 ± 20	+180	automatische Schließung bei gleichen Wasserständen innen und außen, ereignis-bedingte Entwässerung bis auf min. NHN +65 cm
Obere Dove-Elbe	Dove-Elbe-Schleuse	ca. 54	l. W. 7,00 m, Sohle NHN -3,50 m, Länge 30 m	+90 ± 20	+125	manuelle Schließung bei NHN +116 cm, selbsttätige Öffnung der Stemmtore bei sinkendem UW
Gose-Elbe	Reit-schleuse	ca. 69	l. W. 7,00 m Sohle NHN -3,54 m, Länge 27 m	+90 ± 10	+125/ +145*)	manuelle Schließung bei NHN +110 cm, manuelle Öffnung bei sinkendem UW
	Sturm-pumpen Ochsen-werder		4 x 1.9 m ³ /s			Betrieb der Sturmpumpen bei geschlossener Reit-schleuse bis NHN +90 cm im OW bzw. Wiederöffnung
Neuer Schleusen-graben	Krapphof-schleuse	ca. 357	l. W. 12,00 m Sohle NHN -2,10 m, Länge 105 m	+135 ± 10	+215	Notentwässerung bei Hochwasser über Torum-läufe möglich
	Stauanlage Umfluter		2 Schütztafeln je l. W. 2,50 m, l. H. 2,75 m, Sohle NHN +0,26 m			automatische Steuerung auf Betriebswasserstand, Öffnung im Hochwasserfall
	Grundablass Umfluter		2 Schütztafeln (ab-senkbar) je l. W. 1,65 m, l. H. 1,60 m, Sohle NHN +0,26 m			manuelle Öffnung bei etwa NHN +160 cm im Schleusengraben (keine feste Betriebsregel)
Schleusen-graben	Stauanlage Kurfürsten-deich-schosse mit Fischpass	ca. 357	3 Schütztafeln ge-samt l. W. 5,40 m, l. H. 4,00 m Sohle NHN -0,60 m	+135 ± 10	+215	Schließung im Hochwasser-fall
Bille	Serrahn-wehr	ca. 348	3 Schütztafeln ge-samt, l. W. 13,0 m, l. H. 1,60 m Drempelhöhe NHN +1,92 m	+315 ± 10	+350	Automatiksteuerung auf Betriebswasserstand, voll-ständige Öffnung bei Hochwasser
	Korn-wasser-mühle		3 überströmbare Wehrschwelle l. W. 5,80 m, Sohle NHN +1,65 m, Schwellenhöhe NHN +3,00 m			Öffnung der Tafeln ab NHN +340 cm im OW

l. W.: lichte Weite
l. 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 NHN +140 cm, 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	0,44 m ³ /s
SW Ochsenwerder (Sturmpumpen Gose-Elbe)	7,6 m ³ /s
SW Ochsenwerder (Entwässerung Ochsenwerder)	3,0 m ³ /s
SW Reitbrook	2,0 m ³ /s
SW Seefeld	3,3 m ³ /s
SW Neuengamme	2,0 m ³ /s

Die wasserbaulichen Anlagen dienen auch dazu, die Wasserstände im Normalfall zu steuern (Betriebswasserstände in Tab. 3). An den drei großen Stauanlagen Dove-Elbe-Schleuse, Reitschleuse und Deichsiel an der Tatenberger Schleuse (Abb. 2) wird der Wasserstand auf NHN +90 cm 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 NHN +135 cm und das Serrahnwehr mit NHN +315 cm 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. 3 beschrieben wird. Steigt im Überschwemmungsgebiet untere Dove-Elbe bei einem Hochwasser der Wasserstand auf NHN +110 cm 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).

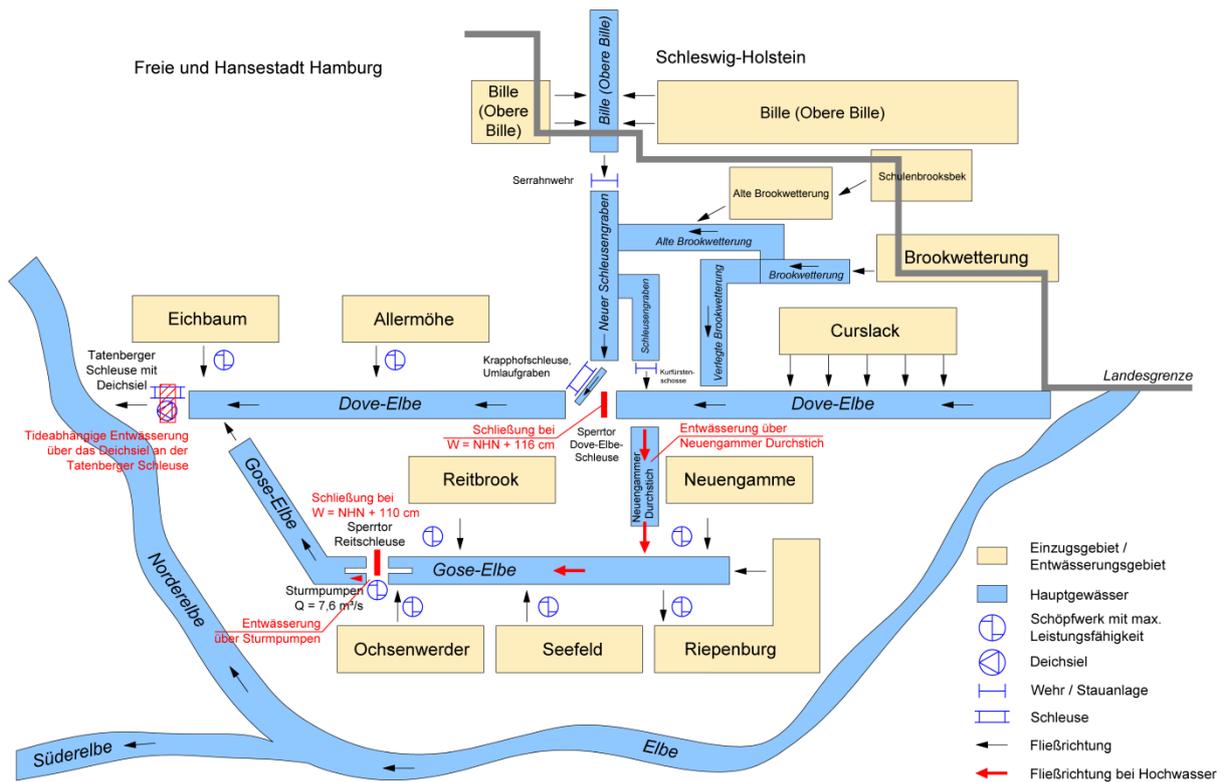


Abb. 11: Schematische Darstellung der Teileinzugsgebiete der Dove-Elbe mit Schöpfwerken. Die roten Pfeile stellen die Ent- und Bewässerung im Hochwasserfall dar.

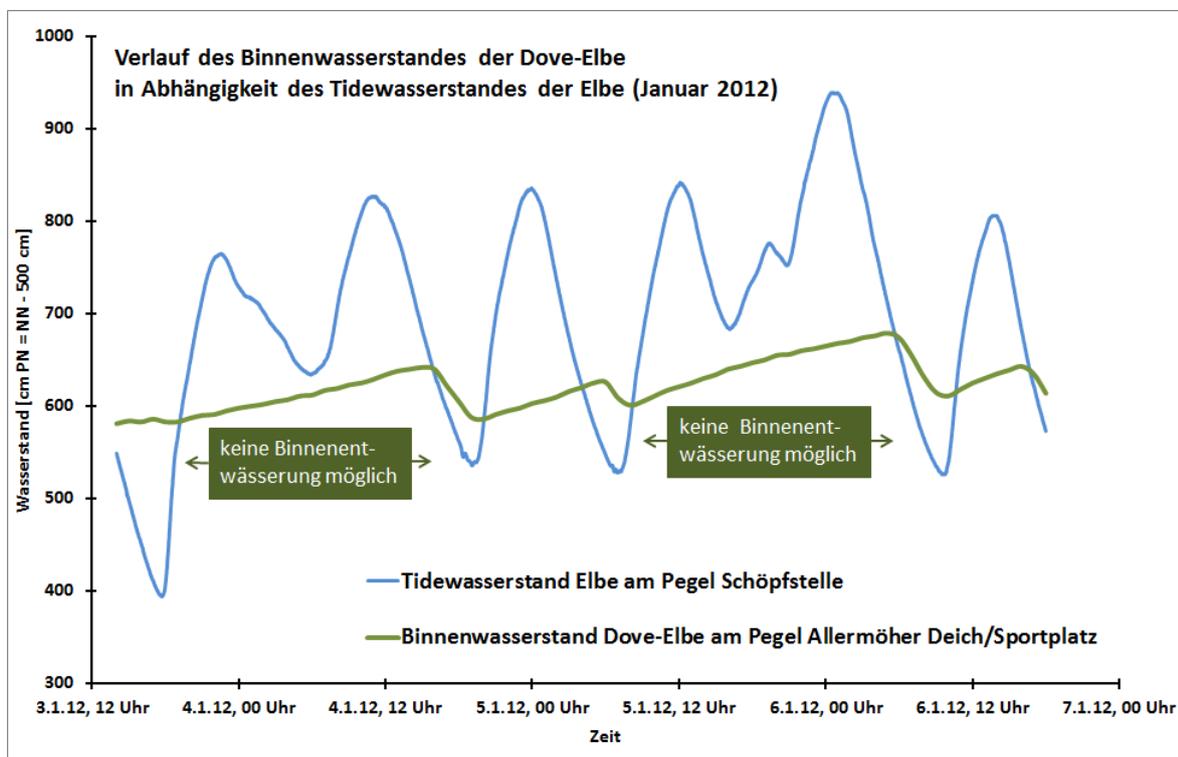


Abb. 12: Verlauf des Binnenwasserstandes der Dove-Elbe am Pegel Allermöhler Deich/Sportz. und des Tidewasserstandes am Pegel Schöpfstelle der Elbe im Januar 2012 (Datenquelle: BUE, Hamburg Port Authority (HPA)).

Im ÜSG Dove-Elbe können ca. 1,5 Mio. m³ Wasser zwischengespeichert werden, bevor der kritische Wasserstand von NHN +180 cm 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 NHN +125 cm. 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 NHN +215 cm. 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 HRB gebaut.

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

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

3.3.3 Operativer Hochwasserschutz

Das Bezirksamt Bergedorf ist für den Betrieb, die Unterhaltung und die Inspektion der Gewässer und Anlagen in der Modellregion Dove-Elbe zuständig. Die Hamburg Port Authority (HPA) ist für das Deichsiel und die Schleuse Tatenberg 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 Nettelburg westlich des Schleusengrabens die kleineren Gräben, die vom Bezirksamt Bergedorf nicht unterhalten werden.

Die Gewässerabschnitte Schleusengraben/Neuer Schleusengraben und Dove-Elbe werden vom Bezirksamt so unterhalten, dass die für die Schifffahrt benötigten Wassertiefen von etwa zwei Metern gewährleistet werden (Wehling 2015).

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 „Hochwasser-Sturmflut-Information“ aufgenommen sind. In Abb. 13 ist auch der Pegel Hamfelde dargestellt.

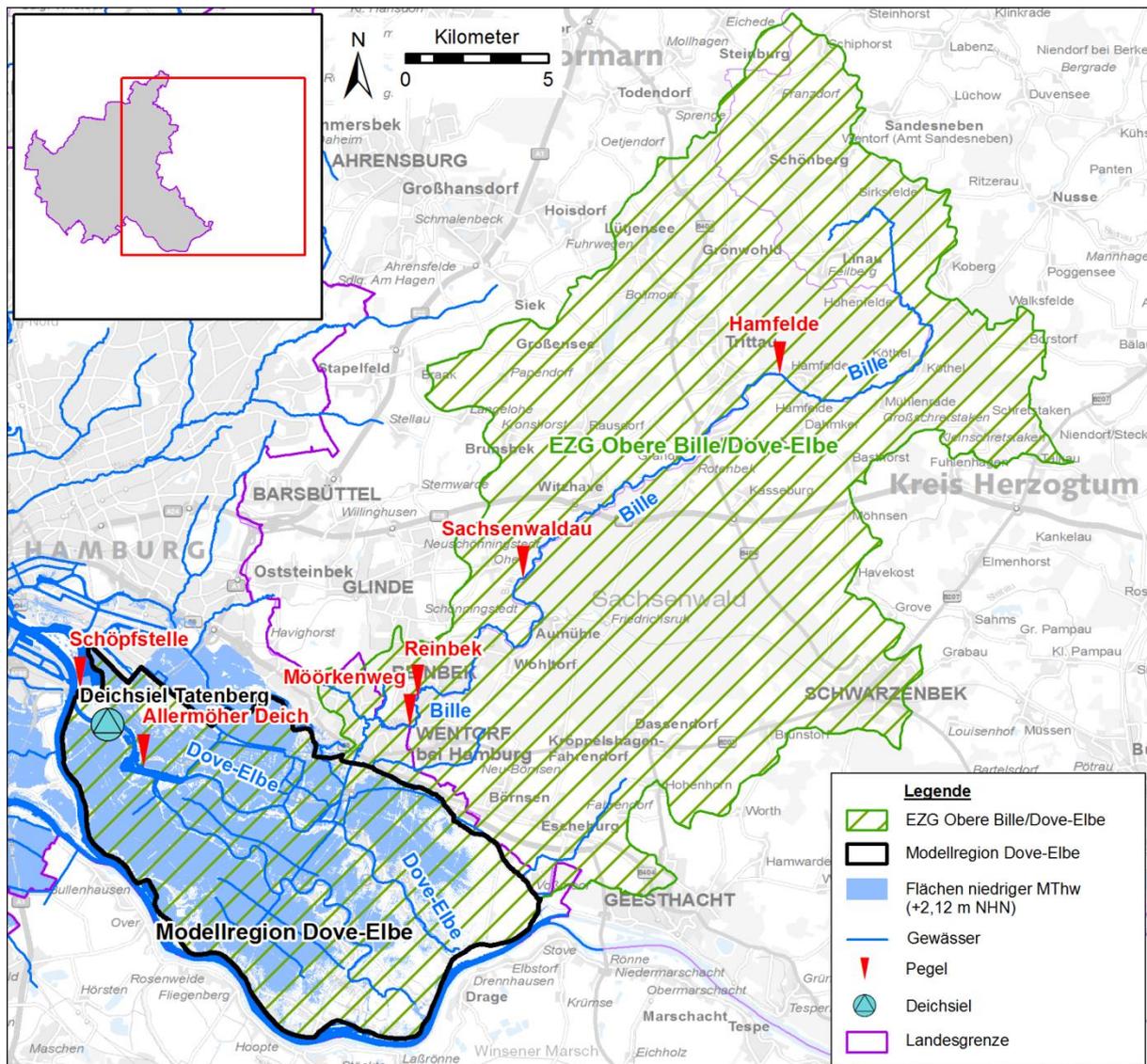


Abb. 13: Einzugsgebiet Obere Bille/Dove-Elbe mit betrachteten Pegeln in Hamburg und Schleswig-Holstein (Geodaten: LGV).

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht gibt es in der Dove-Elbe nur die Wasserstandsverabsenkung als kurzfristig umsetzbare operative Hochwasserschutzmaßnahme, die ohne wasserbauliche Arbeiten auskommt. Hierzu kommen außer der Unteren Dove-Elbe auch die Obere Dove-Elbe, Gose-Elbe, die Schöpfwerksgebiete und der Schleusengraben in Frage.

In der Unteren Dove-Elbe kann bei manueller Steuerung des Deichsiels Tatenberg (Abb. 13) eine Vorabsenkung vorgenommen werden. Der Soll-Wasserstand beträgt in der Unteren Dove-Elbe NHN +90 cm. Bei einem mit dem Bezirksamt abgestimmten Reaktionstest am 9.4.2002 (BWS GmbH 2002) wurde der Wasserstand am Tatenberger Siel für 1,5 h auf NHN +70 cm gehalten. Am Pegel Allermöher Deich/Sportplatz wurden dabei über 3 h Werte von +69 bzw. NHN +70 cm gemessen und der Wasserstand lag über 13 h unter NHN +80 cm. Eine kurzfristige Absenkung des Wasserstandes auf NHN +70 cm scheint deshalb schadlos möglich.

Ziel dieses Reaktionstests war die Prüfung der hydraulischen Wirksamkeit der Dove- und Gose-Elbe. Die Absenkung dauerte vier Stunden bei einem Ausgangswasserstand von NHN +105 cm und bei ausgeschalteten Schöpfwerkspumpen. Während der Wasserstand der Dove-Elbe auf der ausgebauten Strecke bis zum Neuengammer Stichkanal binnen einer halben Stunde reagiert, sank der Wasserstand 1,7 km oberhalb der Blauen Brücke (unterhalb des Neuengammer Stichkanals) während des Reaktionstest nur noch um 6 cm ab. In der Gose-Elbe ist die hydraulische Wirksamkeit deutlich geringer. Am Schöpfwerk Neuengamme, das die gleiche Entfernung von 16,3 km zum Tatenberger Siel aufweist wie die Blaue Brücke, liegt der Wasserstand noch bei NHN +93 cm, während er an der Blauen Brücke zum gleichen Zeitpunkt auf NHN +70 cm gefallen ist. Bereits am SW Reitbrook (9,4 km) kann nach vier Stunden Absenkphase, zzgl. eineinhalb Stunden Halten des Wasserstandes, keine vollständige Angleichung des Wasserstandes erreicht werden. Der Reaktionstest fand am 9.4.2002 statt, als die Verkrautung noch nicht stark ausgeprägt gewesen sein sollte und somit als Grund für die verzögerte Reaktion ausscheidet.

In Abb. 14 ist für alle Sperrtiden im Zeitraum 1.1.2002 bis 30.10.2016 angegeben, wie weit der Wasserstand vor einem Sperrereignis (erkennbar am Pegel Allermöher Deich/Sportzentrum) tatsächlich abgesenkt wurde. Dabei wird unterschieden, welcher Wert minimal erreicht wurde und welcher Wert vor Ausgleich der Wasserstände mit dem Außenwasserstand gemessen wurde. Zudem ist dargestellt, welcher (Hoch-)Wasserstand bis zur nächsten Möglichkeit der Sielöffnung erreicht wurde.

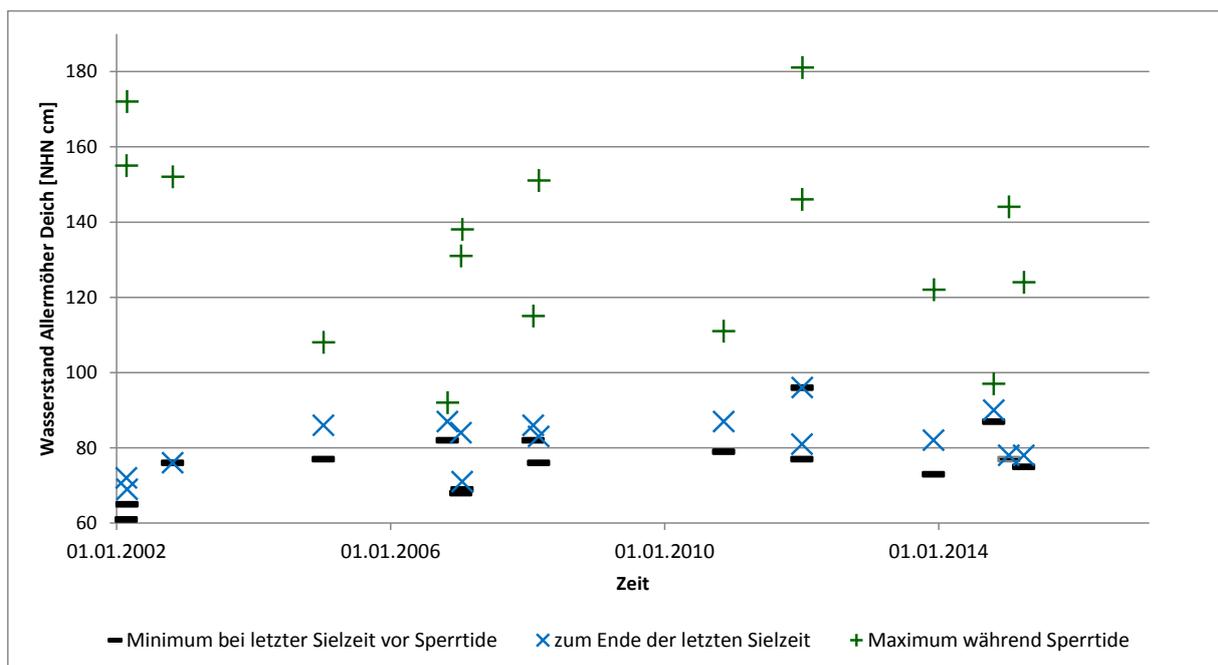


Abb. 14: Wasserstände am Pegel Allermöher Deich/Sportplatz vor einer Sperrtide und während der Sperrzeit. Festgehalten sind die Wasserstandsminima, die vor einer Sperrtide vorhanden waren und der letzte gemessene Wasserstand vor Angleichung der Wasserstände am Pegel Schöpfstelle.

Es wird ersichtlich, dass eine Vorabsenkung in der Dove-Elbe mit manueller Steuerung zu erfolgen hat, denn das Potential der Vorabsenkung wurde nach Inbetriebnahme der automatischen Steuerung 2006 bis auf eine Ausnahme nicht voll ausgeschöpft. Dies betrifft sowohl die abgesenkten minimalen Wasserstände als auch den Wasserstand bei Sielzeitende.

Setzt man die Dauer der Sielentwässerung von gut sieben Stunden (ohne Windstau) in Relation zum Reaktionstest der BWS GmbH, kann eine Vorabsenkung in der Dove-Elbe bis zum Neuengammer Stichkanal und in der Gose-Elbe bis etwa zum Schöpfwerk Seefeld (11,6 km) innerhalb eines Tideniedrigwassers wirken. Für eine Vorabsenkung der weiter stromaufliegenden Bereiche muss der Wasserstand bereits eine Tnw-Phase vorher abgesenkt werden. Dies ist auch sinnvoll, wenn der Windstau beim Tnw vor der Sperrtide schon so hoch ist, dass nur eine eingeschränkte Entwässerung möglich ist.

In oben genanntem Bericht der BWS GmbH (2002) wird die Maßnahme einer Wasserstands- vorabsenkung als wichtiger Beitrag im Rahmen des Hochwassermanagements genannt, der jedoch als einzige Maßnahme als nicht ausreichend erachtet wird. Deshalb wird im Rahmen von Stuck untersucht, welches weitere Retentionspotential auf den dicht von Gräben durchzogenen Flächen der Vier- und Marschlande vorhanden ist, um die Hochwasserscheitelhöhe in der Dove-Elbe signifikant zu mindern. Dazu werden derzeit Daten über die Schöpfwerksgebiete und ihre Gräben erhoben. Detailuntersuchungen erfolgen im Schöpfwerksgebiet Reitbrook, da für dieses Gebiet detaillierte Aufzeichnungen der Pumplaufzeiten und Binnenwasserstände bei einigen Hochwasserereignissen vorliegen. Ziel ist eine Abschätzung des Volumens in den Gräben in Relation zum Gebietsniederschlag, der Pumpenleistung, dem Zufluss aus der Bille und dem Porenvolumen der Böden.

3.3.4 Statistische Auswertungen

Für den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg 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 Wasserstands- stufen 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 Wasserstandsstufe Violett gekennzeichnet. Unterhalb von Gelb werden in Schleswig-Holstein die Farbkennzeichnungen Gelb/Hellgrün und Hellgrün geführt. In Tab. 4 sind die Wasserstände der betrachteten Pegel aufgelistet, bei denen die jeweilige Warnstufe (ab Gelb) beginnt. Die Hauptwerte und das Gewässer der jeweiligen Pegel können Tab. 1 entnommen werden.

Tab. 4: Wasserstände der verschiedenen Warnstufen von Pegeln im Einzugsgebiet der Dove-Elbe und der Bille (Wasserstände in NHN + cm).

Warnstufe	Allermöher Deich / Sportz.	Möörkenweg	Reinbek	Sachsenwaldau	Hamfelde
Gelb	140	380	489	1354	2543
Orange			512	1367	2558
Rot	180	420	535	1379	2573
Violett			> HHW	> HHW	> HHW

Zur statistischen Auswertung der Pegeldata im Einzugsbereich der Dove-Elbe wird eine Tabelle mit 15 min Werten aufgebaut. Sie enthält die Daten der in Tab. 5 genannten Pegel zusätzlich des Wasserstandes am Pegel Schöpfstelle. Die Stundenwerte der Schleswig-Holsteinischen Pegel werden durch lineare Interpolation auf 15 min disaggregiert. Dieser

Gesamtdatensatz deckt den Zeitraum vom 19.12.2001 bis zum 29.2.2016 ab. Durchschnittlich sind ca. 500.000 Werte je Pegel enthalten (Tab. 5).

Tab. 5: Anzahl der ausgewerteten Daten und Anzahl der Wasserstände mit mindestens Warnstufe Gelb (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.2.2016).

	Allermöher Deich / Sportz.	Möörkenweg	Reinbek	Sachsen- waldau	Hamfelde
Anzahl der Messwerte	462.452	470.834	502.531	502.531	502.531
Anzahl Werte \geq Warnstufe Gelb	191	21.031	2.950	3.128	1.570
Anteil Werte [%] \geq Warnstufe Gelb	0,04 %	4,47 %	0,59 %	0,62 %	0,31 %

In Abhängigkeit der festgesetzten Wasserstände für die Warnstufe Gelb wird selbige mehr oder weniger häufig überschritten (Tab. 5). 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 Sturmflutseason vom 15. September bis zum 31. März.

Vom 20.12.2001 bis 31.10.2016 kam es zu 14 Sperrtiden, die in Tab. 6 dargestellt sind. Eine Sperrtide ist hier definiert als Tideniedrigwasser am Pegel Schöpfstelle größer gleich Binnenwasserstand am Pegel Allermöher Deich. Aufeinanderfolgende Sperrtiden werden auch als Tnw-Ketten bezeichnet, wobei eine Sperrtide einer Tnw-Kette, die einmal auftritt (1-fache Tidekette) entspricht (Jensen et al. 2011). Nur bei der Nikolausflut 2013, die der Orkan Xaver verursachte, trat im Beobachtungszeitraum eine 2-fache Tnw-Kette auf. Binnenseitig waren zu dieser Zeit an der Bille keine hohen Wasserstände mit entsprechend hohem Abfluss zu verzeichnen, so dass der Wasserstand im ÜSG Untere Dove-Elbe maximal NHN +122 cm erreichte. Bei einem Ereignis (23.2.2002 um 06:00 Uhr, Pegel Schöpfstelle NHN +108 cm, Pegel Allermöher Deich NHN +116 cm) trat ein Tideniedrigwasser größer als NHN +90 cm auf, ohne dass eine Sperrtide vorlag. Am Pegel Allermöher Deich/Sportzentrum 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 NHN +90 cm, so dass eine Binnenentwässerung immer möglich war.

Tab. 6: 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 29.2.2016). (Wasserstände in NHN + cm, 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. 7; 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. 7, 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. 7, Zeile 4). Zu beachten ist, dass zwischen Pegel Möörkenweg und Auslass Tatenberger Siel noch die Laufzeit des Hochwasserscheitels zu berücksichtigen ist.

Tab. 7: 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 31.10.2016) (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	9697
Anzahl Werte >= Warnstufe gelb	2	3	4	5	8	9	11	17	21	29	38	435
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 %	4.5 %

Am Pegel Schöpfstelle sind saisonale Unterschiede im Wasserstand festzustellen. Bei ausschließlicher Datenverwendung im Falle eines Messwerttripels ergibt sich ein arithmetisches Mittel des Wasserstands von NHN +50 cm und das Mittel der Tideniedrigwasser liegt bei NHN -146 cm (Tab. 8). Während das arithmetische Mittel des Wasserstands im hydrologischen Sommerhalbjahr durchschnittlich NHN +46 cm aufweist, ergibt sich für das hydrologische Winterhalbjahr ein um 9 cm höherer Wert. Bei Betrachtung der Werte in und außerhalb der Sturmflutseason ergibt sich eine Differenz von 10 cm.

Tab. 8: Statistische Auswertung der Wasserstandsmesswerte am Pegel Schöpfstelle in saisonaler Abhängigkeit (Zeitraum: 20.12.2001 bis 31.10.2016) (bezogen auf Messwerttripel, s. Text).

	Ganz-jährig	Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai-Okt.)	Hydrologisches Winterhalbjahr (Nov.-April)	Innerhalb der Sturmflutseason (15.9.-31.3.)	Außerhalb der Sturmflutseason (1.4.-14.9.)
Anzahl aller Wasserstandsmessungen	481.844	234.117	234.863	256.079	212.901
Maximum [NHN cm]	+610	+438	+610	+610	+414
Arithmetisches Mittel [NHN cm]	+50	+46	+55	+55	+45
Anzahl der Tideniedrigwassermessungen	9.697	4.711	4.728	5.155	4.284
Maximum [NHN cm]	+216	+216	+192	+216	+38
Arithmetisches Mittel [NHN cm]	-146	-151	-141	-138	-155
Minimum [NHN cm]	-293	-266	-293	-293	-236

Eine Selektion des Datensatzes (19.12.2001 bis 29.2.2016) auf die Zeitpunkte, bei denen sich der Wasserstand am Pegel Mörkenweg in der Warnstufe Gelb befindet, ergibt einen durchschnittlichen Wasserstand am Pegel Schöpfstelle von NHN +90 cm (n = 17.271). Während der Zeit an dem der Wasserstand die Warnstufe Rot überschreitet, liegt das arithmetische Mittel des Wasserstands am Pegel Schöpfstelle bei NHN +105 cm (n = 3.760), mit einem durchschnittlichen Tideniedrigwasser von NHN -90 cm (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 Mörkenweg (Tab. 4). Damit 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 NHN +131 cm (n = 259) und das durchschnittliche Tideniedrigwasser auf NHN -63 cm (n = 5 Werte).

Diese höheren Wasserstände wirken sich auf die Sichelzeiten aus. Eine durchschnittliche Sichelzeit beträgt am Tatenberger Siel 7 Stunden und 10 min. Diese nimmt im Winterhalbjahr um knapp 10 min ab und sinkt durchschnittlich um eine Stunde, wenn der Wasserstand am Pegel Mörkenweg die Warnstufe Gelb aufweist.

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 33 Stunden ermittelt (Abb. 15). In Abb. 15 sind die Markierungen (Marker der Linien auf Höhe der Pegel) der einzelnen Hochwasser unterschiedlich groß.

Sie entsprechen in ihrer Größe einer Klassifizierung der Scheitelmaxima am Pegel Mörkenweg. Bei höheren Scheitelwasserständen, also größerer Markierung, nimmt die Laufzeit augenscheinlich ab, wie eine lineare Regression der beiden Parameter zeigt (Abb. 16). 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.

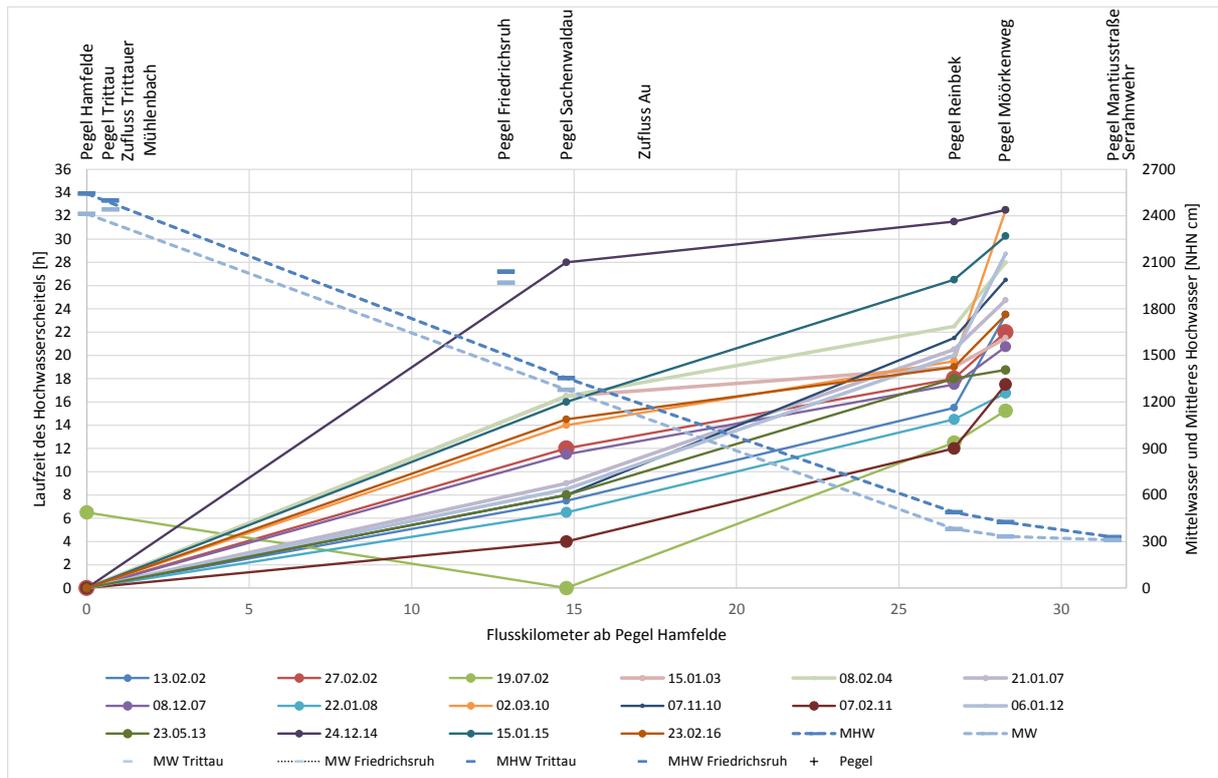


Abb. 15: Laufzeiten von Hochwasserscheiteln in der Bille von Pegel Hamfelde bis Pegel Mörkenweg. Die Höhe des Scheitelwasserstands am Pegel Mörkenweg (Warnstufe Rot) wurde klassifiziert und als unterschiedliche Markierungsgröße dargestellt. Auf der Sekundärachse sind die Höhen des jeweiligen Mittelwassers und Mittleren Hochwassers dargestellt (Zeitraum: 20.12.2001 bis 6.2.2017).

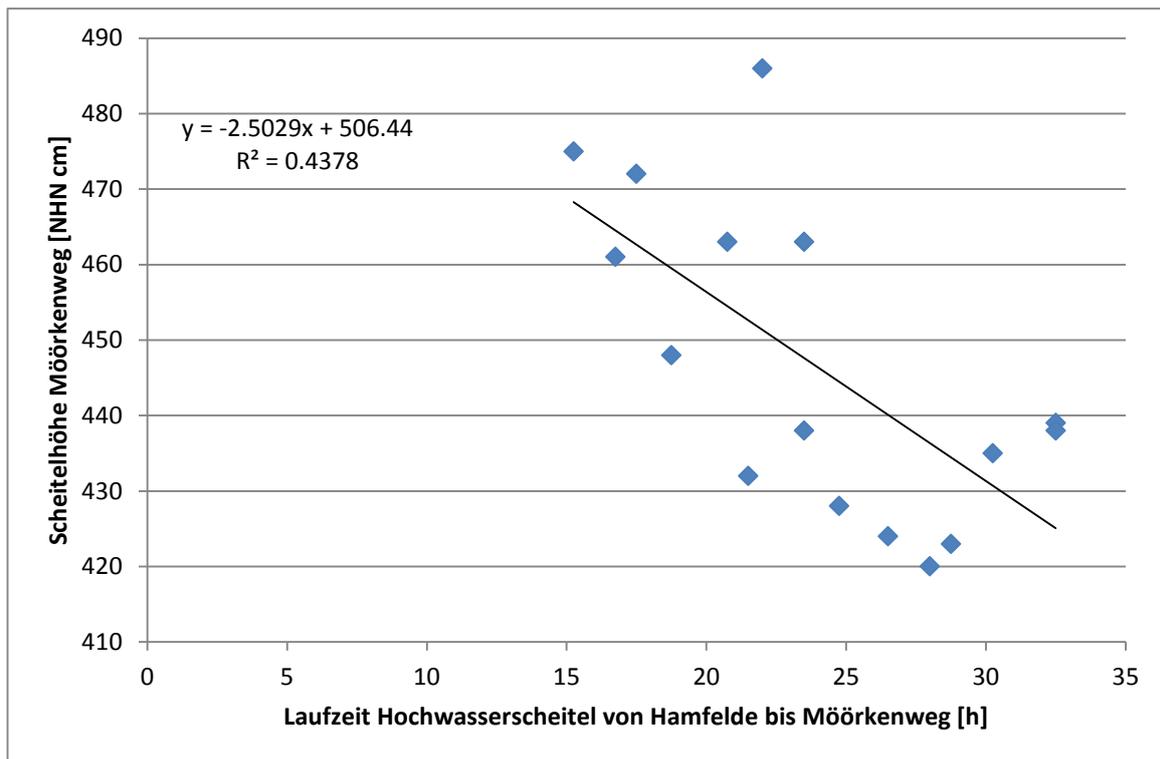


Abb. 16: Gegenüberstellung von Scheitelhöhe am Pegel Mörkenweg und Laufzeit des Hochwasserscheitels vom Pegel Hamfelde bis Pegel Mörkenweg für Hochwasser, die die Warnstufe Rot am Pegel Mörkenweg erreicht haben und bereits bei Hamfelde einen Scheitel aufweisen (Zeitraum: 20.12.2001 bis 29.2.2016).

Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit einer Koinzidenz von hohem Tideniedrigwasser und hohem Binnenwasserstand sind neben den binnenseitigen Laufzeiten 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.

Eine kombinierte Betrachtung von Binnenhochwasser und Sturmflut lässt z. B. das Ereignis vom Februar 2002 zu (Abb. 17). Hier tritt der Hochwasserscheitel in Hamfelde 1,5 Stunden nach dem Tnw der Sperrtide auf, es dauert aber weitere 23,5 Stunden, bis der Hochwasserscheitel den Pegel Mörkenweg erreicht. Zu diesem Zeitpunkt war eine Entwässerung über das Tatenberger Siel wieder möglich. Jedoch war bereits zum Zeitpunkt der Sperrtide die Warnstufe Rot am Pegel Mörkenweg überschritten, weil bereits seit dem 18.2.2002 täglich Niederschlag von mindestens 5 mm pro Tag fiel. Zudem ging diesem Ereignis zwei Wochen zuvor ein weiteres größeres Binnenhochwasserereignis voraus.

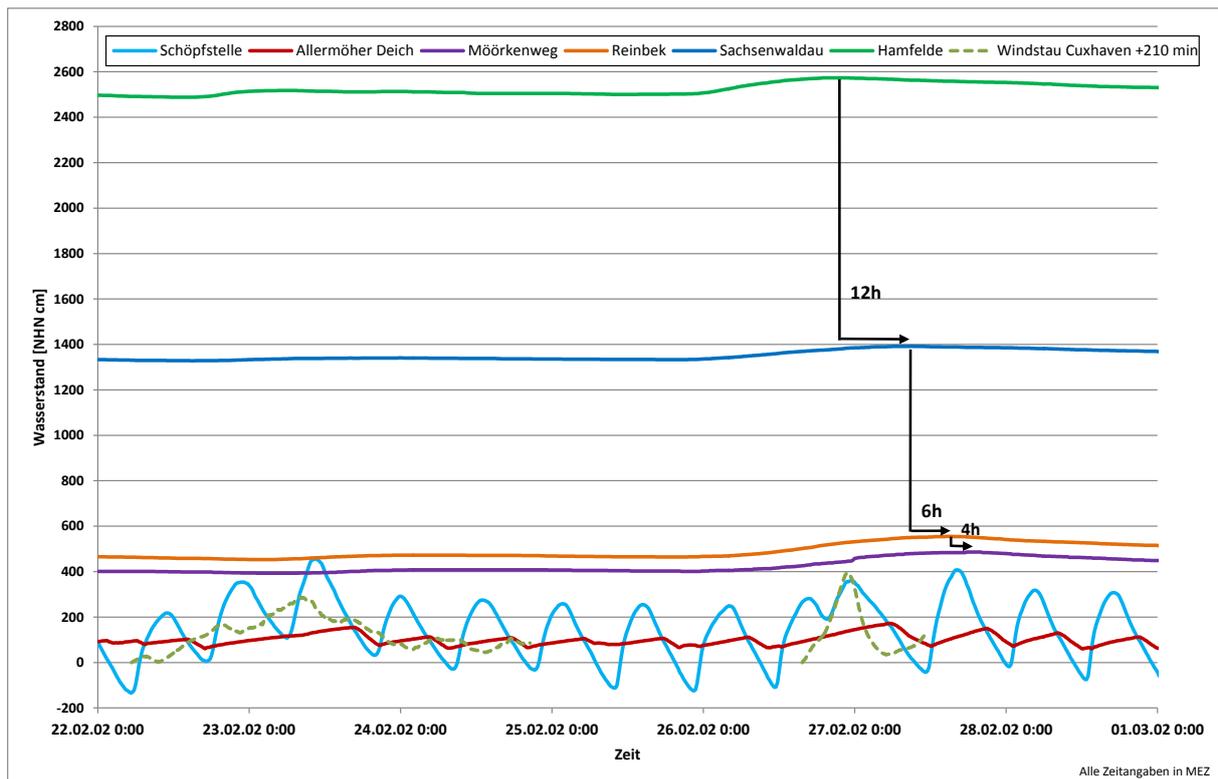


Abb. 17: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Bille, Dove-Elbe und der Tideelbe während des Hochwasserereignisses vom 27.2.2002.

Der zeitliche Versatz von Sperrtiden und ggf. damit meteorologisch verbundenen Hochwasserscheiteln wird für die 14 Sperrtiden im Beobachtungszeitraum analysiert. In Abb. 18 sind die 14 Sperrtiden (vgl. Tab. 6) zzgl. dreier Tnw-Ereignisse mit eingeschränkter Entwässerungsmöglichkeit (unterbrochene Kreise) für den Beobachtungszeitraum dargestellt, wobei die Größe der Kreise die Höhe des Tnw widerspiegelt.

Bei sieben der 14 Sperrtiden wurde im Nachgang die Gelbe oder Rote Warnstufe (Füllfarbe der Kreise) am Pegel Möörkenweg überschritten. In vier Fällen gab es im Anschluss keinen Anstieg des Wasserstandes. Eine Häufung der Zeitversätze ist bei ca. 35 Stunden zu erkennen. Dieser Zeitversatz erscheint typisch für den zeitlichen Zusammenhang von maximalem Windstau bei Tnw und dem Eintreffen des Hochwasserscheitels am Pegel Möörkenweg, wenn Niederschlag und Windstau durch dasselbe Tiefdruckgebiet verursacht werden. Um die Abweichungen zwischen den einzelnen Zeitversätzen zu klären werden in nächsten Schritt die Niederschläge und ggf. Druckfelder betrachtet.

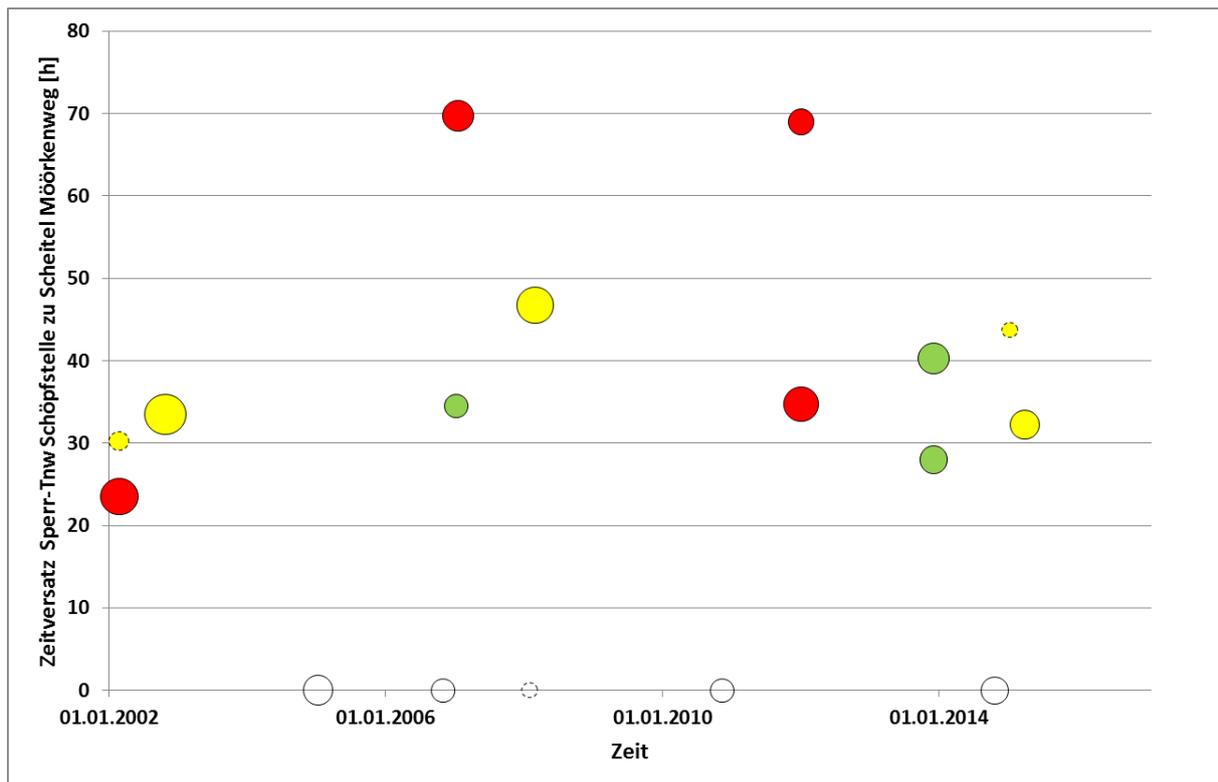


Abb. 18: Zeitversatz zwischen Sperrtiden und Hochwasserscheiteln für alle Sperrtiden am Tatenberger Siel im Zeitraum 19.12.2001 bis 31.10.2016. Unterbrochene Kreise stellen Tnw-Ereignisse dar, die nur eine eingeschränkte Entwässerungsmöglichkeit boten. Die Größe der Kreise spiegelt die Höhe des Tnw-Wasserstandes wider und die Farbe die erreichte Warnstufe am Pegel Mörkenweg. Sperrtiden ohne nachfolgenden Scheitelwasserstand sind ohne Füllung und Zeitversatz wiedergegeben.

Mit den bisherigen Auswertungen kann zum einen gezeigt werden, dass hohe Binnenwasserstände in der Bille mit durchschnittlich höheren Außenwasserständen in der Tideelbe korrelieren und zum anderen, dass nach Sperrtiden in der Hälfte der Fälle eine Warnstufe am Pegel Mörkenweg erreicht wird. Die Laufzeiten des Hochwasserscheitels in der Bille fallen von Ereignis zu Ereignis unterschiedlich aus, zeigen aber eine Tendenz von kürzeren Laufzeiten bei höherem Scheitelwasserstand.

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 (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 22 HRB verwendet werden, allerdings dient zur Zeit nur ein Becken (Steinwiesenweg) dem Rückhalt der Mühlenau, ein weiteres HRB 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 km² (Abb. 19). 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 (LSBG 2014).

