

Stuck – Implementierung einer unter ökologischen und ökonomischen Aspekten verbesserten wasserwirtschaftlichen Steuerung

Fred Hesser, Gabriele Gönnert, Peter Fröhle, Thomas Einfalt, Annette Eschenbach, Kai Jensen und Malte Jahn

Abstract

In coastal urban rivers, runoff is often compromised by backwater due to the tide – with a negative impact on inland drainage. If no drainage is possible between two high tides, this is called a ‘blocked tide’. This type of event has a considerable impact, especially in combination with inland flooding caused by heavy local rainfall. The goal of Stuck is to analyse the hydrological interrelationships of these events and their impact as well as to develop suitable management strategies for the affected rivers. In addition to hydrological factors, ecological and economic consequences are also being studied and evaluated. The outcomes from planning- and management activities are to be integrated into the operational activities of the public authorities, e.g. the ‘Agency of Roads, Bridges and Water’ in the city of Hamburg.

Zusammenfassung

In küstennahen urbanen Gewässern ist tidebedingt der Abfluss oft durch Rückstau beeinträchtigt – mit negativen Auswirkungen auf die Binnenentwässerung. Ist eine Entwässerung zwischen zwei Tidehochwassern nicht möglich, spricht man von einer Sperrtide. Ein solches Ereignis hat, insbesondere in Kombination mit einem durch starke Niederschläge hervorgerufenen Binnenhochwasser, zum Teil erhebliche Konsequenzen. Ziel von Stuck ist es, die hydrologischen Zusammenhänge dieser Ereignisse und deren Auswirkungen zu analysieren sowie geeignete Bewirtschaftungsstrategien für betroffene Gewässer zu entwickeln. Neben hydrologischen Faktoren werden auch ökologische und ökonomische Konsequenzen untersucht und bewertet. Die Ergebnisse aus Planungs- und Bewirtschaftungsaktivitäten sollen in das operationelle Geschäft der Behörden, wie z. B. dem Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer in Hamburg (LSBG), eingeführt werden.

1 Ziele

Am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg werden im Verbundprojekt Stuck („Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung

des Klimawandels“) nachhaltige und allgemeingültige Lösungsansätze für die Gewässerbewirtschaftung küstennaher Städte entwickelt.

Im Fokus stehen dabei eine verbesserte Steuerung von Entwässerungssystemen sowie optimierte Hochwasserwarnungen auf der Grundlage von zeitlich und räumlich präzisen Niederschlagsvorhersagen. Die Gewährleistung der Übertragbarkeit von Methodik und Ergebnissen auf andere Regionen und die Implementierung in die Praxis erfahren in Stuck eine besondere Beachtung.

Der interdisziplinäre Ansatz von Stuck bezieht, sowohl im IST-Zustand als auch nach einer geänderten Gewässerbewirtschaftung, die Analyse des ökologischen Zustands und die ökonomische Bewertung ein und stellt somit einen innovativen Aspekt dar. Geleistet wird diese interdisziplinäre Arbeit in insgesamt acht Arbeitspaketen (AP) zusammen mit den Projektpartnern:

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG)

Prof. Dr. Gabriele Gönner, Dieter Ackermann, Fred Hesser, Dr. Heiko Westphal

Projektkoordination und Projektleitung

AP 3 Hochwassermanagement

AP 5 Umsetzung in urbanen Projektgebieten

AP 8 Projektmanagement

hydro & meteo GmbH & Co. KG (hm)

Dr. Thomas Einfalt, Alexander Strehz

AP 1: Niederschlagsmessung und -vorhersage

AP 7: Kommunikation und Vernetzung

Technische Universität Hamburg (TUHH):

Institut für Wasserbau

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle, Sandra Hellmers

AP 2: Hydrologie und Flächenmanagement

Universität Hamburg (UHH):

Angewandte Pflanzenökologie, Biozentrum Klein Flottbek

Prof. Dr. Kai Jensen, Nikola Lenzewski

Institut für Bodenkunde, Centrum für Erdsystemforschung u. Nachhaltigkeit (CEN)

Prof. Dr. Annette Eschenbach, Dr. Alexander Gröngröft, Kira Kalinski

AP 4: Ökologie urbaner Fließgewässer

Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)

Malte Jahn, Andreas Röhlig, Marie-Christin Rische

AP 6: Ökonomische Analyse

2 Beschreibung und Untersuchung der Modellregionen

Für die Erarbeitung von Hochwassermanagement-Maßnahmen werden innerhalb des Hamburger Stadtgebiets die zwei Modellregionen Kollau und Dove-Elbe ausgewählt, die sich hinsichtlich Hydrologie und wasserbaulicher Anlagen unterscheiden (Abb. 1).