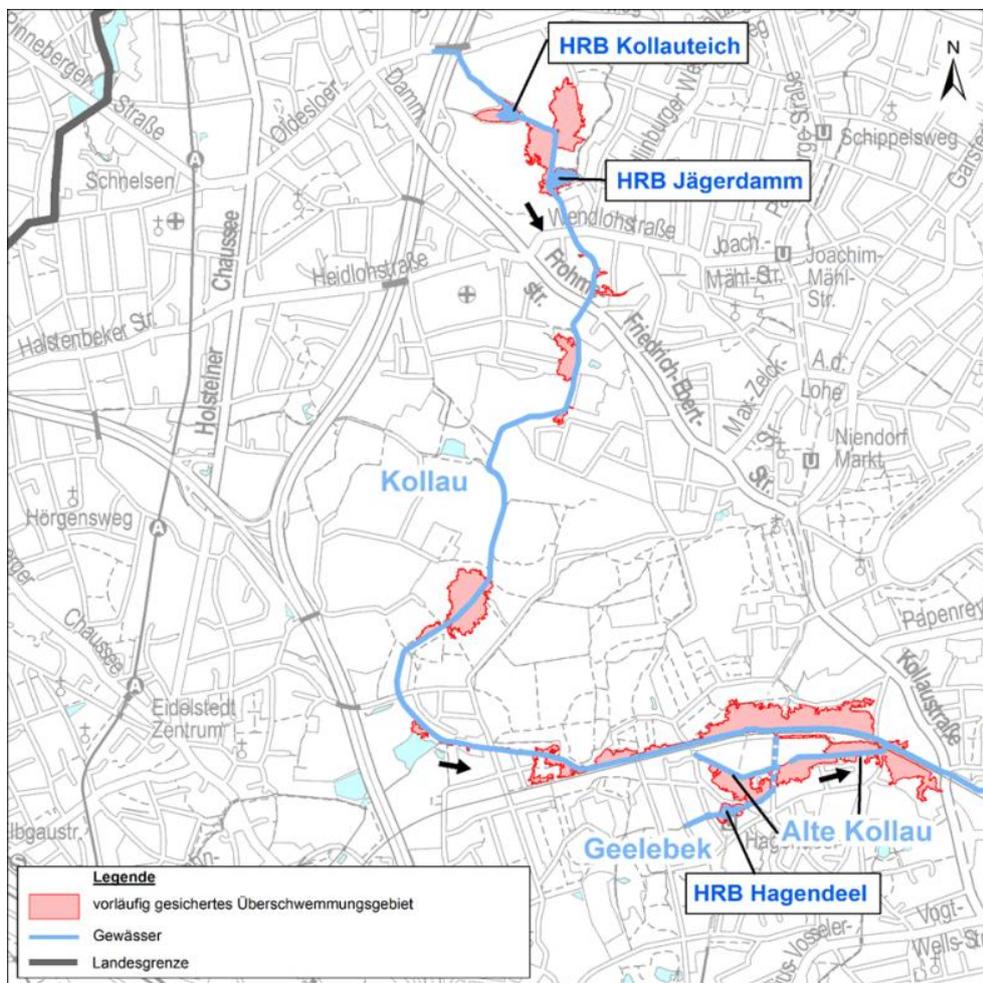


Abb. 19: Vorläufig gesichertes Überschwemmungsgebiet Kollau, ohne Maßstab (Kartengrundlage LGV) (LSBG 2014).

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.

An der Kollau selbst befindet sich nur ein HRB, 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 HRB angebunden und durch eine Gabionenwand mit einer Überlaufschwelle von NHN +10,60 m abgetrennt (Ingenieurgesellschaft Klütz & Collegen Itzehoe GmbH 2012). Über das HRB 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. In den Nebengewässern der Kollau befinden sich weitere 22 HRB.

Nach Aussage von Herrn Schneider (2015) weisen fast alle HRB im Einzugsgebiet der Kollau einen relativ niedrigen Wasserstand auf. So besteht ein größerer Puffer im Hochwasserfall. Die Steuerung der HRB, ggf. ein vorheriges Ablassen des Wasserstandes sollte per Modellierung geprüft werden. Caspari (2016) zeigt im Rahmen seiner Studienarbeit beispielhaft am HRB Kronsaaßweg mit dem numerischen Modell KalypsoHydrology, dass eine gesteuerte Abgabe aus dem HRB 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 (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 drei Pegel im Einzugsgebiet der Kollau. Davon befinden sich zwei Pegel an der Kollau und ein Pegel an der Mühlenau (Tab. 9).

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 HRB.

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. 9: Übersicht der Pegel im Einzugsgebiet der Kollau (BUE)

Pegel-Nr.	Bezeichnung	Gewässer	Aufzeichnungszeitraum	W-Q-Beziehung vorhanden
99344	Niendorfer Straße	Kollau	10.1966 bis dato	ja
99007	Vogt-Kölln-Straße	Kollau	11.2015 bis dato	nein
99136	HRB 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. 20).

An drei aufgetretenen Ereignissen lässt sich eine Laufzeit des Hochwasserscheitels vom Pegel Olloweg bis zum Pegel Niendorfer Straße von drei bis sieben Stunden ermitteln (Tab. 10). 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 Retentionspeicher, der als „teilweise geschütztes Biotop“ ausgewiesen ist (Ausgleichsfläche für zweigleisigen Ausbau der AKN-Linie A1) und zu einer Minderung der Wasserstände bei Hochwasser führt (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.

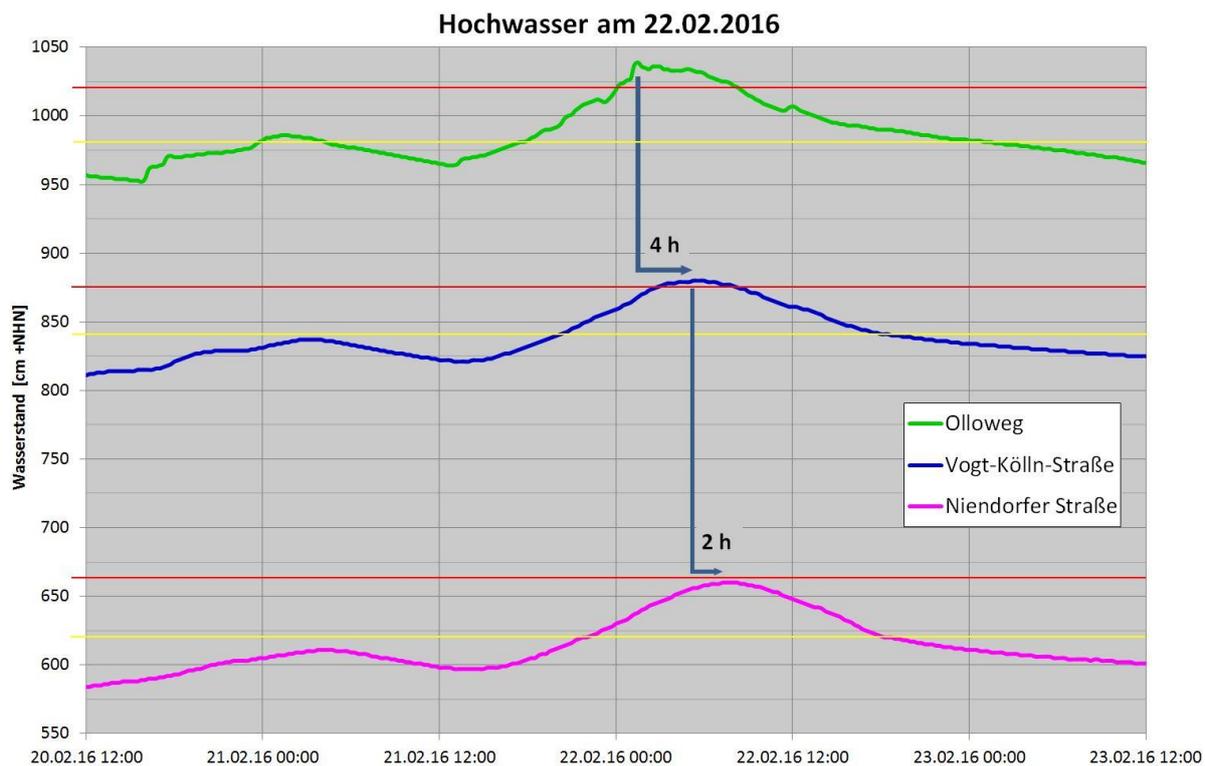


Abb. 20: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Mühlenau und Kollau während des Hochwassers am 22.2.2016.

Tab. 10: 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
13.12.2015	1,5 h	2 h	3,5 h
30.01.2016	1,5 h	1,5 h	3 h
10.02.2016	2,5 h	1,5 h	4 h
22.02.2016	4 h	2 h	6 h
23.05.2016	3 h	2 h	5 h
14.06.2016	4,5 h*	2 h	7 h
19.03.2017	1,5 h	2,5 h	4 h
21.03.2017	3,5 h	1 h	4,5 h

* zwei Maxima am Pegel Olloweg

3.5 Vorfeuchteindex (API)

Für das Hochwassermanagement im Dove-Elbe-Raum und somit auch die Modellierung von Szenarien ist der Zufluss über die Bille in das Gebiet von entscheidender Bedeutung. Der von der Behörde für Umwelt und Energie betriebene Pegel Mörkenweg an der Landesgrenze zeichnet lediglich Wasserstände auf, Durchflussmessungen werden hier nicht durchgeführt. Der Zufluss aus der Bille kann derzeit nur anhand der am Pegel Reinbek (Abb. 21) gemessenen Abflüsse abgeschätzt werden. Da sich dieser nur unweit der Landesgrenze befindet, wird im Projekt Stuck auf die dort gemessenen Daten zurückgegriffen.

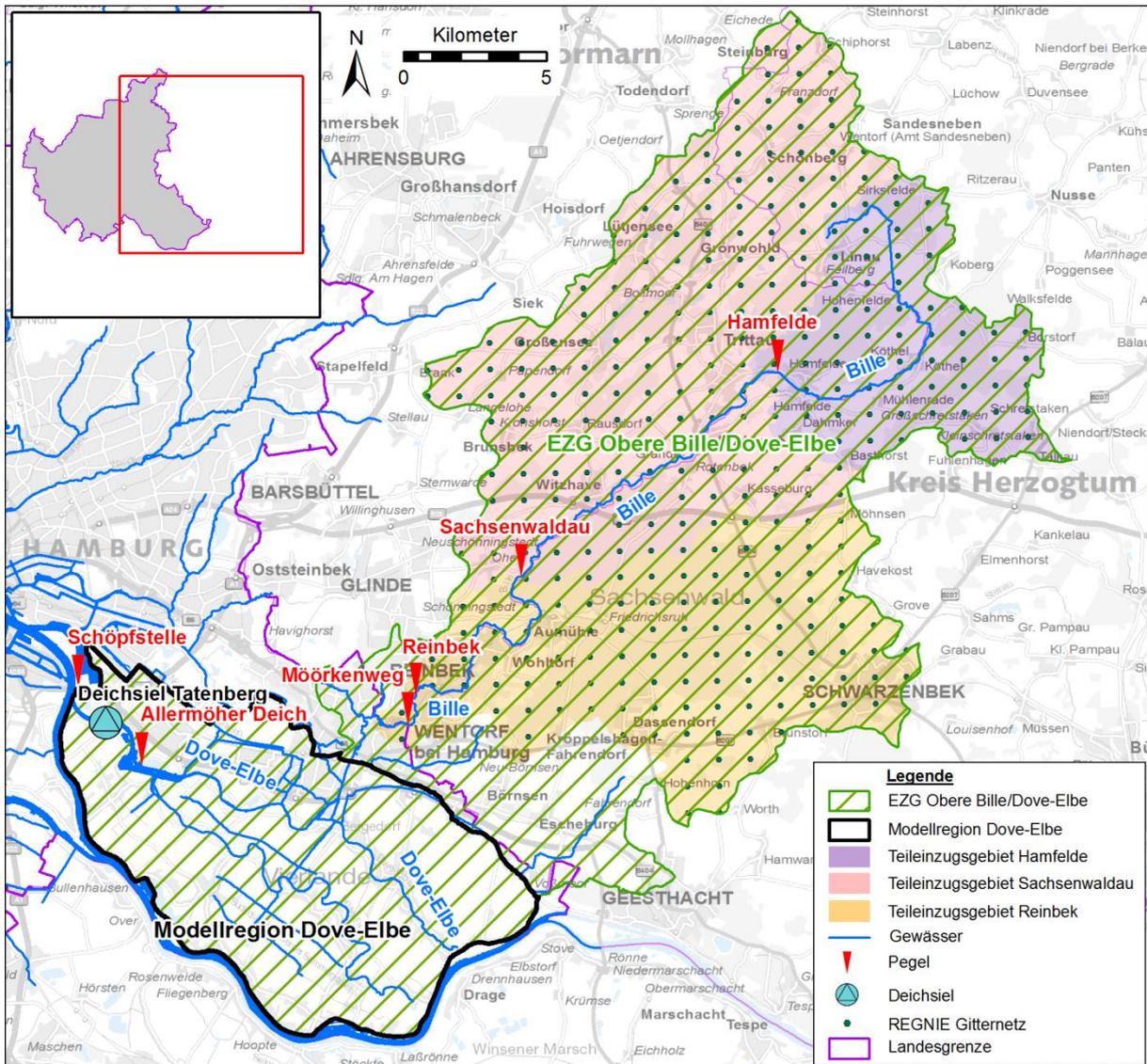


Abb. 21: EZG Obere Bille/Dove-Elbe mit Teil-EZG der untersuchten Pegel und REGNIE-Gitterpunkten des DWD (Geodaten: LGV).

Der Pegel Reinbek wird vom Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein betrieben, von dort werden dem Projekt Stuck benötigte Daten zur Verfügung gestellt.

Derzeit wird gemeinsam mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein eine Datenverbindung aufgebaut, die den Online-Bezug aktueller Pegeldaten ermöglichen wird.

Das N-A-Modell für die Modellregion der Dove-Elbe bildet den Bereich der Bille bis zum Pegel Reinbek ab, so dass die eingehenden Daten direkt für das Modell genutzt werden können.

Ein N-A-Modell für das EZG des Pegels Reinbek existiert nicht, dementsprechend gibt es auch keine Hochwasservorhersage. Im Rahmen des Stuck-Projektes wird geprüft, ob das vereinfachte Verfahren einer Hochwasservorhersage für die Bille durch die Verwendung eines Vorfeuchteindex (Antecedent Precipitation Index (API)) möglich wäre (Gennis 2016). Dessen Eignung für die Hochwasservorhersage größerer Einzugsgebiete in Deutschland ist von Schröter et al. (2015) nach den Hochwasserereignissen 2013 untersucht worden.

Grundlage für die Abschätzung des Hochwasserscheitels auf Basis des API sind die täglich für ein Gitternetz von 1 x 1 km vom DWD veröffentlichten Daten der regionalen Niederschläge von Deutschland (DWD 2016). Für das EZG der Oberen Bille/Dove-Elbe wurden 327 Rasterpunkte des REGNIE-Netzes herangezogen (Abb. 21). Für jeden Punkt wird rückwirkend für einen Zeitraum von 21 Tagen der Vorfeuchteindex berechnet und anschließend für jedes untersuchte Teileinzugsgebiet ein gemittelter API verwendet.

Für 13 Hochwasserereignisse der Jahre 1993 bis 2015 ist die aus dem API abgeleitete Vorhersage des Hochwasserscheitels den gemessenen Scheitelwerten gegenüber gestellt (Abb. 22). Es zeigt sich, dass das Verfahren für das EZG der Bille Ergebnisse liefert, die sich hinsichtlich der Streuung voneinander unterscheiden. Für die Arbeiten im Projekt Stuck ist der Pegel Reinbek von Bedeutung, dessen Streuungsmaß hinreichend erscheint, um eine Vorhersage des Hochwasserscheitels im gewissen Rahmen zu ermöglichen. Dies erscheint angesichts der relativ langen Laufzeiten des Hochwasserscheitels möglich, auch unter Berücksichtigung der Spannbreite der Berechnungsergebnisse. Im Projekt Stuck soll das Verfahren des API automatisiert mitgeführt und seine Eignung als Unterstützung für die tägliche Vorhersage des Spitzenabflusses an der Bille untersucht werden.

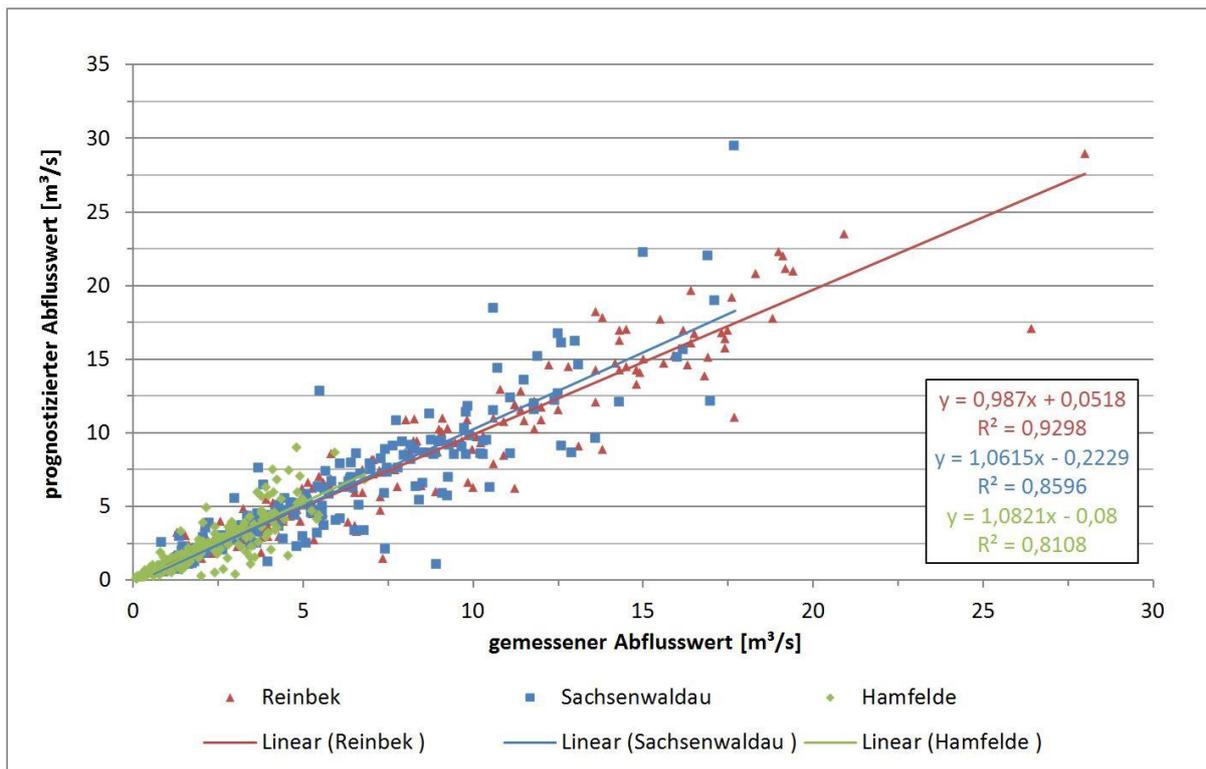


Abb. 22: Prognose des Scheitelabflusses auf der Grundlage des API und gemessener Abflussscheitelwerte für drei Pegel im EZG Obere Bille/Dove-Elbe (Gennis 2016).

3.6 Szenarienbetrachtung

Die für das Projekt relevante Kombination der Parameter „Klimawandel“, „Flächenentwicklung“ und „Hochwassermanagement“ und deren mögliche zukünftige Entwicklung werden zunächst in einer Matrix entwickelt. Insgesamt werden, neben dem IST-Zustand, sieben Szenarien mit einer variierenden zukünftigen Entwicklung der drei genannten Parameter untersucht (siehe Tab. 11). Die Szenarien dienen dazu, die Wirkung der Parameter untereinander und zusammen auf das „System Binnenhochwasserschutz“ zu beurteilen, sowie die Auswirkungen von in der Realität aus Kostengründen selten umgesetzten Maßnahmen abzuschätzen.

Tab. 11: Matrix mit möglichen Kombinationen der Parameter (0: keine Veränderung, +: Zunahme/Verstärkung, -: Abnahme/Minderung)

	Flächennutzung	Klimawandel	Hochwassermanagement
Ist-Zustand	0	0	0
Szenario 1	0	0	+
Szenario 2	+	0	0
Szenario 3	-	0	0
Szenario 4	0	+	0
Szenario 5	+	+	0
Szenario 6	-	+	+
Szenario 7	+	+	+

Die zukünftige Entwicklung wird auf das Jahr 2035 projiziert. Über diesen Zeitpunkt hinaus lässt sich für die zukünftige Entwicklung der Flächennutzung in einer Metropole wie der Freien und Hansestadt Hamburg keine hinreichend zuverlässige Abschätzung machen.

Tab. 12: Parameter der Szenarien für die Modellregion Kollau.

Modellregion Kollau		
Flächenentwicklung	Hochwassermanagement	Klimawandel
<p>Die derzeit im Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) hinterlegte Flächennutzung hat den Stand des Jahres 2003. Dieser wird nach Aktualisierung als Ausgangszustand (Status Quo) angesetzt. Die Flächenentwicklung wird in drei Stufen integriert:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Status Quo: Aktualisierung der hinterlegten Flächennutzung mit den Daten des Jahres 2015 2. 2035a: Integration bestehender Bebauungspläne (insbes. die, die sich derzeit im Verfahren befinden) mit der daraus abgeleiteten Flächennutzung in das N-A-Modell 3. 2035b: Ggf. Erhöhung der Versiegelungsgrade nach Angaben des HWWI, die auf einem Regressionsverfahren beruhen, welches Werte für das Jahr 2035 prognostiziert (dies für den Fall, dass diese nach 2. noch nicht erreicht sind) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. N-A-Modellierung ohne Hochwasserrückhaltebecken (HRB) 2. N-A-Modellierung ohne HRB, stattdessen ein zentrales HRB am Unterlauf zur Ermittlung des gesamten für die mögliche Steuerung zur Verfügung stehenden Volumens 3. N-A-Modellierung mit allen bestehenden HRB als Trockenbecken 4. N-A-Modellierung mit Steuerung ausgesuchter HRB im Sinne von Fallstudien, die Auswahl der HRB erfolgt in Abstimmung mit allen Projektpartnern und dem Bezirk Eimsbüttel 5. N-A-Modellierung von weiterem naturnahen Gewässerausbau 	<p><u>Niederschlag:</u> 30-jährliches Ereignis: Eintrittswahrscheinlichkeit T = 30 a Dauerstufen D = 1 h und 1 d. Der Bemessungsniederschlag wird dem KOSTRA-Atlas entnommen und jeweils ohne und mit einem Klimawandelaufschlag von 15 % angesetzt. Bemessungsereignis: 5-jährliches Abflussereignis Zusätzlich wird mit den Niederschlägen des Hochwasserereignisses im Mai 2013 gerechnet, da diese sehr hohe Abflüsse (HHW) erzeugten und durch die Radar-daten der Gebietsniederschlag gut abgebildet werden kann. und/oder: Berechnung auf der Grundlage eines extrem seltenen Niederschlagsereignisses an den Stationen Fuhlsbüttel und Neuwiedenthal für die Dauerstufen 1 h und 1 d</p>

Tab. 13: Parameter der Szenarien für die Modellregion Dove-Elbe.

Modellregion Dove-Elbe		
Flächenentwicklung	Hochwassermanagement	Klimawandel
<p>Die derzeit im Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) hinterlegte Flächennutzung hat den Stand des Jahres 2015. Dieser wird als Ausgangszustand (Status Quo) angesetzt.</p> <p>Die Flächenentwicklung wird in zwei Stufen integriert:</p> <ol style="list-style-type: none"> 2035a: Integration bestehender Bebauungspläne (insbes. die, die sich derzeit im Verfahren befinden) mit der daraus abgeleiteten Flächennutzung in das N-A-Modell 2035b: Ggf. Erhöhung der Versiegelungsgrade nach Angaben des HWWI, die auf einem Regressionsverfahren beruhen, welches Werte für das Jahr 2035 prognostiziert (dies für den Fall, dass diese nach 2. noch nicht erreicht sind) 	<p>N-A-Modellierung von Vorabsenkung und Einstau</p>	<p><u>Niederschlag:</u> 30-jährliches Ereignis: Eintrittswahrscheinlichkeit T = 30 a Dauerstufe D 1 d. Der Bemessungsniederschlag wird dem KOSTRA-Atlas entnommen und jeweils ohne und mit einem Klimawandel-Aufschlag von 15 % angesetzt Bemessungsereignis: 5-jährliches Abflussereignis</p> <p><u>Meeresspiegelanstieg:</u> +20 cm (mid range) bis +30 cm (max.) bis 2035. Der zusätzliche Windstau (10 cm bis 2100) bleibt unberücksichtigt -> TUHH prüft mit HN-Modell, wie sich das Zeitfenster durch den Meeresspiegelanstieg ändert</p>

Die Flächennutzung hat Auswirkung auf den Versiegelungsgrad und damit auf den Abfluss. Zum einen wird die künftige Entwicklung durch die Integration von bekannten Planungen (z.B. Bebauungsplänen, aber auch Großvorhaben im Straßenbau) in das N-A-Modell berücksichtigt, zum anderen werden durch das HWWI mittels eines Regressionsverfahrens Versiegelungsgrade für das Jahr 2035 auf der Grundlage der Bevölkerungsentwicklung prognostiziert.

Für das Hochwassermanagement sind hinsichtlich des Klimawandels die Entwicklung der Niederschläge und für die Modellregion Dove-Elbe zudem die Entwicklung der Tidewasserstände relevant.

Im Projekt Stuck wird zur Berücksichtigung der Niederschlagsentwicklung der KOSTRA-Atlas (Malitz & Ertel 2015) des DWD herangezogen. Es werden Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von $a = 30$ und den Dauerstufen 1 h und 1 d zugrunde gelegt, welche mit einem Aufschlag von 15 % versehen werden.

Bei der Entwicklung des globalen Meeresspiegels wird nach dem fünften Sachstandsbericht des IPCC (2014) über alle Emissionsszenarien hinweg von einem Anstieg zwischen

28 und 98 cm bis 2100 ausgegangen. Regionalisierungen des Meeresspiegelanstiegs zeigen für den Holländischen Pegel IJmuiden und das Emissionsszenario RCP4.5 einen mittleren Anstieg von 20 cm bis 2035 bzw. 60 cm bis 2100 (Schrum et al. 2016). Dieser Wert liegt auch innerhalb des mittleren Bereichs von 40 bis 80 cm bis 2100 für die Deutsche Bucht, wie er von Gönnert et al. (2009) aus Literaturstudien ermittelt wurde. Im Rahmen der Festsetzung von Bemessungswasserständen für die Freie und Hansestadt Hamburg wird diese Literaturstudie seitens LSBG fortgeschrieben und fortlaufend ergänzt.

Dieser Wert von 20 cm wird als fachlich korrekt erachtet und für die Abbildung von sinnvollen Forschungsergebnissen als zielführende Höhe gewählt. Für das Szenario bis 2035 sind Werte am oberen Streuungsrand sinnvoll, um für diesen kurzen Zeitpunkt darstellbare Ergebnisse zu erreichen. Je nach Entwicklung des Klimas kann für das Ergebnis die Zeitspanne der Betrachtung verlängert und vergleichbar z. B. mit dem für die Bemessung angesetzten Wert betrachtet werden. Inhaltlich ist er nicht vergleichbar mit den für die Bemessung herangezogenen Höhen aus dem Ländervergleich.

Szenarien im Sinne des Hochwassermanagements konzentrieren sich derzeit noch auf die Modellregion Kollau und die dort vorhandenen HRB. Mit dem N-A-Modell sollen folgende Szenarien gerechnet werden:

- Entfernen aller HRB zur Erfassung deren Wirkung im IST-Zustand
- Keine dezentralen HRB, stattdessen ein zentrales HRB am Unterlauf zur Ermittlung des gesamten, für die mögliche Steuerung zur Verfügung stehenden Volumens
- Alle bestehenden HRB als Trockenbecken
- Steuerung ausgesuchter HRB im Sinne von Fallstudien
- Weiterer naturnaher Gewässerausbau

In einem ersten Ansatz wird geklärt, wie die Häufigkeit von Sperrtiden in Folge eines um 20 cm höheren Meeresspiegels zunimmt. Es wird davon ausgegangen, dass am Pegel Schöpfstelle das MT_{nw} weniger stark ansteigt als der Meeresspiegel, wie es in Hein et al. (2014) und Seiffert et al. (2014) beschrieben wird. Es wird daher ein Anstieg des MT_{nw} um ca. 15 cm angenommen.

Wie sich diese Anhebung des MThw auf die Häufigkeit von Sperrtiden und T_{nw}-Ketten auswirkt, ist in Tab. 14 dargestellt. Demnach würde sich die Anzahl der T_{nw}-Ereignisse mit einer Höhe über dem SOLL-Wasserstand von NHN +90 cm in der Dove-Elbe von 25 auf 31 innerhalb der betrachteten 17 Jahre erhöhen. Zudem hätte eine 2-fache T_{nw}-Kette dreimal statt zweimal stattgefunden.

Tab. 14: Anzahl der Tnw-Ereignisse am Pegel Schöpfstelle, die die jeweils genannten Höhenstufen innerhalb der hydrologischen Jahre 1990 bis 2016 überschritten haben. Sowohl bei der Höhenstufe, als auch bei der Folgenzahl findet eine Mehrfachnennung der Ereignisse statt.

Tnw 1990 bis 2016

	cm	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Folgenanzahl	1	60	44	36	32	30	25	23	21	18	14	12	9	6	4	4	3	1	1
	2	8	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tnw 1990 bis 2016 plus 15 cm

	cm	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Folgenanzahl	1	96	73	49	38	35	31	28	24	22	18	15	13	11	8	4	4	3	1
	2	23	12	7	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	3	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Thomas Einfalt, Alexander Strehz, Alrun Jasper-Tönnies

Im Projekt Stuck bearbeitet die Firma hydro & meteo GmbH & Co. KG (hydro & meteo) zwei Arbeitspakete. Das AP 1 beschäftigt sich mit der Vorhersage von Niederschlag und der Bereitstellung weiterer meteorologischer Parameter für die anderen Arbeitspakete. Der Aufgabenbereich des AP 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 Datenbezug und -bereitstellung

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

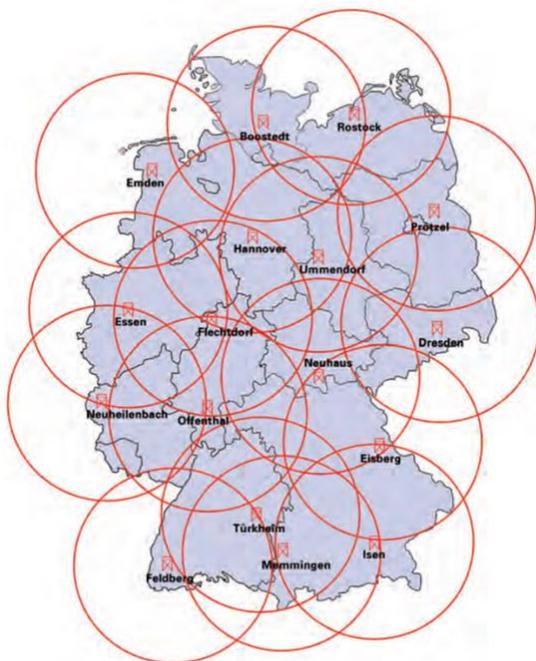
1. Radardaten und Radardatenprodukte,
2. Numerische Wettervorhersagedaten und
3. Stationsmessdaten.

4.1.1 Radardaten und Radardatenprodukte

Neben den Radardaten der Standorte Boostedt, Emden, Hannover und Rostock/Warnemünde (Abb. 23) 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. 15). Die Daten aller vier Radare werden in Echtzeit abgerufen, anschließend archiviert und für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Für die Radare Boostedt, Rostock, Emden und Hannover ist darüber hinaus eine Onlinekorrektur (Kap 4.3) eingerichtet. Aus den korrigierten Radardaten wird ein Komposit erstellt (Kap 4.4), welches den norddeutschen Raum abdeckt. Anschließend werden die Radardaten mit Hilfe von Regenschreiberdaten angeeicht (Kap 4.5) und ein Radarnowcast erstellt (Kap 4.6). Die kompositierten Radardaten werden vor und nach der Aneicherung im internen Bereich der Projektwebseite zur Veranschaulichung der Aneicherung dargestellt (Abb. 73). Zusätzlich wird auch ein Member des operationell erstellten Radarnowcasts für ein Vorhersagehorizont von einer Stunde gezeigt. Zeitreihen des angeeichten Radarkomposits sowie aller Nowcastmember werden operationell alle 5 Minuten über den FTP-Server des Projekts an die TUHH (AP 2) weitergegeben.

Tab. 15: Übersicht über die vom DWD kontinuierlich bezogenen Radardaten und -produkte.

Produkt	Beschreibung	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung
Radar Boostedt	Radarmessung/DX-Produkt	5 Minuten	1° x 1 km
Radar Emden	Radarmessung/DX-Product	5 Minuten	1° x 1 km
Radar Hannover	Radarmessung/DX-Produkt	5 Minuten	1° x 1 km
Radar 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	Radar-Nowcast des DWD	5 Minuten	1 x 1 km



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

Abb. 23: 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).

4.1.2 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. 16 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. 24 dargestellt.



Abb. 24: Darstellung des im Projekt bezogenen Ausschnittes der Modelle COSMO-DE und COSMO-DE-EPS (rot umrahmter Bereich).

Tab. 16: 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 10 x 10 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. 16 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.

4.1.3 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 und die Weitergabe an das Arbeitspaket zwei läuft operativ seit Ende 2016. Außerdem wurden die Daten für das Jahr 2016 nachträglich umgewandelt und dem AP 2 zur Verfügung gestellt. Im UVF-Format können die Daten auch mit SCOUT (Einfalt 2009) weiter verarbeitet werden.

4.2 Einrichtung von Hardware (Serviceleistungen)

Im AP 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 mehrere 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

4.3 Forschung und Entwicklung: Online Korrektur für die vier Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden

Als ein wichtiger Teil eines nachhaltigen Hochwassermanagements sollen in diesem Arbeitspaket die Niederschlagsvorhersagen und die daraus resultierenden Hochwasserwar-

nungen verbessert werden. Besonders in städtisch geprägten Räumen ist für die Hochwasserwarnung bei starken konvektiven Niederschlagsereignissen eine Überarbeitung der existierenden Verfahren erforderlich. Der Ansatz, der hier verfolgt wird, sieht eine Kombination aus radarbasierten Ensemblevorhersagen und Ensemblevorhersagen aus der numerischen Wettervorhersage vor. Die kombinierten Vorhersagen sollen als Grundlage für Hochwasserwarnungen und als Eingangsgröße für hydrologische Modellierungen (AP 2) dienen.

Die Nowcasts basieren auf Echtzeitmessungen von Radar. Damit diese in guter Qualität zur Verfügung stehen, müssen eine Reihe von Vorarbeiten durchgeführt werden. Diese werden in Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 dargestellt. Außerdem wurde eine Überarbeitung der Nowcastroutine durchgeführt, die in Kapitel 4.2.4 beschrieben wird.

Im Rahmen des Projektes stehen Radarmessungen der Radarstandorte Boostedt, Hannover, Rostock und Emden des Deutschen Wetterdienstes in Form des DX-Produktes zur Verfügung. Diese haben eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten. Gemessen wird die Reflektivität mit einer Auflösung von 0.5 dBZ; wenn keine Störeinflüsse vorhanden sind, lässt sich daraus die Niederschlagsintensität ableiten. Die Daten sind allerdings gegenüber Störeinflüssen nicht im ausreichenden Maße aufbereitet und korrigiert, so dass im ersten Schritt die Anwendung von Korrekturmethode erforderlich ist.

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

Nachfolgend wurden die im Untersuchungszeitraum 1.6.2015–1.1.2016 aufgetretenen Fehlerquellen genauer analysiert.

4.3.1 Bodenechos

Die Radardaten sind u. a. durch Bodenechos (hohe Einzelwerte) in ihrer Aussagekraft beeinträchtigt. Über diese „festgelegten“ Bodenechos hinaus gibt es Einzelpunkte, an denen nur zeitweise Fehler auftreten. Wie stark sich diese auf die Messungen auswirken, kann 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 werden in einer sogenannten Bodenechokarte („Cluttermap“) zusammengefasst.
2. Einzelpixel bzw. zusammenhängende Pixel, die eine Größenordnung von mindestens 6 km² (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 & 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 den „Specklefilter“ passend eingestellt 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 räumlich und in Abhängigkeit vom Radarstandort. Spezielle Einstellungen gibt es für Bereiche entlang der Schifffahrtsrouten und für Pixel, die während Inversionswetterlagen Bodenechos aufweisen.

4.3.2 Strahlenfehler

Im Untersuchungszeitraum gibt es bei den polarimetrischen Radargeräten geringe Teilabschattungen durch die vier Blitzableiterstangen direkt außerhalb des Radoms. Dadurch wird ein Teil des Strahls blockiert und es kommt im Strahlbereich zu einer geringeren Intensität gegenüber der Umgebung. Insbesondere in 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 erfolgt durch die Anhebung der Messwerte um einen bestimmten dBZ-Wert. Dabei wird für jeden der betroffenen Winkel der Betrag durch Vergleich mit den nicht beeinflussten Radarstrahlen gesondert ermittelt, was zu einer deutlichen Reduktion des Fehlers führt.

4.3.3 Bildinterpolation

Die vorliegenden Radarbilder sind Momentaufnahmen in einem Abstand von ca. 5 Minuten. Bei schnell ziehenden 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 Aneichung 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 und 5 Minuten-Mittelwerte der Niederschlagsintensität erstellt.

4.3.4 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 räumliche Verteilung der Niederschlagsmengen hat. Unkorrigierte und korrigierte Radarsummenbilder des untersuchten Zeitraumes sind in Abb. 25 und Abb. 26 in Form von Tagessummen und Gesamtsummen einander gegenübergestellt.

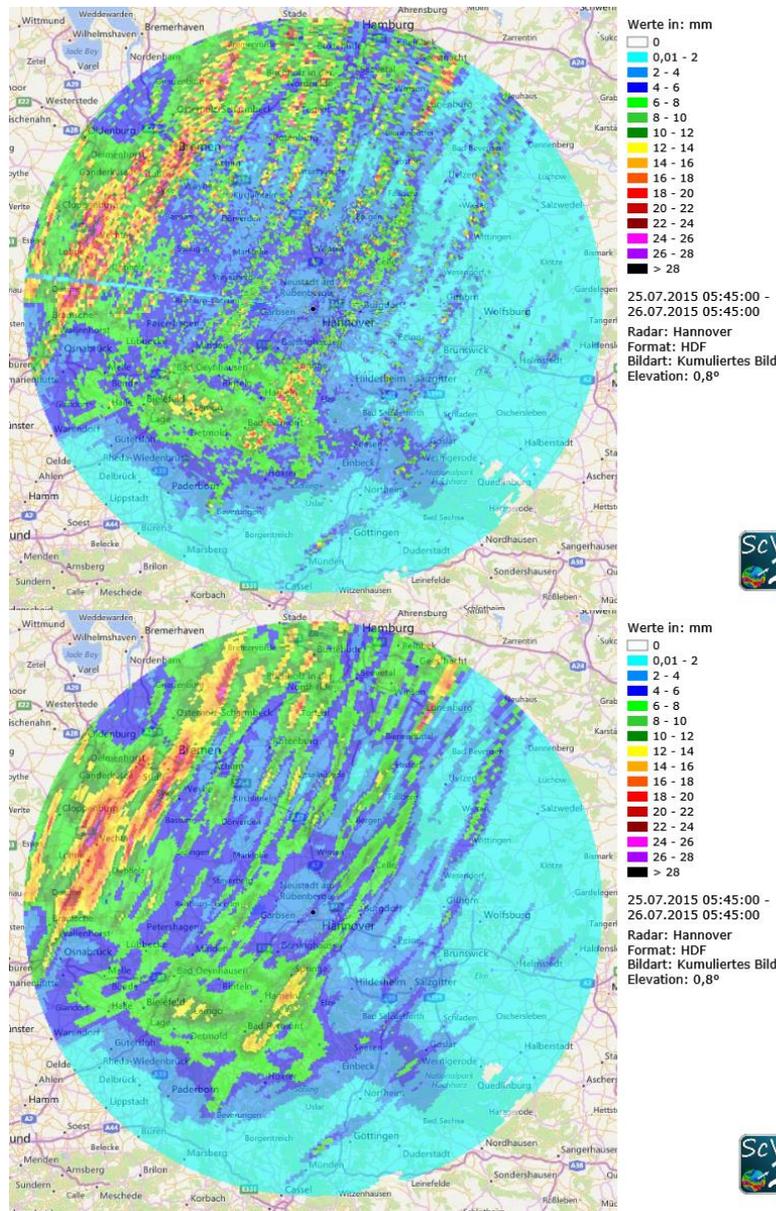


Abb. 25: Unkorrigierte (oben) und korrigierte (unten) Radarniederschlagssumme vom 25.7.2015 am Radarstandort Hannover.

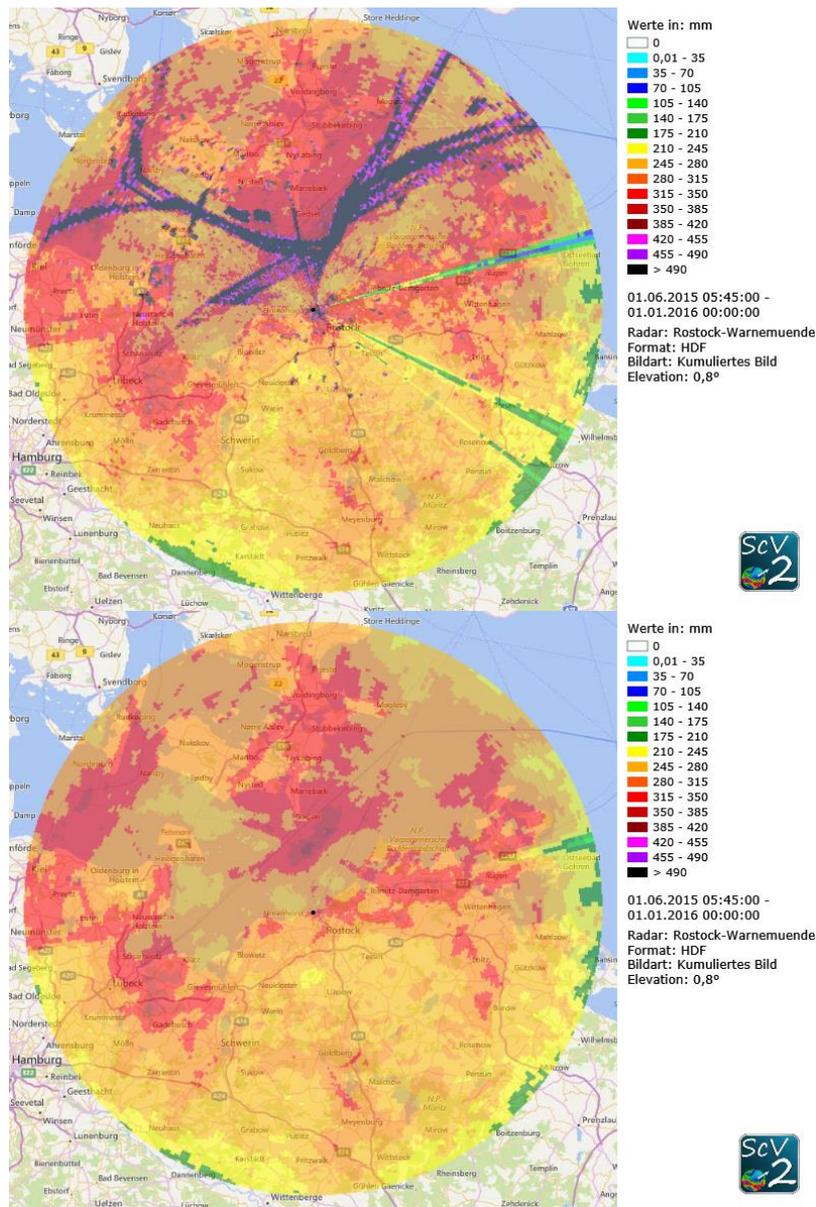


Abb. 26: Unkorrigierte (oben) und korrigierte (unten) Radarsummenbilder für den Zeitraum 1.6.–31.12.2015 von dem Radar Rostock.

4.4 Kompositierung

Die in polaren Koordinaten (1° x 1 km) vorliegenden korrigierten Daten der einzelnen Radarstandorte werden in diesem Schritt auf ein gemeinsames rechtwinkliges Gitter mit einer Gitterweite von 1 km übertragen. Im Überlappungsbereich zweier Radarstationen ergibt sich die Reflektivität als ein mit der inversen Entfernung zu den Radarstandorten gewichtetes Mittel der Reflektivitäten der einzelnen Radarstationen. Für das Projekt Stuck wurde aus den Daten der Radarstationen Boostedt, Emden, Hannover und Rostock ein Komposit erstellt, das den norddeutschen Raum abdeckt (Abb. 27).

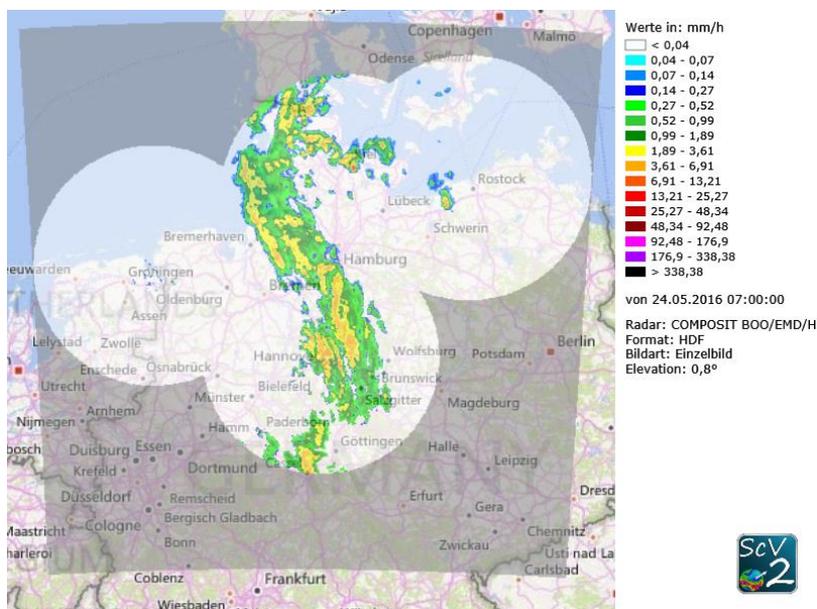
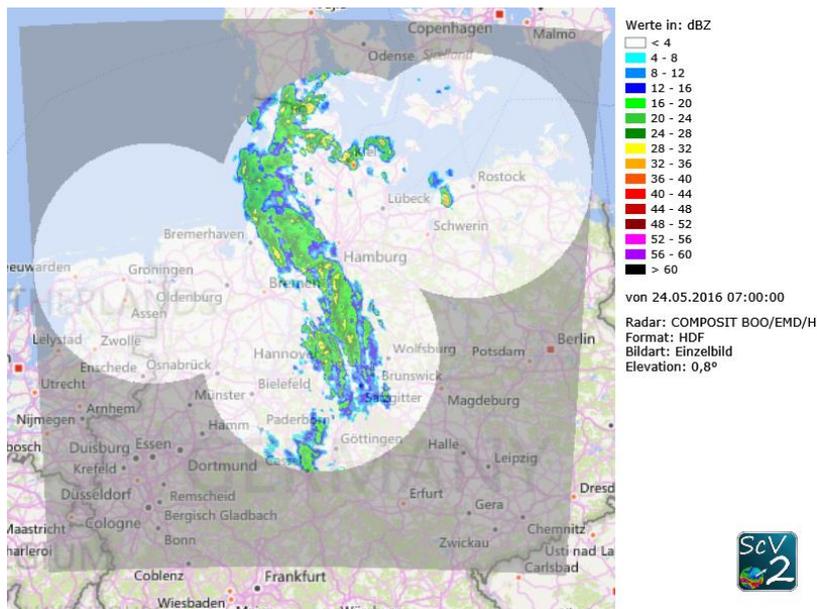


Abb. 27: Radarkomposit aus den Radardaten der Standorte Boostedt, Emden, Hannover und Rostock vor der Aneichung in dBZ (oben) und nach der Aneichung mit Stationsdaten des Deutschen Wetterdiensts in mm/h (unten). Die Farbskala der oberen Grafik ist über die Beziehung $Z \text{ [dBZ]} = 200 \times R \text{ [mm/h]}^{1.6}$ in die Farbskala der unteren Grafik umgerechnet, so dass die Bilder optisch vergleichbar sind.

4.5 Aneichung

In einem weiteren Schritt, der sogenannten ‚Aneichung‘, geht es darum, die Niederschlagsabschätzung aus Radardaten durch den Vergleich mit Regenschreiberdaten quantitativ zu verbessern. Hierzu sind in SCOUT verschiedene Verfahren implementiert. In Stuck werden die Niederschläge der letzten drei Stunden an über 400 Regenschreiberstationen mit Radardaten verglichen. Dazu werden zunächst die Radardaten von Reflektivitäten in Niederschlagsintensitäten umgewandelt. Dies geschieht mittels einer empirischen Z-R-Beziehung. Danach können an jedem Regenschreiberstand-

ort Korrekturfaktoren ermittelt werden. Aus den Korrekturfaktoren an den Regenschreiberstandorten wird ein Feld von Korrekturfaktoren für den gesamten Bereich des Radarkomposits erstellt. Dieses Korrekturfaktorfeld wird anschließend auf die Radardaten angewendet. Das kann zum Beispiel zu einer Verstärkung der durch das Radar ermittelten Niederschlagsintensitäten führen, wie in Abb. 27 gezeigt.

4.6 Radarnowcast

Als Radarnowcast bezeichnet man eine aus Radardaten erstellte Kurzfristvorhersage mit einem Vorhersagehorizont von ca. 1–3 Stunden. Im Projekt wurde die Methode zur Erstellung von Nowcasts mit SCOUT überarbeitet. Generell basiert das in SCOUT implementierte Verfahren zur Erstellung von Nowcasts auf einer Zellerkennung. Einzelne Niederschlagszellen werden in diesem Verfahren anhand einer Reihe von charakteristischen Eigenschaften wie Größe, Form und Reflektivität in aufeinanderfolgenden Bildern identifiziert. Ausgehend von den Masseschwerpunkten wird für jede wiedererkannte Zelle ein Bewegungsvektor berechnet. Aus den Bewegungsvektoren wird ein Bewegungsvektorfeld erstellt. Darauf basierend wird mit einer Semi-Lagrange Methode berechnet, wie sich das Niederschlagsfeld in der Zukunft entwickeln könnte. Vor der Überarbeitung der Nowcastroutine von SCOUT wurden die Bewegungsvektoren der einzelnen Zellen interpoliert um das 2D-Geschwindigkeitsfeld zu erhalten. Das neue Verfahren berechnet zunächst ein Divergenz- und Rotationsfeld aus den beobachteten Bewegungsvektoren. Durch eine numerische Integration wird aus diesen Feldern das Bewegungsvektorfeld gewonnen. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen darin, dass großräumige Divergenz und Rotation des Niederschlagsfeldes besser in der Vorhersage berücksichtigt werden, besonders bei einer geringen Anzahl an wiedererkannten Zellen. Dies ist auch beim Vergleich der Bewegungsvektorfelder beider Methoden in Abb. 28 erkennbar. Während in dem Beispiel in der linken Abbildung kaum Rotation erkennbar ist, ist in der rechten Abbildung eine zyklonale Rotation im Bewegungsvektorfeld deutlich erkennbar. Ein weiterer Vorteil der neuen Methode liegt in der größeren Robustheit gegenüber Ausreißern, die zum Beispiel durch eine ungenaue Zellerkennung entstehen können.

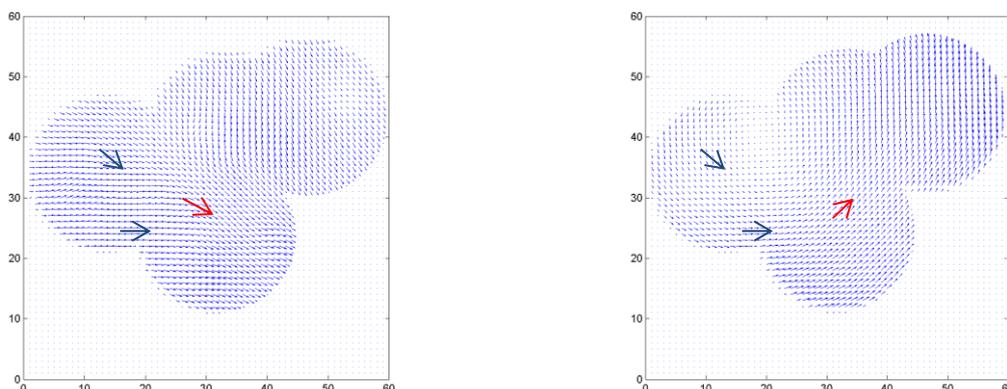


Abb. 28: Vergleich der Bewegungsvektorfelder für das Radarkomposit. Das Feld links wurde mit dem ursprünglich in SCOUT implementierten Verfahren berechnet, das rechte Feld mit dem neuen Verfahren. Zur besseren Erkennung sind die blauen und roten Pfeile eingezeichnet, als Vergrößerung der darunterliegenden Bewegungsvektoren.

Eine weitere Überarbeitung betraf das Zellwachstum in der Nowcast-Routine. Abgesehen von den Bewegungsvektoren wird auch berechnet, wie sich die Größe und Intensität von Niederschlagszellen ändert. Diese Informationen werden zur Extrapolation des Niederschlagsfeldes genutzt. Allerdings verändern sich Niederschlagszellen sehr schnell in Form und Größe, insbesondere bei kleinräumigen konvektiven Ereignissen. Durch die reine Extrapolation der vorangegangenen Änderungen lassen sich daher die wahren Veränderungen des Niederschlagsfeldes über 1–3 Stunden in der Regel nicht vorhersagen. Die Wachstumsroutinen werden aber bei der Erstellung von Ensemble-Vorhersagen (Kap. 4.7) genutzt, um verschiedene mögliche Entwicklungen des Niederschlagsfeldes zu berücksichtigen. Im Zuge der Bearbeitung wurden mehrere Modellparameter, die die Stärke des Zellwachstums und die Variation bei der Ensembleberechnung beeinflussen, empirisch getestet und angepasst.

Im Rahmen des Projektes wurden die von SCOUT generierten Kurzfristvorhersagen auf für das Warnsystem relevante Kriterien überprüft. Hierzu wurden zunächst die Niederschläge über dem Testgebiet (eine Fläche von 25 x 25 km über dem Stadtgebiet Hamburg) mit den beobachteten Überschreitungen von Warnschwellen aller im Warndienst Binnenhochwasser Hamburg (siehe www.wabiha.de) enthaltenen Pegel für den Sommer 2016 (1.6.–31.8.2016) verglichen. Als Grundlage an Messdaten dienten die auf einem 5 x 5 km-Gitter aggregierten Radarniederschläge. Nach sorgfältiger Prüfung wurde folgendes Warnkriterium ausgewählt:

- Niederschlagssumme über eine Stunde > 7 mm in mindestens einem der 5 x 5 km-Gitterzellen
- Niederschlagssumme über eine Stunde > 10 mm an mindestens einem Einzelpixel (1 x 1 km)

In dem Zeitraum gab es 34 Pegelüberschreitungen, von denen 20 ausgewertet wurden. Von der Auswertung ausgeschlossen wurden alle Ereignisse, zu denen keine (verlässlichen) Radardaten vorlagen, sowie alle Ereignisse, bei denen der Wasserstand durch vorhergehende Niederschläge schon stark erhöht war. Bei 13 der 20 ausgewerteten Pegelüberschreitungen traf das obige Kriterium in den Beobachtungsdaten zu, während sieben Pegelüberschreitungen auftraten, bei denen das Kriterium nicht erfüllt war. Zusätzlich war das Kriterium im Auswertzeitraum noch drei weitere Male erfüllt, zu Zeiten an denen keine Pegelüberschreitung beobachtet wurde.

Die Auswertung der deterministischen Nowcasts auf das obige Kriterium ergab, dass bei einer Vorwarnzeit von einer Stunde vor elf der 20 Pegelüberschreitungen richtig gewarnt wurde. Bei einer Vorwarnzeit von einer halben Stunde erhöhte sich die Anzahl der korrekten Warnungen auf 17. Außerdem traten, bei einer Vorwarnzeit von einer Stunde, zwölf falsche Alarme auf.

4.7 Nowcast-Ensembles

Ziel der Nowcast-Ensembles ist es, die Unsicherheiten in der Radarvorhersage realistisch darzustellen, so dass Warnungen auch in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit für eine Grenzwertüberschreitung erstellt werden können.

Um ein Ensemble von Vorhersagen zu erzeugen, werden zunächst 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 generieren. Mit diesen unterschiedlichen Anfangsbedingungen werden dann die Ensemblevorhersagen berechnet. Auf diese Weise enthält das Ensemble sowohl Unsicherheiten in der Zellerkennung mit SCOUT als auch reale Variationen in der Entwicklung der Zellen (Tessendorf & Einfalt 2012). Weiterhin werden Unsicherheiten durch schnell veränderliche Wetterlagen und Messunsicherheiten abgeschätzt und gehen in die Berechnung der Ensembles mit ein.

Ergebnisse der Auswertung der Ensemble-Nowcasts sind in Abb. 25 bis Abb. 28 dargestellt. Abb. 29 zeigt die Verteilung der Ensemble-Vorhersagen vor der Überarbeitung der Vorhersageberechnung und mit deaktivierter Wachstumsroutine. Das Talagrand-Diagramm (links) zeigt die Verteilung der gemessenen Radarniederschläge auf die der Größe nach sortierten Ensemblevorhersagen. In über 40 % der Vorhersagezeiten (ausgewertet wurden Zeiten mit vorhergesagtem oder beobachtetem Niederschlag) trifft die Ensemble-Vorhersage, die die niedrigste Niederschlagsmenge vorhergesagt hat, am besten die Radarmessung. Insgesamt ist die Bandbreite aus dem Ensemble nicht groß genug, sonst wären die Balken für die Ränge 1-10 ungefähr gleich hoch. Die kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Niederschläge (Abb. 29 rechts) aus Messung und Radarnowcasts zeigt, dass die Häufigkeit von hohen Niederschlägen in Messung und Vorhersage sehr ähnlich ist. D. h. die Vorhersagen passen gut zu den Messungen; es ist kein systematischer Fehler in den Vorhersagen erkennbar, der grundsätzlich zu hohe oder zu niedrige Niederschläge verursacht. Anders ist das im Fall der Wachstumsroutine, vor der in Kap. 4.6 genannten Überarbeitung (Abb. 30). Hier fallen die vorhergesagten Niederschläge in der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilung höher aus als die gemessenen Niederschläge. Das deutet darauf hin, dass durch die Wachstumsroutine systematisch zu hohe Niederschläge produziert wurden. Dieses Problem wurde im Zuge der Überarbeitung erfolgreich behoben. Abb. 31 zeigt das Ergebnis mit der überarbeiteten Nowcast-Berechnung und der überarbeiteten Wachstumsroutine. Das Talagrand-Diagramm zeigt eine verbesserte Verteilung gegenüber Abb. 29 und die Wahrscheinlichkeitsverteilung der hohen Niederschläge fällt in den Vorhersagen wieder ähnlich aus wie in den Messungen.

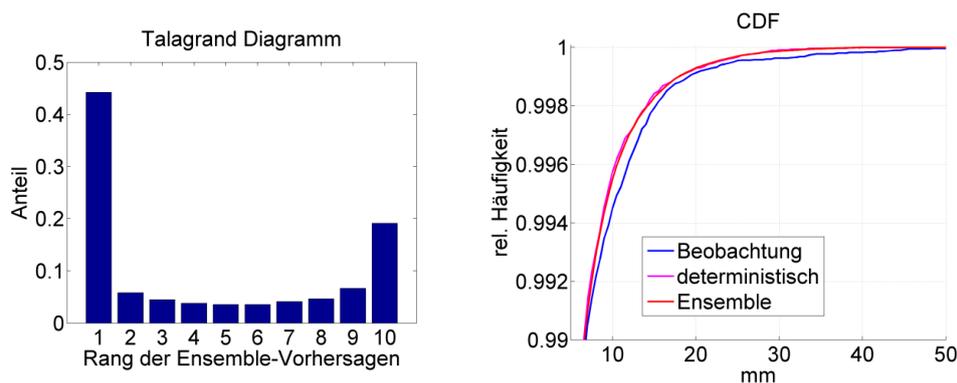


Abb. 29: Auswertung der Ensemble-Vorhersage vor der Überarbeitung der Nowcastroutine und ohne Wachstumsroutine. Links: Talagrand-Diagramm. Rechts: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Niederschläge (Stundensummen) aus Beobachtungen von Radar und Vorhersagen (deterministisch und Ensemble). Der Bildausschnitt zeigt das höchste 1 % der Niederschläge.

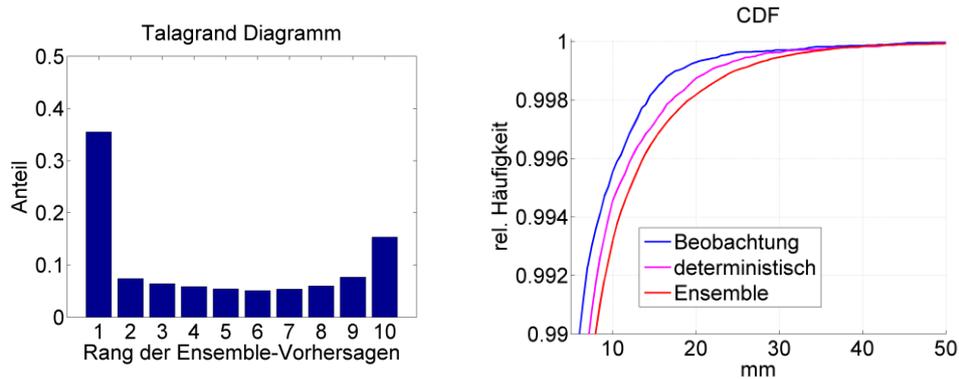


Abb. 30: Wie Abb. 29, aber mit der neuen Berechnung der Zugvektoren, unter Verwendung der alten Wachstumsroutine.

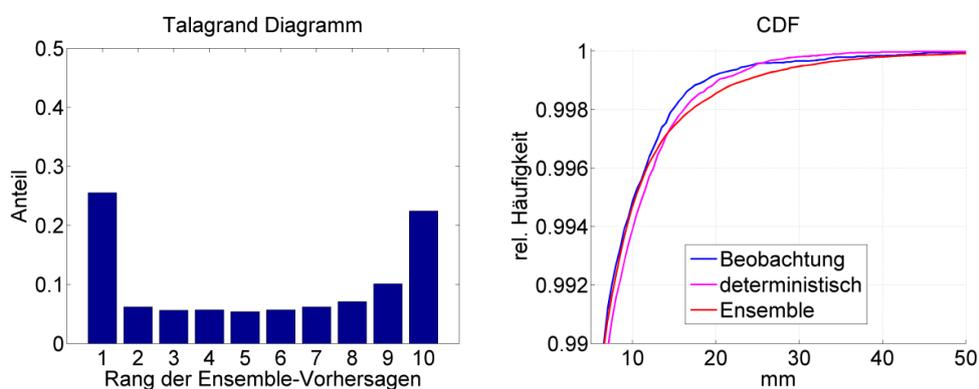


Abb. 31: Wie Abb. 29, aber mit der neuen Berechnung der Zugvektoren und der überarbeiteten Wachstumsroutine.

Abb. 32 zeigt einen Vergleich der Vorhersagequalität von Radar-Nowcasts über eine Stunde, COSMO-DE und COSMO-DE-EPS, dargestellt als ROC-Diagramm (Relative Operative Characteristics). Dieses stellt Trefferrate und Anteil Falsche Alarme gegeneinander dar, eine perfekte Vorhersage würde in der linken oberen Ecke erscheinen (Trefferquote = 1, Anteil Falsche Alarme = 0) und eine zufällige Vorhersage in der unteren rechten Ecke. Der gezeigte Grenzwert von 7 mm ist relevant für die Erzeugung von Warnungen für die Hamburger Pegel. Die Radar-Nowcasts über eine Stunde haben eine deutlich bessere Vorhersagequalität als die COSMO-DE und COSMO-DE-EPS Vorhersagen. Insbesondere für Vorhersagezeiträume größer als drei Stunden erkennt man, dass COSMO-DE-EPS die Trefferrate gegenüber COSMO-DE verbessern kann. Das Ergebnis zeigt, dass durch die Kombination von Ensemble-Nowcasts und COSMO-DE-EPS eine deutliche Verbesserung für die Pegelwarnung gegenüber COSMO-DE zu erwarten ist.

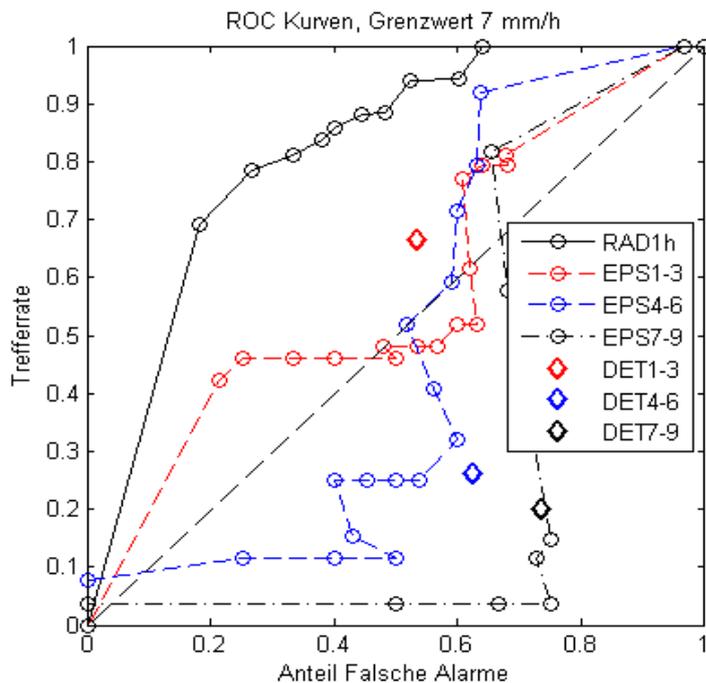


Abb. 32: Vergleich von Nowcast-Ensembles, COSMO-DE und COSMO-DE-EPS Vorhersagen in einem ROC-Diagramm (Relative Operative Characteristics).

4.8 Ereignisauswertung

4.8.1 Einleitung

Eine Hauptaufgabe des AP 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 Vorhersagemethoden unter Berücksichtigung der beobachteten Unsicherheiten in den Ausgangsgrößen. Um den Datenfluss zwischen AP 1 und AP 2 zu etablieren, wurden zwei erste Niederschlagsereignisse nachgerechnet. Es handelt sich dabei um Ereignisse vom 5. Mai 2015 und vom 25. Juli 2015. In Zusammenarbeit mit der TUHH haben die Auswertungen dieser beiden Ereignisse zu ersten Veröffentlichungen geführt. Die Ereignisse wurden sowohl auf dem Tag der Hydrologie (17.–18.3.2016 in Koblenz) als auch der 9. Internationalen Konferenz Novatech (28.6.–1.7.2016 in Lyon, Frankreich) als Posterpräsentation akzeptiert. Das Ereignis vom 5. Mai 2015 wird hier exemplarisch dargestellt.

4.8.2 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 ge-

bildet hatte. Im weiteren Tagesverlauf verlagerte sich dieses Niederschlagsgebiet mit der Kaltfront weiter ostwärts (Haeseler et al. 2015).

Grundlage der Auswertung bilden die in Kap. 4.3 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.

4.8.3 Ergebnisse

In Abb. 33 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. 34).

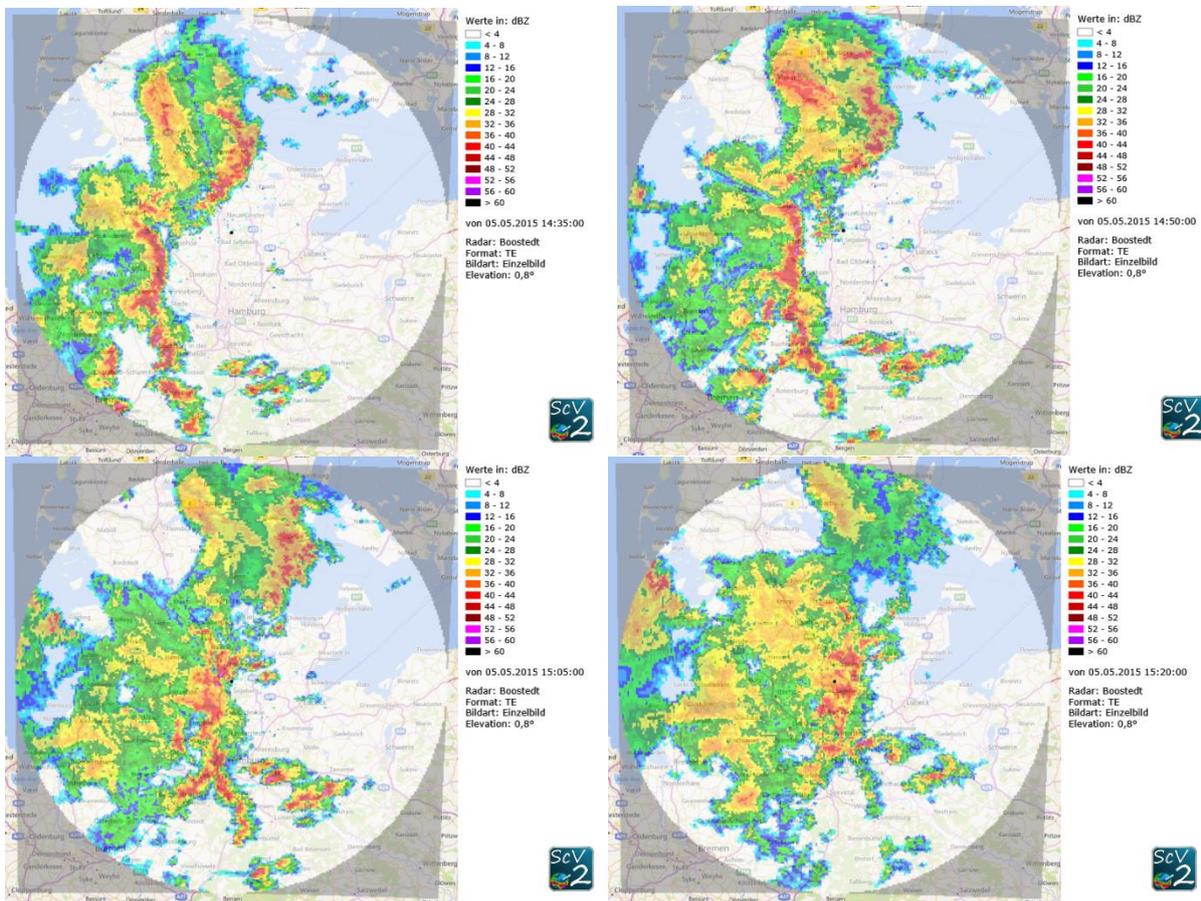


Abb. 33: Mit SCOUT korrigierte Messungen von Radar Boostedt vom 5.5.2015 (oben links um 14:35 Uhr UTC, oben rechts um 14:50 Uhr UTC, unten links um 15:05 Uhr UTC und unten rechts um 15:20 Uhr UTC).

In Abb. 34 ist derselbe Vorhersagezeitpunkt der einzelnen Ensembleläufe exemplarisch dargestellt. Die dargestellten Unterschiede ergeben sich aus unterschiedlichen Zugbah-

nen 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.

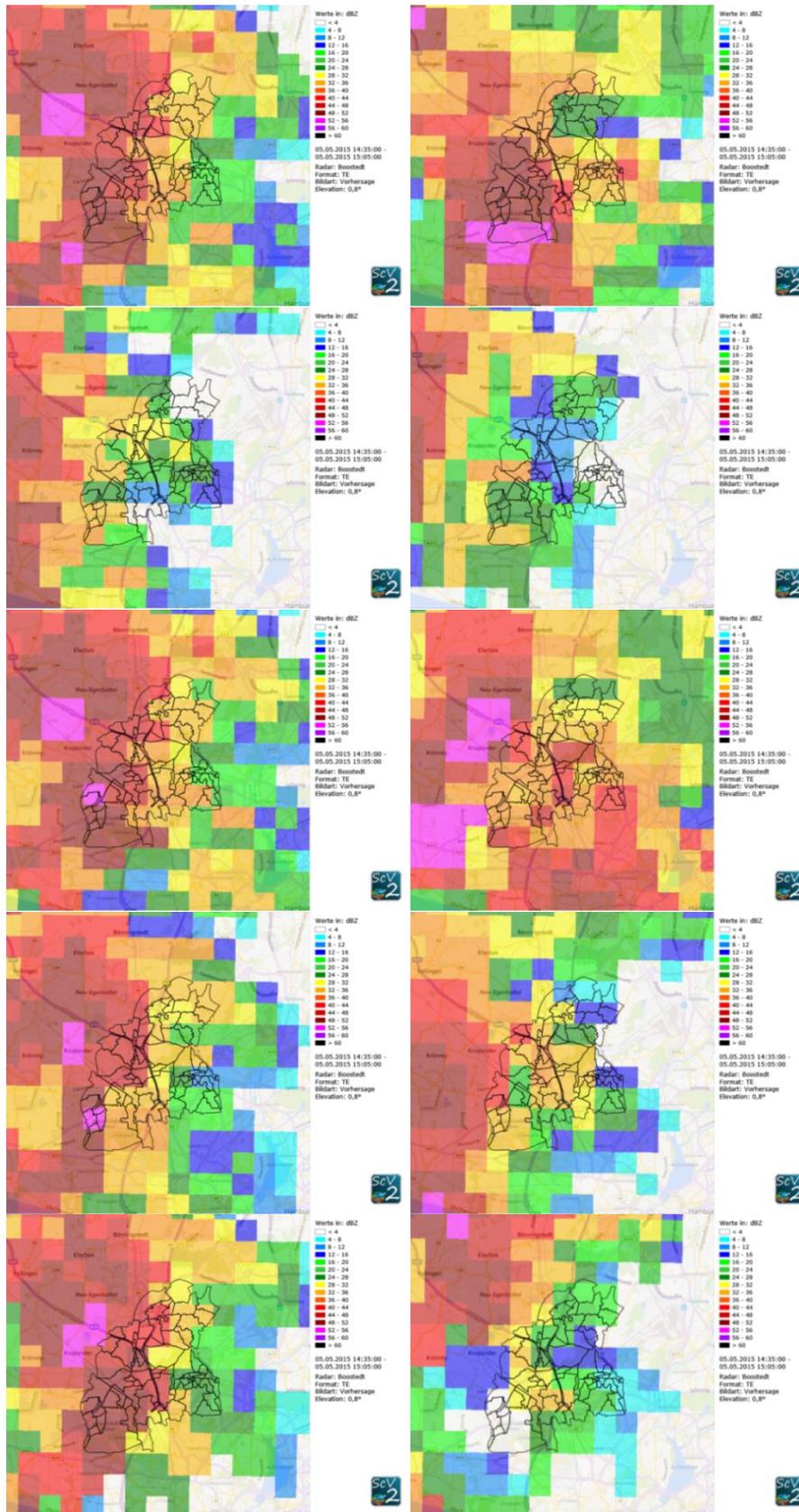


Abb. 34: Darstellung der 10 Ensembleläufe (von o. li. nach u. re.) um 15:05 Uhr UTC. Initialisierung aller Läufe um 14:35 Uhr UTC. Schwarze Darstellung; einzelne Teileinzugsgebiete der Kollau.

4.9 Interpolierte Vorhersage

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 Niederschlagsmenge 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 (Kap. 4.3.3).

Dieses Verfahren führt auch zu Verbesserungen bei der Vorhersage. Ein Beispiel für den 5.5.2015 ist in Abb. 35 dargestellt. Es ist klar zu sehen, wie die Niederschlagszelle in der Stundensumme basierend auf einer Vorhersage ohne zeitliche Interpolation zu springen scheint, während die vorhergesagte Niederschlagsmenge basierend auf interpolierten Niederschlagsintensitäten eine kontinuierlichere Zugbahn zeigt.

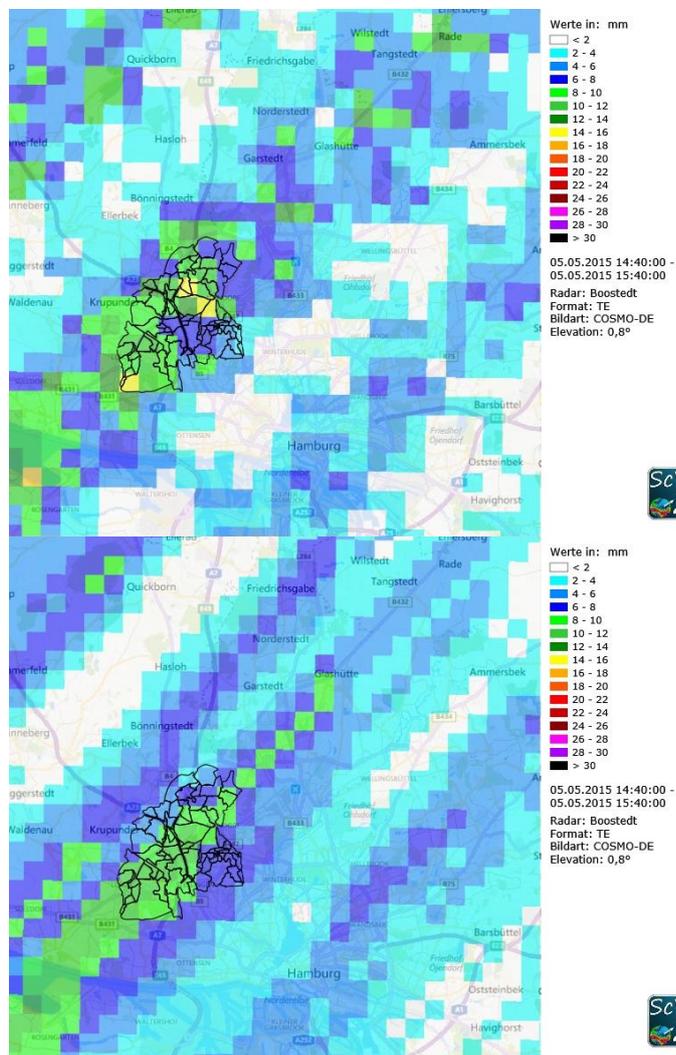


Abb. 35: Niederschlagssummen basierend auf einem Radar-Nowcast für den 5.5.2015. Die obere Abbildung stellt die Stundensumme der Vorhersage ohne zeitliche Interpolation, die untere Abbildung die Stundensumme einer Vorhersage mit zeitlicher Interpolation dar.

5 Hydrologie und Flächenmanagement (AP 2, TUHH)

Peter Fröhle, Sandra Hellmers

Das Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg (TUHH) erarbeitet im Projekt Stuck im Kontext des AP 2 (i) ein hydrologisches Kurzzeit-Vorhersagesystem sowie (ii) optimierte hydrologische Ansätze zur Modellierung der Hydrologie für Modellgebiete in küstennahen Regionen.

Insbesondere in städtischen Gebieten sind verbesserte Kenntnisse zu den Auswirkungen kleinräumiger Starkregenereignisse als Grundlage für die Entwicklung von innovativen Strategien für Steuerungssysteme von Hochwasserrückhalteanlagen erforderlich. Durch die Verwendung von Ensemble Kurzzeitvorhersagedaten wird eine realistisch denkbare Streubreite von kurzfristig möglichen Entwicklungen von Niederschlagsereignissen und zugehörigen Abflüssen erzeugt, die zusätzliche Informationen als Grundlage für differenzierte Vorwarnungen liefern.

Die Entwicklung und Umsetzung des Stuck-Kurzzeit-Vorhersagesystems erfolgt im AP 2.1 mit dem Ziel der Bestimmung der Abflüsse in Echtzeit auf der Grundlage der Radar-Niederschlagsdaten aus dem AP 1. Eine online-Datenschnittstelle wurde durch das Institut für Wasserbau entwickelt, um „online“ die meteorologischen Daten mit dem hydrologischen System zu koppeln. Online bedeutet in diesem Zusammenhang „direkte und zeitnahe Prozessierung und Bearbeitung“, d. h. einen automatischen Datenimport und eine Datenprozessierung in einem Zeitintervall von fünf Minuten. Darauf aufbauend wird 2017 im Vorhaben Stuck ein Vorhersage-System im AP 2.4 entwickelt. In beiden Arbeitspaketen ist eine enge Zusammenarbeit zwischen hydro & meteo und dem Institut für Wasserbau der TUHH erforderlich.

Zwei wesentliche Fragestellungen der hydrologischen Modellierung insbesondere für küstennahe urbane Einzugsgebiete werden im AP 2 ebenfalls näher analysiert. Zum einen erfolgt die Analyse und Optimierung von Steuerungsanlagen (z. B. Schöpfwerke, Hochwasserrückhaltebecken (HRB) und Retentionsräume) und der Rückhalt in der Fläche (z. B. durch Dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen – DRWBM) im AP 2.2. Ein zweiter Schwerpunkt ist die Analyse urban geprägter Gewässer mit freier als auch Gewässer mit abflusshindernder (d. h. tidebeeinflusster) Vorflut im AP 2.3. Beide Aspekte werden derzeit in hydrologischen Modellen nur ansatzweise oder noch gar nicht abgebildet und sind aktuelle Forschungsschwerpunkte. Im Projekt Stuck erfolgt die Erarbeitung von entsprechenden hydrologischen Modellansätzen, die dann in das in der Praxis bereits etablierte Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) KalypsoHydrology/KalypsoNA implementiert werden.

Im AP 2.5 erfolgt die Erarbeitung eines optimierten Flächen- und Hochwassermanagements auf der Grundlage von denkbaren Zukunftsszenarien mit einem zeitlichen Fokus bis 2035. Die Szenarien umfassen zukünftige ökonomische, ökologische, klimatische und wasserwirtschaftliche Entwicklungen, die auf der Grundlage der Expertise der beteiligten Projektpartner abgeleitet und abgestimmt wurden. Die Szenarien für das städtische Modellgebiet der Kollau wurden im Vorhaben bereits definiert (vgl. Kap. 3.6) und werden im kommenden Jahr in die Modelle eingearbeitet.

5.1.1 Echtzeitbestimmung von Abflüssen aus räumlich detaillierten Niederschlagsdaten (AP 2.1)

5.1.2 Ziel des Arbeitspaketes

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

Für die Simulationsrechnungen wird das Programmpaket KALYPSO verwendet, welches im Institut für Wasserbau der TUHH in Kooperation mit dem Ingenieurbüro Björnßen entwickelt und gepflegt wird. Die im System KALYPSO implementierten Module/Modelle reichen von der Analyse der Hydrologie (KalypsoHydrology) über die Wasserspiegel- und Überflutungsmodellierung (Kalypso-Hydrodynamics = Kalypso1D2D und KalypsoWSPM) bis hin zu Risikoanalyse (KalypsoRisk) und einem Evakuierungsmodul (KalypsoEvacuation).

Im Projekt Stuck liegt ein Fokus auf der Modellierung von Echtzeit- und Vorwarnsystemen in kurzen Vorhersageintervallen. Somit spielt die Rechenzeit eine wesentliche Rolle. Ziel ist es, die Modellierung in kurzen zeitlichen Intervallen von ca. 15 Minuten zu gewährleisten. Die Modellierung im Rahmen des Projekts Stuck basiert vornehmlich auf der Verwendung des Modells KalypsoHydrology, welches in einer entsprechend erforderlichen schnellen Rechenzeit die aktuellen hydrologischen Zustände im Modellgebiet abbildet.

5.1.3 Modellansatz

Einer der Schwerpunkte der Arbeiten im Projektjahr 2016 lag auf der Entwicklung und Umsetzung eines allgemeinen Modellansatzes zur Einbindung von Radardaten in eine „Echtzeit“-Vorhersage der Abflüsse in Einzugsgebieten. Das Datenmanagement und das operationelle Modell ist schematisch in Abb. 36 dargestellt.

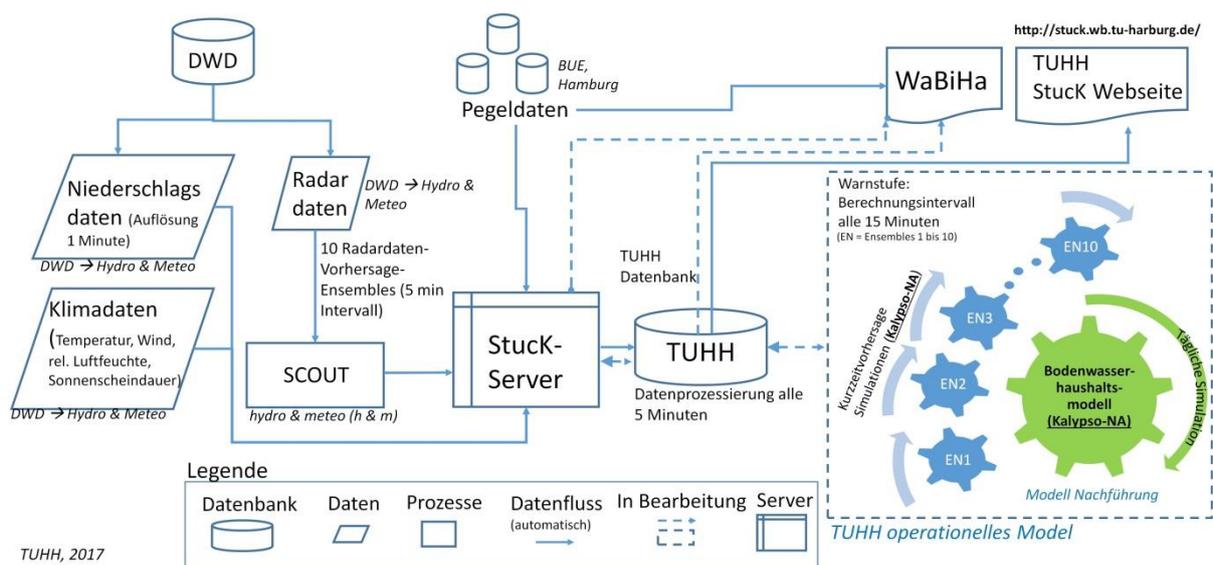


Abb. 36: Schema des Datenmanagements und des operationellen Modells der TUHH.

Dabei werden die folgenden Datensätze jeweils in einem Intervall von fünf Minuten vom Stuck-Server abgefragt und bei einer jeweiligen Aktualisierung der Datensätze in die TUHH-Datenbank importiert.

Daten für die Bodenwasserhaushaltsmodellierung:

- Meteorologische Daten der Messstation Fuhlsbüttel:
 - Tagesmittel der Luftfeuchte [%]
 - Tagesmittel der Temperatur [°C]
 - Tagesmittel der Windgeschwindigkeit [m/s]
 - Sonnenscheindauer pro Tag [h/d]
 - Niederschlagshöhe pro Tag [mm/min]

Daten für die Echtzeit- und Vorhersagesimulationen:

- Prozessierte Radarniederschlagsdaten und Kurzzeitvorhersagedatensätze:
 - Radardaten mit einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km und einer zeitlichen Auflösung von fünf Minuten (Aktualisierung alle fünf Minuten)
 - Prozessierte Echtzeit-Daten des Radar Komposits (Emden, Hannover, Boostedt und Rostock)
 - Ensemble Vorhersagedatensätze

Daten für die Nachführung der zeitlich hochaufgelösten Echtzeit-Modellierungen:

- Pegeldata der BUE (Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg)
 - Aktuelle Messdaten der Pegel

In der im Vorhaben im Institut für Wasserbau entwickelten Datenbank erfolgt eine Prozessierung der Daten, um das operationelle hydrologische Modell in einem Zeitintervall von max. 15 Minuten zu berechnen. Einmal täglich erfolgt eine Langzeitsimulation über drei Jahre mit einem Zeitschritt von einem Tag, um den Bodenwasserhaushalt im Einzugsgebiet tagesaktuell abzubilden. Die Simulation läuft aktuell täglich um 3:00 Uhr morgens. Die Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsberechnung dienen als Startwerte, um die zeitlich detaillierte Echtzeitsimulation mindestens vier Tage vor dem aktuellen Tag zu starten. Die Echtzeitsimulation wird mit einem Simulationszeitschritt von fünf Minuten gerechnet. Diese Simulation bildet die schnellen Prozesse von urbanen Gebieten genauer ab. Die Prozessierung der zeitlich detaillierten Echtzeitsimulationen wird im Jahr 2017 weiter verbessert durch die Implementierung einer zusätzlichen Nachführung der hydrologischen Bedingungen und Ergebnisse aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell.

Für die numerische Modellierung in Echtzeit werden die räumlich hochaufgelösten Radardaten in das numerische hydrologische Modell importiert. Die räumliche Auflösung dieser Datensätze liegt in einem Raster von 1 x 1 km vor. Nähere Informationen zu den Daten sind in Kap. 4.1.1 erläutert. Die Überlagerung der geographischen Lage der Radardaten über dem numerischen hydrologischen Modell ist in Abb. 37 bzw. Abb. 39 dargestellt.

Die ab der Version 13 erweiterte Benutzeroberfläche des Software Moduls KalypsoHydrology unterstützt den Modellierer beim Erstellen sogenannter Gebietsmodelle. In der aktuellen Version (Kalypso v.15) werden Gebietsmodelle auf der Basis von Stationsdaten des Niederschlags erstellt. Im Rahmen des Projektes Stuck wird eine Erweiterung zur Erstellung von Gebietsmodellen auf der Basis von Radardaten des Niederschlags erfolgen. Dabei wird der Flächenniederschlag für die im Modell hinterlegten Flächenelemente (hier Teileinzugsgebiete) pro Zeitschritt mit Hilfe einer orthogonalen Rasterbildung und Gewichtung der nächstgelegenen Radar Gitterzellen mit einer Auflösung von 1 x 1 km gebildet. Beispielhaft ist dies dargestellt in Abb. 37. Diese detaillierte Aufteilung von Niederschlägen auf das Einzugsgebiet ist insbesondere wichtig, wenn (i) mehrere Radarzellen einzelne größere Teil-Einzugsgebiete umfassen oder wenn (ii) mehrere Teil-Einzugsgebiete innerhalb einer Radar-Rasterzelle liegen. In Abb. 37 ist der erste Fall beispielhaft dargestellt, wo die Daten von mehreren Radar-Rasterzellen auf ein Teil-Einzugsgebiet (hier 4539) durch eine Flächengewichtung übertragen werden. Das Vorgehen basiert auf der Theorie des Thiessen-Verfahrens und wurde hierfür erweitert. Die Methodik wurde bereits entwickelt und getestet, die programmtechnische Umsetzung erfolgt 2017.

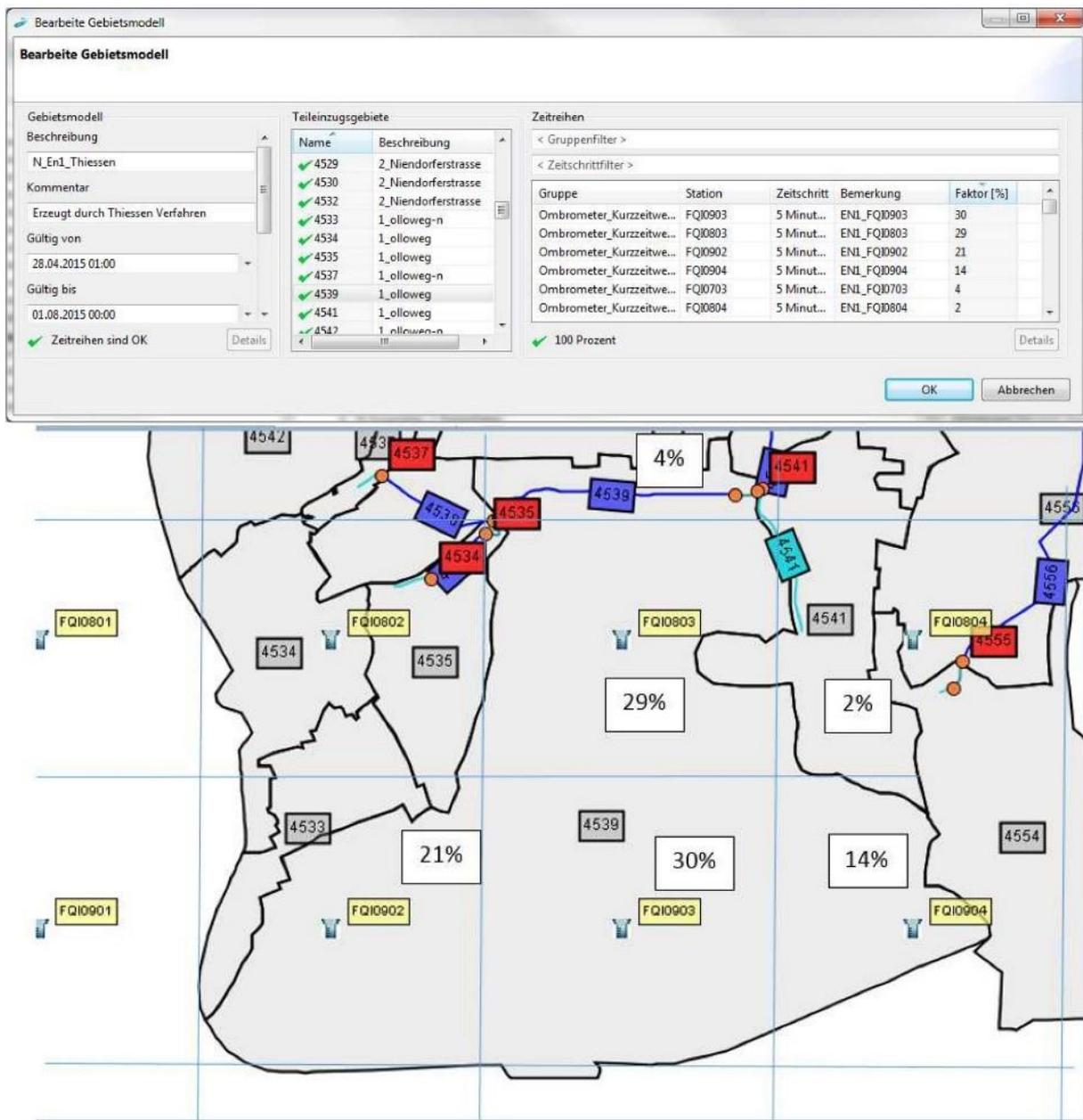


Abb. 37: Schematische Darstellung der räumlichen Verschneidung der Radarniederschlags- und Teil-Einzugsgebietsdatensätze mit der erweiterten „Thiessen“-Methode.