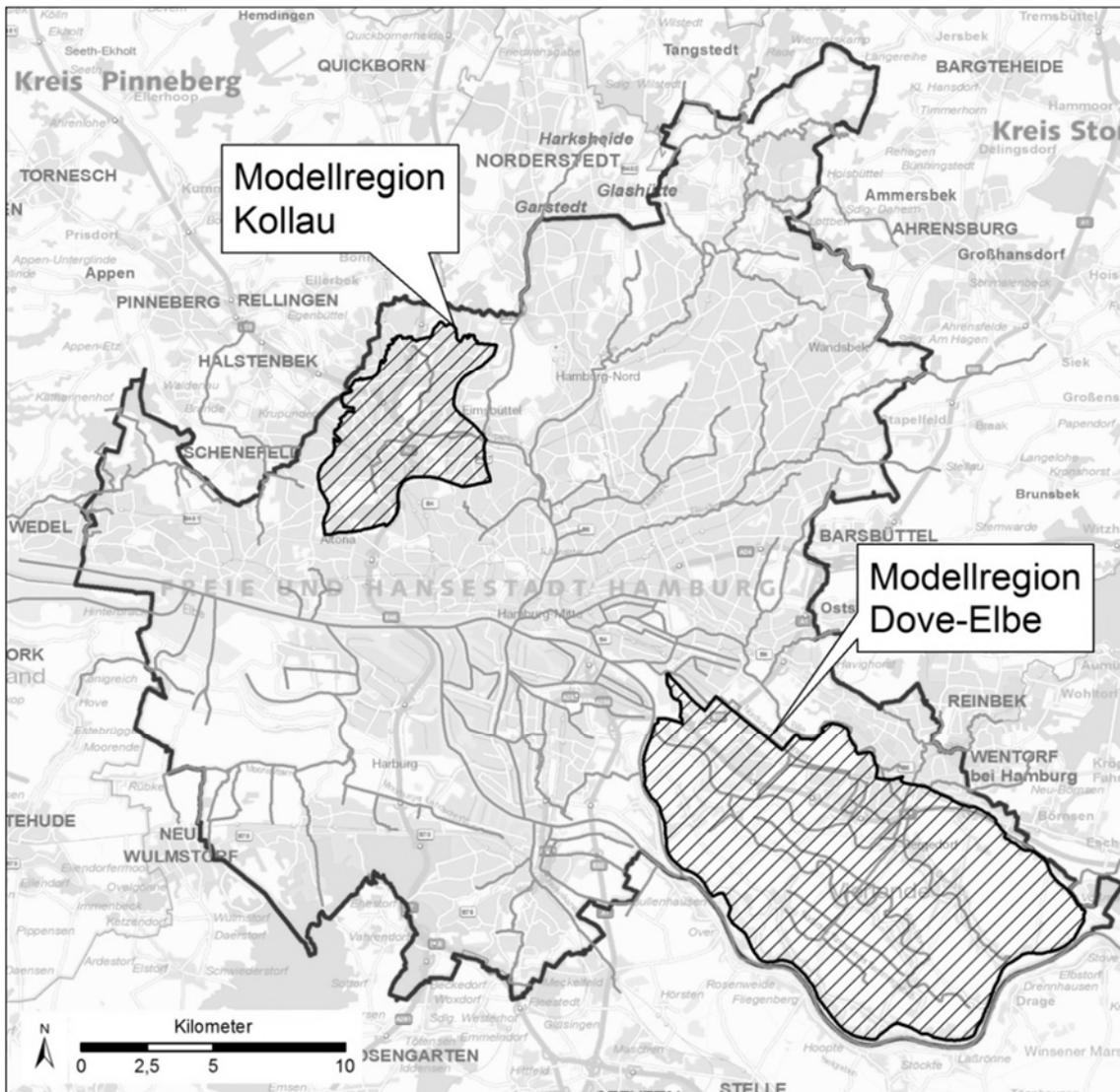


Abb. 1: Lage der StuCK-Modellregionen innerhalb der Freien und Hansestadt Hamburg

Die Modellregion Kollau ist mit einer Größe von 32 km² ein relativ kleines Einzugsgebiet und zeichnet sich durch die hohe Anzahl von 23 Hochwasserrückhaltebecken (HRB) aus. Eine teilweise dichte Bebauung führt zu hoher Bodenversiegelung, folglich reagieren die Kollau und ihre Zuflüsse auf Starkniederschläge innerhalb von rund 30 Minuten und damit sehr schnell.