Die jeweils aktuellen Messdatensätze der im Simulationsgebiet verfügbaren Pegel (Wasserstandsmessungen) dienen zum Abgleich der Echtzeit-Simulationen bis zum Zeitpunkt der Vorhersage-Simulationen. Hierzu ist eine Schnittstelle zum Import der aktuellen Pegelreihen aus einer zentralen, externen Datenbank erstellt worden. Auf der Grundlage der bekannten Schlüsselkurven (Wasserstands-Abfluss-Beziehungen) an den Pegeln, werden in Echtzeit die berechneten Abflüsse in Wasserstände umgerechnet und können mit den Messdaten verglichen werden. Die ersten Ergebnisse dieser Echtzeit-Berechnungen sind für ein Ereignis Anfang März 2017 in Abb. 40 exemplarisch dargestellt.

5.1.4 Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Kollau

Das Einzugsgebiet der Kollau ist geprägt durch die komplexen Zusammenhänge von über die Zeit gewachsenen urbanen Entwässerungssystemen. Aktuell sind im hydrologischen N-A-Modell im Gewässerlauf des Einzugsgebiets der Kollau und deren Zuläufe 22 HRB abgebildet (s. Abb. 44). Die Lage des Einzugsgebiets der Kollau von ca. 33 km² ist in Abb. 38 (zusammen mit der Lage des zweiten Modellgebiets der Dove-Elbe: ca. 175 km²) dargestellt. Die gemäß Modellansatz (Kap. 5.1.3) erforderlichen Daten werden in das hydrologisch-numerische Modell eingebunden. Die Lage der Radar-Ausgabepunkte im Einzugsgebiet ist in Abb. 39 dargestellt. Das Modell, das Einzugsgebiet, die Datengrundlage und die Lage der ursprünglich vorhandenen Pegel sind im Einzelnen im Zwischenbericht für 2015 (LSBG, 2016) dargestellt und werden hier entsprechend nicht wiederholt. Zusätzlich zu den bereits 2015 verfügbaren Pegeln (Olloweg und Niendorfer Straße) wurde im November 2015 ein weiterer Pegel (Vogt-Kölln-Straße) im Einzugsgebiet installiert. Dieser wurde als Lokation (Berechnungsknoten) im N-A-Modell implementiert.

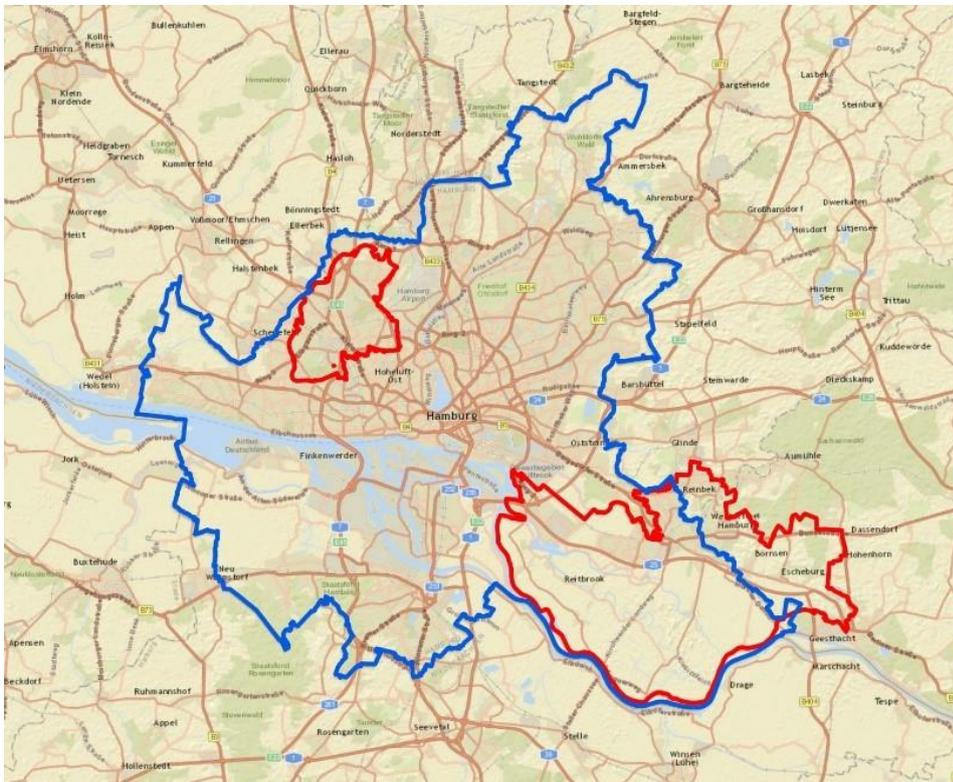


Abb. 38: Kennzeichnung des hydrologischen Einzugsgebiets der Kollau (nordwestlich, rot), der Dove-Elbe (südöstlich, rot) und der Stadtgrenze Hamburgs (blau). Im Fall der Dove-Elbe geht das hydrologische Einzugsgebiet über die Modellregion (begrenzt durch die Landesgrenze der Freien und Hansestadt Hamburg) hinaus und umfasst auch Gebiete in Schleswig-Holstein.

Für die Echtzeitbestimmung der Abflüsse werden die Eingabedaten (Niederschläge aus Radarmessungen und Klimadaten) für das numerisch-hydrologische Modell des Einzugsgebiets der Kollau aktuell in einem Zeitintervall von fünf Minuten aktualisiert (Quelle: Radardaten aus dem Modell SCOUT, vgl. Abb. 36). Die Überlagerung der geographischen Lage der Radardaten mit dem numerisch-hydrologischen Modell der Kollau ist in Abb. 39 dargestellt. Hier ist auch die Lage der drei verfügbaren Pegel zu entnehmen.



Abb. 39: Überlagerung der geographischen Lage der Radardaten mit dem numerisch-hydrologischen Modell der Kollau (ca. 77 Teileinzugsgebiete) und die Lage der Pegel (Olloweg, Vogt-Kölln-Straße und Niendorfer Straße) im Einzugsgebiet der Kollau.

Die Messdaten der im Simulationsgebiet verfügbaren Pegel (Wasserstandsmessungen) werden mit den simulierten Abflüssen (umgerechnet in Wasserstände), als Grundlage für die Bewertung der Modellqualität, verglichen. Die ersten Ergebnisse der Echtzeit-Berechnungen zeigen eine recht erfolversprechende Güte. Exemplarisch ist ein Ereignis Anfang März 2017 im Einzugsgebiet der Kollau vergleichend in Abb. 40 dargestellt. Hier ist zu bemerken, dass der Pegel Olloweg aktuell durch Bauarbeiten beeinflusst ist.

Im ausgewählten Beispiel wurden die Warnstufen (gelb = mittlere Warnstufe, vgl. www.wabiha.de) für die Pegel Vogt-Kölln-Straße und Niendorfer Straße erreicht. D. h., das Modell hätte im Vorhersagemodus eine Warnung ausgesprochen, die im WaBiHa (Warndienst Binnenhochwasser Hamburg) auf der Grundlage von Messergebnissen auch ausgesprochen wurde. Die Messdaten des Pegels Olloweg sind im simulierten Zeitraum nicht repräsentativ, da der Pegel von Bauarbeiten stark beeinflusst wird (siehe oben). Demgegenüber sind die simulierten Ergebnisse vertrauenswürdig auf der Grundlage der Modellverifikation für einen Zeitraum, in dem der Pegel Olloweg noch nicht von Bauarbeiten beeinflusst wurde.

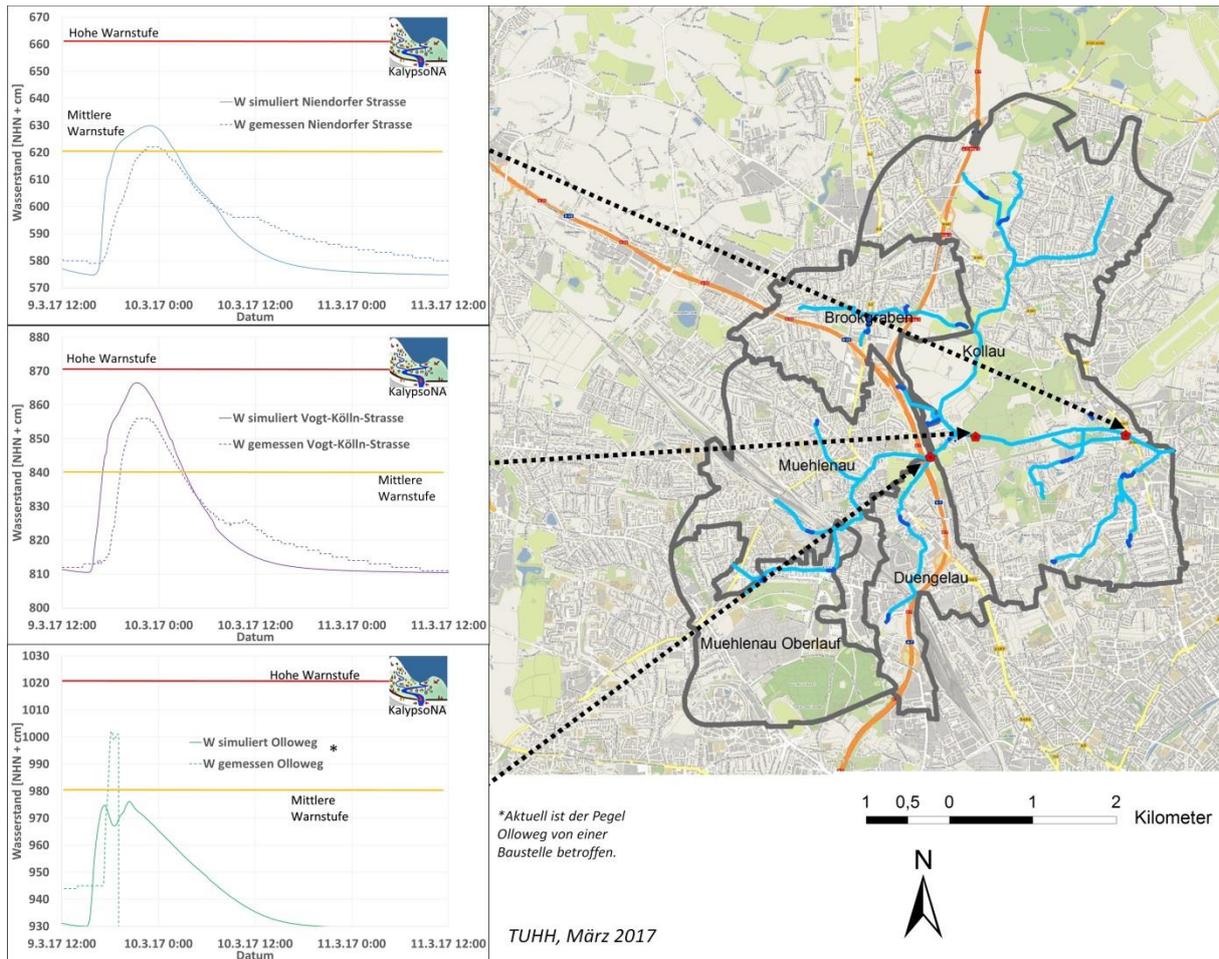


Abb. 40: Lage der im N-A-Modell hinterlegten Pegel im Einzugsgebiet der Kollau und erste Simulationsergebnisse der Echtzeit-Simulation (ohne Nachführung). Die Nachführung des operationellen N-A-Modells ist für 2017 vorgesehen, um die Genauigkeit der der Echtzeit-Simulation und Hochwasservorhersage weiter zu verbessern.

5.1.5 Stand der Bearbeitung: Modellgebiet Dove-Elbe

Das Modellgebiet der Dove-Elbe ist charakterisiert durch eine tideabhängige Entwässerung durch die Tatenberger Schleuse in die Elbe und ein komplexes Steuerungssystem (s. Kap. 2.1). Die Lage des Einzugsgebietes ist dargestellt in Abb. 38. Zur Erstellung eines N-A-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 aufwendigere Datenaufbereitung neuer Datensätze für angeschlossene versiegelte Flächen in den urbanen Gebieten bis Mitte 2017. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Gesamtergebnisse des Projektes Stück in der geplanten Projektlaufzeit erreicht werden können. Geplant ist eine Fertigstellung des lauffähigen N-A-Modells der Dove-Elbe bis zum Ende des Jahres 2017. Der aktuelle Stand der definierten Teileinzugsgebiete, der Gewässerverläufe und der aktuellen Radargitterzellen sind in Abb. 41 dargestellt.

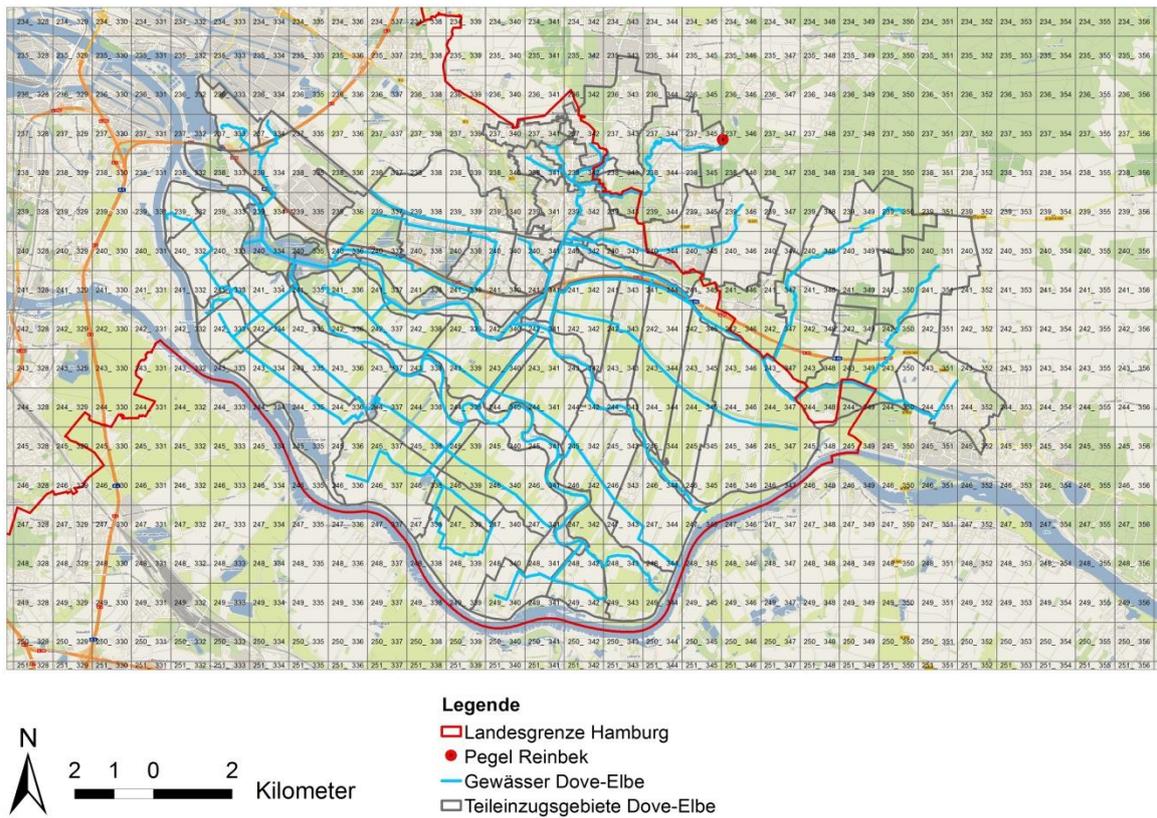


Abb. 41: Dove-Elbe Projektgebiet: Teileinzugsgebietsabgrenzungen, Gewässerverlauf und Radar-gitterzellen.

Das wasserwirtschaftlich im N-A-Modell abgebildete Einzugsgebiet der Dove-Elbe beginnt im Oberlauf am Pegel Reinbek in Schleswig-Holstein. Das betrachtete Einzugsgebiet hat eine Fläche von ca. 175 km² und wird in 76 Teileinzugsgebieten abgebildet. Die Teileinzugsgebiete wurden entsprechend der topographischen Gegebenheiten und der Sielnetz Einzugsgebiete definiert.

Eine detaillierte Aufbereitung erfolgte für die Bodendaten. Es wurden ca. 2500 Messpunkte der Bodenprofilaufnahmen der BUE für die Erstellung des Modells aufbereitet. Für das Modellgebiet entstand eine detaillierte Bodenkartierung mit 112 flächenhaften Bodenprofilen mit jeweils fünf Bodenhorizonten bis zu einer Tiefe von ca. zwei Metern. Die Punkte der Bodenprofilaufnahmen (BUE, 2015) und die daraus erarbeitete flächenhafte Verteilung der Bodenprofile ist in Abb. 42 dargestellt. Die Zuordnung der Kennwerte der Wasserbindung nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (Welkepunkt, Feldkapazität, Maximales Porenvolumen und hydraulische Leitfähigkeit) sind mit dem Institut für Bodenkunde abgestimmt und im N-A-Modell aktualisiert worden.

Die Aufbereitung der Bodenprofile im Gebiet von Schleswig-Holstein erfolgte auf der Basis der Bodenübersichtskarten 1:200 000 (BÜK 200) für Hamburg-West.

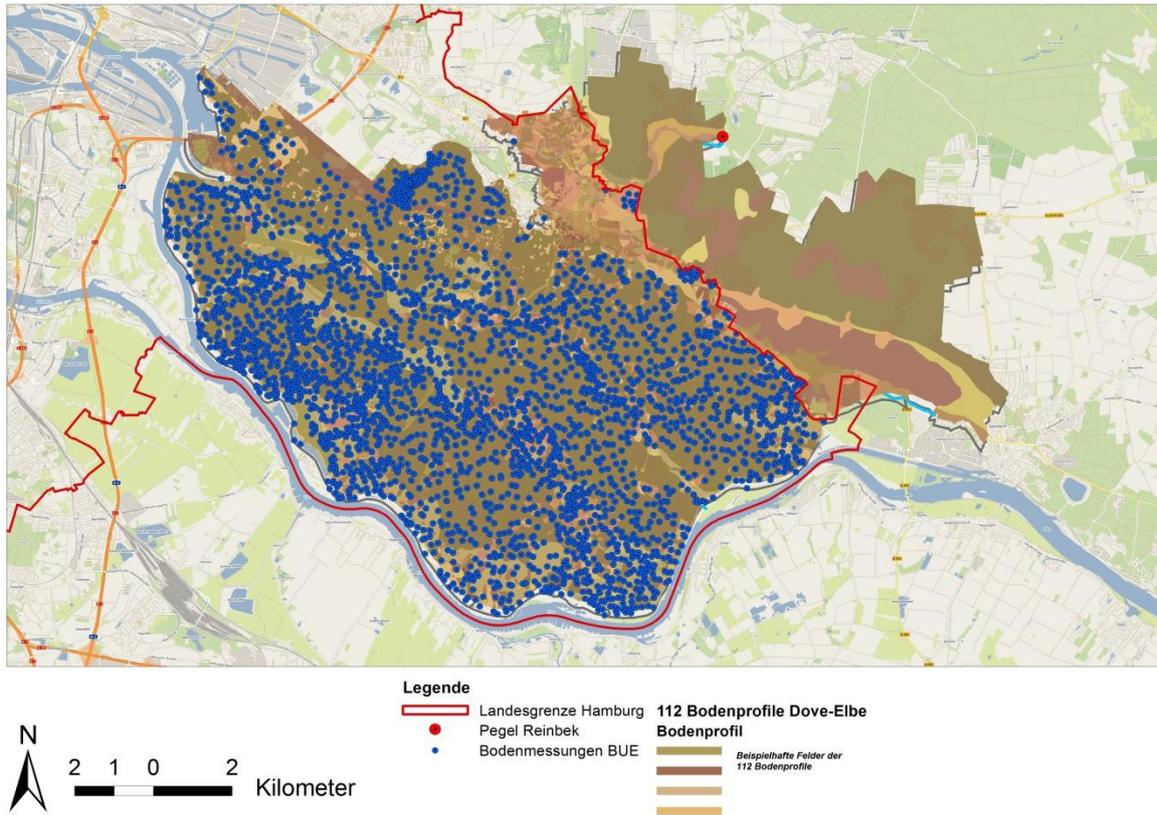


Abb. 42: Lage der Bodenprofilaufnahmen (BUE, 2015) und der daraus erstellten 112 flächenhaften Bodenprofile.

Entsprechend der aufbereiteten Höhendaten der digitalen Geländemodelle von Hamburg und Schleswig-Holstein (jeweils 1 x 1 m horizontale Auflösung) wurden die Zeitflächenfunktionen für das Modellgebiet abgeleitet (s. Abb. 43). Für das in der Ebene liegende Marschgebiet erfolgt die Erstellung einer Zeitflächenfunktion zur Abbildung höherer Retentionseigenschaften. Für die Gebiete im nordwestlichen Bereich von Bergedorf und Schleswig-Holstein werden die Zeitflächenfunktionen mit geringerer Retention abgebildet.

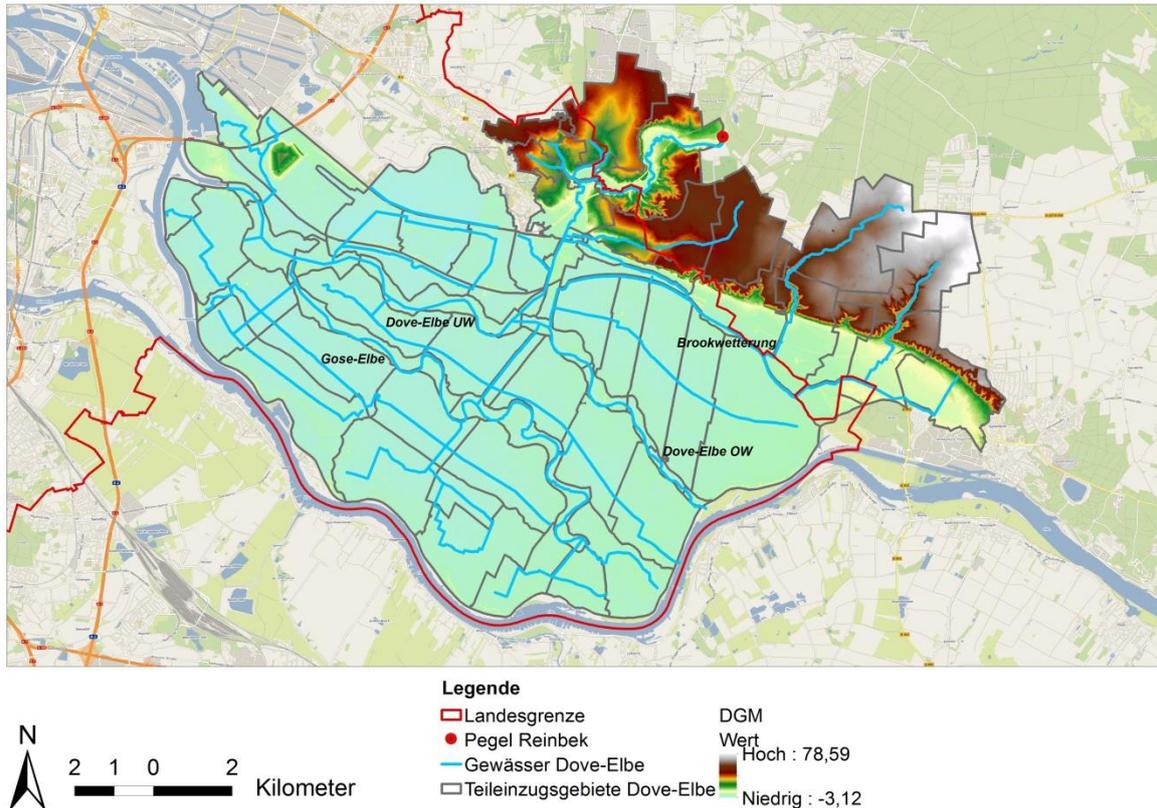


Abb. 43: Dove-Elbe Projektgebiet: Aufbereitung des DGM (Digitales Geländemodell) zur Ableitung der Zeitflächenfunktionen und Kennzeichnung der vier Hauptgerinne.

Die Retentionskonstanten in den einzelnen Teileinzugsgebieten sind aus den Daten der Sielnetze bzw. der Grabensysteme für die Marschgebiete abgeleitet worden.

Die Übertragung von aktuellen Informationen der versiegelten und an das Sielnetz angeschlossenen Flächen kann zeitlich erst ab Mitte 2017 erfolgen. Hier werden detaillierte Daten durch den LSBG aufbereitet, um im Rahmen des Forschungsprojektes Stuck eine neue Methodik in Hamburg zu erstellen.

Für das betrachtete Gewässersystem der Dove-Elbe werden auf der Basis des hydrologisch-hydrodynamischen Ansatzes nach Kalinin-Miljukov die Retentionseigenschaften in dem N-A-Modell abgebildet. Die Berechnung der Retentionsparameter erfolgt mit dem Wasserspiegellagen Modell KalypsoWSPM. Die Berechnung erfolgt für die vier Hauptgerinne (vgl. Abb. 43):

- Dove-Elbe UW (Bergedorf bis Tatenberger Schleuse)
- Dove-Elbe OW (Altengamme bis Krapphofschleuse)
- Brookwetterung
- Gose-Elbe

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 sonstige 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 zu meist 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 aktuell 22 HRB vorhanden sind (s. Abb. 44). Die Abbildung der Steuerungsanlagen ist hier mit den aktuellen implementierten numerischen Ansätzen in hydrologischen Modellen nur bedingt möglich.

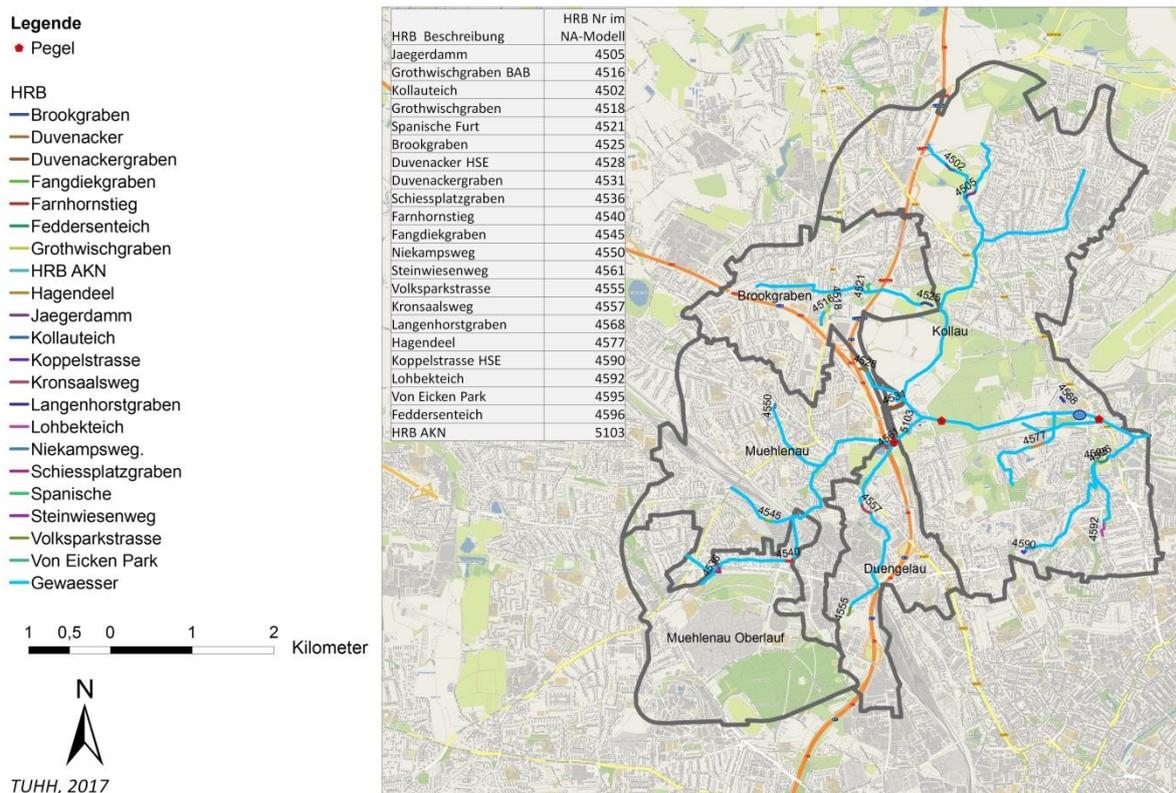


Abb. 44: Übersicht der HRB und deren Lage im Einzugsgebiet der Kollau.

Im Rahmen des Projektes StucK werden unterschiedliche Steuerungskonzepte konzeptionell betrachtet und analysiert. Das Steuerungskonzept basierend auf „Prognosestufen“ deckte dabei die folgenden Ziele am besten ab:

- Einfache Steuerung (feste Betriebsvorgaben innerhalb der Prognosestufe);
- hohe Retentionswirkung möglich;
- klare Vorgaben für die Umsetzung;
- Unsicherheiten, insbesondere bei konvektiven Niederschlägen, können durch Nachsteuerung aufgefangen werden.

Das Konzept der Prognosestufen (s. Abb. 45) sieht vor, dass abhängig von der prognostizierten Schwere des Niederschlagsereignisses („Stufe“ 1 bis 4 in Abb. 45) unterschiedliche Strategien des Rückhalts und somit der Steuerung der HRB verfolgt werden. Ist ein schweres Hochwasser zu erwarten (Stufe 4), wird die Hochwasserwelle entsprechend später gekappt als bei einem leichteren Hochwasser (Stufe 1). Exemplarisch sind die Stufen in die Jährlichkeiten $T = 5 \text{ a} - 20 \text{ a}$, $T = 20 \text{ a} - 50 \text{ a}$, $T = 50 \text{ a} - 100 \text{ a}$ und $T = 100 \text{ a} - 200 \text{ a}$ eingeteilt.

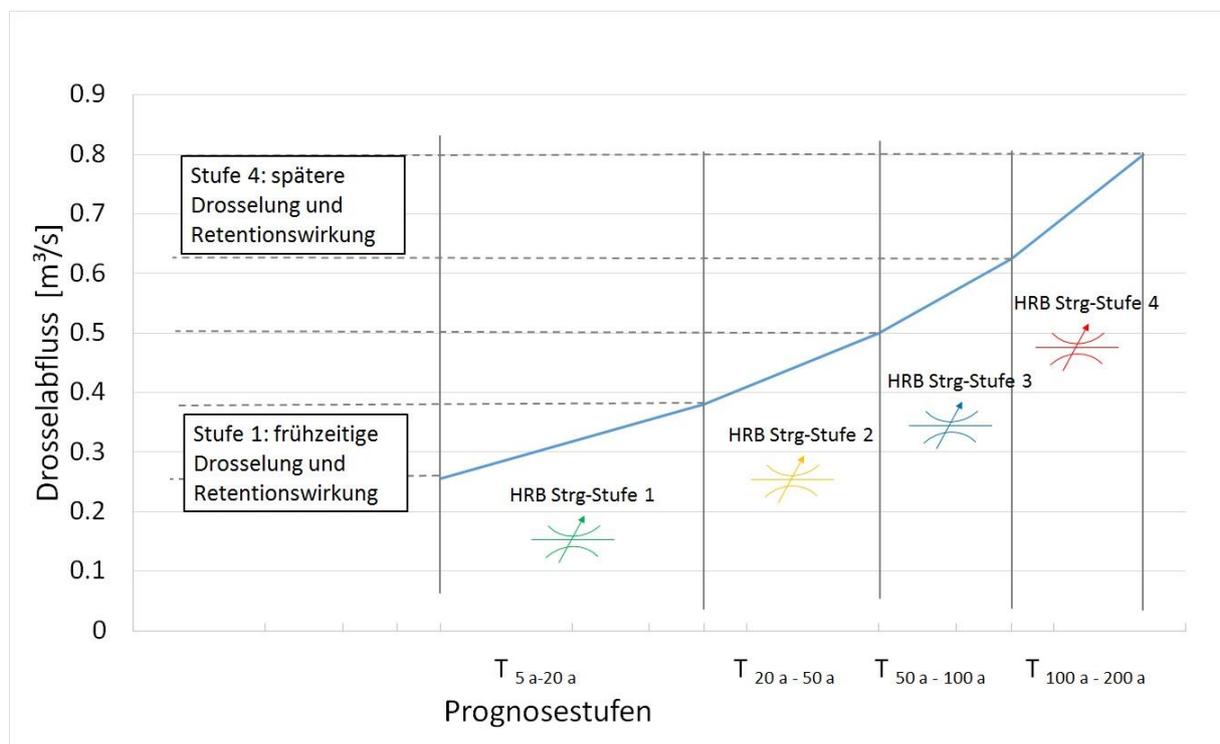


Abb. 45: Schematische Darstellung des Steuerungskonzeptes mit Prognosestufen und der Drosselabflüsse auf der Grundlage von Bemessungsganglinien (siehe auch Hellmers et al. 2017).

Untersucht werden aktuell das HRB Steinwiesengeweg und HRB Kronsaalsweg (s. Abb. 44) für eine Steuerung mit Prognosestufen. Das Steuerungskonzept wird exemplarisch vorgestellt an den vorläufigen Ergebnissen am HRB Kronsaalsweg in Abb. 46.

(4561) HRB Steinwiesenweg:

- Einzugsgebiet: ca. 10,4 km²
- Volumen: 26.820 m³
- Aktueller Auslass: Drosselbauwerk (Umbau 2006)

(4557) HRB Kronsaalsweg:

- Einzugsgebiet Düngelau: ca. 2,0 km²
- Volumen: 5.928 m³
- Aktueller Auslass: Durchlass in Bach

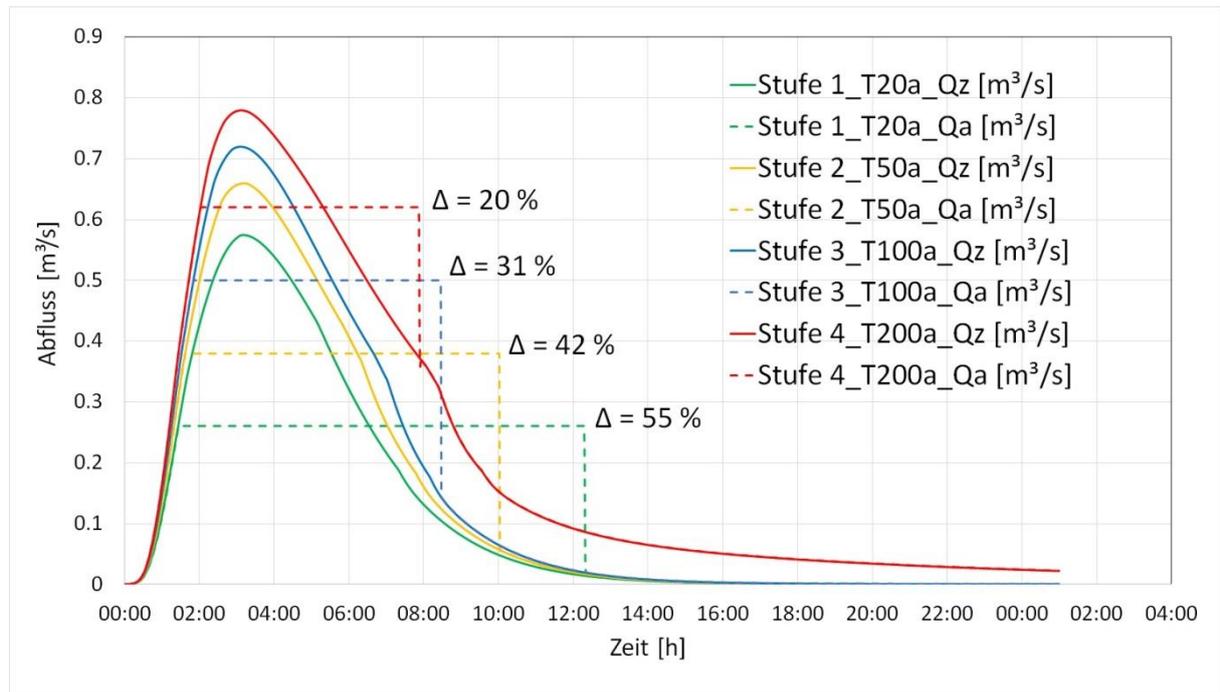


Abb. 46: Simulationsergebnisse des Steuerungskonzeptes in vier Prognosestufen. Vergleich der Zufluss- und Abfluss-Kennlinien Q_Z/Q_A sowie der Vergleich der Scheitelabminderungen (Δ in %) am Beispiel des HRB Kronsaalsweg.

Die ersten Ergebnisse der Konzeptstudie zeigen eine verbesserte Ausnutzung des vorhandenen Retentionsvolumens eines HRB. Die Konzeptstudie wird 2017 für das HRB Steinwiesenweg und Kronsaalsweg weiter aufbereitet und analysiert. Die Ergebnisse des Projektes dienen als Grundlage zur verbesserten Steuerung von wasserwirtschaftlichen Anlagen und sind in diesem Rahmen vorerst konzeptionell zu betrachten.

5.3 Implementierung einer Kurzzeitvorhersage im hydrologisch-numerischen Modell (AP 2.4)

Die Implementierung des operationellen Kurzzeitvorhersagesystems erfolgt auf der Basis des in AP 2.1 erarbeiteten Echtzeit-Simulationsmodells. Als Testlauf wurde für das Niederschlagsereignis am 5. Mai 2015 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 sind in Kap. 4.7 erläutert und in Hellmers et al. (2016). Die Ergebnisse der Ensemble Niederschlagsdatensätze sind in Abb. 47 dargestellt.

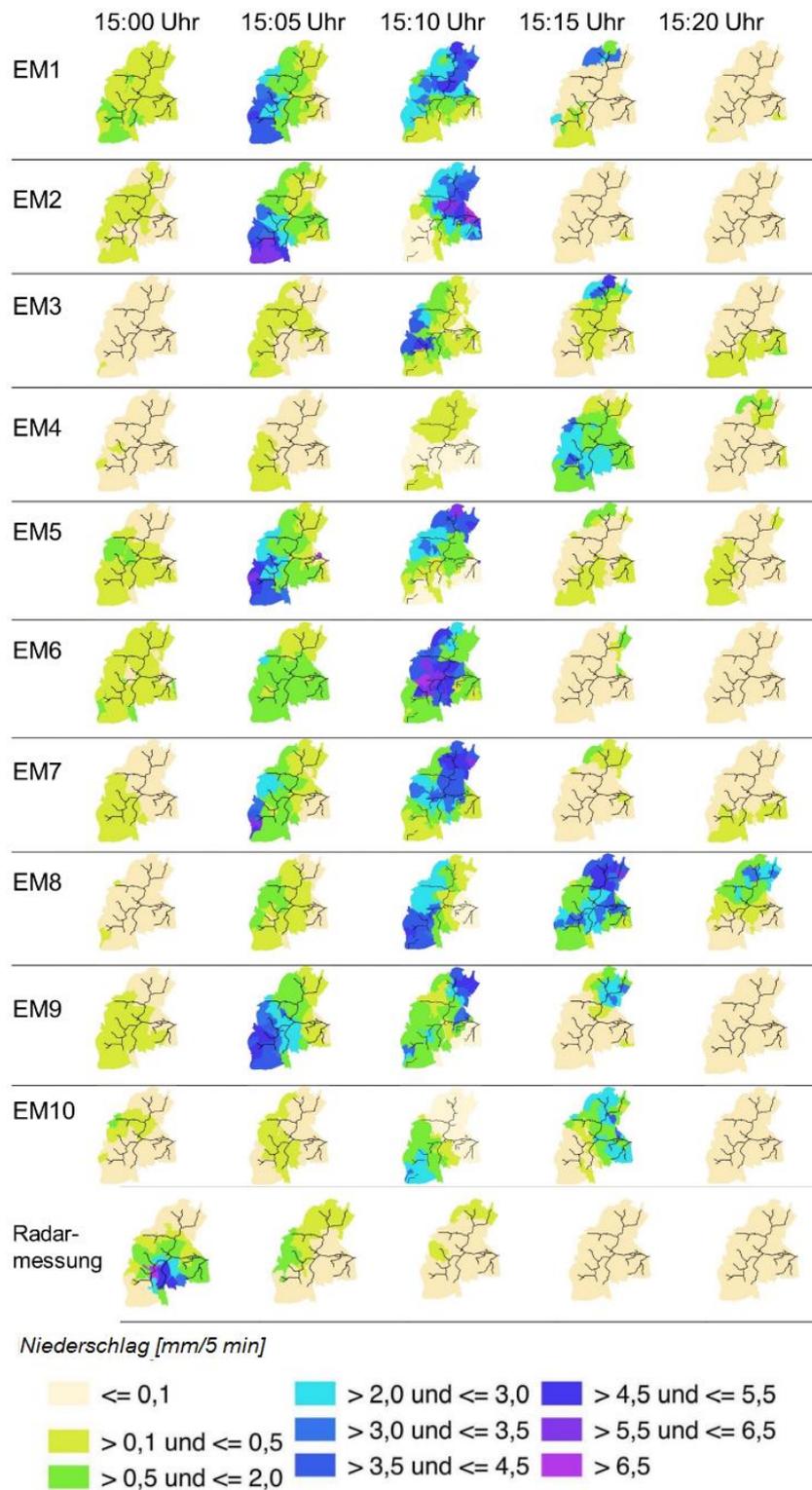


Abb. 47: Ergebnis der Vorhersage Ensemble Niederschlagsdatensätze (Hellmers et al. 2016).

Die Vorhersage-Ensemble Datensätze wurden in das hydrologische Modell der Kollau importiert und die Abflüsse am Unterlauf der Kollau in Abb. 48 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 und die Nachführung der Echtzeit-Simulationen sind für 2017 geplant, um die Ergebnisse und die Ergebnisdarstellung noch weiter zu verbessern.

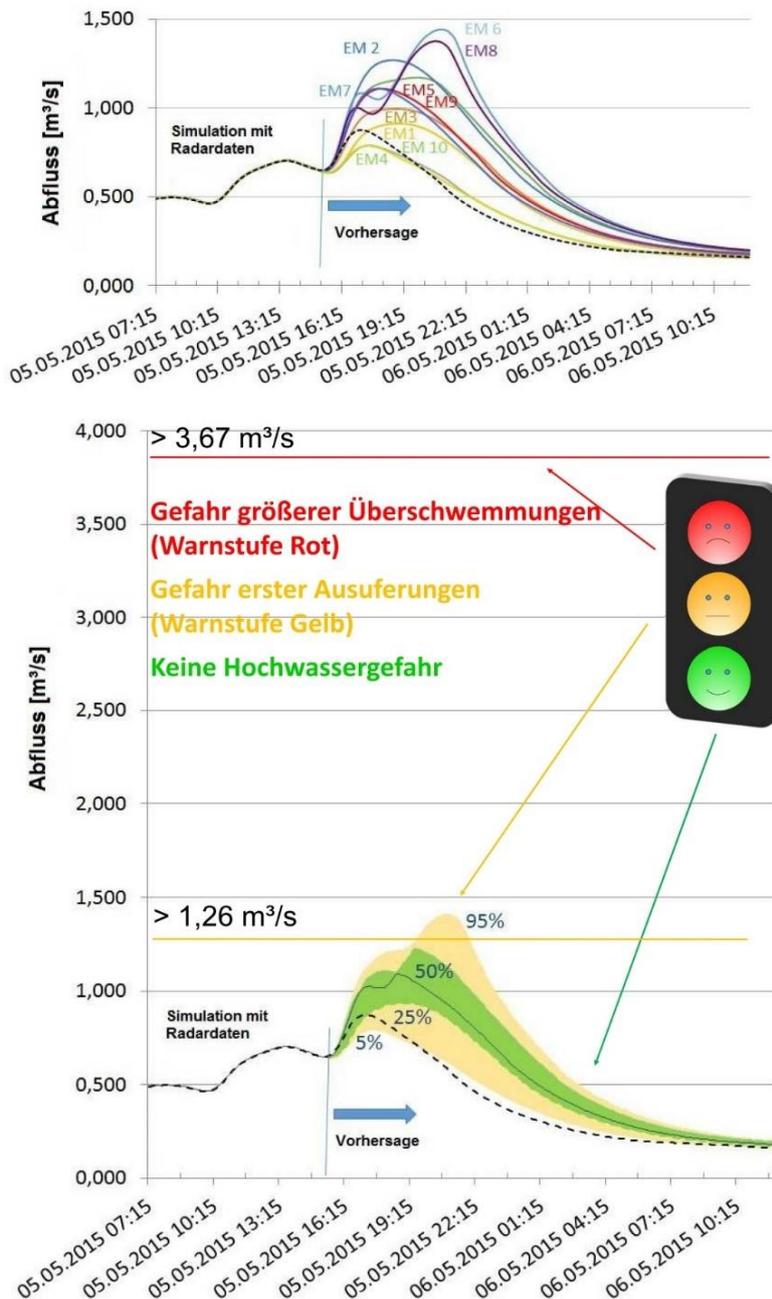


Abb. 48: Abflussberechnungen der zehn Nowcast Ensemble Member (oben) und Bewertung mittels definierter Warnstufen für betrachtete Pegel unter Verwendung von Schlüsselkurven (Hellmers et al. 2016).

Auf Basis dieser Aufbereitung der Vorhersage-Ensemble Datensätze, 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.

Zum aktuellen Zeitpunkt im ersten Quartal 2017 erfolgt bereits täglich eine aktuelle Berechnung des Bodenwasserhaushaltsmodells und der Gewässerabflüsse auf der Grundlage einer dreijährigen Vorberechnung. Die Ergebnisse dieser Langzeitberechnung dienen als Startwerte für die detaillierte Berechnung der aktuellen Abflusswelle im Gerinne auf Basis der aktuellen und vorhergesagten Radarniederschlagsdatensätze. Das operationelle Modell ist aktuell darauf ausgelegt zehn Vorhersage-Ensemble Member parallel und in kürzester Rechenzeit zu berechnen.

Die TUHH arbeitet 2017 an einer Webseite die intern für die Projektpartner erste Ergebnisse der Echtzeit-Simulationen und der Vorhersage-Ensembles zur Verfügung stellt. Ein Entwurf dieser Webseite mit Karte und entsprechenden Ergebnissen ist in Abb. 40 dargestellt und wurde auf dem erweiterten Projekttreffen am 25.4.2017 in Hamburg vorgestellt. Die Ergebnisse werden 2017 weiter aufbereitet und eine Methodik zur Nachführung der Ergebnisse im Rahmen der Hochwasservorhersage erarbeitet.

Die Ergebnisse der Ensemble Radar Nowcasts (s. Abb. 47) und der Ensemble Abfluss Nowcasts (s. Abb. 48) können der Optimierung des Warndienstes Binnenhochwasser Hamburg (WaBiHa: <http://www.wabiha.de>) dienen.

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 unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten mit den Projektpartnern zusammen, die als mögliche zukünftige Szenarien in die hydrologischen Simulationen eingehen. Auf dieser Basis werden die potenziellen Auswirkungen des Flächenmanagements und die Wirksamkeit möglicher Anpassungsmaßnahmen bewertet. 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.

6 Ökologie urbaner Fließgewässer (AP 4, UHH)

Kai Jensen, Annette Eschenbach, Alexander Gröngroft, Nikola Lenzewski, Kira Kalinski

In diesem Arbeitspaket werden sowohl die Vegetation als auch der Boden urbaner Überschwemmungsgebiete 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 des Umstandes, 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 (RRB/HRB) sowie Eingriffe in den Verlauf der Gewässer. Trotzdem treten bei starken Abflüssen Überschwemmungen im urbanen Bereich auf.

Für die Modellregion Kollau wird besonderer Fokus auf die Vegetation von HRB und Überschwemmungsgebieten 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 Freie und 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 den wichtigsten HRB in den Modellregionen Kollau und im Überschwemmungsgebiet der 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 18 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. Brunotte et al. (2009) und Scholz et al. (2012) erarbeiteten eine Beschreibung der wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und ihren Überschwemmungsgebieten auf nationaler Ebene. Von diesen Autoren werden als wichtige Ökosystemleistungen mit Bezug auf Böden genannt (i) das Wasserrückhaltevermögen, (ii) die Kohlenstoffspeicherung, und (iii) die Schadstoffretention.

Eine Erhebung von diesen wichtigen Ökosystemleistungen auf regionaler Ebene für urbane Böden in den Überschwemmungsgebieten im Hamburger Raum fehlt bisher und wird im Stuck Projekt für die beiden Modellregionen erarbeitet.

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 nach EG-Wasserrahmenrichtlinie erfolgen. Die Literaturrecherche wurde abgeschlossen und die Berichte und Gutachten wurden gesichtet und ausgewertet. Der zusammenfassende Bericht wird zurzeit erstellt,

so dass im Folgenden eine kurze Zusammenfassung des Ist-Zustandes der Kollau nach EG-WRRL gegeben werden kann.

Die Untersuchungen zum Fischbestand entlang der Kollau aus den Jahren 2005 und 2013 ergaben einen ungenügenden ökologischen Zustand bei leichter Verbesserung des Zustandes durch stabile Bestände von *Barbatula barbatula* (Bachschmerle) und guter Bestandsentwicklung von *Gasterosteus aculeatus* (Dreistachliger Stichling) (limnobios, Büro für Fisch- und Gewässerökologie 2009, 2014). Die benthische Wirbellosenfauna wurde in den Jahren 2007, 2010 und 2013 untersucht, wobei in allen Jahren diese Qualitätskomponente den guten ökologischen Zustand nicht erreichte und weiterhin als ungenügend klassifiziert ist. Zwar nahm die Artenanzahl leicht zu, jedoch fehlen weiterhin wertgebende Plecopteren- und Ephemopteren-Arten (Stein- und Eintagsfliegen) vollständig und auch Trichopteren-Arten (Köcherfliegen) sind stark unterrepräsentiert (ARGE WRRL-HOF 2008, 2011, 2014). Bei dem Monitoring der Qualitätskomponente Makrophyten im Jahr 2005 konnten keine Referenzarten entlang der Kollau gefunden werden, wodurch sich mehrheitlich ungenügende ökologische Zustandsklassen der Probestellen ergaben. Stattdessen dominierten im Gewässer Arten großer ökologischer Amplitude und Störzeiger, wie z. B. *Elodea canadensis* (Kanadische Wasserpest) und *Potamogeton crispus* (Krauses Laichkraut). Bezüglich der Diatomeenvielfalt konnten 2005 bis zu 80 Arten pro Probestelle identifiziert werden. Es ist jedoch eine deutliche Abnahme im Auftreten und in der Häufigkeit von Referenzarten flussabwärts der Kollau zu erkennen, so dass sich für die Diatomeen eine mäßige bis ungenügende ökologische Zustandsklasse ergab. Für die restlichen taxonomischen Gruppen des Phytobenthos ergab sich eine gute ökologische Zustandsklasse mit Ausnahme der am weitesten flussabwärts gelegenen Probestelle. Zusammenfassend ergab sich eine ungenügende ökologische Zustandsklasse für die Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos (Planula 2006).

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 HRB nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion begonnen und eine Untersuchung zur Vegetationszusammensetzung von urbanen Überschwemmungsflächen entlang der Kollau durchgeführt. Für die Vegetationsperiode 2017 ist darüber hinaus eine Untersuchung der Artenvielfalt urbaner HRB in Hamburg in Planung. Für die Modellregion Dove-Elbe wurde eine Untersuchung zur Vegetationsentwicklung seit der Abdämmung im Jahr 1951 entlang der Dove-Elbe durchgeführt.

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzenarten folgt im folgenden Text der Roten Liste und Florenliste der Gefäßpflanzen von Hamburg (Poppendieck et al. 2010), wobei der deutsche Name nur bei der ersten Erwähnung einer Art angegeben ist. Bei der Angabe von Werten im Text ist jeweils der Mittelwert angegeben.

6.2.1 Vegetationsentwicklung eines Hochwasserrückhaltebeckens nach Wiederherstellung der Retentionsfunktion

Das HRB dieser Untersuchung befindet sich auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich des Farnhornstiegs im Hamburger Stadtteil Eidelstedt (Abb. 49). Nach dem Abriss des Fabrikgebäudes im Jahr 1998 erfolgte auf der Fläche eine Bo-

densanierung 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. 50a), wodurch die Retentionsfunktion des Beckens eingeschränkt wurde. Im Februar 2016 erfolgte die Wiederherstellung der Retentionsfunktion des Beckens. 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. Die Umbaumaßnahmen des HRB wurden im Frühjahr/Sommer 2016 fertiggestellt (Abb. 50b).

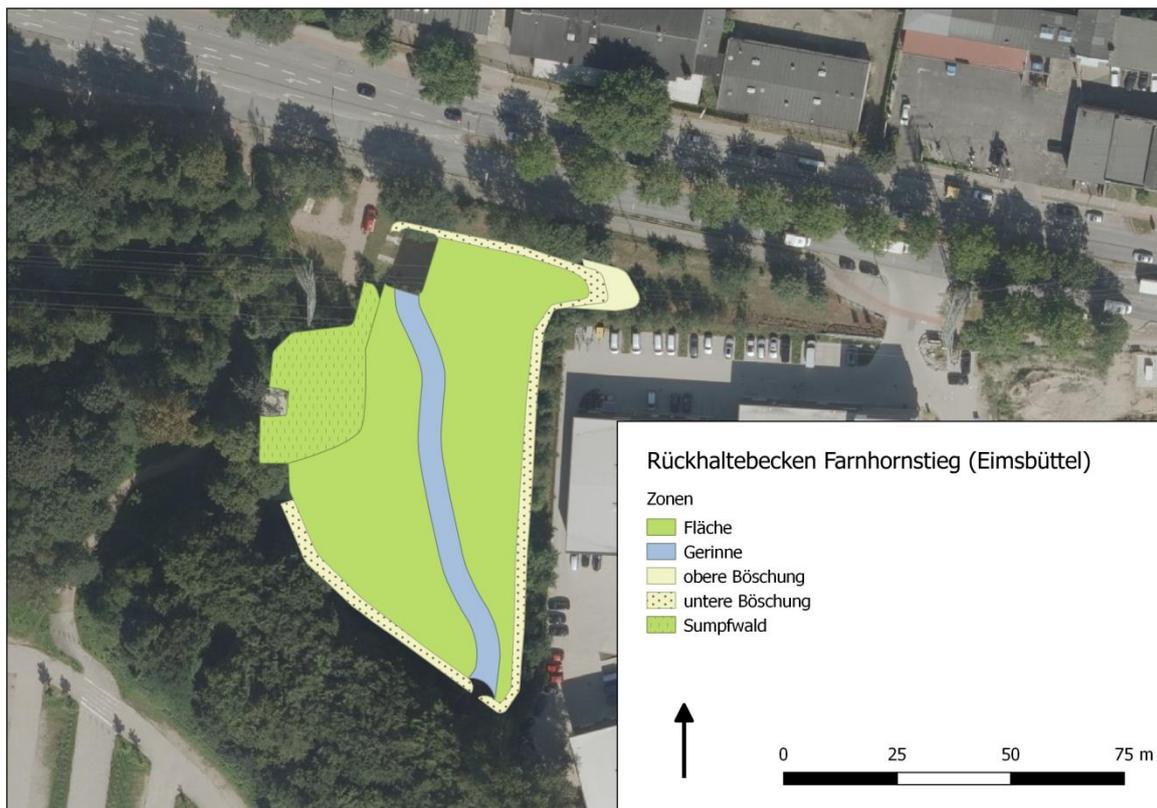


Abb. 49: Lage des HRB Farnhornstieg auf dem ehemaligen Gelände der Fabrik Dr. Hugo Stoltzenberg, südlich der Straße Farnhornstieg. Dargestellt sind die fünf Zonen (Fläche, Gerinne, obere und untere Böschung sowie Sumpfwald), die im Zuge der Baumaßnahmen zur Wiederherstellung der Retentionsfunktion eingerichtet wurden. Die Karte wurde mit der Software QGIS (Version 2.18.1.) unter Verwendung von Luftbildern (Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung) erstellt.



Abb. 50: Vegetation des HRB Farnhornstieg (a) vor der Wiederherstellung der Retentionsfunktion (August 2015) und (b) nach der Wiederherstellung der Retentionsfunktion (August 2016). Fotos: N. Lenzewski.

Es soll analysiert werden, wie sich die Vegetation nach der Wiederherstellung eines eingeschränkt funktionsfähigen HRB entwickelt. Hierfür wurden, ausgehend von der Planung des zukünftigen HRB, fünf verschiedene Zonen identifiziert, die im Folgenden kurz beschrieben werden (Abb. 49). 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 HRB durch eine Böschung (untere Böschung), die im Nordosten in eine Ebene ausläuft (obere Böschung). Pro Zone wurden fünf Untersuchungsplots à 1 m² randomisiert ausgewählt.

Im August 2015 erfolgte die Erhebung der Vegetation in der Vegetationsperiode vor der Wiederherstellung der Retentionsfunktion und im August 2016 die Erhebung der Vegetation des HRB in der ersten Vegetationsperiode nach der Wiederherstellung der Retentionsfunktion. Es wurden Vegetationsaufnahmen an den Untersuchungsplots durchgeführt, bei der alle Gefäßpflanzenarten mit ihren jeweiligen Deckungsanteilen erfasst wurden. Auf Grund der schlechten Zugänglichkeit des Sumpfwaldes und dem Fehlen einer Krautschicht wurde bei der Wiederholungserfassung 2016 auf die Untersuchung der Sumpfwald-Flächen verzichtet. Um das Potenzial einer natürlichen Reetablierung der Vegetation zu untersuchen, wurden im August 2015 Samenbankproben an den Untersuchungsplots entnommen, die nach einer mehrwöchigen Kälte-Stratifikation im Gewächshaus zur Keimung ausgebracht wurden. Im August 2017 soll eine erneute Erfassung der Vegetation des HRB durchgeführt werden. Im Folgenden werden Teilergebnisse der Vegetationserhebung aus dem Jahr 2015 (vor der Wiederherstellung) und 2016 (nach der Wiederherstellung) sowie die Ergebnisse der Samenbankuntersuchung aus dem Jahr 2015 (vor der Wiederherstellung) dargestellt.

Vor der Wiederherstellung bestand die Baum- und Strauchschicht des HRB Farnhornstieg vorherrschend aus feuchteliebenden Gehölzen wie *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) und verschiedenen *Salix*-Arten (Weiden; Abb. 50a). Mit Hilfe des Ellenberg Feuchtwerts lassen sich Pflanzenarten hinsichtlich ihrer Präferenz in Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit klassifizieren, wobei die Werte zwischen 1 (Starktrockniszeiger) und 12 (Unterwasserpflanze) liegen können. In der Krautschicht fanden sich im Jahr 2015 neben Nässezeigern mit ei-

nem Ellenberg Feuchtwert von 9 und 8 wie *Calamagrostis canescens* (Sumpf-Reitgras) oder *Lythrum salicaria* (Blut-Weiderich) auch Wechselwasserzeiger wie *Phragmites australis* (Schilf) mit einem Feuchtwert von 10. Hinzu traten Arten mit deutlich niedrigeren Feuchtwerten bis 6 wie *Glechoma hederacea* (Gundermann) oder *Calystegia sepium* (Zaun-Winde). 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. Nach der Wiederherstellung des HRB ist die Krautschicht in den ebenen Flächen dominiert von Nässezeigern mit einem Ellenberg Feuchtwert von 9 und 8 wie *Glyceria fluitans* (Flutender Schwaden), *Juncus articulatus* (Glieder-Binse), *Lythrum salicaria*, *Ranunculus sceleratus* (Gift-Hahnenfuß) und *Scirpus sylvaticus* (Wald-Simse; Abb. 50b). Weitere häufige Arten sind mit einem Feuchtwert von 10 *Typha cf. latifolia* (Breitblättriger Rohrkolben) und mit niedrigeren Feuchtwerten von 7 und 5 *Juncus effusus* (Flatter-Binse) und *Persicaria maculosa* (Floh-Knöterich). Insgesamt ist die Artenzusammensetzung über das gesamte Becken verteilt im Jahr 2016 deutlich homogener als im Jahr 2015. Das Gerinne des Beckens ist mit lediglich zwei Arten, *Lemna minor* (Kleine Wasserlinse) und *Typha cf. latifolia*, artenarm. Auffällig sind die höheren Deckungsanteile einzelner ruderaler Arten im Vergleich zum Jahr 2015 in Teilbereichen der ebenen Flächen sowie der oberen und unteren Böschungen, wie z. B. *Artemisia vulgaris* (Gewöhnlicher Beifuß), *Epilobium ciliatum* (Drüsiges Weidenröschen), *Galium aparine* (Kletten-Labkraut) oder *Taraxacum* sect. *Ruderalia* (Artengruppe Gemeiner Löwenzahn). Weiterhin konnten sowohl in den Untersuchungsflächen als auch im gesamten HRB in den ebenen Flächen sowie der oberen und unteren Böschung zahlreiche Jungpflanzen von *Fallopia japonica* (Japanischer Staudenknöterich) identifiziert werden. Positiv hervorzuheben ist das Vorkommen von zahlreichen *Isolepis setacea*-Pflanzen (Borstige Schuppensimse), welche auf der Hamburger Roten Liste als stark gefährdete Art (2) geführt wird (Poppendieck et al. 2010).

Die Anzahl Arten pro m² hat sich im Jahr 2016 in den Untersuchungsflächen der ebenen Flächen sowie der oberen und unteren Böschung im Vergleich zum Jahr 2015 um 12, 16 und 8 Arten erhöht (Abb. 51a). Lediglich in den Untersuchungsflächen des Gerinnes wurde eine Abnahme der mittleren Artenzahl von 6 auf 0 Arten beobachtet. Die Artenzahl pro m² unterscheidet sich höchst signifikant zwischen den Zonen ($F = 44,9$; $p < 0,001$) und den Untersuchungsjahren ($F = 58,4$; $p < 0,001$; zweifaktorielle ANOVA), wobei sich die Artenzahl der ebenen Flächen sowie der oberen und unteren Böschung signifikant zwischen den Jahren unterscheidet (Tukey HSD Post-Hoc-Test). Der mittlere gewichtete Ellenberg Zeigerwert für Feuchte nahm für die Untersuchungsflächen der oberen und unteren Böschung von 5,7 und 6,1 im Jahr 2015 auf 4,8 und 5,7 im Jahr 2016 ab (Abb. 51b). In den Untersuchungsflächen des Gerinnes stieg der Feuchtwert deutlich von 6,5 auf 11 an, wobei zu beachten ist, dass für die Berechnung des Feuchtwerts lediglich *Lemna minor* mit einem Feuchtwert von 11 in die Berechnung eingeflossen ist. Der Feuchtwert der ebenen Flächen stieg hingegen nur leicht von 6,9 auf 7,2 an. Der mittlere gewichtete Ellenberg Zeigerwert für Feuchte unterscheidet sich höchst signifikant zwischen den Zonen ($F = 53,0$; $p < 0,001$) und den Untersuchungsjahren ($F = 18,8$; $p < 0,001$; zweifaktorielle ANOVA), wobei sich der Feuchtwert des Gerinnes signifikant zwischen den Untersuchungsjahren unterscheidet (HSD Post-Hoc-Test für ungleiche N).

In den Samenbankproben aus dem Jahr 2015 sind insgesamt 48.510 Keimlinge von bisher 52 identifizierten Arten aufgelaufen, wobei ein Großteil der Arten 2015 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*, *Lycopus europaeus* (Ufer-Wolfstrapp), *Poa palustris* (Sumpf-Rispengras) und *Ranunculus sceleratus*. Diese Arten sind zu einem Großteil aus den Samenbankproben der ebenen Bereiche des Beckens aufgelaufen (Fläche, Gerinne und Sumpfwald). Eine Vielzahl an Arten in der Samenbank aus dem Jahr 2015 konnten 2016 in der stehenden Vegetation gefunden werden.

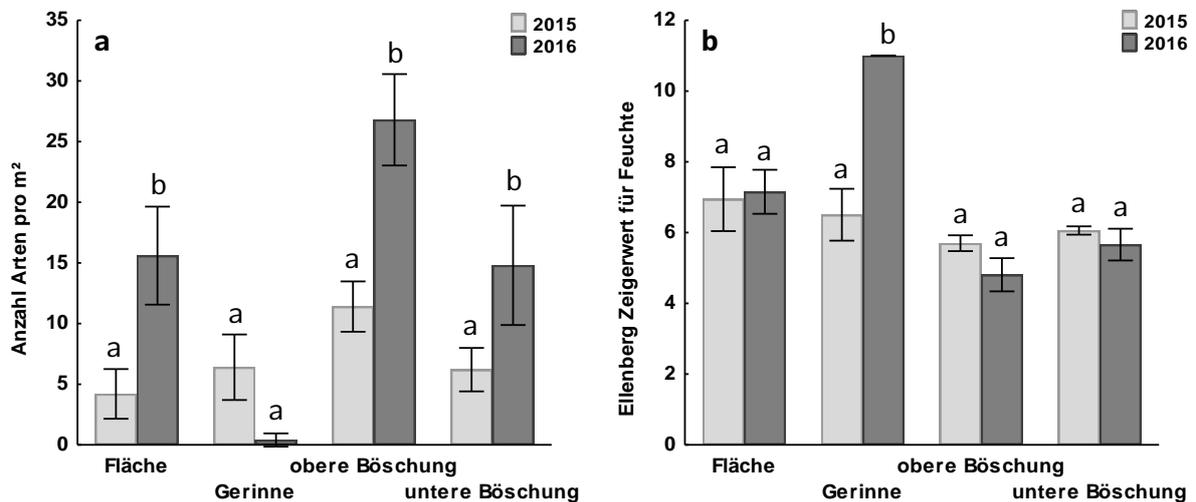


Abb. 51: (a) Anzahl Arten pro 1 m² und (b) gewichteter mittlerer Ellenberg Zeigerwert für Feuchte (Ellenberg et al. 1991) der Untersuchungsflächen des HRB Farnhornstiege für die Jahre 2015 (vor der Wiederherstellung des Beckens) und 2016 (nach der Wiederherstellung des Beckens) jeweils getrennt nach den Zonen (Fläche, Gerinne, obere Böschung und untere Böschung). Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren getrennt nach den Zonen (Tukey HSD Post-Hoc-Test für die Anzahl Arten pro m² und HSD Post-Hoc-Test für ungleiche N für den gewichteten mittleren Ellenberg Zeigerwert für Feuchte).

6.2.2 Vegetationszusammensetzung urbaner Überschwemmungsflächen

In der Vegetationsperiode 2016 wurde eine Untersuchung zur Vegetationszusammensetzung verschiedener Überschwemmungsflächen entlang der Kollau durchgeführt. Auf Grundlage des Biotopkatasters der Stadt Hamburg und der Verfügbarkeit geeigneter Flächen entlang der Kollau wurden die vier Vegetationstypen feuchtes und trockenes Grünland, Röhrriech sowie feuchter Wald dominiert von *Alnus*- und *Salix*-Arten für diese Untersuchung ausgewählt. Je Vegetationstyp wurden fünf Flächen entlang der Kollau identifiziert, wobei z. T. auf Flächen an Vorflutern, z. B. der Mühlenau, ausgewichen werden musste (Abb. 52). Je Fläche wurden randomisiert drei Teilflächen à 1 m² ausgewählt und auf diesen Flächen alle wurzelnden krautigen Gefäßpflanzen mit ihren jeweiligen Deckungsanteilen erfasst, sodass insgesamt 60 Teilflächen untersucht wurden. Im Folgenden werden Teilergebnisse dieser Untersuchung vorgestellt.

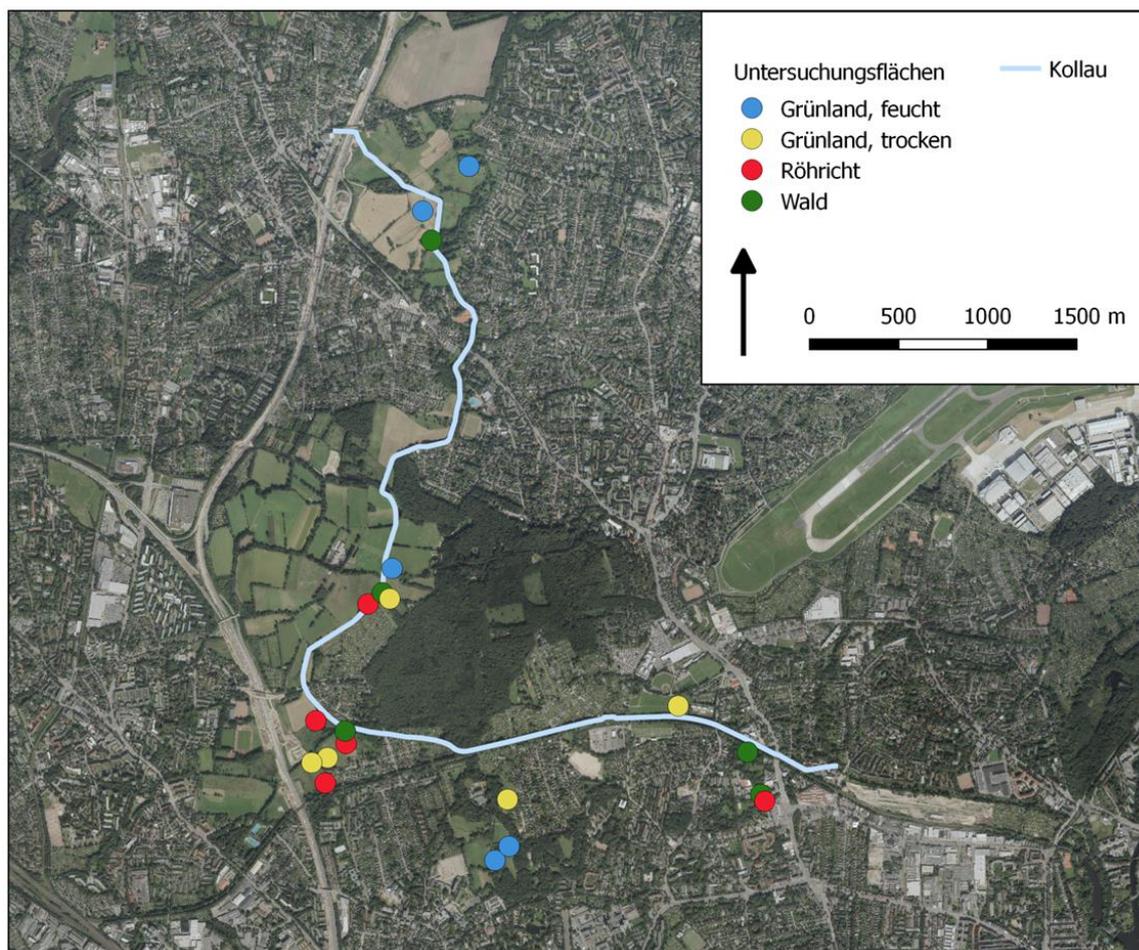


Abb. 52: Lage der Untersuchungsflächen zur Vegetationszusammensetzung urbaner Überschwemmungsflächen entlang der Kollau. Die Karte wurde mit der Software QGIS (Version 2.18.1.) unter Verwendung von Luftbildern (Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung) erstellt.

Insgesamt konnten in den Untersuchungsflächen der vier Vegetationstypen 78 Arten ermittelt werden. Die häufigsten Arten waren die in Hamburg weitverbreiteten Arten *Phalaris arundinacea* (Rohr-Glanzgras), *Ranunculus repens* (Kriechender Hahnenfuß), *Holcus lanatus* (Wolliges Honiggras; jeweils in 25 Teilflächen) und *Urtica dioica* (Große Brennnessel; in 21 Teilflächen). Mit *Carex disticha* (Zweizeilige Segge; RL HH V) und *Carex elata* (Steife Segge; RL HH 2) wurden zwei Arten der Hamburger Roten Liste festgestellt (Poppendieck et al. 2010). In den Teilflächen des Vegetationstyps „Wald“ wurden zudem die beiden Neophyten *Impatiens glandulifera* (Drüsiges Springkraut) und *Impatiens parviflora* (Kleinblütiges Springkraut) in z. T. hohen Deckungen nachgewiesen.

Mit im Mittel neun Arten wiesen das feuchte und trockene Grünland die höchste Anzahl Arten auf, während in den Röhrichten und im Wald mit fünf Arten deutlich niedrigere Artenzahlen in der krautigen Vegetation festgestellt wurden (Abb. 53a). Die Anzahl Arten unterschied sich hoch signifikant zwischen den Vegetationstypen ($F = 8,5$; $p < 0,01$; einfaktorielle ANOVA), wobei die Anzahl Arten im feuchten und trockenen Grünland signifikant höher war als im Röhricht und in der krautigen Waldvegetation (Tukey HSD Post-Hoc-Test). Der höchste gewichtete mittlere Ellenberg Feuchtwert wurde mit 8,4 in den Untersuchungsflächen der Röhrichte ermittelt, gefolgt vom feuchten Grünland mit einem

Wert von 6,9 (Abb. 53b). Niedrigere Werte von 6,6 und 5,9 wurden in der krautigen Waldvegetation und im trockenen Grünland gefunden. Die statistische Auswertung ergab einen höchst signifikanten Unterschied des Ellenberg Feuchtwerts zwischen den Vegetationstypen ($F = 25,5$; $p < 0,001$, einfaktorische ANOVA), wobei sich die beiden Grünländer und die Röhrichte signifikant voneinander unterscheiden sowie die krautige Waldvegetation signifikant von den Röhrichten (Tukey HSD Post-Hoc-Test).

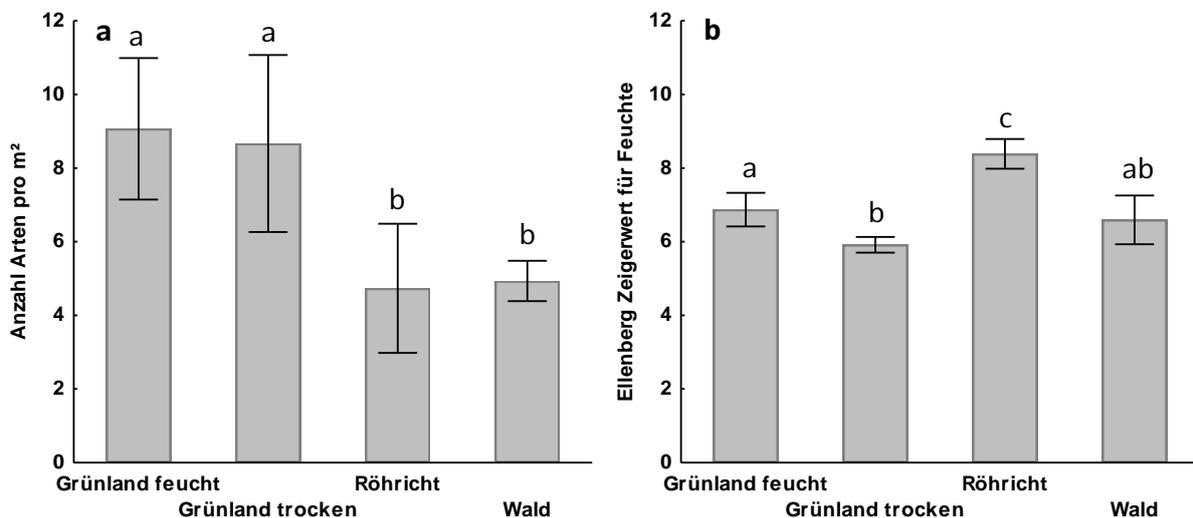


Abb. 53: (a) Anzahl Arten pro 1 m² und (b) gewichteter mittlerer Ellenberg Zeigerwert für Feuchte (Ellenberg et al. 1991) der Untersuchungsflächen der Überschwemmungsflächen entlang der Kollau jeweils getrennt nach den Vegetationstypen (Grünland feucht, Grünland trocken, Röhricht und Wald). Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Vegetationstypen (Tukey HSD Post-Hoc-Test).

6.2.3 Biodiversität von urbanen Hochwasserrückhaltebecken

Für die Vegetationsperiode 2017 ist eine Untersuchung zur Artendiversität der Hamburger HRB geplant, die in Kooperation mit Lisa Holtmann und Thomas Fartmann von der Universität Osnabrück durchgeführt werden soll. Diese haben in den letzten Jahren eine umfassende Untersuchung zur floristischen und faunistischen Artenvielfalt der Rückhaltebecken der Stadt Münster (Nordrhein-Westfalen) durchgeführt und herausgefunden, dass nährstoffarme Rückhaltebecken wertvolle Ersatzhabitate für seltene und gefährdete Gefäßpflanzen und Libellen sein können (Holtmann & Fartmann 2016). Mit der Untersuchung in Hamburg soll herausgefunden werden, ob die Hamburger HRB ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Diversität von Gefäßpflanzen im urbanen Raum leisten und im Vergleich mit den Ergebnissen aus Münster sollen Faktoren identifiziert werden, die die Diversität in den HRB positiv oder negativ beeinflussen. Zur Vorbereitung dieser Untersuchung wurde eine Liste mit allen HRB der Stadt Hamburg erstellt, die als Dauerstau- oder Trockenbecken betrieben werden und von den Bezirken und der Hamburger Stadtentwässerung verwaltet werden. Auf Grundlage dieser Liste soll eine Auswahl an HRB für diese Untersuchung getroffen werden, wobei die 22 bestehenden HRB der Modellregion Kollau sowie das neu wiederhergestellte HRB Farnhornstieg (Eimsbüttel) nach Möglichkeit vollständig einbezogen werden sollen. Im Vorfeld ist darüber hinaus eine Überprüfung der Liste der HRB auf Vollständigkeit und Plausibilität durch Mitarbeiter der LSBG und der

Bezirke erforderlich. Die Methodik zur Durchführung dieser Untersuchung wird in enger Abstimmung mit den Kollegen aus Osnabrück erfolgen, um die Ergebnisse von Hamburg mit den Ergebnissen von Münster vergleichen zu können. Als Vorbereitung dieser Untersuchung erfolgt zurzeit eine Auswertung der Biotope „Naturnahes, nährstoffreiches Regenrückhaltebecken (SER)“ und „Rückhaltebecken, naturfern (SXR)“ des Biotopkatasters der Stadt Hamburg.

6.2.4 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 Vegetationszusammensetzung der Dove-Elbe zwischen Krapphofschleuse und (heutiger) Tatenberger Schleuse zum Zeitpunkt der Abdämmung sowie für ausgewählte Untersuchungsflächen bis zu zwei Jahre nach dem Wegfall des Tideeinflusses untersuchte. Insgesamt wurden 100 Untersuchungsflächen auf ihre Artenzusammensetzung hin untersucht und daraufhin die vorkommenden Pflanzengesellschaften bestimmt. Vor der Abdämmung konnte Meyer (1954) im Gebiet die folgenden Pflanzengesellschaften nachweisen: Röhrichte, *Archangelica*-Gesellschaften, Rohrglanzgraswiesen, feuchte Fettwiesen, Ufer- und Schlenkengesellschaften, 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 Schlämmflingengesellschaften 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; Poppendieck et al. 2010).

Im Sommer 2016 wurde auf einer Auswahl der Untersuchungsflächen von Meyer eine Wiederholungserfassung der Vegetation durchgeführt (Abb. 54). Hierfür wurde zunächst das Kartenmaterial von Meyer mit Geographischen Informationssystemen digitalisiert sowie georeferenziert und anschließend wurde von Mai bis September 2016 auf einer Flächengröße von 20 m² an den Untersuchungsflächen von Meyer alle Gefäßpflanzen erfasst sowie deren Deckungen geschätzt. Für die Wiederholungserfassung wurden alle Untersuchungsflächen von Meyer ausgewählt, bei denen von einer natürlichen, spontanen Vegetationsentwicklung seit den 50er Jahren ausgegangen werden konnte. Dadurch wurden Ackerflächen und intensiv gepflegte Zierrasen von der Wiederholungserfassung ausgeschlossen. Darüber hinaus konnte eine Vielzahl von Flächen nicht untersucht werden, da diese heute dauerhaft überstaut sind. Insgesamt wurden 45 Flächen vegetationskundlich untersucht. Im Folgenden werden einige Teilergebnisse dieser Untersuchung vorgestellt, wobei zu beachten ist, dass die zusammengehörenden Untersuchungsflächen beider Untersuchungsjahre nach dem 1951 vorherrschenden Vegetationstyp klassifiziert worden sind. Dies bedeutet demnach nicht, dass die Untersuchungsflächen auch noch im Jahr 2016 den aus dem Jahr 1951 zugeordneten Vegetationstyp aufweisen. Insgesamt konnten nur Untersuchungsflächen der damaligen Röhrichte, *Archangelica*-Gesellschaften, Rohrglanzgraswiesen, feuchte Fettwiese und Fettweide erneut vegetationskundlich untersucht werden, da die anderen Vegetationstypen durch die weiter o. g. getroffenen Bedingungen ausgeschlossen wurden.

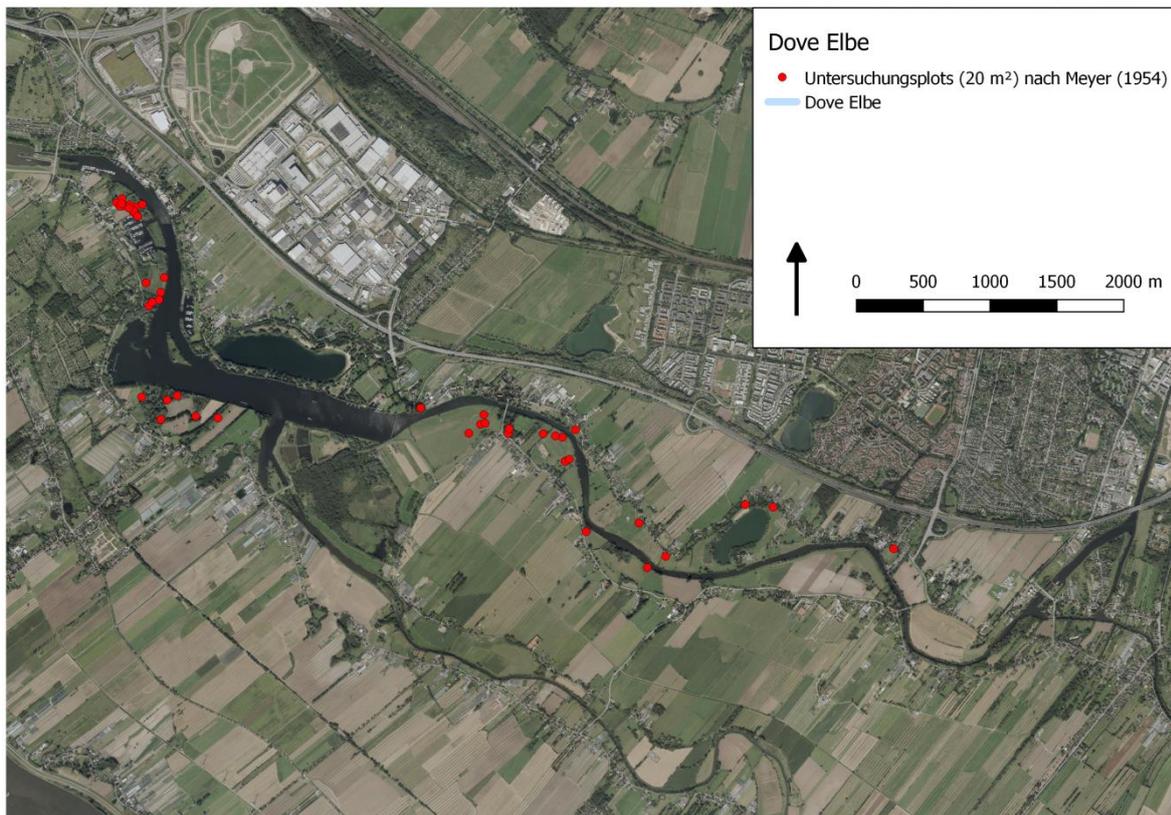


Abb. 54: Lage der Untersuchungsflächen der Wiederholungserfassung der Vegetation nach Meyer (1954) entlang der Dove-Elbe zwischen der Krapphofschleuse und Tatenberger Schleuse. Die Karte wurde mit der Software QGIS (Version 2.18.1.) unter Verwendung von Luftbildern (Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung) erstellt.

Die Anzahl Arten nahm im Vergleich zwischen 1951 und 2016 in allen Vegetationstypen zwischen acht und 14 Arten ab (Abb. 55 a). Lediglich in den Röhrichtflächen konnte 2016 eine um vier Arten höhere Artenanzahl im Vergleich zum Jahr 1951 ermittelt werden. Die Anzahl Arten unterscheidet sich höchst signifikant zwischen den Jahren ($F = 27,6$; $p < 0,001$) und den Vegetationstypen ($F = 7,3$; $p < 0,001$, zweifaktorielle ANOVA), wobei sich die Anzahl Arten der Vegetationstypen *Archangelica*-Gesellschaft, Rohrglanzgraswiese und Fettweide signifikant zwischen den Jahren unterscheidet (HSD-Post-Hoc-Test für ungleiche N). Der Ellenberg Zeigerwert für Feuchte nahm von 1951 bis 2016 in den Vegetationstypen Röhricht, *Archangelica*-Gesellschaft, Rohrglanzgraswiese und feuchte Fettweide zwischen 0,4 und 3,4 Einheiten ab, wobei die deutlichste Abnahme in den Röhrichtflächen festgestellt wurde (Abb. 55 b). In den Flächen der Fettweiden konnte hingegen eine Zunahme des Feuchtwerts um 1,2 Einheiten ermittelt werden. Der Ellenberg Zeigerwert für Feuchte unterscheidet sich höchst signifikant zwischen den Jahren ($F = 60,0$; $p < 0,001$) und den Vegetationstypen ($F = 21,3$; $p < 0,001$; zweifaktorielle ANOVA), wobei sich der Feuchtwert der Vegetationstypen Röhricht, *Archangelica*-Gesellschaft und Rohrglanzgraswiese signifikant zwischen den Jahren unterscheidet (HSD-Post-Hoc-Test für ungleiche N). Ein ähnliches Muster der Abnahme des Feuchtwerts zeigt sich für den Ellenberg Zeigerwert für Reaktion. Im Vergleich der beiden Untersuchungsjahre nahm der Wert zwischen 0,3 und 0,5 Einheiten ab, während in den Flächen der Fettweiden eine Zunahme um 0,2 Einheiten ermittelt wurde (Abb. 55 b). Die statistische Auswertung ergab signifikante Unterschiede zwischen den Jahren ($F = 5,5$; $p < 0,05$) und den Vegetationstypen.

pen ($F = 3,0$; $p < 0,05$; zweifaktorielle ANOVA), wobei für die einzelnen Vegetationstypen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren ermittelt wurden (HSD-Post-Hoc-Test für ungleiche N). Für die Röhrichtflächen, Rohrglanzgraswiesen und feuchte Fettwiesen zeigen sich konstante Ellenberg Nährstoffwerte im Vergleich der beiden Untersuchungsjahre (Abb. 56 b). Hingegen kam es in den *Archangelica*-Gesellschaften zu einer Abnahme des Nährstoffwerts um 0,5 Einheiten und in den Flächen der Fettweiden zu einer Zunahme um 0,4 Einheiten. Die Unterschiede des Ellenberg Nährstoffwerts sind für die Vegetationstypen hoch signifikant ($F = 3,4$; $p < 0,01$), während zwischen den Untersuchungsjahren keine Unterschiede ermittelt werden konnten ($F = 0,0$; $p = 0,689$; zweifaktorielle ANOVA). Die Ergebnisse zeigen, dass es 65 Jahre nach der Abdämmung der Dove-Elbe von der Tideelbe zu erheblichen Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung der Auen gekommen ist.

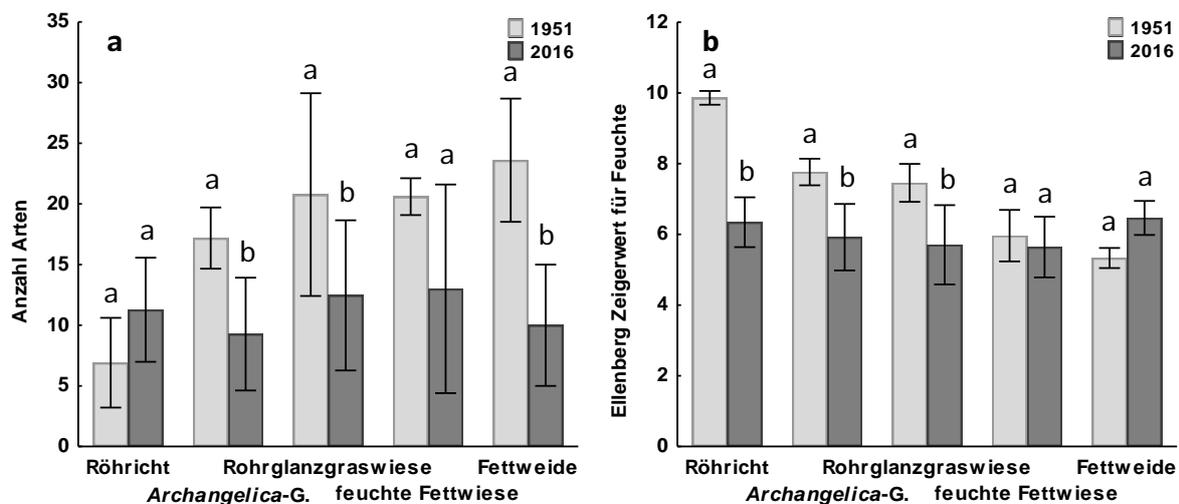


Abb. 55: (a) Anzahl Arten sowie mittlere gewichtete Ellenberg Zeigerwerte für (b) Feuchte (Ellenberg et al. 1991) der Untersuchungsflächen entlang der Dove-Elbe getrennt nach den Jahren 1951 und 2016. Die Untersuchungsflächen wurden zu dem nach dem vorherrschenden Vegetationstyp (Röhricht, *Archangelica*-Gesellschaft, Rohrglanzgraswiese, feuchte Fettwiese, Fettweide) aus dem Jahr 1951 gruppiert. Die Daten aus dem Jahr 1951 stammen von Meyer (1954), wobei die Nomenklatur der Arten an Poppendieck et al. (2010) angepasst wurde. Die Anzahl Arten und die Ellenberg Zeigerwerte für 1951 wurden zusammen mit den Daten für 2016 neu berechnet. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren getrennt nach den Vegetationstypen (HSD Post-Hoc-Test für ungleiche N).

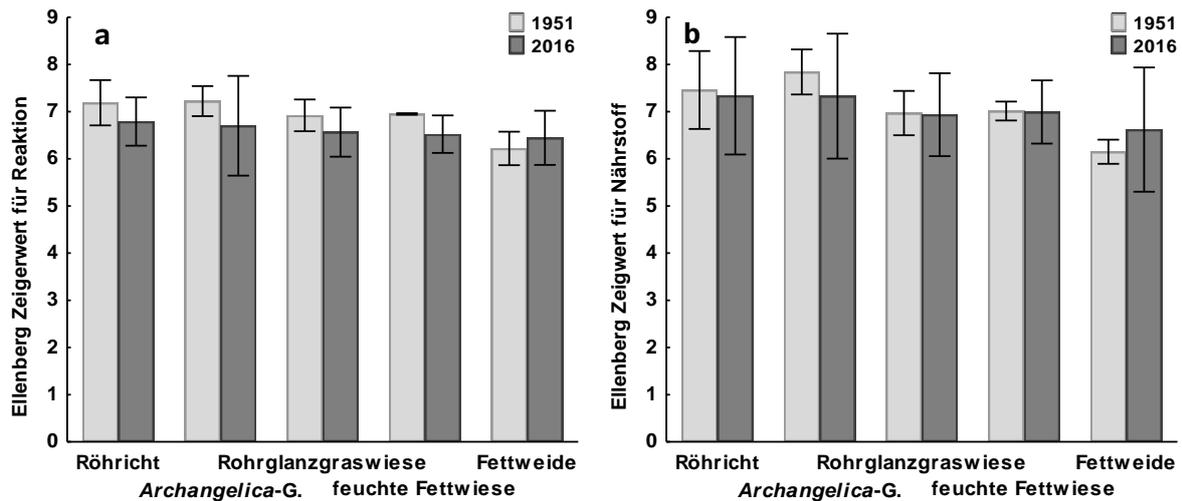
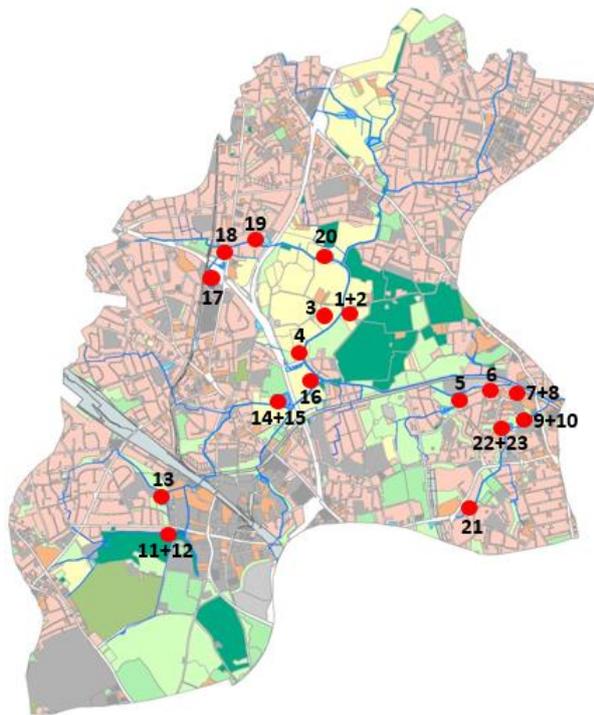


Abb. 56: Mittlerer gewichteter Ellenberg Zeigerwerte für (a) Reaktion und (b) Nährstoffe (Ellenberg et al. 1991) der Untersuchungsflächen entlang der Dove-Elbe getrennt nach den Jahren 1951 und 2016. Die Untersuchungsflächen wurden zu dem nach dem vorherrschenden Vegetationstyp (Röhricht, *Archangelica*-Gesellschaft, Rohrglanzgraswiese, feuchte Fettwiese, Fettweide) aus dem Jahr 1951 gruppiert. Die Daten aus dem Jahr 1951 stammen von Meyer (1954) wobei die Nomenklatur der Arten an Poppendieck et al. (2010) angepasst wurde. Die Anzahl Arten und die Ellenberg Zeigerwerte für 1951 wurden zusammen mit den Daten für 2016 neu berechnet. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren getrennt nach den Vegetationstypen (HSD Post-Hoc-Test für ungleiche N).

6.3 Kartierung und Analyse der Ressource Boden (AP 4.3)

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

Für die bodenkundliche Kartierung im Einzugsgebiet der Kollau wurden in den HQ₁₀ und HQ₁₀₀ Überschwemmungsflächen 14 charakteristische Standorte ausgewählt. Kriterien für die Auswahl waren (i) Lage in einem Überschwemmungsgebiet, (ii) unterschiedliche Landnutzungen, und (iii) Urbanitätsgrad. Des Weiteren wurden elf HRB unterschiedlicher Lage ausgewählt. An jedem der Standorte wurde eine flächendeckende Bohrstockkartierung bis in 2 m Tiefe durchgeführt und an ausgewählten Standorten insgesamt 23 Leitprofile angelegt (Abb. 57). Als Kartiergrundlage dient die Bodenkundliche Kartieranleitung (BGR 2005).



Profil	Name	Standort	Nutzung
1	Holtwisch 1	ÜSG_rural	Grünland
2	Holtwisch 2	ÜSG_rural	Brache
3	Holloswisch	ÜSG_rural	Weide
4	Grothwisch	ÜSG_rural	Grünland
5	Wullwisch 11	ÜSG_urban	Vorgarten
6	Wullwisch 37	ÜSG_urban	Vorgarten
7	Alte Kollau 1	ÜSG_urban	Ödland
8	Alte Kollau 2	ÜSG_urban	Ödland
9	Schillingsbek 1	ÜSG_urban	Ödland
10	Schillingsbek 2	ÜSG_urban	Ödland
11	Farnhornstieg 1	ÜSG_urban	RHB
12	Farnhornstieg 2	RHB Mühlenau	RHB
13	Fangdiekgraben	RHB Mühlenau	RHB
14	Steinwiesenweg 1	RHB Mühlenau	RHB
15	Steinwiesenweg 2	RHB Mühlenau	RHB
16	Ret. Mühlenau	RHB Mühlenau	RHB
17	Grothwischgraben BAB	RHB Grothwischgraben	RHB
18	Grothwischgraben	RHB Grothwischgraben	RHB
19	Spanische Furt	RHB Grothwischgraben	RHB
20	Brookgraben	RHB Grothwischgraben	RHB
21	Max-Tau-Straße	RHB Schillingsbek	RHB
22	Von-Eicken-Park	RHB Schillingsbek	RHB
23	Feddersenteich	RHB Schillingsbek	RHB

Abb. 57: Lage der ausgewählten bodenkundlichen Leitprofile und Kurzcharakteristik dieser im Einzugsgebiet der Kollau; Quelle Kartengrundlage: LSBG

Im Kollau Einzugsgebiet dominieren Böden aus der Klasse der Gleye. Je nach Standorteigenschaften treten 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. 58) und an besser belüfteten Standorten Brauneisengleye (Abb. 58) 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 Siedlungsbauschutt stark gestört. Ehemals natürliche Oberbodenhorizonte können unter aufgeschüttetem Material reliktsch vorliegen. In diesem Bereich ist der dominierende Subtyp ein Kolluvisol-Gley (Abb. 58). 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 in guter Übereinstimmung Sande ausgewiesen werden, lokal aber auch Lehme mit Einflüssen von Wasserstau.



Abb. 58: Subtypen des dominierenden Bodentyps Gley an der Kollau; links: Oberlauf – Norm-Nassgley und Brauneisengley; rechts: Unterlauf- Kolluvisol-Gleye; Fotos: K. Kalinski.

In den elf ausgewählten HRB konnte in den überstauten Bereichen als Unterwasserböden Sapropelle und in den Uferbereichen Kolluvisol-Gleye als dominierender Subtyp festgestellt werden. Je nach Vegetation in den Uferbereichen wurden Subvarietäten wie z. B. humusreicher Kolluvisol-Gley und podsoliger Kolluvisol-Gley kartiert. Bei Grundwasserständen von weniger als 40 cm unter GOF (Geländeoberfläche) werden die Böden in den Uferbereichen als Kolluvisol-Nassgleye bezeichnet. Eine grafische Darstellung der Kartierergebnisse in Form einer Bodenkarte (GIS-Shape) ist in Bearbeitung.

Die Probenentnahme der 23 Profile erfolgte als horizontweise Bodenmischprobe. Zusätzlich wurden an elf Profilen ungestörte Volumenbezogene Proben (Stechringe) zur Bestimmung der bodenhydrologischen Parameter entnommen. Bei allen Mischproben wurde eine bodenkundliche Analytik der gängigen bodenkundlichen Parameter (Tab. 17) durchgeführt.

Je nach Untersuchungsgegenstand wurden zusätzliche Analysen der Mischproben durchgeführt. In den HRB fand eine umfassende Schadstoffanalyse und in den Mischproben der Überschwemmungsgebiete die Bestimmung der bodenhydrologischen Parameter statt. In den folgenden Kapiteln werden die bisher erarbeiteten Ergebnisse dargestellt. Derzeit und im weiteren Projektverlauf werden die Ergebnisse für die Bewertung der ökologischen Funktionen ausgewertet und für die Modellierungen des Wasserhaushaltes verwendet. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Behörde für Umwelt und Energie für die fortlaufende Aktualisierung der bodenkundlichen Datenbank zur Verfügung gestellt.

Eine bodenkundliche Kartierung in der Modellregion Dove-Elbe wird im Jahr 2017 durchgeführt. Die Böden des bereits beschriebenen Überschwemmungsgebiets zwischen der Krapphofschleuse und der Tatenberger Schleuse werden an repräsentativen Standorten ebenso durch Profilaufnahmen und analytische Erfassung von Bodenparametern charakterisiert werden.

Tab. 17: Bodenkundliche Parameter zur Laboranalytik.

Bodenkundliche Parameter	Parameter	Einheit
Bodenphysische	Korngrößenverteilung	%
	Partikeldichte	g/cm ³
	Lagerungsdichte	g/cm ³
	Substanzvolumen	%
	Porenvolumen	%
	vol. Wassergehalt	%
	gesättigte Wasserleitfähigkeit	cm/d
	ungesättigte Wasserleitfähigkeit	cm/d
Bodenchemische	pH	
	Leitfähigkeit	µS/cm
	Kohlenstoff (gesamt/organisch/anorganisch)	%
	C/N Verhältnis	
	Stickstoff (gesamt)	%
	Eisen und Mangan	g/kg
	Kalium und Phosphor	mg/kg
	Kationenaustauschkapazität	mmoleq/kg
	PAK	µg/kg
	PCB	µg/kg
	MKW	mg/kg
	Spuremetalle	mg/kg
	Bodenbiologische	Basalatmung
Biomasse (SIR-Verfahren)		mg/kg

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.

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. Um die kurz- und langfristige Kohlenstofffestlegung in der Vegetation urbaner Überschwemmungsgebieten näher zu quantifizieren, wurde in der Vegetationsperiode 2016 eine Untersuchung auf Flächen entlang der Kollau durchgeführt.

Die Prozesse des Kohlenstoffhaushaltes im Boden und damit der bodenbürtige Kohlenstoff-Pool können in Überschwemmungsgebieten durch die Folgen des Klimawandels (längere Trockenphasen und Starkregenereignisse) und durch die aufgrund dessen notwendigen Anpassungen der Gewässerbewirtschaftung beeinträchtigt werden. Veränderungen des Bodenwassergehaltes (Pacific et al. 2008), des Eintrages an organischer Substanz durch Überflutungen (Samaritani et al. 2011) und der Landnutzung (Zehetner et al. 2009) wirken sich direkt auf den Kohlenstoffhaushalt aus. Einige Studien konnten zeigen, dass Standorte eine Umkehrung von einer Kohlenstoffsенke zu einer vermehrten Kohlenstoffquelle durchlaufen (Groffman et al. 2003). Eine genaue Kenntnis der Steuerungsfaktoren der Prozesse der Kohlenstoffanreicherung und des Kohlenstoffabbaus in urbanen Überschwemmungsgebieten ist erforderlich, um diese Ökosystemleistung zu erfassen und ggf. bei der Anpassung des Gewässermanagements und den Folgen von Klimawandel und Nutzungswandel berücksichtigen zu können. In urbanen Räumen werden die Kohlenstoffpools und der Kohlenstoffabbau zusätzlich zu den natürlich wirkenden Einflussfaktoren durch die urbanen Nutzungen und die häufigen anthropogenen Bodenumlagerungen überprägt. In welcher Art und Intensität diese Prozesse entlang urbaner Fließgewässer stattfinden, ist bislang noch nicht ausreichend erfasst. Die Kohlenstoffpools werden anhand der Analyse der Böden der Leitprofile bestimmt. In einem Feld- und Laborexperiment werden die Einflussfaktoren auf den Kohlenstoffabbau detailliert untersucht.

6.4.1 Kurz- und langfristige Kohlenstofffestlegung in der Vegetation von urbanen Überschwemmungsflächen

Die Untersuchung zur Kohlenstofffestlegung wurde in der Vegetationsperiode 2016 auf den Untersuchungsflächen zur Vegetationszusammensetzung von urbanen Überschwemmungsflächen durchgeführt (vgl. Kap. 6.2.2). Die kurzfristige Kohlenstofffestlegung in der krautigen Vegetation wurde auf den bereits eingerichteten 1 m²-Untersuchungsplots durch mehrmalige Entnahme eines Viertels der oberirdischen Biomasse mit anschließender Bestimmung der C- und N-Gehalte mit einem element analyzer (EURO-EA 3000, Euro Vector, Italy) ermittelt. Die langfristige Kohlenstofffestlegung in Gehölzen wurde hingegen ausschließlich in den feuchten Wäldern dominiert von *Alnus*- und *Salix*-Arten untersucht. Auf den Flächen wurde jeweils eine Untersuchungsfläche mit einem Radius von 15 m eingerichtet und alle darin wurzelnden Gehölze mit einem Stammdurchmesser größer gleich 5 cm bestimmt sowie deren Brusthöhendurchmesser (BHD) in einer Höhe von 130 cm gemessen. Nach Jenkins et al. (2003) erfolgte auf Grundlage des BHDs und der Art die Berechnung der Biomasse der einzelnen Gehölze. Aus diesen berechneten Biomassedaten wurde auf den Kohlenstoffgehalt geschlossen, da ungefähr die Hälfte der Biomasse von Gehölzen aus Kohlenstoff besteht (Hutyra et al. 2011). Die in dieser Untersuchung ermittelten Werte der langfristigen Kohlenstofffestlegung können mit den Daten einer Untersuchung zur Kohlenstofffestlegung in urbanen Feuchtwäldern in ganz Hamburg verglichen werden (Dorendorf et al. 2015). Im Folgenden sind Ergebnisse der langfristigen Kohlenstofffestlegung in Gehölzen aufgeführt.

Die häufigsten Gehölze in den Untersuchungsflächen waren *Alnus glutinosa* (189x), *Salix rubens* (Fahl-Weide; 28x) und *Salix cinerea* (Grau-Weide; 22x). Weitere häufige Taxa waren *Acer* (Ahorn), *Prunus* (Kirsche) und andere *Salix*-Arten. Im Mittel lag der in den Gehölzen festgelegte Kohlenstoffgehalt der feuchten Wälder entlang der Kollau bei 9,3 kg/m², während in den feuchten Wäldern in ganz Hamburg verteilt im Mittel 12,6 kg/m² festgelegt

wurden (Abb. 59). Diese Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant ($t = 0,9$; $p = 0,371$; t-Test).

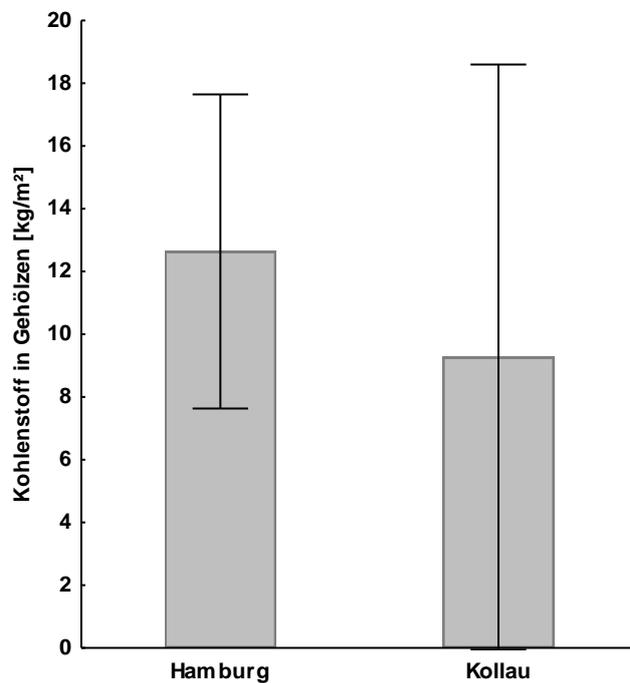


Abb. 59: Kohlenstoffgehalt von Gehölzen in kg/m^2 in feuchten Wäldern dominiert von *Alnus*- und *Salix*-Arten in Untersuchungsflächen über ganz Hamburg verteilt (Hamburg; Daten nach Dorendorf et al. 2015) und in Untersuchungsflächen entlang der Kollau. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

6.4.2 Kohlenstoffpools in Böden von Überschwemmungsflächen

Im Folgenden werden die bisherigen Ergebnisse der Analyse der Kohlenstoffgehalte im Boden dargestellt und das weitere Vorgehen des Feld- und Laborexperiments beschrieben.

Die Kohlenstoffgehalte wurden in den Mischproben der Leitprofile im Kollau Einzugsgebiet bestimmt. Durch die hohen Grundwasserstände herrschen in den meisten Unterböden (30–100 cm) der Leitprofile für lange Zeiten des Jahres sauerstofflimitierte Verhältnisse vor. Aufgrund dessen wurden Mittelwerte der Kohlenstoffgehalte für die Tiefen 0–30 cm und 30–100 cm durchgeführt (Tab. 18) berechnet.

Tab. 18: Kohlenstoffpools der Bodenproben in 0–30 cm Tiefe und 30–100 cm Tiefe im Kollau Einzugsgebiet. Grün: ÜSG_rural; Orange: ÜSG_urban; Blau: HRB. Die Kohlenstoffanalytik von Profil 8 und Profil 10 ist in Bearbeitung.

Profil-Nr.	0–30 cm Tiefe			30–100 cm Tiefe		
	C _{ges} [%]	C _{anorg} [%]	C _{org} [%]	C _{ges} [%]	C _{anorg} [%]	C _{org} [%]
1	4.54	0.05	4.49	0.06	0.00	0.06
2	3.47	0.00	3.47	0.19	0.00	0.19
3	2.70	0.02	2.68	0.79	0.01	0.78
4	10.06	0.00	10.06	0.31	0.00	0.31
5	1.13	0.07	1.06	2.73	0.02	2.72
6	5.60	0.07	5.52	13.41	0.07	13.34
7	4.74	0.06	4.68	2.25	0.02	2.23
9	3.91	0.02	3.89	2.50	0.01	2.49
11	3.03	0.00	3.03	0.21	0.00	0.21
12	0.55	0.03	0.52	-	-	-
13	3.87	0.00	3.87	1.93	0.03	1.90
14	2.19	0.02	2.16	1.56	0.41	1.15
15	10.80	0.00	10.80	-	-	-
16	3.43	0.00	3.43	1.81	0.19	1.62
17	3.06	0.00	3.06	0.62	0.06	0.56
18	4.49	0.00	4.49	0.20	0.00	0.20
19	3.37	0.00	3.37	0.98	0.80	0.17
20	1.96	0.00	1.96	0.27	0.00	0.27
21	2.65	0.09	2.56	0.97	0.00	0.97
22	2.52	0.00	2.52	2.89	0.00	2.89
23	4.07	0.00	4.06	1.46	0.00	1.46

Bei allen Bodenproben ist der überwiegende Anteil des Kohlenstoffs organischer Kohlenstoff. Der Anteil des anorganischen Kohlenstoffs variiert zwischen 0,41 und 0,01 % des Gesamtkohlenstoffs.

Die Kohlenstoffgehalte in den Oberböden im Kollau Einzugsgebiet liegen zwischen 0,55 und 5,6 %. Zwei Proben weisen deutlich höhere Gehalte mit 10,60 %. Im Profil 4 (Grothwisch ÜSG_rural) und 10,80 % im Profil 15 (Steinwiesenweg 2 HRB) auf, diese repräsentieren die fossilen Torfbänder, die an der Kollau teilweise zu finden sind. In den Unterböden weisen die Profile in urbanen Gebieten die deutlich höchsten Kohlenstoffgehalte

mit 13,41 %–2,25 % C_{org} auf. An den ruralen Standorten und in den HRB wurden in den Unterböden Kohlenstoffgehalte von 2,89 %–0,06 % festgestellt. Dies verdeutlicht die Relevanz von möglichen Umlagerungsprozessen und Aufschüttungen, die in urbanen Gebieten stattfinden, für den Kohlenstoffhaushalt der Böden.

Feldversuche zur Abbaubarkeit von organischer Substanz unterschiedlicher Qualität unter ausgewählten Standortfaktoren wurden konzipiert, um die spezifischen standörtlichen urbanen Einflussparameter auf den Kohlenstoffabbau zu analysieren. Im April 2017 wird dieser Feldersuch starten, bei dem eine Minicontainer Methode (Eisenbeis et al. 1999). Verwendung finden wird. Insbesondere urbane Faktoren werden hier überprüft werden. Parallel wird ein Inkubationsexperiment im Labor durchgeführt.

6.5 Bodenwasserhaushalt (AP 4.5)

Durch die Funktion des Wasserrückhaltes haben Überschwemmungsflächen die Fähigkeit, Hochwasserereignisse zu regulieren und zu puffern (Bradley 2002; Tockner & Stanford 2002). Diese Funktion wird jedoch in urbanen Überschwemmungsgebieten im Zuge von erhöhter Flächennutzung (insbesondere Versiegelung) und Beeinträchtigung von Bodenaufbau und Bodeneigenschaften beeinflusst. Damit diese Funktion unter den zukünftigen Klima- und Flächennutzungsbedingungen erhalten werden kann, müssen die Prozesse des Bodenwasserhaushaltes in dem urban geprägten Kollau Einzugsgebiet genau verstanden werden. In diesem Arbeitspaket wird untersucht, wie hoch das Wasserrückhaltevermögen der Böden der Überschwemmungsflächen an der Kollau im Jahresverlauf ist. Interessant ist dabei zu erfassen, ob das im Profil vorhandene Bodenwasser aus Überschwemmungsereignissen, durch ansteigendes Grundwasser oder Niederschlagsereignisse generiert wird.

Für die Analyse des Bodenwasserhaushaltes wurden sieben Überschwemmungsflächen mit unterschiedlicher Landnutzung (Landwirtschaft, Brache, Siedlungsgebiete und Wasserrückhalt) im Kollau Einzugsgebiet ausgewählt (Abb. 60).

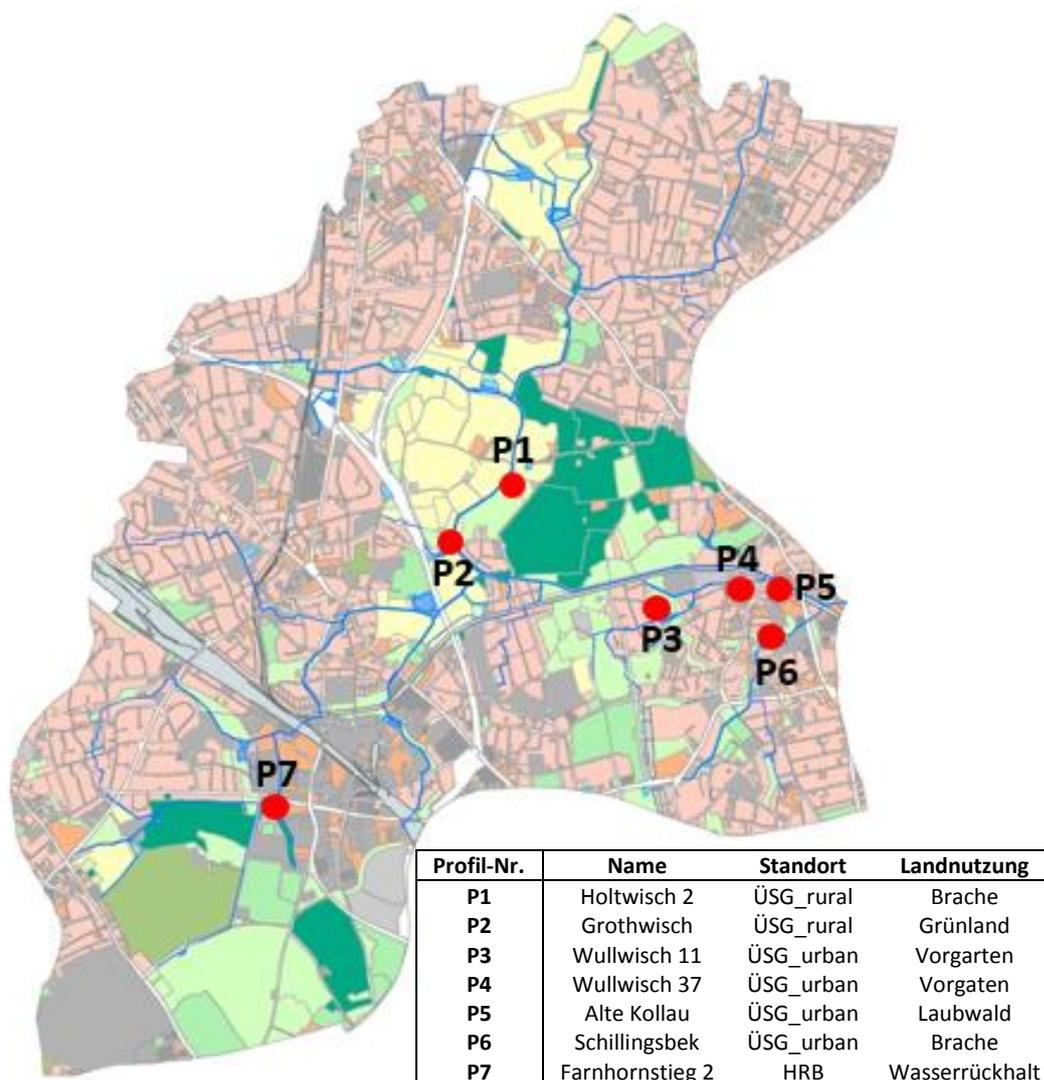


Abb. 60: Standorte der Bodenwassermessstationen im Kollau Einzugsgebiet. Quelle Kartengrundlage: LSBG.

Auf diesen Flächen wurden im Sommer bis Herbst 2016 Bodenwassermessstationen installiert, die den Bodenwassergehalt, die Bodenwasserspannung, die Bodentemperatur in 4–5 Bodentiefen bis zu 100 cm sowie den Grundwasserstand und den Pegel des angrenzenden Gewässers kontinuierlich über ein bis zwei Jahre erfassen. Eine angrenzende Klimastation des ‚HUSCO Netzwerkes‘ (HUSCO-Hamburg Urban Soil Climate Observatory) in der Stellingener Feldmark liefert meteorologische Daten wie z. B. den Niederschlag für den Messzeitraum. Bodenhydrologische-Bodenphysikalische Kenndaten werden anhand der entnommenen Mischproben und Stechringe für die jeweiligen Leitprofile erhoben. Durch Feldexperimente wird im Sommer 2017 die Infiltrationsleistung der Standorte ermittelt werden.

In den folgenden Grafiken werden die Ergebnisse für den Zeitraum von Sommer/Herbst 2016 bis Dezember 2016 dargestellt (Abb. 61 bis Abb. 64).

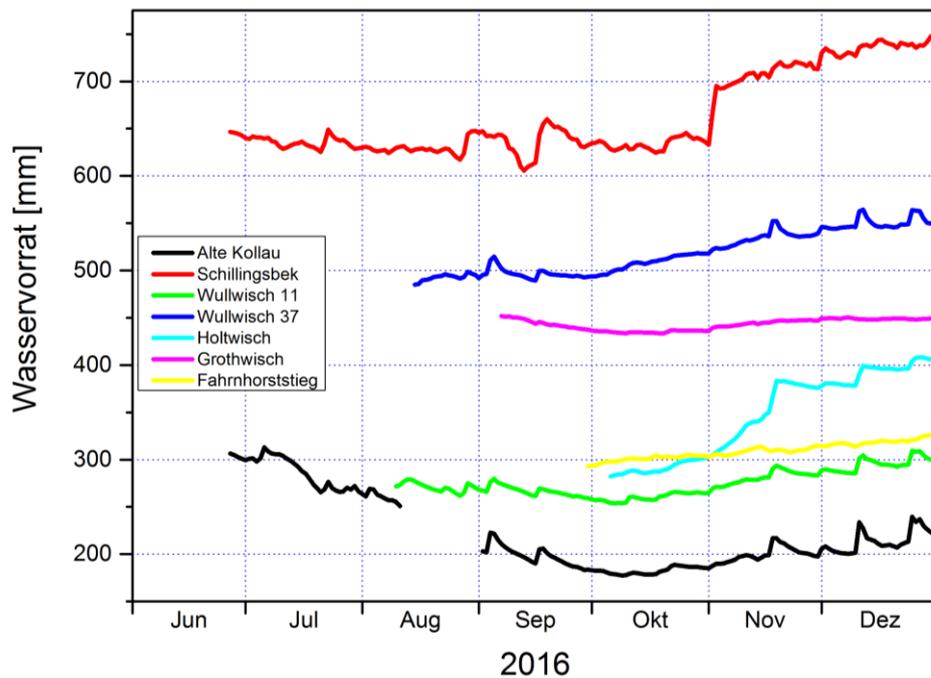


Abb. 61: Ermittelter Wasservorrat in 0–100 cm Tiefe an den sieben Bodenwasser Messstandorten im Kollau Einzugsgebiet.

Abb. 61 zeigt den Wasservorrat der sieben Bodenwasser Messstandorte im Kollau Einzugsgebiet. Die Standorte Schillingsbek, Wullwisch 37 und Grothwisch zeigen die höchsten Wasservorräte von 450 mm bis zu 750 mm bis zu einem Meter Bodentiefe auf. An allen drei Standorten wurden humusreiche Oberböden und torfreiche bzw. anmoorige Horizonte im Unterboden ermittelt. Wesentlich geringere Wasservorräte von 200 mm bis zu 400 mm konnten in sandigen Böden an den Standorten Holtwisch, Farnhornstieg, Wullwisch 11 und Alte Kollau aufgezeichnet werden. An allen Standorten ist eine Abnahme des Wasservorrates im Sommer und eine erneute Zunahme des Wasservorrates im beginnenden Winter zu beobachten.

Die Wasserspeicherfähigkeit in 0–100 cm Tiefe wird in Abb. 62 aufgezeigt. Berechnet ist hier, wieviel zusätzliches Wasser in dem Porenraum der Böden bis zu einer Tiefe von 1 Meter zu den jeweiligen Zeitpunkten aufgenommen werden könnte. Parallel zu dem in Abb. 61 dargestellten Wasservorrat nimmt die Wasserspeicherfähigkeit in den Profilen im Spätherbst ab. Die höchsten Wasserspeicherfähigkeiten im Jahr 2016 wurden in der Regel in den Monaten September bzw. Oktober ermittelt. Die Standorte Schillingsbek und Grothwisch besitzen aufgrund des hohen Wasservorrates vergleichsweise geringe Wasserspeicherfähigkeiten von 0–50 mm (November bis Dezember), während die Standorte Alte Kollau und Wullwisch 11 auch zum Jahresende hin noch eine höhere Wasserspeicherfähigkeit von 180 mm bis zu 250 mm aufzeigen.

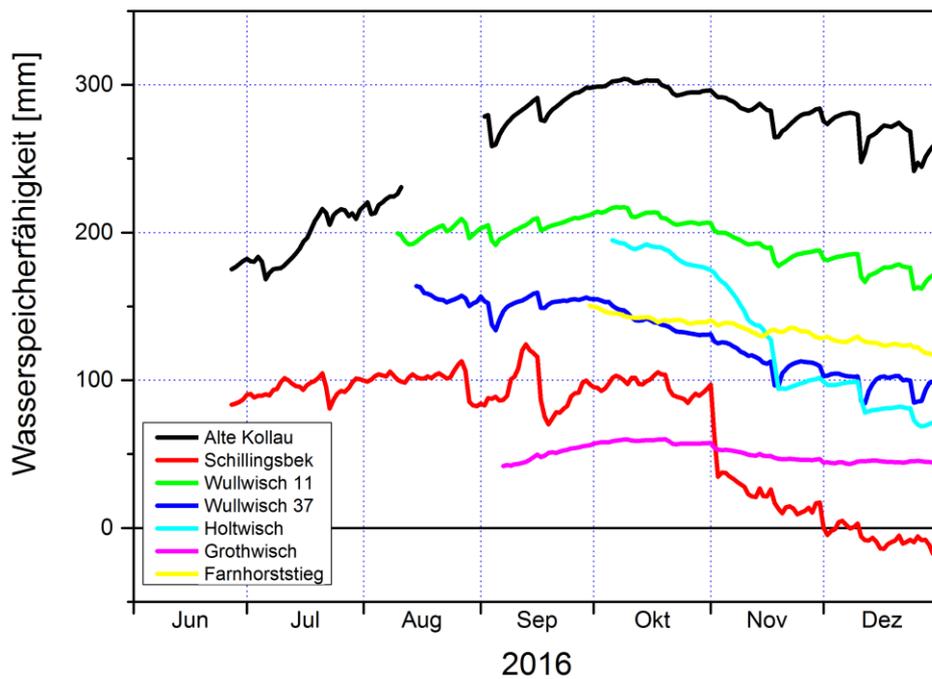


Abb. 62: Erfasste Wasserspeicherfähigkeit in 0–100 cm Tiefe an den sieben Bodenwasser Messstandorten im Kollau Einzugsgebiet.

Die Grundwasserstände in Abb. 63 zeigen deutliche Beziehungen zu den Wasservorräten auf. Der Standort Schillingsbek hat mit den höchsten Wasservorräten auch die höchsten Grundwasserstände und der Standort Alte Kollau zeigt mit den geringsten Wasservorräten auch den niedrigsten Grundwasserstand auf. Wie auch bei dem Verlauf der Zeitreihen in Abb. 61 und Abb. 62 nimmt die Höhe des Grundwasserstandes im Sommer 2016 ab und zum Winter wieder zu.

Die Niederschlagsdaten von der Klimastation' HUSCO' Stellingr Feldmark sind für den Auswertzeitraum in Abb. 64 angegeben.

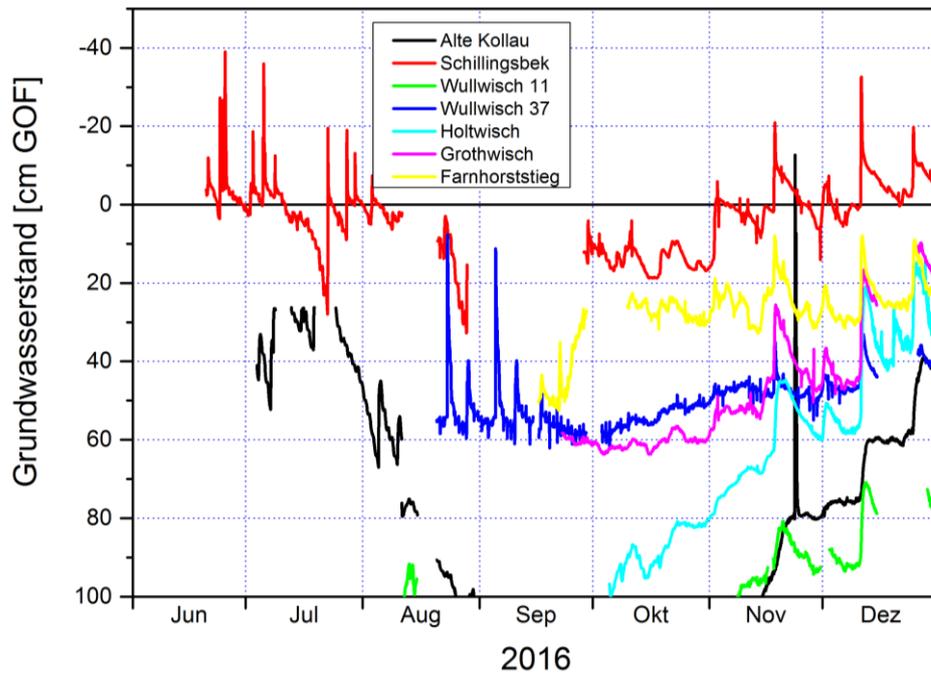


Abb. 63: Grundwasserstände an den sieben Bodenwasser Messstandorten im Kollau Einzugsgebiet.

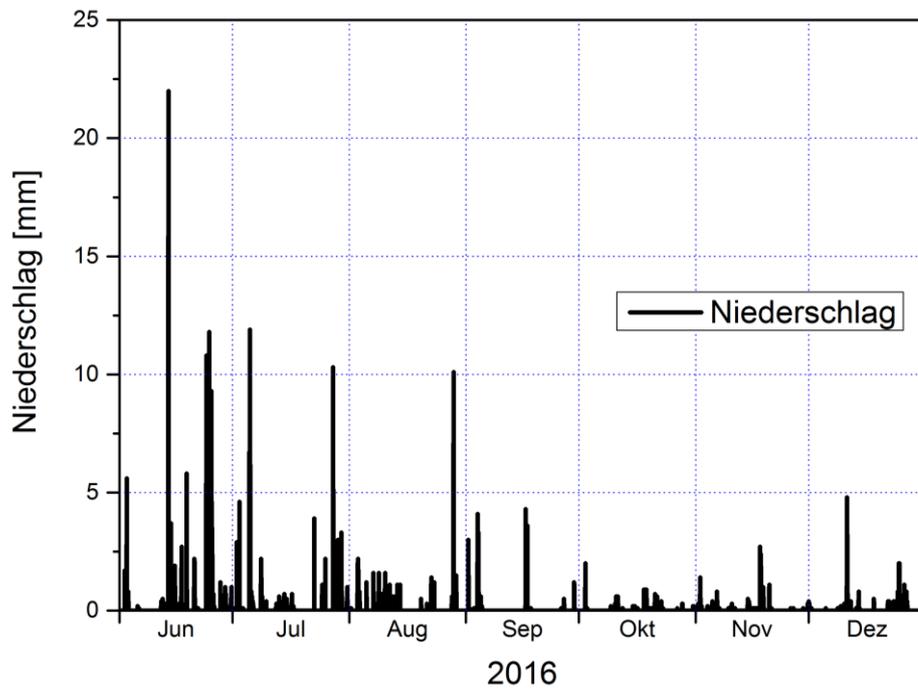


Abb. 64: Niederschläge der HUSCO Station: Stelling Feldmark.

6.6 Schadstoffinventar

Überschwemmungsgebiete und HRB können bei Vorhandensein von Schadstoffen die Ökosystemleistung Schadstoffretention übernehmen. Ziel dieses Arbeitspaket ist es, das Schadstoffinventar der Böden in den Überschwemmungsgebieten und in den Schlämmen der HRB zu erfassen.

In der Modellregion Kollau bestehen neben den Überschwemmungsgebieten 22 HRB, 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 HRB über die Aufnahme von ggf. schadstoffbelasteten Sedimenten und Wässern statt. Art und Konzentration der Schadstoffe können sich in Abhängigkeit des jeweiligen Wassereinzugsgebietes, welche in der Modellregion Kollau durch unterschiedliche Nutzungen (Landwirtschaft, Autobahn, Industrie und Siedlungen) geprägt sind, unterscheiden. Aufgrund von Entschlammungsmaßnahmen wurden bereits an einigen HRB die Sedimente analysiert und nach TR Boden LAGA M20 (Bertram & Banick 2004) eingestuft. Dabei konnten maximale LAGA Richtwerte von Z2 bis Z5 in den HRB festgestellt werden, wobei die hohen und sehr hohen Werte in HRB an Autobahnen gefunden wurden. Die ausschlaggebenden Schadstoffe für die Einstufung nach LAGA Klassen waren: organische Schadstoffe (MKW, PAK, PCB, EOX), Schwermetalle (Zink, Kupfer, Blei, Cadmium), Cyanid und TOC.

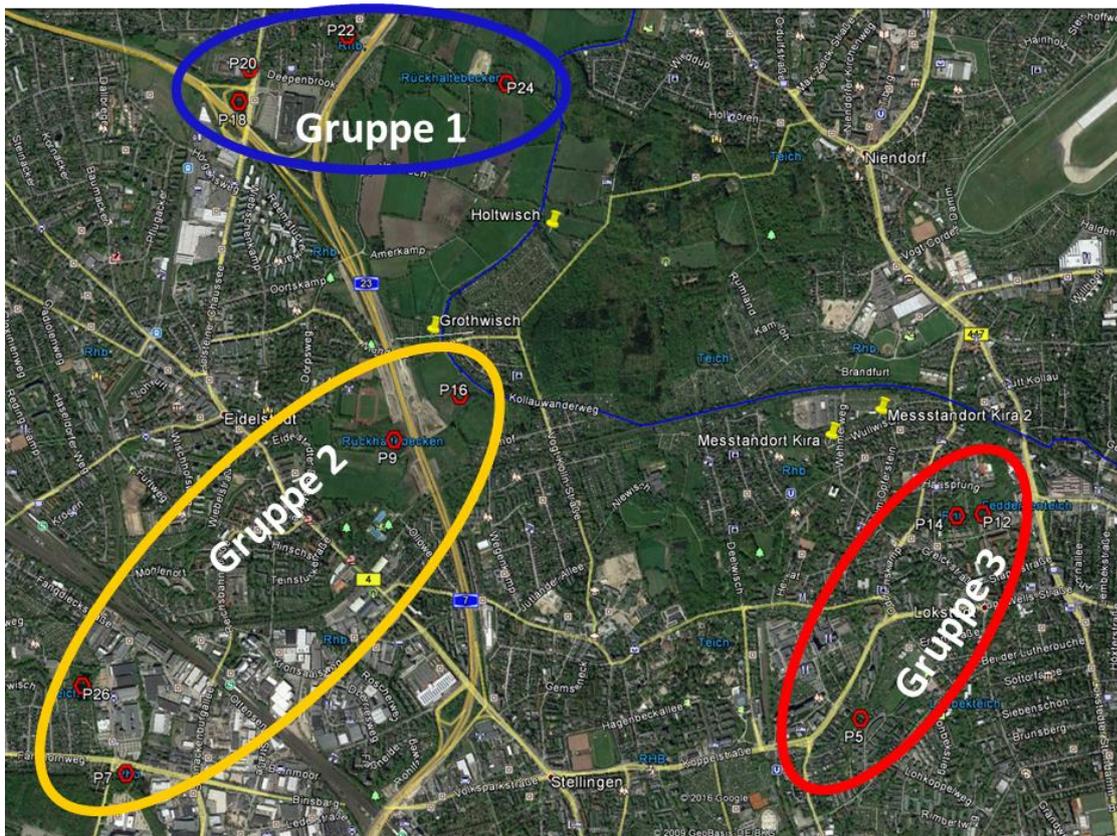


Abb. 65: Auswahl der 11 zu untersuchenden HRB im Kollau Einzugsgebiet. Gruppe 1: Grothwischgraben; Gruppe 2: Mühlenau; Gruppe 3: Schillingsbek.

Die Recherche über Eigenschaften und Bewirtschaftung der HRB und Überschwemmungsgebiet ist abgeschlossen. Abb. 65 zeigt die Auswahl der zu untersuchenden elf HRB. Die vier HRB des Grothwischgraben befinden sich in Gruppe 1 und sind durch die Autobahn und landwirtschaftliche Aktivität geprägt. In Gruppe 2 befinden sich die vier HRB an der Mühlenau, welche in einem industriell geprägten Einzugsgebiet liegen. Alle drei Becken der Schillingsbek repräsentieren Gruppe 3 mit einem siedlungsdominierten Einzugsgebiet (Abb. 65).

In den elf HRB wurden die Schadstoffgehalte an verschiedenen Positionen analysiert. Dafür wurden Bodenproben von den permanent überstauten und den periodisch überstauten Bereichen entnommen und jeweils zu Mischproben zusammengeführt. Die Probennahme erfolgte mit der Beeker Sampler Methode in Transekten quer zur Strömungsrichtung. Vor Ort fand zusätzlich eine bodenkundliche Kartierung der Uferbereiche und der überstauten Zonen statt. Im Labor wurden neben den gängigen bodenkundlichen Parametern, relevante Schadstoffe gemäß Technischer Richtlinie TR LAGA analysiert. Parallel wurde an den elf Leitprofilen in den Überschwemmungsgebieten dieselbe Schadstoffanalytik durchgeführt. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, wie sich das Schadstoffinventar in den Überschwemmungsgebieten und den HRB unterscheidet und wie deren Belastung gemäß TR LAGA zu bewerten ist. Des Weiteren soll analysiert werden, in wie fern sich die unterschiedlichen Einzugsgebiete und Bodeneigenschaften auf das Schadstoffinventar auswirken und ob Schadstoffe in Fließrichtung bewegt werden können. Die Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die Senkenfunktion der HRB für Schadstoffe zu identifizieren.

Die Beprobung und Laboranalyse der Schadstoffgehalte der Bodenproben der HRB und Überschwemmungsgebiete ist abgeschlossen und einige der bisher erfolgten Auswertungen werden im Folgenden dargestellt.

Die höchsten PAK, MKW und C_{org} Gehalte wurden in den HRB der Gruppe 1 und Gruppe 3 analysiert, während Gruppe 2 niedrigere Schadstoff- und C_{org} Gehalte aufweist (vgl. Abb. 67 und Abb. 68). Die Bodeneigenschaften C_{org} und Tongehalt weisen einen nicht sehr deutlich ausgeprägten Zusammenhang auf (Abb. 66), da einige Proben der Gruppe 1 höhere C_{org} -Gehalte in Relation zum Tongehalt aufweisen, während einige Proben der Gruppe 2 vergleichsweise hohe Ton-Anteile aufweisen. Ein gewisser Zusammenhang konnte zwischen vielen Schadstoffen und C_{org} -Gehalten festgestellt werden, z. B. für die PAK, allerdings weisen hier einige Proben der Gruppe 3 vergleichsweise hohe PAK-Belastungen auf, während einzelne Proben der Gruppe 1 vergleichsweise geringe Gehalte aufweisen (siehe Abb. 67 und Abb. 68). Die Konzentrationen der Spurenmetalle Blei, Zink, Cadmium und Kupfer sind ebenfalls in der Gruppe 1 und Gruppe 3 am höchsten und in der Gruppe 1 niedriger. Insbesondere die stark anthropogen geprägten HRB weisen höhere Schadstoffgehalte auf. Einige der Schadstoffe zeigen einen sehr engen Zusammenhang der Schadstoffgehalte (z. B. Kupfer und Zink, Abb. 69), bei anderen wie zum Beispiel zwischen PAK und MKW besteht nur insofern ein Zusammenhang, dass bei bestimmten MKW-Gehalten eine Spannbreite von PAK-Gehalten möglich ist, die aber als obere Einhüllende einen bestimmten PAK-Gehalt nicht zu überschreiten scheinen (Abb. 70). In Gruppe 3 sind im HRB Von-Eicken-Park erhöhte Phosphor Werte gemessen wurden (Abb. 71). Dies kann mit der erhöhten Nutzung des HRB durch Gänse erklärt werden. Weitere Datenauswertungen werden erfolgen, um die Zusammenhänge zu analysieren. Insbesondere ist in diese Betrachtung unbedingt der Zeitpunkt der letzten Entschlammungsmaßnahme zu integrieren, dies stellt den nächste Auswerteschritt dar.

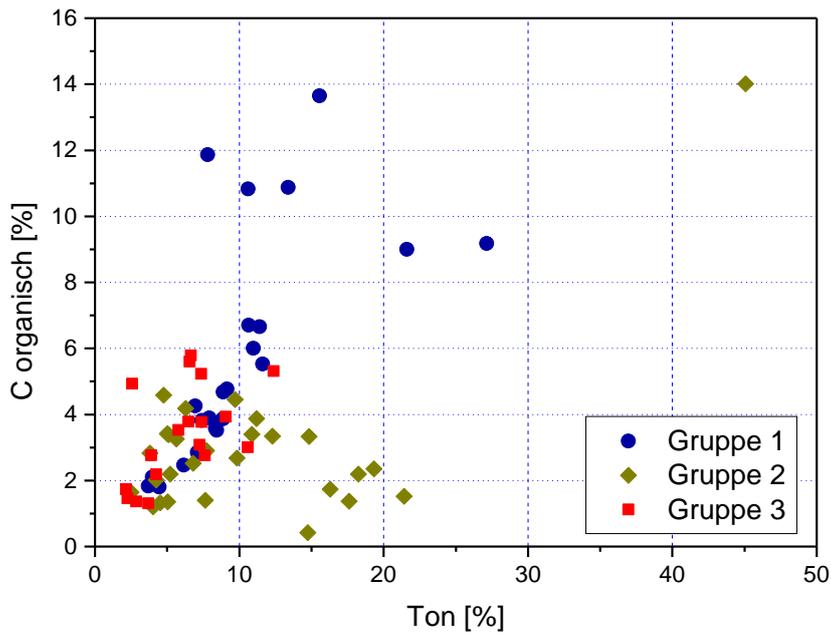


Abb. 66: Zusammenhang der ermittelten C_{org}-Gehalte [%] und der Tongehalte [%] aller elf HRB.

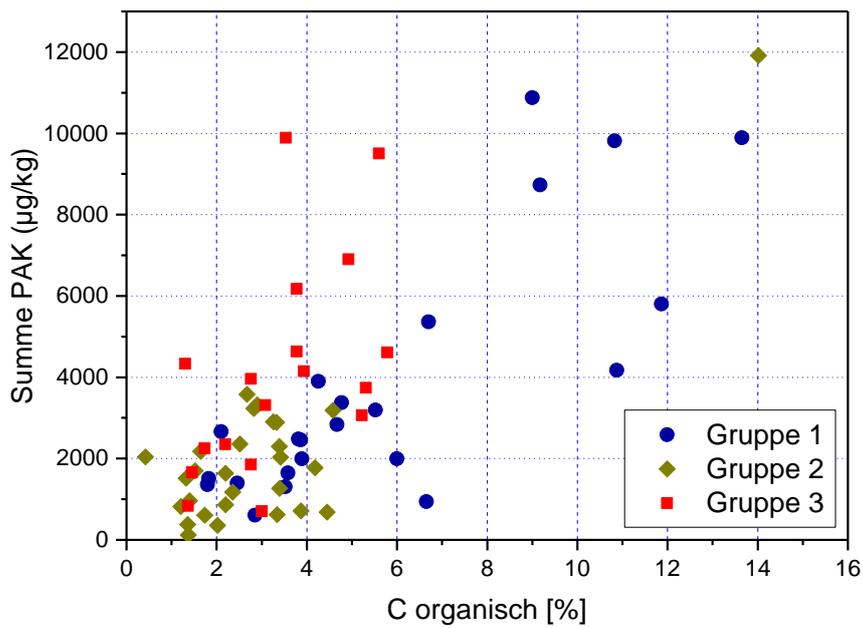


Abb. 67: Zusammenhang zwischen Summe EPA-PAK [µg/kg] und C_{org}-Gehalten [%] aller elf HRB.

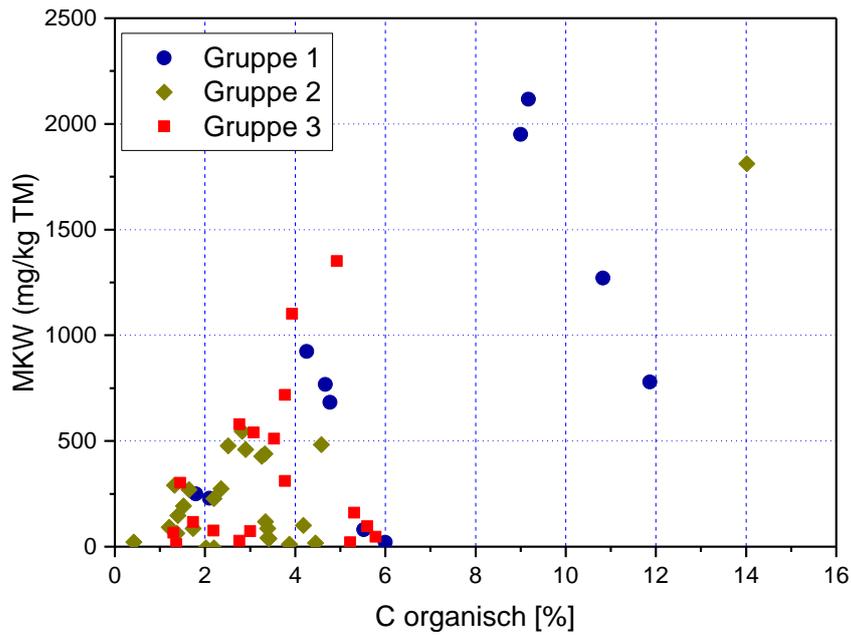


Abb. 68: Zusammenhang von Summe MKW [mg/kg] und C_{org} -Gehalten [%] aller elf HRB.

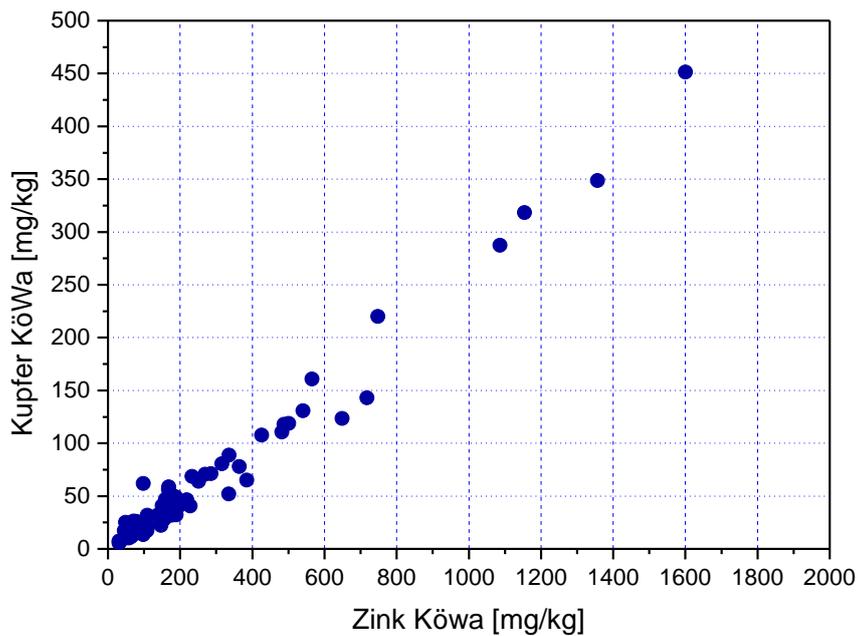


Abb. 69: Zusammenhang von Kupfer [mg/kg] und Zink [mg/kg] aufgeschlossen mit der Königswasser Methode.

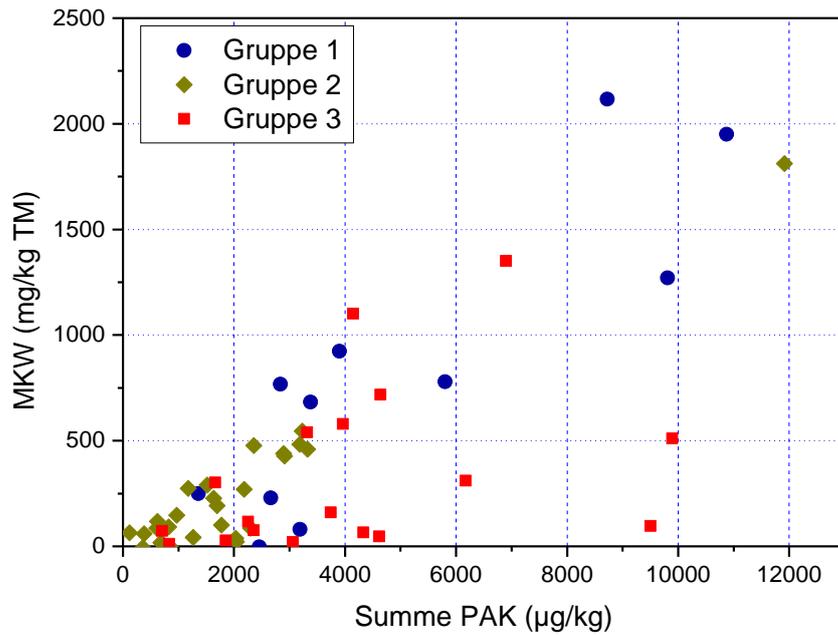


Abb. 70: Zusammenhang von Summe MKW [mg/kg] und Summe PAK [µg/kg] aller elf HRB.

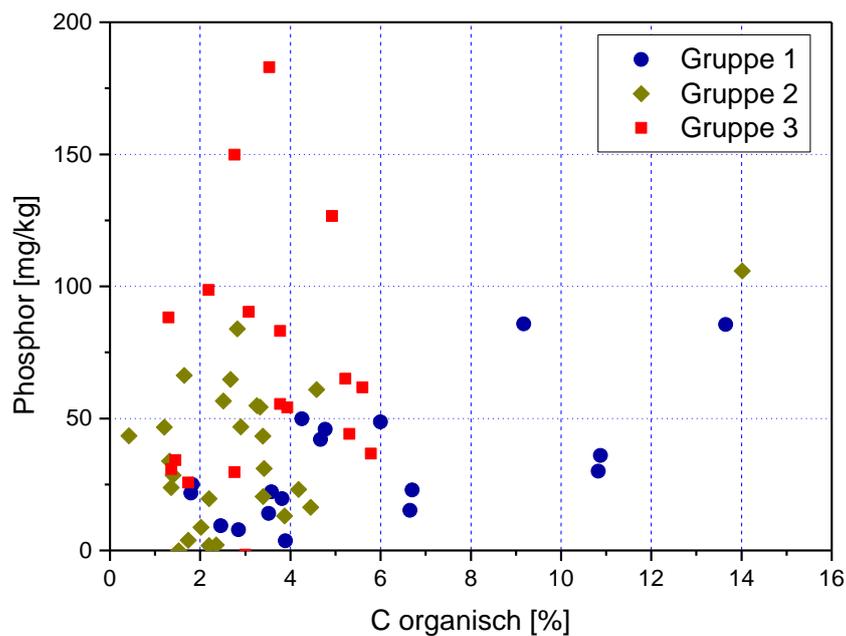


Abb. 71: Zusammenhang zwischen Gehalten von Phosphor [mg/kg] und C_{org} [%] aller elf HRB.

7 Ökonomische Analyse (AP 6, HWWI)

Malte Jahn, Andreas Röhlig, Marie-Christin Rische

Arbeitspaket (AP) 6 widmet sich der Ökonomischen Analyse eines nachhaltigen Regenwassermanagements in urbanen Räumen und zielt auf die (Weiter-)Entwicklung hierfür 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 bezüglich Hochwassermanagement (AP 6.3).

Über fallbezogene Analysen wird der Nutzen ökonomischer Methoden für das urbane Regenwassermanagement demonstriert. Die verwendeten Ansätze werden hinsichtlich der Datenvoraussetzungen auf ihre Übertragbarkeit geprüft und in Leitfäden zusammengefasst. Ergebnis wird eine allgemein anwendbare, ökonomische Heuristik zur Entscheidungsunterstützung im urbanen, nachhaltigen Hochwassermanagement sein.

7.1 Flächennutzungskonkurrenzen (AP 6.1)

7.1.1 Hintergrund und Arbeitsauftrag

Der urbane Raum ist gekennzeichnet durch eine besonders dichte Besiedelung, welche sich in einer anthropogen geprägten Raumkonfiguration mitsamt entsprechender baulicher Strukturen widerspiegelt. Aufgrund der intensiven Nutzung und engen Bebauung stehen im Stadtgebiet vergleichsweise wenig „freie“ Flächen zur Verfügung, die für eine Konversion und Ausdehnung einzelner Nutzungsarten verwendet werden können. Dadurch entstehen Knappheiten, welche die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV), also jener Flächen, die im besonderen Maße durch den Menschen genutzt und gestaltet werden, limitieren. Vor dem Hintergrund dieser Einschränkungen und in Anbetracht der oftmals zu beobachtenden Unvereinbarkeit verschiedener Nutzungsarten, geht die Ausdehnung einer Nutzungsart in der Regel zu Lasten anderer. Dies ist der Kern dessen, was als Flächennutzungskonkurrenz verstanden wird.

Für das Entwässerungsmanagement sind die Flächenentwicklung und daraus resultierende Nutzungskonkurrenzen in zweifacher Hinsicht interessant: Zum einen bestimmt die Art der Flächennutzung die Form der Bebauung und damit den Grad der Bodenversiegelung. Diese wirkt sich unmittelbar auf das Retentions- und Infiltrationspotential des Bodens aus. Je stärker die Versiegelung, desto größer der Anteil anfallender Regenmengen, der unmittelbar in das Kanalnetz bzw. Flusssystem geleitet werden muss (Sachs & Kaule 2000). Dies kann das (lokale) Hochwasserrisiko mitunter deutlich beeinflussen. Zum anderen ist das Entwässerungsmanagement selbst auf Flächen angewiesen und tritt somit in Konkurrenz mit anderen Nutzungsformen. Wo Fläche knapp ist, sind raumeinnehmende Managementoptionen schwerer zu realisieren.

Maßgebliche Einflussgrößen der Flächennutzung und -bebauung finden sich in sozio-ökonomischen Parametern. So bestimmen bspw. die Bevölkerungsentwicklung und Migrationsprozesse den Bedarf an Wohnflächen. Wirtschaftliche Prosperität hingegen ist eine wesentliche Determinante der Nachfrage nach Industrie- und Gewerbeflächen. In Hamburg und anderen (Groß-)Städten Deutschlands ist aufgrund demografischer und ökonomischer Entwicklungen mit einer zukünftigen Nutzungsintensivierung zu rechnen, die sich voraussichtlich sowohl in der Ausweitung der SuV als auch deren Nachverdichtung nie-

erschlagen werden. Entsprechend ist zu erwarten, dass sich (ungeachtet des Klimaeinflusses) Hochwasserrisiken erhöhen und gleichzeitig weniger Flächen für die Hochwasserregulierung zur Verfügung stehen.

Vor diesem Hintergrund leiten sich für die ökonomische Analyse innerhalb des Projekts Stuck folgende Fragen ab:

Wie lässt sich die zukünftige Flächenentwicklung sinnvoll abschätzen, um zukünftige Nutzungskonflikte beurteilen zu können? Welche Methoden stehen dafür zur Verfügung? Welche Entwicklung lässt sich für die Modellregionen erwarten? Was bedeutet dies für die Bodenversiegelung?

7.1.2 Analysegegenstand 1: Flächenentwicklung

Wie eingangs erwähnt, kann die Flächennutzung das Hochwassermanagement entscheidend beeinflussen. Für die langfristige Planung ist es daher notwendig, zukünftige Entwicklungen in der Flächennutzung abzuschätzen. Insbesondere interessieren dabei die Bestandteile der SuV, also die Gebäude- und Freiflächen, Betriebsflächen, Verkehrsflächen, Erholungsflächen sowie Friedhofsflächen. Circa 60 % der Bodenfläche Hamburgs entfallen aktuell auf diese fünf Nutzungsarten, wobei in der Vergangenheit eine deutlich Zunahme zu beobachten war (Statistikamt Nord 2017b). Allein im Zeitraum von 2000 bis 2014 wuchsen die SuV um rund 2.300 ha (ca. 5,4 %). Diesen Wandel für die Zukunft abzuschätzen und die daraus resultierenden Nutzungskonkurrenzen offenzulegen, ist Aufgabe dieses Analysegegenstandes. Allgemeines Ziel ist es, eine einfache, übertragbare Methodik an die Hand zu geben, mit deren Hilfe generelle Abschätzungen über die zukünftige Flächenentwicklung und den daraus abgeleiteten Nutzungskonkurrenzen in urbanen Gebieten zu ermöglichen. Diese Methodik soll auf die beiden Modellregionen angewandt werden.

Vorbereitende Arbeiten:

Die Arbeiten in der ersten Hälfte der Projektlaufzeit umfassten im Wesentlichen Literaturrecherche und Datensammlung sowie -aufbereitung. Insbesondere ging es darum, Ansätze zur Flächenprognose und die theoretische Fundierung der Auswahl potentieller Einflussgrößen auf die Flächenentwicklung zu untersuchen. Neben den Flächennutzungsdaten (Statistikamt Nord 2017a, 2017b) wurden zahlreiche Zeitreihendaten potentieller sozio-ökonomischer Einflussgrößen erfasst. Hierzu zählen die Bevölkerungsentwicklung, die Anzahl der Haushalte, Bruttowertschöpfung, Erwerbstätigkeit, verfügbares Einkommen, Haushaltsgrößen, Anzahl der Gebäude sowie Wohnungsgrößen (Statistikamt Nord 2017a, 2017b; VGRdL 2015, 2016a, 2016b). Dabei wurden insbesondere solche Daten berücksichtigt, die bundesweit zur freien Verfügung stehen, um die Übertragbarkeit der gewählten Ansätze auf andere Regionen zu ermöglichen. Während Flächen-, Bevölkerungs- aber auch Wohnungsbaudaten für Hamburg auf Bezirksebene erhältlich sind, liegen Wirtschaftsdaten lediglich auf Stadtebene vor. Der Beobachtungszeitraum für die Flächennutzung der Vergangenheit begrenzt sich auf die Periode 2000 bis 2014 und umfasst damit 15 Jahre. Maßgeblich begründet sich dies aus der limitierten Verfügbarkeit der Flächennutzungsdaten auf Bezirksebene.

Besondere Aufmerksamkeit musste der Aufbereitung der Flächennutzungs- aber auch der Bevölkerungsdaten gewidmet werden. Erstere bedurften einer nachträglichen Korrektur, da sich die Erfassung und Zuordnung einzelner Flächen innerhalb des Referenzzeitraums verändert hat und die Zeitreihen folglich inkonsistent waren. Einige der beobachtete

„Sprünge“ in den Primärdaten stellen somit keine eigentliche Veränderung in der Flächennutzung dar, sondern sind schlicht auf statistische Effekte zurückzuführen, für die korrigiert werden musste. Entsprechend wurden die Daten auf die Zusammensetzung im Jahr 2010 „normiert“, in welchem die letzte weitreichende Flächenneuordnung beobachtet wurde. Basierend auf den Ergebnissen des Zensus 2011 mussten die Hamburger Bevölkerungszahlen ebenfalls korrigiert werden. Die festgestellte Überschätzung von ca. 4,6 % wurde aus den vorangehenden Jahren heraus gerechnet (Statistikamt Nord 2013).

Zwischenergebnisse:

Die **deskriptive Beschreibung** der Flächenentwicklung in Hamburg und den Untersuchungsbezirken zeigt eine deutliche Ausweitung der SuV im Beobachtungszeitraum – allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Während für Hamburg insgesamt auf Basis der korrigierten Daten ein Zuwachs von 5,4 % zu beobachten war, betrug die Veränderung in Eimsbüttel und Bergedorf 3,0 % respektive 17,4 %. Insbesondere die Gebäude- und Freiflächen, zu denen unter anderem Wohnflächen oder öffentlich und wirtschaftlich genutzte Flächen zählen, sind Triebfedern dieser Entwicklung. Darüber hinaus tragen auch die Erholungs- und Verkehrsflächen zu der Expansion der SuV bei. Trotz ähnlicher Grundtendenzen in den Entwicklungen sind mitunter Unterschiede in der Größenordnung der Veränderungen auszumachen (siehe Tab. 19). So ist es bspw. auffällig, dass in Eimsbüttel die Erholungsflächen noch vor den Gebäude- und Freiflächen den größten Anteil an der Ausweitung der SuV haben. In Bergedorf hingegen dreht sich das Bild um. Die unterschiedlichen Entwicklungen erklären sich insbesondere aus den verschiedenen Ausgangsbedingungen. So liegt im Basisjahr 2000 der Anteil der SuV an der Bezirksfläche in Eimsbüttel mit 83 % deutlich über den 28 % in Bergedorf.

Tab. 19: Veränderung der Flächennutzung (2000 bis 2014). Quelle: Statistik Nord, HWWI.

	Sied- lungs- und Ver- kehrsflä- chen	Gebäude- und Frei- flächen	Erho- lungsflä- chen	Verkehrs- flächen	Betriebs- flächen (ohne Ab- bauland)	Friedhöfe
Hamburg						
Veränderung ggü. 2000 (in ha)	2307,4	1150,6	603,7	540,4	47,9	-35,1
Veränderung ggü. 2000 (in %)	5,4 %	4,2 %	11,5 %	6,1 %	8,6 %	-4,2 %
Anteil an der Ver- änderung der SuV		49,9 %	26,2 %	23,4 %	2,1 %	-1,5 %
Eimsbüttel						
Veränderung ggü. 2000 (in ha)	126,0	42,2	82,7	0,1	4,8	-3,7
Veränderung ggü. 2000 (in %)	3,0 %	1,5 %	20,3 %	0,0 %	257,4 %	-13,4 %
Anteil an der Ver- änderung der SuV		33,5 %	65,6 %	0,0 %	3,8 %	-2,9 %
Bergedorf						
Veränderung ggü. 2000 (in ha)	747,3	470,0	220,9	40,7	18,0	-2,3
Veränderung ggü. 2000 (in %)	17,4 %	19,4 %	28,4 %	4,4 %	14,3 %	-8,6 %
Anteil an der Ver- änderung der SuV		62,9 %	29,6 %	5,4 %	2,4 %	-0,3 %

Die Verfügbarkeit „freier“ Flächen (insbesondere Landwirtschaftsflächen) jedoch limitiert die expansive Entwicklung der SuV maßgeblich. Die deutlich geringere Ausdehnung der SuV in Eimsbüttel gegenüber Bergedorf spiegelt dies offenkundig wider.

Neben der expansiven Entwicklung der SuV, sind zudem Entwicklungen innerhalb der SuV festzustellen. Während die Gebäude- und Freiflächen zwar insgesamt wachsen, werden mitunter einzelne Unterkategorien, wie bspw. die öffentliche Flächen oder Mischnutzungsflächen, zugunsten von Wohn- und Wirtschaftsflächen zurückgedrängt. Solche Entwicklungen sind insbesondere in dichter bebauten Gebieten zu beobachten.

Auf Grundlage der umfassenden deskriptiven Analyse der historischen Entwicklung wurde nach einfach anwendbaren, übertragbaren **Ansätzen für die Projektion der zukünftigen Flächenentwicklung** gesucht.

Zu den verschiedenen untersuchten Ansätzen zählt einerseits die Trendfortschreibung. Diese kann einen ersten Überblick über langfristige Entwicklungstendenzen liefern und bietet den Vorteil, dass neben der Flächennutzung kein weiterer Datenbedarf besteht. Aufgrund der natürlichen Begrenzung des Stadtgebietes und somit begrenztem Wach-

tumspotential von Flächen erscheint es sinnvoll, auf logarithmische Ansätze (oder andere Varianten mit abnehmender Entwicklungstendenz) zurückzugreifen. Dies berücksichtigt, dass sich mit zunehmender Nutzung die zur Verfügung stehende Fläche reduziert und Ausweitungsmöglichkeiten einzelner Nutzungsarten somit limitiert werden.

Während der Ansatz einen leicht zu generierenden, auf dem historischen Verlauf beruhenden Hinweis darauf liefert, wie sich die Flächennutzung zukünftig entwickeln könnte, ist er jedoch auch mit starken Limitationen behaftet. Ein dem Ansatz immanentes Problem ist die besondere Abhängigkeit vom zugrundeliegenden Beobachtungszeitraum. Vor allem wenn außergewöhnliche, für die Zukunft nicht zu erwartende Entwicklungen in den Beobachtungszeitraum fallen, ist mit Verzerrungen bei der Trendfortschreibung zu rechnen.

Für den zweiten Ansatz wird die Flächennutzung auf der Basis möglicher Einflussgrößen untersucht und fortgeschrieben. Hierzu gehörten Bevölkerungs- und Haushaltszahlen, das Hamburger Bruttoinlandsprodukt (BIP) sowie die sektorale Bruttowertschöpfung (BWS), die verfügbaren Einkommen, Neubaudaten aber auch die Entwicklung der Haushalts- und Wohnungsgrößen. Der Einfluss dieser Faktoren auf die verschiedenen Nutzungsarten (SuV-Komponenten) wurde einzeln und in unterschiedlicher Kombination untersucht.

Für den hier verfolgten Zweck erscheint es sinnvoll, (nur) die Bevölkerungsentwicklung als erklärende Variable heranzuziehen. Zum einen stellt sie eine entscheidende Größe für die Entwicklung der verschiedenen SuV-Komponenten dar. Zum anderen bieten Bevölkerungsdaten gegenüber anderen möglichen erklärenden Variablen den Vorteil, dass ihre historische Entwicklung auch auf Bezirksebene verfügbar ist und ihre Prognose weithin etabliert und frei verfügbar ist (Statistikamt Nord 2015). Es zeigt sich, dass sich der Erklärungsgehalt des Regressionsmodells durch die Aufnahme weiterer Variablen nur geringfügig erhöht, hiermit jedoch ein Verlust an Freiheitsgraden verbunden ist. In Anbetracht der kurzen zur Verfügung stehenden Zeitreihe würde dies zu weiteren Ungenauigkeiten in der Parameterschätzung führen.

Die vorgenommene Projektion der Flächennutzungsentwicklung beruht daher auf dem geschätzten linearen Zusammenhang zwischen den jeweiligen SuV-Komponenten und der Bevölkerungszahl. Basierend auf dem für den Beobachtungszeitraum errechneten Regressionsparameter und mit Hilfe vorliegender Bevölkerungsprognosen lassen sich Szenarien der zukünftigen Flächenentwicklung ableiten.

Der Vorteil des Regressionsansatzes gegenüber der Trendfortschreibung besteht insbesondere darin, dass er der Flächenentwicklung eine Erklärung zugrunde legt. Unter der Annahme, dass der berechnete langfristige Zusammenhang zwischen der abhängigen (Flächennutzung) und unabhängigen Variablen (Bevölkerung) beständig ist, lässt sich die für sich schwierig abschätzbare Entwicklung der Flächennutzung aus der besser abschätzbaren Entwicklung der Bevölkerung herleiten.

Die **Projektionsergebnisse**, basierend auf der Regression der Flächennutzungs- auf die Bevölkerungsentwicklung für den Zeitraum 2000 bis 2014, sind für die beiden Bezirke Eimsbüttel und Bergedorf in Abb. 72 bis ins Jahr 2035 dargestellt. Die beiden gezeigten Projektionen beruhen auf dem W1 und W2 Szenario der 13. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Bundes und der Länder (Statistikamt Nord 2015). Während beide Varianten gleiche Geburten- und Sterbeziffern annehmen, geht Variante W2 von einem höheren jährlichen Zuwanderungssaldo aus. Es wird angenommen, dass das aktuelle Zuwanderungssaldo für Deutschland bis zum Jahr 2021 zurückgeht. Variante W1 rechnet ab

dann mit einer konstanten jährlichen Netto-Zuwanderung von 100.000 wohingegen Variante W2 von einem konstanten Saldo von 200.000 ausgeht. Der Anteil Hamburgs wird entsprechend gegebener Quoten ermittelt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass für beide Bezirke mit einer Zunahme der SuV zu rechnen ist, wobei der Anstieg im W2 Szenario stärker ausfällt. Aufgrund einer sich abschwächenden Bevölkerungsentwicklung nimmt auch der Anstieg der SuV im Zeitverlauf ab. Die projizierten Veränderungen sind, wie schon in der Vergangenheit, für Bergedorf deutlich größer. Während in Eimsbüttel mit einer Zunahme der SuV entsprechend der Szenarien mit 72,5 ha (1,7 %) bis 112,8 ha (2,6 %) zu rechnen ist, zeigt sich eine projizierte Zunahme der SuV in Bergedorf von 825,41 ha (16,4 %) bis 1.277,6 ha (25,4 %). Die projizierte Entwicklung der einzelnen SuV-Komponenten kann der Tab. 19 entnommen werden.

Auffällig ist, dass in beiden Bezirken der Großteil des SuV-Wachstums durch die Gebäude- und Freiflächen, aber auch durch die Zunahme von Erholungsflächen begründet wird. Aufgrund des geringen Flächenanteils spielt das Wachstum der Betriebsflächen und die projizierte Schrumpfung der Friedhofsflächen keine nennenswerte Rolle für die Gesamtentwicklung.

Für das Jahr 2030 liegen Vergleichsberechnungen für das gesamte Hamburger Stadtgebiet vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) vor. Eigene Berechnungen für Gesamt-Hamburg zeigen, dass das W2-Szenario am nächsten an den Ergebnissen des BBSR liegt. Für das Jahr 2030 unterscheiden sich die Ergebnisse für die SuV lediglich um 52,6 ha (0,1 %). Auch die Unterschiede bei den Gebäude- und Freiflächen sowie den Verkehrsflächen sind mit 437,5 ha (1,5 %) und 136,8 ha (1,4 %) eher gering, wobei die Berechnungen jeweils einen stärkeren Anstieg dieser Flächennutzungsarten zeigen. Bei den Betriebsflächen (ohne Abbauland) und den Erholungsflächen (in diesem Fall inklusive der Friedhofsflächen) zeigen die Ergebnisse jedoch niedrigere Werte gegenüber der BBSR-Prognose auf. Die Unterschiede belaufen sich hierbei auf 234,1 ha (27,8 %) respektive 654,4 ha (8 %).

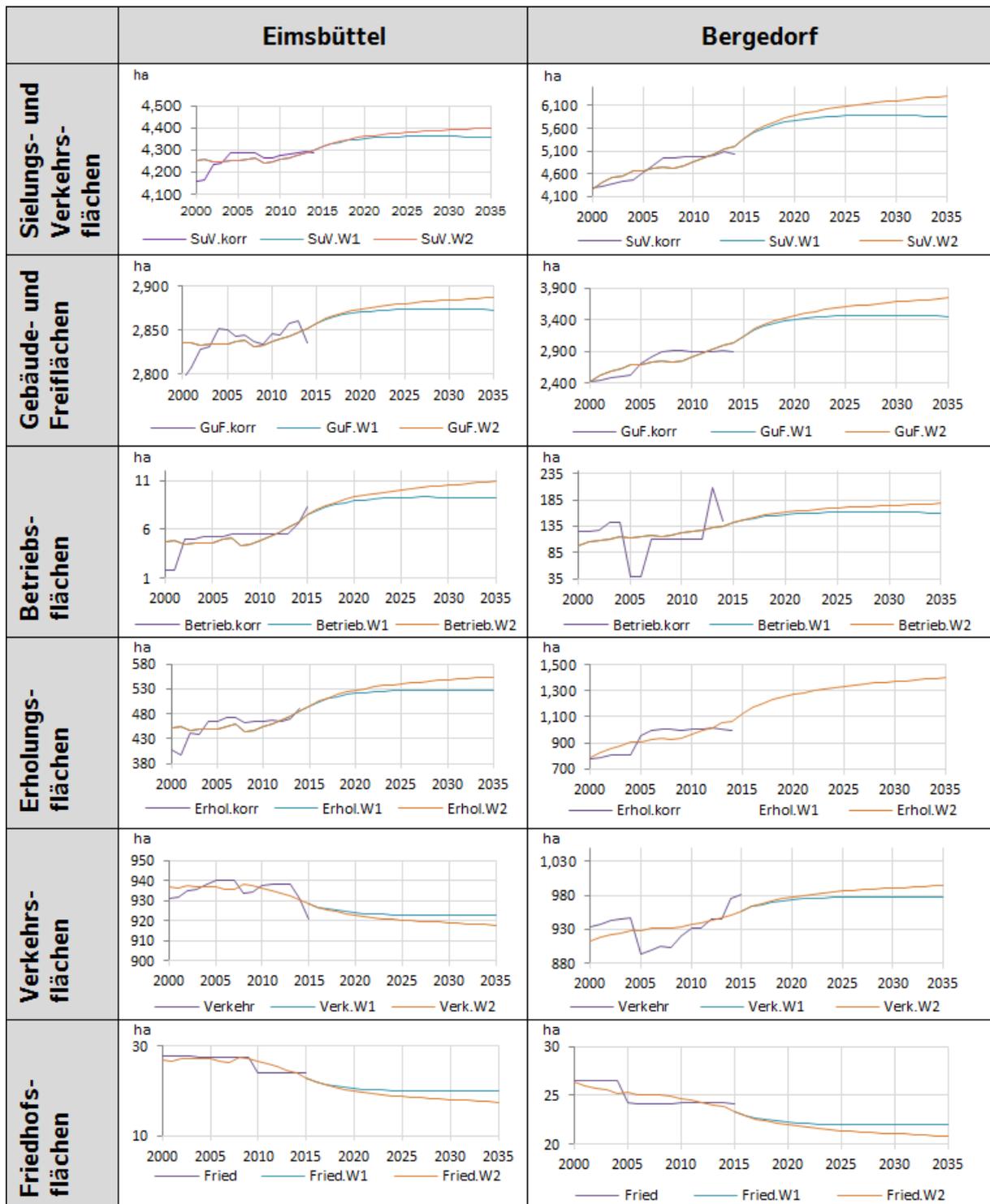


Abb. 72: Flächenentwicklung bis 2035. Quellen: Statistik Nord, HWWI.

7.1.3 Analysegegenstand 2: Bodenversiegelung

Unter der Flächen- bzw. Bodenversiegelung versteht man das partielle bis komplette Abdichten offener Böden durch die Überbauung mit Gebäuden, Verkehrswegen oder auch Erholungs- und Freizeitanlagen (Sachs & Kaule 2000; Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder 2008). Indem sie das Retentionspotential und entspre-

chend das Einspeisevolumen beeinflusst, wirkt sich die Versiegelung auf Hochwasserrisiken aus. Entsprechend müssen städtische Entwässerungs- und Hochwasserschutzkonzepte die Bodenversiegelung als Komponente in ihre langfristigen Planungen einbinden.

Berechnungsansatz:

Für die Berechnung der Bodenversiegelung wird auf den Ansatz der Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (UGRdL) zurückgegriffen (Frie & Hensel 2007). Diese Methodik weist den einzelnen Nutzungsarten der SuV einen individuellen Versiegelungsgrad zu und korrigiert diesen für die Dichte der Bebauung, welcher als Anteil der SuV an der Fläche der tatsächlichen Nutzung gemessen wird. Die insgesamt versiegelte Fläche ergibt sich entsprechend als Summe der durch die einzelnen Nutzungsarten versiegelten Flächen. Formal bedeutet dies:

$$A_v = \sum_i ((\beta_{i,1} + \beta_{i,2} * D) * A_i).$$

Hierbei ist A_v die insgesamt versiegelte Fläche (in ha), i der Index für die Nutzungsarten ($i \in [\text{Gebäude- und Freiflächen, Verkehrsflächen, Erholungsflächen, Betriebsflächen, Friedhofsflächen}]$), A_i ist die von Nutzungsart i eingenommene Fläche, $\beta_{i,1}$ und $\beta_{i,2}$ sind Parameter, die empirisch für die jeweilige Nutzungsart ermittelt wurden und D beschreibt das Dichtemaß, welches sich als Quotient der SuV und der Fläche der tatsächlichen Nutzung errechnet. Über das Dichtemaß wird berücksichtigt, dass dichter besiedelte Gebiete eine engere Bebauung aufweisen. Dies impliziert, dass die Flächen bestimmter Nutzungsarten bei einer Erhöhung des SuV-Anteils intensiver genutzt werden und entsprechend stärker versiegelt sind. Dies gilt innerhalb des zugrunde gelegten Ansatzes streng genommen nur für die Gebäude- und Freiflächen sowie die Verkehrsflächen. Von den Erholungsflächen wird hingegen angenommen, dass sie mit zunehmendem Anteil der SuV an der Bodenfläche weniger stark versiegelt sind. Betriebs- und Friedhofsflächen haben einen konstanten Versiegelungsanteil. Nimmt der Anteil der SuV an der Bodenfläche zu, so wird über den Anstieg des Parameters D die zu erwartenden Nachverdichtungstendenz berücksichtigt.

Der beschriebene Berechnungsansatz nutzt die von der amtlichen Statistik frei zur Verfügung gestellten Flächennutzungsdaten. Für die Projektion der zukünftigen Bodenversiegelung kann daher auf die Szenarien der Flächenentwicklung, die unter Analysegegenstand 1 beschrieben wurde, zurückgegriffen werden.

Zwischenergebnisse:

Die berechneten Versiegelungswerte von 2000 bis 2035 (basierend auf dem Flächenentwicklungsszenario W2) sind für Hamburg und die beiden Bezirke Eimsbüttel und Bergedorf in Tab. 20 wiedergegeben. Da sich die Versiegelung im Wesentlichen aus der Entwicklung der SuV ergibt, ist mit der unter Analysegegenstand 1 beschriebenen Zunahme der SuV-Komponenten auch eine Zunahme der Bodenversiegelung verbunden. Sowohl für Hamburg insgesamt als auch für die beiden Bezirke ist mit einem deutlichen Anstieg der Bodenversiegelung zu rechnen, wobei sich die Entwicklungen in ihrem Ausmaß erneut unterscheiden.

Vergleicht man die beiden Jahre 2015 und 2035 miteinander, so beträgt die Zunahme der versiegelten Fläche in Eimsbüttel laut Berechnung 31 ha bzw. 1,3 %. In Bergedorf ist der Anstieg hingegen deutlich höher und beträgt 394 ha oder 17,0 %. Dass hier der Anstieg sowohl absolut als auch relativ deutlich stärker ausfällt, erklärt sich zum einen aus dem generell stärkeren Wachstum der SuV in Bergedorf. Zum anderen ist dies jedoch auch darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Gebäude- und Freiflächen sowie den Betriebs-

und Verkehrsflächen an der SuV-Ausweitung in Bergedorf deutlich größer ist als in Eimsbüttel. Dies bedeutet, dass gerade die stark versiegelten Flächen zu der SuV-Ausdehnung beitragen. In Eimsbüttel spielen hingegen die vergleichsweise wenig versiegelten Erholungsflächen eine größere Rolle.

Tab. 20: Bodenversiegelung (2000–2035). Quelle: HWWI.

Jahr	Hamburg		Eimsbüttel		Bergedorf	
	Versiegelte Fläche (in ha)	Anteil der versiegelten Fläche an der Bodenfläche	Versiegelte Fläche (in ha)	Anteil der versiegelten Fläche an der Bodenfläche	Versiegelte Fläche (in ha)	Anteil der versiegelten Fläche an der Bodenfläche
2000	21.158	28,0 %	2.335	46,6 %	1.834	11,9 %
2005	22.035	29,2 %	2.398	47,9 %	1.973	12,7 %
2010	22.391	29,6 %	2.395	48,1 %	2.120	13,7 %
2015	22.978	30,4 %	2.398	48,1 %	2.312	14,9 %
2020	23.628	31,3 %	2.417	48,5 %	2.518	16,3 %
2025	23.925	31,7 %	2.423	48,6 %	2.609	16,9 %
2030	24.098	31,9 %	2.426	48,7 %	2.662	17,2 %
2035	24.242	32,1 %	2.429	48,8 %	2.706	17,5 %

Herausforderungen und Ausblick:

Im Jahr 2017 sind die Prognose-Ansätze innerhalb des zu erstellenden Leitfadens darzulegen.

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), 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 hoher „Wert“ für diese urbanen Ökosysteme anzunehmen. Da die meisten der erbrachten Leistungen jedoch

nicht explizit erfasst sind, wird ihre Bedeutung in der Stadtplanung und -entwicklung leicht übersehen. 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 ÖSL in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. Hier gilt es, technische (steuerbare Hochwasserrückhaltebecken, Dammbau, etc.) und naturnahe Lösungen (bspw. Auen und Überschwemmungsflächen, breite, bewachsene Randbereiche, mäandrierende Wasserläufe, etc.) gegeneinander abzuwägen. Dass häufig zugunsten leicht zu unterhaltender und steuerbarer technischer Lösungen entschieden wird, liegt auch daran, dass ein Großteil der nutzenstiftenden Aspekte naturnaher Hochwasserschutzmaßnahmen nicht adäquat berücksichtigt wird. Würden neben dem Abflussverhalten und veränderten Hochwasserrisiken auch die zu erwartende Veränderungen in den ÖSL bei der Auswahl zwischen alternativen Maßnahmen berücksichtigt werden, so ließen sich bessere, weil integrierte Entscheidungen treffen.

Aufgabe des Arbeitspaketes ist die Untersuchung der Einbindungsmöglichkeiten ökonomischer Umweltbewertungsverfahren als Mittel der Entscheidungsunterstützung in das urbane Entwässerungsmanagement. Hierfür sollen relevante ÖSL urbaner Gewässer identifiziert und ein geeignetes Bewertungsverfahren gefunden werden. Da Ökosystemwerte in besonderem Maße kontextabhängig sind, wird eine vollständige ökonomische Bewertung bei der Planung von Maßnahmen aufgrund von Budget- und Zeitrestriktionen meist nicht im erforderlichen Umfang durchführbar sein. Daher wird insbesondere die Anwendbarkeit der Benefit-Transfer Methode untersucht. Voraussetzung hierfür ist die Verfügbarkeit bereits existierender Studienergebnisse, die für den jeweiligen Kontext zu übertragen sind. Die Anwendbarkeit wird beispielhaft für die Modellregionen Kollau und Dove-Elbe demonstriert.

7.2.2 Analysegegenstand: Erfassung und Bewertung der ÖSL urbaner Gewässer und deren Randbereiche

Methodischer Ansatz: Literaturrecherche, Anwendung der Nutzentransfer-Methode

Zwischenergebnisse:

Verwendete Definition:

Die gängigste Definition der Ökosystem(dienst)leistungen entstammt dem UN-Programm Millennium Ecosystem Assessment (MEA), das die Veränderungen von Ökosystemen und deren Auswirkungen auf das menschlichen Wohlergehen untersuchte, um Umweltaspekte wissenschaftlich fundiert in die politische Entscheidungsfindung einzubinden. Im Wortlaut heißt es:

“Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems. These include provisioning services such as food and water; regulating services such as regulation of floods, drought, land degradation, and disease; supporting services such as soil formation and nutrient cycling; and cultural services such as recreational, spiritual, religious and other nonmaterial benefits” (Alcamo & Bennett 2003).

Entsprechend des Konzeptes beeinflussen die genannten Versorgungs- (provisioning services), Regulations- (regulating services), Kultur- (cultural services) und die Basisleistungen (supporting services) den individuellen Nutzen und damit auch die gesellschaftliche Wohlfahrt in direkter oder indirekter Weise. Art und Ausmaß der konkret bereitgestellt

ÖSL variieren dabei nach Typ und Zustand des betrachteten Ökosystems. Für die Berücksichtigung von Ökosystemleistungen innerhalb des städtischen Hochwasser- und Entwässerungsmanagements ist daher zunächst ein Verständnis über die potentiellen Leistungen urbaner Gewässer und ihre Randbereiche notwendig.

Kategorisierung:

Erster Arbeitsschritt innerhalb des AP 6.2. war mittels intensiver Literaturrecherche eine Übersicht der potentiellen ÖSL urbaner Gewässer und ihrer Randbereiche zu erstellen. Tab. 21 fasst einige Ergebnisse entsprechend der Kategorisierung des MEA (Alcamo & Bennett 2003) und der TEEB-Initiative (The Economics of Ecosystems and Biodiversity 2011) zusammen. Dargestellt sind grundlegende Leistungen, die ggf. in weitere Bestandteile ausdifferenziert werden können. Die Besonderheit urbaner Ökosysteme ist, dass sie integraler Bestandteil anthropogen geprägter Räume sind und ihre Morphologie und Funktionen daher maßgeblich vom Menschen beeinflusst werden. Die ÖSL, die Gewässer innerhalb einer Stadt bereitstellen, können sich daher deutlich von denen unterscheiden, die in ländlichen Regionen verfügbar sind. Die begrenzte Verfügbarkeit unbebauter Flächen kann für größenabhängige ÖSL dazu führen, dass bestimmte ÖSL in der Stadt nicht oder nur in geringem Umfang verfügbar sind. Dies betrifft insbesondere die regulierenden und bereitstellenden Leistungen (bspw. Retentionsleistungen). Gleichzeitig bedeutet die räumlich Nähe zum Menschen, dass bestimmte ÖSL verstärkt genutzt werden. Vor allem gilt dies für die kulturellen Leistungen (bspw. Erholungsleistungen).

Der in Tab. 21 überblicksartig dargestellte ÖSL-Katalog urbaner Gewässer und ihrer Randbereiche dient für die praktische ÖSL-Bewertung als Ausgangspunkt und Orientierungshilfe. Lediglich solche ÖSL sind aus ökonomischer Sicht zu bewerten, die durch geplante Hochwassermanagement-Maßnahmen (in hinreichendem Umfang) verändert werden.

Tab. 21: Ökosystemleistungen von (urbanen) Gewässern und ihren Randbereichen. Quelle: eigene Darstellung, basierend auf (Kowarik et al. 2016).

Hauptgruppe	Untergruppe	Elemente
Versorgungsleistungen	Trinkwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenwasser • Grundwasser
	Nahrungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Kulturpflanzen • Wildtiere und Fische • Pflanzliche Biomasse für die Landwirtschaft
	Rohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzliche Rohstoffe für die Weiterverarbeitung • Brauchwasser für die Industrie (Kühlwasser, Bewässerung, etc)
	Energieträger	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzliche Energierohstoffe • Wasserkraft
	Genetische Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> • Artenvielfalt im Habitat
	Transportwege	<ul style="list-style-type: none"> • Schifffahrt
Regulationsleistungen	Hochwasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Regulation des Abflussverhaltens und der Pegelstände
	Retention und Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme und Abbau organischer Stoffe (organischer Kohlenstoff) • Aufnahme und Abbau anorganischer Stoffe (insbes. Nitrate, Phosphate) • Aufnahme weiterer Schadstoffe (bspw. PM2.5)
	Globales Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoffsequestrierung und Speicherung
	Regional Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturregulation (Schattenbildung, Verdunstung, Kaltluftschneisen)
	Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Lärmpegels
Kulturleistungen	Erholung und Tourismus	<ul style="list-style-type: none"> • Breitstellung von Flächen und der Raumstruktur für Freizeitaktivitäten → Wasserbezogene Freizeitaktivitäten (Wassersport, Angeln, ...) → Allgemeine Freizeitaktivitäten (Wandern, Naturbeobachtung, ...)
	Landschaftsästhetik	<ul style="list-style-type: none"> • Elemente des Landschafts-/Stadtbildes, die das Wohlbefinden beeinflussen
	Natur- und Kulturerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Schützenswertes, ortstypisches Naturelement • Schützenswerter Kulturbestandteil • Element religiöser oder spiritueller Rituale • Begegnungsort • Inspirationsquelle
	Bildungs- und Wissenschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Ort der (Umwelt-)Bildung und Sensibilisierung für Umweltthemen • Ausgangspunkt wissenschaftlicher Forschung
Basisleistungen	Biodiversität	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat für urbane Flora und Fauna
	Nahrungsnetze	<ul style="list-style-type: none"> • Aufrechterhaltung von Nahrungsnetzen
	Nährstoffkreislauf	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbildung
	Morphologie	<ul style="list-style-type: none"> • Gewässer- und Auenstruktur

Bewertungsmethodik:

Die Berücksichtigung von Umweltaspekten innerhalb des Hochwassermanagements erfolgt aus ökonomischer Sicht über die Bewertung der (voraussichtlichen) Veränderung der ÖSL infolge der Implementierung geplanter Maßnahmen. Bevorzugte Bewertungsmethode ist der Nutzentransferansatz (benefit transfer). Dies gilt insbesondere für die Bewertung von Regulations- und Kulturleistungen. Versorgungsleistungen können oftmals mit ihren Marktpreisen bewertet werden, wodurch sich die Anwendung der Nutzentransfermethode erübrigen kann. Das Verfahren greift auf Forschungsergebnisse existierender Primärstudien zurück und überträgt entsprechende Werte auf den jeweiligen Projekt-Kontext, indem für standortsbezogene Faktoren korrigiert wird (Johnston et al. 2015; Rolfe et al. 2015). Dies kann sowohl die Charakteristika des betrachteten Ökosystems als auch sozio-ökonomische Kennziffern betreffen. Entscheidender Vorteil bei der praktischen Anwendung gegenüber anderen Bewertungsmethoden ist, dass keine kosten- und zeitintensiven Primärstudien durchgeführt werden müssen. Dies wird umso bedeutender, je mehr ÖSL zu berücksichtigen sind. Für praktische Problemstellungen hat sich der Ansatz daher innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse etabliert. Aus theoretischer Sicht sind Exaktheit und Validität der Ergebnisse jedoch genau zu prüfen. Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Bewertungsergebnissen ist dabei die Ähnlichkeit des Untersuchungs- und Referenzgebietes (Boyle & Bergstrom 1992; Rolfe et al. 2015). Dies umfasst sowohl bio-physikalische Bedingungen als auch sozio-ökonomischen Charakteristika der betroffenen Bevölkerung sowie Form und Ausmaß der Umweltveränderung.

Im Wesentlichen existieren zwei verschiedene Nutzentransfer-Ansätze. Der (adjustet) unit-transfer nutzt die (angepassten) Werte der Primärstudie für die Untersuchungsregion wohingegen der transfer-function Ansatz eine aus Primärdaten geschätzte parametrische Funktion überträgt (Rolfe et al. 2015).

Anwendungsschritte:

Die grundlegenden Schritte der Nutzentransfermethode zur Bewertung von ÖSL werden in Tab. 22 überblicksartig dargestellt.

Tab. 22: Schritte der Nutzentransfer-Methode. Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Johnston & Wainger 2015.

(1) Definition des Kontexts der Ökosystembewertung	<ul style="list-style-type: none">• Abgrenzung des Evaluierungs- und Policy-Kontextes.• Feststellung, welche ökonomischen Informationen benötigt werden.• Welche Werte sind relevant?• Welchen Zweck verfolgt die Bewertung?
(2) Begründung für die Notwendigkeit und Durchführbarkeit des Nutzentransfers	<ul style="list-style-type: none">• Abwägung, ob der Nutzentransfer gegenüber einer Primärstudie vorzuziehen ist<ul style="list-style-type: none">a) Zeit- und Budgetrestriktionen;b) Datenverfügbarkeit;c) Genauigkeitsanforderungen für die Datenrezipienten;e) Relation zwischen Politikauswirkung und Kosten einer Primärstudie;f) Qualität verfügbarer Primärstudien.
(3) Entwicklung der konzeptionellen Fundierung der Bewertung	<ul style="list-style-type: none">• Zusammenhang zwischen Ökosystem-Prozessen und menschlichem Nutzen.• Welche Wohlfahrtsindikatoren werden verwendet (WTP vs. WTA etc.)?
(4) Definition der ÖSL und der Bevölkerung	<ul style="list-style-type: none">• Abgrenzung der zu betrachtenden ÖSL; Vermeidung von Doppelbewertung• Definition der relevanten Bevölkerung
(5) Quantifizierung der Effekte auf die ÖSL	<ul style="list-style-type: none">• Bestimmung der Ausgangswerte und der Veränderung in den ÖSL (Quantität und Qualität).
(6) Sammeln und Einschätzen der Daten	<ul style="list-style-type: none">• Literaturrecherche• Datenverfügbarkeit• Prüfung auf Qualität der Primärstudie• Prüfung der Ähnlichkeit zwischen Referenz- und Projektgebiet
(7) Festlegung der zu verwendenden Nutzentransfermethode	<ul style="list-style-type: none">• Entscheidung darüber, welche Transfermethode am besten genutzt werden kann und für den verfolgten Zweck angemessen ist;• Kriterien: vorhandene Informationen, Anzahl verfüg- und verwendbarer Studien, Bewertungstyp, Ähnlichkeit zwischen den Gebieten; vorhandene Expertise; Zeit, Geld, benötigte Genauigkeit
(8) Design und Implementierung des Transfers	<ul style="list-style-type: none">• Durchführung des Nutzentransfers.• Verwendete Transfermethode gibt weitestgehend das Design und Implementierung vor.• Zu berücksichtigen sind insbesondere die Größe des jeweiligen Ökosystems und des Ausmaßes der untersuchten Umweltänderung.
(9) Aggregation der Werte	<ul style="list-style-type: none">• Aggregation der Transferergebnisse über Bevölkerung, Raum und/oder Zeit.
(10) Sensitivitätsanalyse und Reliabilität-Test	<ul style="list-style-type: none">• Änderungen der Modellierungsansätze, der Annahmen oder der Parameter.• Auswirkungen auf die Ergebnisse testen.
(11) Resultate	<ul style="list-style-type: none">• Bericht der Ergebnisse• Einschränkungen nennen

Datenvoraussetzungen und Referenzwerte:

Die Nutzentransfermethode ist abhängig von der Verfügbarkeit entsprechender Referenzwerte für die zu untersuchenden ÖSL. Beispielwerte sind in Tab. 23 für verschiedene ÖSL dargestellt. Darüber hinaus müssen für den konkreten Anwendungsfall die Veränderungen in den ÖSL quantifiziert sein.

Tab. 23: Beispielwerte ausgewählter ÖSL.

Hauptgruppe	Untergruppe	Elemente
Versorgungsleistungen	Trinkwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Marktpreismethode ist zu bevorzugen; durchschnittliche regionale Trinkwasserpreise
	Nahrungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Fisch: Marktpreismethode ist zu bevorzugen; Verkaufspreis ab Boot;
Regulationsleistungen	Hochwasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidungsschadenmethode ist zu bevorzugen
	Retention und Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der Luftverschmutzung: (Ozon/PM10/NO2/SO2/CO) 1,79 USD/Baum/Jahr Siehe: Nowak et al. 2010 • Wasserreinigung (Retention N) 6 EUR/kgN Siehe: Born et al. 2012 und Kowarik et al. 2016
	Globales Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Gängiger Referenzwert: aktueller Preis der CO2-Zertifikate • Aktuell: ca. 5 EUR/t • Bsp. Chicago (2009): Preis der CO2-Zertifikate: ca. 21 USD/t Wert CO2-Speicherung: 21 USD/t = 4 USD/Baum Wert CO2-Abspaltung: 21 USD/t = 0,15 USD/Baum/Jahr Siehe: Nowak et al. 2010
	Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Lautstärke in Dezibel [db] • Umweltpotential: 0,06 db/m Bewuchsfläche (Späh et al. 2011) • Werte der Reduktion um 1 db: 10 EUR/db/Pers/Jahr (unter 70 db); 13 EUR/db/Pers/Jahr (über 70 db) Kowarik et al. 2016 und (Delft 2011)
Kulturleistungen	Erholung und Tourismus	<ul style="list-style-type: none"> • Bootfahren: 0,76 USD/Kopf • Fischen: 2,95 USD/Kopf; • Schwimmen: 6,88 USD/Kopf Siehe Kauffman (2016)
	Landschaftsästhetik	<ul style="list-style-type: none"> • Aussicht/Ästhetik: 0,58 USD/Kopf Siehe Kauffman (2016)

Herausforderungen und Ausblick:

Im Jahr 2017 erfolgt die Bewertung der ÖSL in den Modellregionen. Eine finale Auswahl muss hierfür noch getroffen werden. Sicher erfasst werden die ÖSL Hochwasserschutz sowie die seitens der Projektpartner der Universität Hamburg untersuchten ÖSL. Über die Aufnahme weiterer ÖSL muss noch entschieden werden, dies wird im Wesentlichen durch die verfügbaren Daten beeinflusst. Insbesondere die Aufnahme kultureller Leistungen ist angestrebt. Hierzu werden voraussichtlich Freizeitnutzungen zählen.

Die Erstellung des Leitfadens zur Bewertung und Einbindung von ÖSL innerhalb des Hochwassermanagements wird fortgeführt. Zu finalisieren sind die erklärende Beschreibung der Bewertungsmethodik und ihrer Voraussetzungen.

7.3 Risikobetrachtungen (AP 6.3)

7.3.1 Hintergrund und Arbeitsauftrag

Hochwasserrisiken bilden einen der zentralen Erkenntnisgegenstände des Projektes Stuck. Es wird eine Methodik zur ökonomischen Bewertung von Hochwasserschäden in kleinräumigen urbanen Gebieten entwickelt. Darüber hinaus ist es das Ziel, verschiedene Szenarien (Klimawandel und insbesondere Hochwassermanagement) hinsichtlich ihrer Auswirkung auf zu erwartende Hochwasserschäden konkret für die Modellregionen zu bewerten.

7.3.2 Analysegegenstand: Leitfaden Schadensanalyse und Fallstudien

Methodischer Ansatz: Literaturrecherche zu und Anpassung von Schadensfunktionen, Anwendung für die Modellregionen.

Zwischenergebnisse:

Die Erstellung des Leitfadens zur „Abschätzung von Hochwasserschäden in kleinen Modellgebieten“ ist weit fortgeschritten.

Ein wesentlicher Teil bei der Schadensanalyse sind Schadensfunktionen. Bisher unter anderem diskutierte Schadensfunktionen (Tab. 24), welche Informationen zur konkreten Bebauung benötigen (Anzahl Geschosse, mit/ohne Keller) wurden verworfen.

Tab. 24: Schadensfunktionen auf Basis konkreter Bebauung. Quelle: 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	100,00	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

In der Praxis ist die konkrete Bebauung der relevanten Gebiete oft unbekannt. Daher wurde bezüglich der Methodik der Schadensanalyse ein Ansatz über Schadensfunktionen auf Basis von Landnutzungsklassen gewählt (Tab. 25).

Tab. 25: Landnutzungsspezifische Schadensfunktionen. Quelle: Fugro Consult GmbH (2014), S. 60.

Schadensfunktionstyp	Schadensfunktion		
	Immobil	Mobil	PKW
Siedlungsflächen	$Y = 2 * x^2 + 2x;$ max. $Y = 100$	$Y = 11.4 * x + 12,625$	$Y = 16x - 4;$ für $x < 0,25$ m: $Y = 0;$ für $x > 1,5$ m: $Y = 20$
Industrie- und Gewerbeflächen	$Y = 2 * x^2 + 2x;$ max. $Y = 100$	$Y = 7x + 5$	$Y = 0$
Verkehrsflächen	$Y = 10x;$	$Y = 10x;$	$Y = 0$
	für $x > 1:$ $Y = 10$	für $x > 1: Y = 10$	$Y = 0$
Grün-, Sport-, Freizeitflächen	$Y = 0$	$Y = 10$	$Y = 0$
Acker-, Garten-, Weinbau	$Y = 0$	$Y = 50$	$Y = 0$
Grünland	$Y = 0$	$Y = 10$	$Y = 0$
Wald- und Forstflächen	$Y = 0$	$Y = 5x$	$Y = 0$
		für $x > 1: Y = 5$	
Sonstige	$Y = 0$	$Y = 0$	$Y = 0$

Bei den verwendeten landnutzungsspezifischen Schadensfunktionen handelt es sich um relative Schadensfunktionen. Relative Schadensfunktionen haben den Vorteil, dass eine Übertragung auf andere Gebiete/Zeitpunkte leicht möglich ist, was den Zielen des Projek-

tes Stück folgt. Um den absoluten monetären Schaden zu erhalten, werden die Funktionen mit ebenfalls landnutzungsspezifischen Vermögenswerten kombiniert (Tab. 26).

Tab. 26: Landnutzungsspezifische Vermögenswerte [€/m²]. Quelle: Fugro Consult GmbH (2014), S. 60.

Nr.	Nutzungsklassen	IMMOBIL	MOBIL	PKW
1	Siedlungsflächen	259	42	13,6
2	Industrie- und Gewerbeflächen	207	72	
3	Verkehrsflächen	200	2	
4	Grün-, Sport-, Freizeitflächen	0	0,2	
5	Acker-, Garten-, Weinbau	0	0,4	
6	Grünland	0	0,2	
7	Wald- und Forstflächen	0	1	
8	Sonstige	0	0	

Da im Arbeitspaket keine eigenen Schadensfunktionen entwickelt oder Vermögenswerte erfasst werden, ist eine Übertragung der landnutzungsspezifischen Vermögenswerten aus der Literatur auf den Projektkontext auch hinsichtlich der Fallstudien im Stück-Projekt selbst notwendig (Tab. 26 bezieht sich auf die Gegebenheiten in Sachsen im Jahr 2005). Die für die Fallstudien gedachten hydrologischen Simulationsergebnisse aus dem AP 2 werden voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2017 vorliegen. Bis dahin wird eine Methodik zur Übertragung der spezifischen Vermögenswerte auf den Projektkontext erarbeitet.

Bezüglich der zu erarbeitenden Empfehlungen zur Kosten-Nutzen-Analyse sind jedoch nicht einzelne Ereignisse, sondern Bewertungszeiträume von einigen Jahren oder Jahrzehnten maßgeblich. Daher müssen Eintrittswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Überflutungsszenarien in der Methodik berücksichtigt werden. Dazu wird ein Ansatz über „damage-probability curves“ verwendet. Wenn die Simulationsergebnisse aus AP 2 dies zulassen, werden erwartete jährliche Überflutungsschäden für die Modellregionen Kollau und Dove-Elbe berechnet.

Herausforderungen und Ausblick:

Die im Jahr 2017 anstehenden Arbeiten umfassen im Wesentlichen die Übertragung von landnutzungsspezifischen Vermögenswerten aus der Literatur auf den Projektkontext und die anschließende Schadensanalyse für die im AP 2 simulierten Überflutungs- bzw. Hochwassersteuerungsszenarien (Fallstudien).

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

Thomas Einfalt, Alexander Strehz, Alrun Jasper-Tönnies

8.1 Projektwebseite

Für die Außendarstellung wurde unter www.stuck-hh.de eine Projektwebseite eingerichtet.

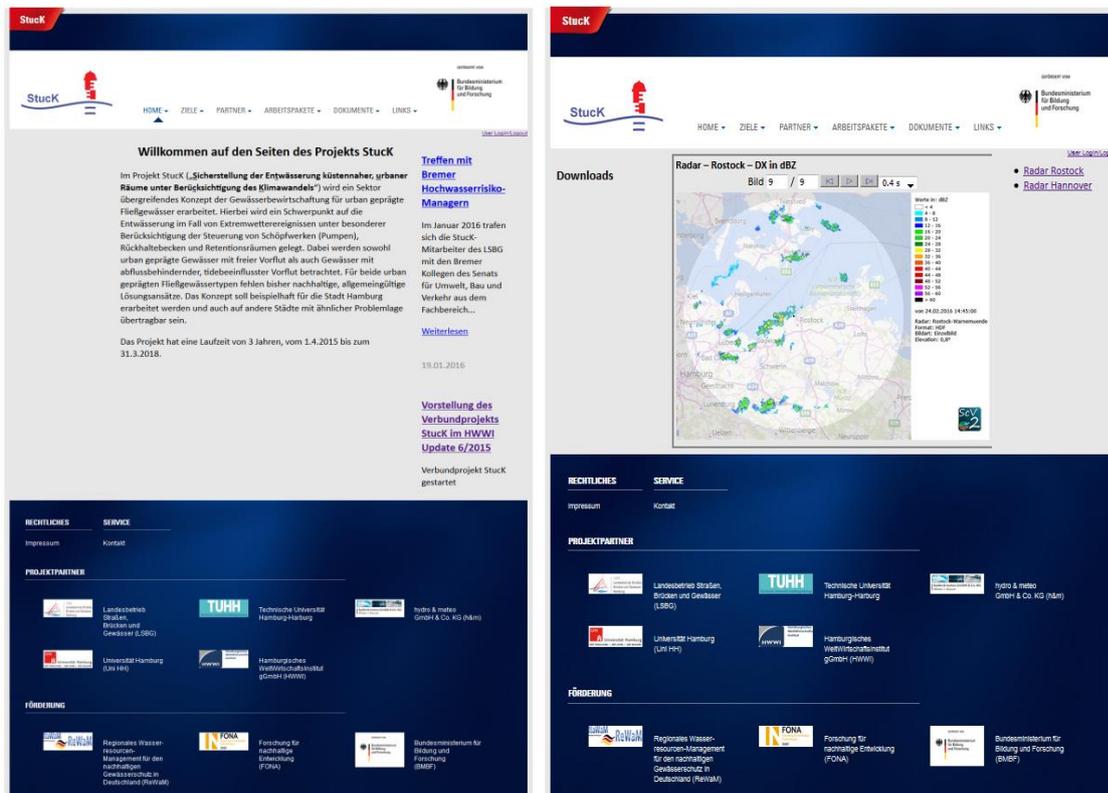
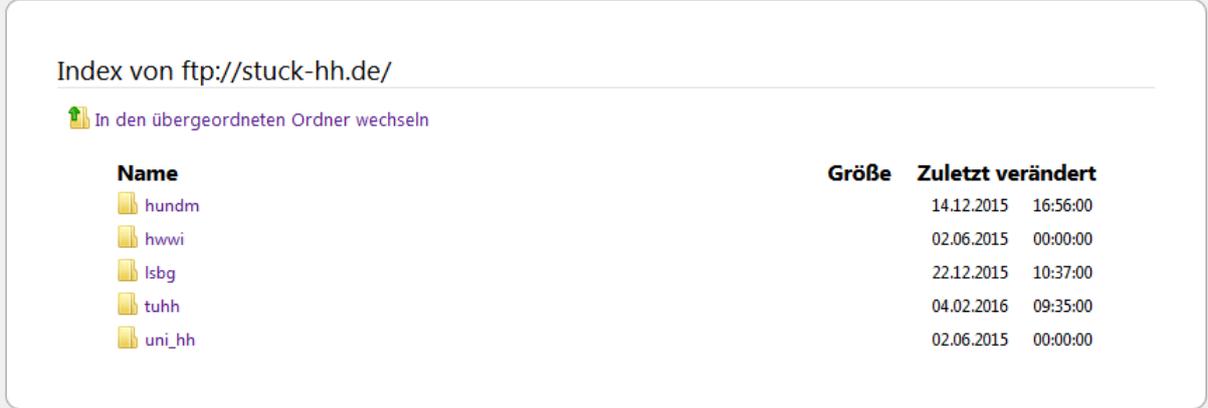


Abb. 73: Die Projektwebseite www.stuck-hh.de. Links ist die Startseite mit den verlinkten News der einzelnen Arbeitspakete in der rechten Spalte zu sehen. In der rechten Abbildung ist die passwortgeschützte Seite des Arbeitspaketes 1 zu sehen. Hier werden zurzeit die korrigierten Radar-daten der Standorte 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. 74). 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. 74: Der Datenaustauschserver des Projektes Stuck.

9 Projektmanagement (AP 8, LSBG)

Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko Westphal, Matthias Strauer, Sarah Gennis

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“ (UrbanRain15, <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, Küstenworkshop des BMVI-Expertennetzwerks (Kick-Off), „Themenfeld 1 – SP 108 Fokusgebiet Küste“ (BSH Hamburg) (LSBG)
- 3. Juni 2016, 8. Hydrologisches Gespräch, veranstaltet von LLUR und LKN in Husum (LSBG, TUHH)
- 27. September 2016, Auftaktveranstaltung des Projekts KAREL („KlimaAnpassung des Regenwassernetzes von Elmshorn und UmLand“) in Elmshorn (LSBG, TUHH)
- 2. November 2016, Klimawandel Norddeutschland – 4. Regionalkonferenz des Bundes, der norddeutschen Länder und Berlin in Hannover (LSBG)
- 17. November 2016, Stadtwerkstatt 13: „Eine Stadt für alle“, Dialog zur zukünftigen Stadtentwicklung Hamburgs (LSBG)

- 5. Dezember 2016: „Starkregenereignisse im urbanen Raum – Vorsorge und Strategien“, Veranstaltung in der Behörde für Umwelt und Energie in Hamburg (LSBG)
- 12.–13. Januar 2017, 47. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA) (LSBG, TUHH, hydro & meteo)
- 25.–26. Januar 2017, ReWaM-Statuskonferenz in Dresden (LSBG, TUHH, hydro & meteo, UHH, HWWI)
- 23.–24. März 2017, Tag der Hydrologie 2017 (LSBG, TUHH, hydro & meteo)
- 11. April 2017, Meeresspiegelworkshop des BMVI-Expertennetzwerkes, „Themenfeld 1 – SP 108 Fokusgebiet Küste“ (BSH Hamburg) (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 N-A-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 StuckK-Projekt zur Kalibrierung des N-A-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 N-A-Modell der Kollau als Input genutzt werden kann. Die Ergebnisse der N-A-Modellierung werden an Frau Lengfeld zurückgegeben. Für das StuckK-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 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.

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 ReWaM-Projekts „In_StröHmunG“ und der Hamburger Bezirksämter Hamburg-Nord, Wandsbek und Altona am 5.–6. April 2017

LSBG, TUHH, UHH, HWWI

Den Vertretern der Bezirksämter wurde die Arbeit der beiden Forschungsprojekte vorgestellt. Ein Schwerpunkt lag auf dem Thema „ökologischer Hochwasserschutz“. Nach einem Kurzvortrag über den Hochwasserschutz in der Hafencity wurde dieser bei einer anschließenden Ortsbegehung in Augenschein genommen. Der zweite Tag diente dem Austausch der Forschungsprojekte zum Thema Einsatz von hydrodynamisch-numerischen Modellen in der wasserbaulichen Planung.

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 5.6.2015

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

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

Ortsbegehung am 7.7.2015

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 15.7.2015

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, 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 25.5.2016

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.

Ortsbegehung Dove-Elbe/Gose-Elbe am 7.7.2016

LSBG, Bezirksamt Bergedorf

Zusammen mit dem Bezirksamt Bergedorf fand der Ortstermin vom Schiff aus statt. Kernpunkte waren die Steuerung der wasserbaulichen Anlagen sowie die allgemeine Entwässerung der Vier- und Marschlande.

Arbeitsgespräch zum Thema Datenhaltung, Datentransfer und Datenmanagement am 26.7. & 3.8.2016

LSBG, TUHH und hydro & meteo

Diskutiert wurden der mögliche Einsatz verschiedener Softwareprodukte um das Handling und die Analyse der im Projekt aufkommenden Daten zu verbessern. Diskutiert wurden die Programme WISKI (Fa. Kisters), Timeview (Fa. Hydrotec), KueDaDe (TUHH) und HydroNET (Fa. HydroLogic Systems).

4. Projektgruppentreffen am 28.9.2016 in Lübeck

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Es wurde sehr ausführlich über den Sachstand der Arbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen und dem daraus resultierenden weiteren Vorgehen gesprochen. Der Sachstand der ReWaMnet-Querschnittsthemen wurde an alle Projektpartner berichtet, sowie, im Rahmen der Möglichkeiten, um eine Mitarbeit gebeten. Die Vorbereitung des Stuck-Workshops erfolgte gesondert am 11.10.2017.

Arbeitsgespräch am 11.10.2016 zur Vorbereitung des Stuck-Workshops

LSBG, TUHH, UHH und HWWI

Die Inhalte, Ziele und organisatorischen Abläufe des zweitägigen Stuck-Workshops im November wurden besprochen.

Stuck-Workshop in der Elbuenstation Pevestorf, 30.11.–1.12.2016

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Die Inhalte der Zukunfts-Szenarien wurden sehr detailliert bezüglich modelltechnischer Umsetzbarkeit, Berücksichtigung des Klimawandels, zukünftiger Stadt- und Flächenentwicklung diskutiert. Unterschiedliche Instrumente und Steuerungsmaßnahmen des Hochwasserschutzes wurden präsentiert. Im Sommer 2017 wird ein nächster Workshop angedacht, zur Diskussion der bis dahin vorliegenden Ergebnisse.

Arbeitsgespräch zu Hochwasserrückhaltebecken (HRB) im Modellgebiet Kollau am 13.12.2016

LSBG und Bezirksamt Eimsbüttel

Das Steuerungspotenzial der im Modellgebiet vorhandenen HRB wurde besprochen um mögliche Steuerungsansätze im Rahmen von Stuck zu entwickeln.

Arbeitsgespräch zu Sachstand/Projektverlängerung am 20.12.2016

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Der Sachstand der AP sowie aktuelle Schwierigkeiten/Probleme wurden kurz berichtet. Die Möglichkeiten einer kostenneutralen und grundsätzlichen Verlängerung des Projekts Stuck wurden besprochen.

5. Projektgruppentreffen am 21.2.2016

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI

Es wurde über den Sachstand der Arbeiten in den einzelnen AP berichtet. Das Vorgehen für eine angedachte Projektverlängerung und die Erstellung des zweiten Zwischenberichts wurde abgestimmt. Die Planungen für das zweite erweiterte Projektgruppentreffen und das Treffen mit dem ReWaM-Projekt In_StröHmunG wurden vorgestellt. Der aktuelle Stand aus den ReWaMnet-Querschnittsthemen wurde an alle Teilnehmer berichtet.

2. Erweitertes Projektgruppentreffen am 25.4.2017

LSBG, hydro & meteo, TUHH, UHH, HWWI, assoziierte Projektpartner und Gäste

Beim zweiten erweiterten Projektgruppentreffen wurden die bisherigen Arbeitsschritte und Zwischenergebnisse aus den Arbeitspaketen berichtet. Die Teilnahme einiger externer Gäste verdeutlicht das große Interesse am Projekt Stuck. In zwei gemeinsamen Diskussionsrunden konnten alle Teilnehmer Ihre Anregungen, Fragen und Wünsche einbringen und den Fortschritt des Projekts so begleiten.

9.3 Veröffentlichungen, Publikationen und Präsentationen

9.3.1 Studienarbeiten

Am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg wurde von der Masterstudentin Frau 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: 1.4.2015 bis 1.9.2015. 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 HRB wurde von Herrn Oliver Caspari angefertigt. Der Titel der Arbeit lautet: „Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlicher Steuerungsstrategien für HRB 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 schrieb Frau Sarah Gennis, Studentin der Geographie an der Universität Hamburg, ihre Bachelorarbeit zum Thema „Anwendung und Evaluierung eines Vorfeuchteindex zur Ermittlung des Abflussverhaltens am Beispiel der Bille“. Die Betreu-

ung erfolgt durch Prof. Böhner und Prof. Gönnert. Die Bearbeitung wurde 2016 abgeschlossen.

Im Jahr 2016 wurden am Institut für Wasserbau der TUHH im Rahmen des Projektes drei weitere Studienarbeiten ausgearbeitet.

Frau Kristina Schwan erstellte eine Bachelorarbeit zum Thema: „Hydrologische Methoden zur Abbildung von Wechselwirkungen in Entwässerungssystemen der Dezentralen Regenwasserbewirtschaftung – Stand des Wissens und Systemanalyse“. Die Arbeit wurde im Sept. 2016 abgeschlossen. Erstprüfer war Herr Prof. Fröhle, Zweitprüfer Frau Hellmers vom Institut für Wasserbau.

Herr Anton Schneider erstellte eine Projektarbeit zu dem Thema: „Berücksichtigung von Rückstauwirkungen in hydrologischen Niederschlags-Abfluss-Modellen – Recherche zu bestehenden Methoden und Erarbeitung eines neuen Verfahrens“ am Institut für Wasserbau. Die Arbeit wurde im Oktober 2016 fertiggestellt. Erstprüfer war Herr Prof. Fröhle, Betreuerin Frau Hellmers vom Institut für Wasserbau.

Frau Lena Stöbert erarbeitete eine Arbeit zum Thema: „Modellierung der Abflusskonzentration von DRWBM in N-A-Modellen – Stand des Wissens und Systemanalyse –“, am Institut für Wasserbau und stellte diese im Dezember 2016 vor. Erstprüfer war Herr Prof. Fröhle, Zweitprüfer Frau Hellmers vom Institut für Wasserbau.

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 T. & Fröhle, P. (2016): Optimierung der Niederschlags-Abfluss-Modellierung für städtische Hochwasservorwarnsysteme durch Einsatz von Ensemble Radar Nowcasts. Posterbeitrag, Tag der Hydrologie 2016, Koblenz.

Westphal, H., Hesser, F., Ackermann, D. & Gönnert, G. (2016): Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – Stuck. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 37.16.

Novatech 2016 in Lyon

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

ERAD 2016 in Antalya

Strehz, A., Einfalt, T. & Jasper-Tönnies, A. (2016): Stuck radar composite for Northern Germany. 9. ERAD, 10. – 14. Oktober 2016, Antalya, Türkei.

IWASA 2017 in Aachen

Hesser, F., Gönnert, G., Fröhle, P., Einfalt T., Eschenbach, A., Jensen, K. & Jahn, M. (2017): Stuck – Implementierung einer unter ökologischen und ökonomischen Aspekten verbesserten wasserwirtschaftlichen Steuerung. 47. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen.

ReWaM-Statuskonferenz 2017 in Dresden

Ackermann, D. (2017): Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels, Vortrag ReWaM-Statuskonferenz, 25.–26.1.2017, Dresden.

Tag der Hydrologie 2017 in Trier

Ackermann, D., Westphal, H., Hesser, F. & Gönnert, G. (2017): Hochwassermanagement an Hamburger Binnengewässern – Eine wasserwirtschaftliche, ökologische und ökonomische Optimierung im Forschungsprojekt Stuck. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 38.17.

Hellmers, S., Ackermann, D., Einfalt, T. & Fröhle, P. (2017): Konzeptstudie zur Steuerung von wasserwirtschaftlichen Anlagen auf der Grundlage von Ensemble Kurzzeitvorhersagen, Posterbeitrag, Tag der Hydrologie 2017, Trier.

Jasper-Tönnies, A., Hellmers, S., Strehz, A., Einfalt, T. & Fröhle, P. (2017): Radarkomposit und Hochwasserwarnungen mit Radarensambles und COSMO-DE-EPS im Projekt Stuck, Posterbeitrag, Tag der Hydrologie 2017, Trier.

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.

Desgleichen erfolgte eine Vorstellung der Arbeiten durch Dieter Ackermann (LSBG) am Institut für Geographie der Universität Hamburg im Rahmen einer Vorlesung im Wintersemester 2016/2017.

10 Synopse

Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Heiko Westphal, Matthias Strauer, Sarah Gennis

Insgesamt fünf Projektpartner erarbeiten im Verbundforschungsprojekt StucK ein Sektorübergreifendes 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), Hochwasserrückhaltebecken (HRB) 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 km² ein vergleichsweise kleines Einzugsgebiet und gekennzeichnet durch einen teilweise hohen Bodenversiegelungsgrad und damit sehr schnell auf Niederschlagsereignisse reagierende Gewässer, beispielsweise die Mühlenau in 30–60 Minuten bei Starkregenereignissen. Entsprechend wird eine sehr kurzfristige und kleinräumige Niederschlagsprognose benötigt. In der Modellregion sind insgesamt 22 HRB 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. des Zuflusses der Bille aus Schleswig-Holstein, beträgt ca. 507 km² und weist im Schnitt deutlich geringere Bodenversiegelungsraten auf. Damit erklärt sich eine wesentlich langsamere Reaktion auf starke Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet. Die Besonderheit dieser Modellregion ist die direkte tideabhängige Entwässerung in die Elbe. Am Deichsiel Tatenberg kann ausschließlich bei niedrigeren Außenwasserständen aus der Dove-Elbe in die Tideelbe 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, HRB, naturnaher Gewässerausbau, Beseitigung von Engstellen, Entsiegelung und die Bauvorsorge verstanden. Auch das Konzept „Leben mit dem Wasser“ (z. B. Fischmarkt und Hafency) gehört zum technischen Hochwasserschutz.
3. Operativer Gewässerschutz. In dieser Säule werden z. B. die Deichverteidigung, der Warndienst Binnenhochwasser, die Abwehr einer Hochwassergefahr sowie

Betrieb, Unterhaltung und Inspektion von Anlagen und Gewässern zusammenfasst.

Die Verbesserung des Warndienstes Binnenhochwasser 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. Auswertungen von Messwerten 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 vor eventuellen Risiken besser schützt. Auch die Häufigkeit eines Zusammentreffens von hohen Tidewasserständen und Niederschlagsereignissen wird betrachtet.

Um die sich wandelnden Bedingungen abzubilden, denen sich der Hochwasserschutz stellen muss, werden Szenarien entwickelt, die den Klimawandel und die urbane Entwicklung als entscheidende Parameter beschreiben. Zur konkreten Erfassung und Darstellung der Wirkung der Parameter auf die Modellregionen und daraus resultierenden Maßnahmen des Hochwassermanagements wird der Klimawandel hinsichtlich der Entwicklung der Niederschläge und des Meeresspiegels konkret mit Ansätzen hinterlegt. Die städtische Entwicklung wird durch Aktualisierung der Nutzung, Integration vorhandener Planungen (z. B. Bebauungspläne) und einer auf einem Regressionsverfahren beruhenden Abschätzung beschrieben. Zielhorizont der Entwicklung ist das Jahr 2035.

Grundlegend für die Verbesserung des Warndienstes Binnenhochwasser 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 mittels 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 kurzfristigen Bedarf für ein schnell reagierendes Einzugsgebiet, wie das der Modellregion Kollau, deckt. Für die längerfristige Vorhersage aus den Modellrechnungen des DWD (COSMO-DE-EPS) mit einem Vorhersagezeitraum von bis zu 27 Stunden ist die zeitliche Auflösung mit einer Stunde geringer.

Die von hydro & meteo in AP 1 berechneten Echtzeit- und Vorhersagedaten werden in das von der TUHH im AP 2 verwendete Modell KalypsoHydrology eingebettet und dienen der Modellierung der hydrologischen Prozesse und Abflüsse in Echtzeit mit einem operationellen Modell. Durch fortlaufend aktuelle Niederschlagsprognosen (s. o.) kann ein operationeller 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 Ökosystemleistungen 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 die Artendiversität abgenommen und der Anteil seltener Pflanzen zurückgegangen ist. Da die Hochwasserretention an der Kollau und ihren Zuflüssen hauptsächlich mittels HRB geschieht, wird im Laufe des Projekts mit Mesokosmenexperimenten simuliert werden, wie sich der aktuelle Zustand eines HRB bei Veränderung der Bewirtschaftungsweise verändert.

Im ersten Teil des Arbeitspaketes 6 vollzieht das Hamburgische WeltWirtschaftsinstitut eine 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 häufig 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.

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 projektinternen 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 verantwortet. 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 Literatur

- Alcamo, J. & Bennett, E.M. (Hrsg.) (2003): Ecosystems and human well-being. A Framework for Assessment.
- Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (2008): Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder. Fläche und Raum, Analysen und Ergebnisse. Statistische Ämter der Länder.
- ARGE WRRL-HOF (2008): Biomonitoring Frühjahr 2007 – Untersuchung der Qualitätskomponente benthische Wirbellosenfauna gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. Freie und Hansestadt Hamburg.
- ARGE WRRL-HOF (2011): Biomonitoring Frühjahr 2010 – Untersuchung der Qualitätskomponente benthische Wirbellosenfauna gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. Freie und Hansestadt Hamburg.
- ARGE WRRL-HOF (2014): Biomonitoring Frühjahr 2013 – Untersuchung der Qualitätskomponente benthische Wirbellosenfauna gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. Freie und Hansestadt Hamburg.
- Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE): Hydro-Net. der Hydrologische Internet/Intranet-Dienst von HYDRO 6.1. <http://hydroweb.geronimus.info> (23.2.2016).
- 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).
- Bertram, H.-U. & Bannick, C.G. (2004): Die LAGA-Mitteilung 20 – Möglichkeiten und Grenzen. *WLB-TerraTech*, 5, 4–7.
- Born, W., Meyer, V., Scholz, M., Kasperidus, H.D., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C. & Hansjürgens, B. (2012): Ökonomische Bewertung von Ökosystemfunktionen in Flussauen. In: Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.D., Born, W. & Henle, K. (Hrsg.): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion : Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3508 850 100) (S. 147–168). Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- Bowler, N.E., Pierce, C.E. & Seed, A.W. (2006): STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132 (620), 2127–2155.
- Boyle, K.J. & Bergstrom, J.C. (1992): Benefit transfer studies: Myths, paradigms and idealism. *Water Resources Research*, 28 (3), 657–663.
- Bradley, C. (2002): Simulation of the annual water table dynamics of a floodplain wetland, Narborough Bog, UK. *Journal of Hydrology*, 261 (1–4), 150–172.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Mit 103 Tabellen und 31 Listen, Stuttgart: Schweizerbart.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. WHG. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).
- BWS GmbH (2002): Hydrologisch-wasserwirtschaftliche Untersuchungen im Einzugsgebiet Dove-Elbe/Bille. Grundlagenermittlung und Bestandsaufnahme.
- BWS GmbH (2011): Erweiterter Vergleich von Planungsvarianten zur Verbesserung des Binnenhochwasserschutzes im Bereich der Vier- und Marschlande. Hydraulische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Dove-Elbe/Bille.

- BWS GmbH & Ingenieurgesellschaft Klütz & Collegen Itzehoe GmbH (2007): Verbesserung des Hochwasserschutzes und des Binnenhochwasserschutzes für die Vier- und Marschlande. Untersuchung von Planungsvarianten.
- Caspari, O. (2016): Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlichen Steuerungsstrategien für Hochwasserrückhaltebecken in urbanen Gewässern. Projektarbeit. Technische Universität Hamburg Harburg (TUHH).
- Delft (2011): External Costs of Transport in Europe. Update Study for 2008.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (Hrsg.) (2009): Merkblatt DWA-M 609-1 Entwicklung urbaner Fließgewässer. Teil 1: Grundlagen. Planung und Umsetzung, Hennef: DWA.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (Hrsg.) (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten. Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, Hennef: DWA Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2016): REGNIE-Unterstützungsdokument. Geografische Darstellung von REGNIE-Daten.
- Dorendorf, J., Eschenbach, A., Schmidt, K.J. & Jensen, K. (2015): Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14 (3), 447–455.
- Einfalt, T. (2009): SCOUT, Lübeck: hydro & meteo GmbH & Co. KG.
- Eisenbeis, G., Lenz, R. & Heiber, T. (1999): Organic residue decomposition: The minicontainer-system a multifunctional tool in decomposition studies. *Environmental science and pollution research international*, 6 (4), 220–224.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulißen, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* Nr. 18.
- 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. Europäische Union.
- 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. Freie Hansestadt Bremen.
- Freie Hansestadt Bremen – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (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.
- Frie, B. & Hensel, R. (2007): Schätzverfahren zur Bodenversiegelung: UGRdL-Ansatz. *Statistische Analysen und Studien Nordrhein-Westfalen* Nr. 44.
- Fugro Consult GmbH (2014): Hochwasserschutzkonzept für die Stadt Braunschweig. Stufe 1: Vorstudie. Fugro Consult GmbH im Auftrag des Wasserverbands Mittlere Oker.
- Gabella, M. & Notarpietro, R. (2002): Ground clutter characterization and elimination in mountainous terrain. In: Russchenberg, H. (Hrsg.): *Proceedings 2nd European Conference on Radar Meteorology*: Copernicus Publications.
- Gennis, S. (2016): Anwendung und Evaluierung eines Vorfeuchteindex zur Ermittlung des Abflussverhaltens am Beispiel der Bille. Bachelorthesis. Universität Hamburg.
- Germann, U., Berenguer, M., Sempere-Torres, D. & Zappa, M. (2009): REAL-Ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135 (639), 445–456.

- Gönnert, G., Jensen, J., Storch, H. von, Thumm, S., Wahl, T. & Weisse, R. (2009): Der Meeresspiegelanstieg – Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung. *Die Küste*, 76, 225–256.
- Groffman, P.M., Bain, D.J., Band, L.E., Belt, K.T., Brush, G.S., Grove, J.M., Pouyat, R.V., Yesilonis, I.C. & Zipperer, W.C. (2003): Down by the Riverside: Urban Riparian Ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1 (6), 315–321.
- Haeseler, S., Lefebvre, C. & Friedrich, A. (2015): Unwetter mit Tornados richten am 5. Mai 2015 schwere Schäden in Norddeutschland an. Stand: 6. Mai 2015, Offenbach.
- Hein, H., Mai, S. & Barjenbruch, U. (2014): Klimabedingt veränderte Tidekennwerte und Seegangstatistik in den Küstengewässern. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.03. KLIWAS Schriftenreihe 33/2014.
- Hellmers, S., Ackermann, D., Einfalt, T. & Fröhle, P. (2017): Konzeptstudie zur Steuerung von wasserwirtschaftlichen Anlagen auf der Grundlage von Ensemble Kurzzeitvorhersagedaten. Abstractband. In: Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA (Hrsg.): Den Wandel messen – Wie gehen wir mit der Nichtstationarität um? Beiträge zum Tag der Hydrologie am 23./24. März 2017 an der Universität Trier.
- Hellmers, S., Leese, N.S., Strehz, A., Einfalt, T. & Fröhle, P. (2016): Ensemble Radar Nowcasts and Rainfall Runoff Modelling for Urban Flood Management. 9. Internationale Konferenz, Lyon, Frankreich.
- Holtmann, L. & Fartmann, T. (2016): Nährstoffarme Rückhaltebecken sind wertvolle Ersatzhabitate für seltene und gefährdete Gefäßpflanzen und Libellen. mündlich.
- Hutyra, L.R., Yoon, B. & Alberti, M. (2011): Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization. A study of the Seattle, WA region. *Global Change Biology*, 17 (2), 783–797.
- Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH (2012): Aktualisierung der Modelle im Einzugsgebiet der Kollau. Erläuterungsbericht. Ingenieurgesellschaft Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014): Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. & Birdsey, R.A. (2003): National scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, 40, 12–35.
- Jensen, J., Frank, T. & Wahl, T. (2011): Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste (AMSeL). *Die Küste*, 78, 59–163.
- Johnston, R.J., Rolfe, J., Rosenberger, R.S. & Brouwer, R. (2015): Introduction to Benefit Transfer Methods. In: Johnston, R.J., Rolfe, J. & Rosenberger, R.S. (Hrsg.): Benefit Transfer of Environmental and Resource Values. A Guide for Researchers and Practitioners (S. 19–60). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Johnston, R.J. & Wainger, L.A. (2015): Benefit Transfer for Ecosystem Service Valuation: An Introduction to Theory and Methods. In: Johnston, R.J., Rolfe, J. & Rosenberger, R.S. (Hrsg.): Benefit Transfer of Environmental and Resource Values. A Guide for Researchers and Practitioners (S. 237–273). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Kauffman, G.J. (2016): Economic Value of Nature and Ecosystems in the Delaware River Basin. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 158 (1), 98–119.
- KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg, Hamburg: TuTech Verlag.

- Kowarik, I., Bartz, R. & Brenck, M. (Hrsg.) (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen.
- Krons (1989): Naturräumliche Gliederung Hamburgs.
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (2009): Hochwasserschutz für die Hamburger Binnengewässer. Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 3.
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (2011): Hochwasser an Hamburgs Binnengewässern am 6. und 7. Februar 2011. Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 6.
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (2014): Überschwemmungsgebiete in Hamburg. Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 15.
- limnobios, Büro für Fisch- und Gewässerökologie (2009): Die Kollau in Hamburg – OWK al_09. Fischbestandskundliche Untersuchungen und ökologische Bewertung der Fischfauna gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie.
- limnobios, Büro für Fisch- und Gewässerökologie (2014): Die Kollau in Hamburg – OWK al_09. Fischbestandskundliche Untersuchungen und ökologische Bewertung der Fischfauna gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. 1. Folgebewertung.
- Malitz, G. & Ertel, H. (2015): KOSTRA-DWD-2010. Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Bezugszeitraum 1951 bis 2010. DWD, Abteilung Hydrometeorologie.
- Meyer, F. (1954): Vegetationsuntersuchungen an der Doveelbe. Diplomarbeit. Universität Hamburg.
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR-SH) (2007): Binnenhochwasserschutz und Hochwasserrückhalt – Schleswig-Holstein. Generalplan.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (2005): Hochwasserschutz in Niedersachsen. Oberirdische Gewässer Nr. 23.
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz & Freie Hansestadt Bremen – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2012): Die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Niedersachsen und Bremen.
- Nowak, D.J., Hoehn, R.E., III, Crane, D.E., Stevens, J.C. & Fisher, C.L. (2010): Assessing Urban Forests, Effects and Values: Chicago's Urban Forest. Resource Bulletin NRS-37. United States Department of Agriculture.
- Pacific, V.J., McGlynn, B.L., Riveros-Iregui, D.A., Welsch, D.L. & Epstein, H.E. (2008): Variability in Soil Respiration across Riparian-Hillslope Transitions. *Biogeochemistry*, 91 (1), 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 (2006): Untersuchung der Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos gemäß WRRL in Tarpenbek, Kollau, Mühlenau und Seevekanal.
- Poppendieck, H.-H., Bertram, H., Brandt, I., Engelschall, B. & Prondzinski, J. von (Hrsg.) (2010): Der Hamburger Pflanzenatlas. von a bis z. mit Roter Liste und CD-ROM, München: Dölling und Galitz.
- Reese, S., Markau, H.-J. & Sterr, H. (2003): MERK – Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen. Abschlussbericht. Forschungs- und Technologiezentrum Westküste.
- Riedel, G. (2004): Ein hydrologisches Modell für tidebeeinflusste Flussgebiete. Dissertation. Technische Universität Carola-Wilhelmina zu Braunschweig.
- Rolfe, J., Johnston, R.J. & Rosenberger, R.S. (2015): Benefit Transfer of Environmental and Resource Values. In: Johnston, R.J., Rolfe, J. & Rosenberger, R.S. (Hrsg.): Benefit Transfer of Environmental and Resource Values. A Guide for Researchers and Practitioners (S. 3–17). Dordrecht: Springer Netherlands.

- Rosenhagen, G. & Schatzmann, M. (2011): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: Storch, H. von & Claussen, M. (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sachs, N. & Kaule, G. (2000): Vorprojekt zur Entwicklung und Anwendung eines räumlich differenzierten Indikatorsystems zur Messung einer nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg. Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS). Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Universität Stuttgart.
- Samaritani, E., Shrestha, J., Fournier, B., Frossard, E., Gillet, F., Guenat, C., Niklaus, P.A., Pasquale, N., Tockner, K., Mitchell, E.A.D. & Luster, J. (2011): Heterogeneity of soil carbon pools and fluxes in a channelized and a restored floodplain section (Thur River, Switzerland). *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (6), 1757–1769.
- Schlünzen, K.H., Hoffmann, P., Rosenhagen, G. & Riecke, W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. *International Journal of Climatology*, 30 (8), 1121–1136.
- Schneider, S.H. (2015): Hochwasserrückhaltebecken im Einzugsgebiet der Kollau. mündlich, Hamburg.
- Schröter, K., Kunz, M., Elmer, F., Mühr, B. & Merz, B. (2015): What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydro-meteorological evaluation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (1), 309–327.
- Schrum, C., Lowe, J.A., Meier, H.E.M., Grabemann, I., Holt, J., Mathis, M., Pohlmann, T., Skogen, M.D., Sterl, A. & Wakelin, S. (2016): Projected Change—North Sea. In: Quante, M. & Colijn, F. (Hrsg.): North Sea Region Climate Change Assessment (S. 175–217). Cham: Springer International Publishing.
- Seiffert, R., Hesser, F.B., Büscher, A., Fricke, B., Holzwarth, I., Rudolph, E., Sehili, A., Seiß, G. & Winkel, N. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Küste und die Ästuare. Mögliche Betroffenheiten der Seeschiffahrtsstraßen und Anpassungsoptionen hinsichtlich der veränderten Hydrodynamik und des Salz- und Schwebstofftransports. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.04/3.02. KLIWAS Schriftenreihe Nr. 36.
- Senat der Freien und Hansestadt Hamburg (2004): Verordnung über das Überschwemmungsgebiet der Bille zwischen der Landesgrenze und der Alten Holstenstraße Vom 20. April 1982. Senat der Freien und Hansestadt Hamburg.
- 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 20/2801. Senat der Freien und Hansestadt Hamburg.
- Späh, M., Weber, L., Oesterreicher, T. & Liebl, A. (2011): Schallschutzpflanzen. Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. IBP - Bericht B - BA 4/2010. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP.
- Statistikamt Nord (2013): Statistik informiert ...: Nr. 92/2013. Nr. 92/2013. Zensus 2011: Einwohnerzahl Hamburgs und seiner Bezirke.
- Statistikamt Nord (2015): Bevölkerungsentwicklung 2015 bis 2035 in Hamburg: Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.
- Statistikamt Nord (2017a): Meine Region. Datenblätter für Land und Bezirke. <http://region.statistik-nord.de/main/2/0/> (30.3.2017).
- Statistikamt Nord (2017b): Meine Region. Freie Datenauswahl für Hamburg. <http://region.statistik-nord.de/compare/selection/2> (30.3.2017).

- Storch, H. von & Claussen, M. (Hrsg.) (2011): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tessendorf, A. & Einfalt, T. (2012): Ensemble radar nowcasts – a multi-method approach. In: Moore, R.J., Cole, S.J. & Illingworth, A.J. (Hrsg.): Weather radar and hydrology. Proceedings of a symposium held in Exeter, UK, April 2011 (S. 310–316). Wallingford: IAHS Press.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011): TEEB Manual for Cities – Ecosystem Services in Urban Management.
- Tockner, K. & Stanford, J.A. (2002): Riverine flood plains: Present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29 (3), 308–330.
- TuTech Innovation GmbH (2011): Dokumentation der Onlinediskussion „Hochwasserschutz – wat tut Not?“. Im Rahmen des Verbundprojektes KLIMZUG-NORD.
- (1966): Verordnung über Überschwemmungsgebiete am Unterlauf der Dove- und Gose-Elbe. 3. DVO/HWaG. Vom 19. Juli 1966. In: Hamburger Justizbehörde (Hrsg.): Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt (HmbGVBl.) (Band 1966) (S. 190).
- VGRdL (2015): Entstehung, Verteilung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 2000 bis 2014. Reihe 1, Band 5. Ergebnisse der Revision 2014. <http://www.vgrdl.de/VGRdL/tbls/?lang=de-DE> (4.4.2016).
- VGRdL (2016a): Arbeitnehmerentgelt, Bruttolöhne und -gehälter in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2015. Reihe 1, Band 2.
- VGRdL (2016b): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2015. Reihe 1, Band 1.
- Volkman, O. (2016): Schiffsverkehr Tatenberger Schleuse 2015.
- Wehling, U. (2015): Persönliche Mitteilung. Besprechung.
- Wunsch, J. (2016): Aufgaben der Bremischen Deichverbände hinsichtlich Hochwasserschutz. mündlich, Bremen.
- Zehetner, F., Lair, G.J. & Gerzabek, M.H. (2009): Rapid carbon accretion and organic matter pool stabilization in riverine floodplain soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 23 (4).

12 Aufstellungsvermerk

Bearbeitet 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)
Dr. Malte Jahn, HWWI (Kap. 7)
Alrun Jasper–Tönnies, hydro & meteo (Kap. 4 und 8)
Prof. Dr. Kai Jensen, UHH (Kap. 6)
Kira Kalinski, UHH (Kap. 6)
Nikola Lenzewski, UHH (Kap. 6)
Edgar Nehlsen, TUHH (Kap. 5)
Marie–Christin Rische, HWWI (Kap. 7)
Andreas Röhlig, 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)

Der Projektbericht ist fachtechnisch nicht abgestimmt und präsentiert den Sachstand der jeweiligen Bearbeitung.

Hamburg, den 15. August 2017

elektronisch gezeichnet

Prof. Dr. Gabriele Gönnert
(Fachbereichsleiterin)



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

Titelbild:

Die Tatenberger Schleuse (Mündung der Dove-
Elbe in die Elbe) („RK 1009 9963 Tatenberger
Schleuse“ von Reinhard Kraasch – Eigenes Werk.
Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia
Commons, Aufnahme 10.9.10.)