Die Modellregion Dove-Elbe stellt mit 160 km² den Hamburger Teil des Einzugsgebiets der Dove-Elbe (rund 507 km²) dar. Im Jahr 1443 erfolgte durch den Anschluss der Bille

an die Dove-Elbe eine Erweiterung des Einzugsgebiets um etwa 247 km². Das Einzugsgebiet der Bille liegt überwiegend in Schleswig-Holstein. Die Modellregion besitzt eine sehr komplexe Entwässerungsstruktur mit Wehren, Schleusen und Schöpfwerken. Eine dichte urbane Bebauung wechselt sich hier mit dörflichen Siedlungsstrukturen und landwirtschaftlicher Nutzung ab.

Zur Erfassung des aktuellen Zustandes werden neben hydrologischen auch ökologische und ökonomische Faktoren betrachtet. Die Vorgehensweise und erste Ergebnisse werden in den nächsten Kapiteln beschrieben. Weitergehende Informationen befinden sich im Stuck-Zwischenbericht (LSBG 2016).

2.1 Hydrologie

Eine Besonderheit in der Modellregion Dove-Elbe ist die Abhängigkeit von den Tidewasserständen der Elbe. Hier werden bspw. statistische Untersuchungen zur Häufigkeit von Sperrtiden durchgeführt, also Tideniedrigwasserstände (Tnw) der Elbe, die keine Entwässerung der Dove-Elbe zulassen, weil der Außenwasserstand über dem Binnenwasserstand liegt (Tab. 1). Hintereinanderliegende Sperrtiden werden auch als Tnw-Ketten bezeichnet, wobei eine Sperrtide einer Tnw-Kette, die einmal auftritt (Tnw-Kette 1x) entspricht (Jensen et al. 2011).

Tab. 1: Anzahl der Tnw-Ketten am Pegel Schöpfstelle, die für die hydrologischen Jahre 1991 bis 2016 die genannten Tnw-Höhen übersteigen. An der Dove-Elbe wird binnenseitig ein IST-Wasserstand von 90 cm NHN eingestellt (grau hinterlegt). Sowohl bei den Tnw-Höhen als auch bei der Anzahl an Wiederholungen erfolgt eine Mehrfachnennung der Ereignisse.

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

Bei gleichzeitigem Hochwasser in der Bille kann es während solcher Tnw-Ketten zu Überschwemmungen in der Modellregion Dove-Elbe kommen. Eine vergleichende statistische Auswertung der Binnen- und Außenwasserstände zeigt, dass das ganzjährige arithmetische Tideniedrigwasser der Elbe bei -145 cm NHN liegt. In Zeiträumen mit Hochwasser an der Bille ist auch das arithmetische Mittel des Tnw gegenüber dem mittleren Tnw um ca. 55 cm erhöht. Die Ursachen dafür werden in Stuck eingehend untersucht.

Eine statistische Auswertung der Laufzeiten von Hochwasserscheiteln zeigt in der Bille eine große Varianz von 15 bis fast 46 Stunden für die Fließstrecke von 28 km vom Pegel Hamfelde bis Pegel Mörkenweg bei 16 betrachteten Hochwasserereignissen. Tenden-

ziell zeigen die Hochwasserereignisse mit den höchsten Scheitelwasserständen die geringsten Laufzeiten. An der Kollau werden die Laufzeiten ebenfalls ausgewertet. An drei aufgetretenen Ereignissen lässt sich eine Laufzeit des Hochwasserscheitels vom Pegel Olloweg bis zum Pegel Niendorfer Straße (Fließstrecke: 2,8 km) von fünf bis sechs Stunden ermitteln. Abb. 12 zeigt beispielhaft das Ereignis vom 23./24. Mai 2016.

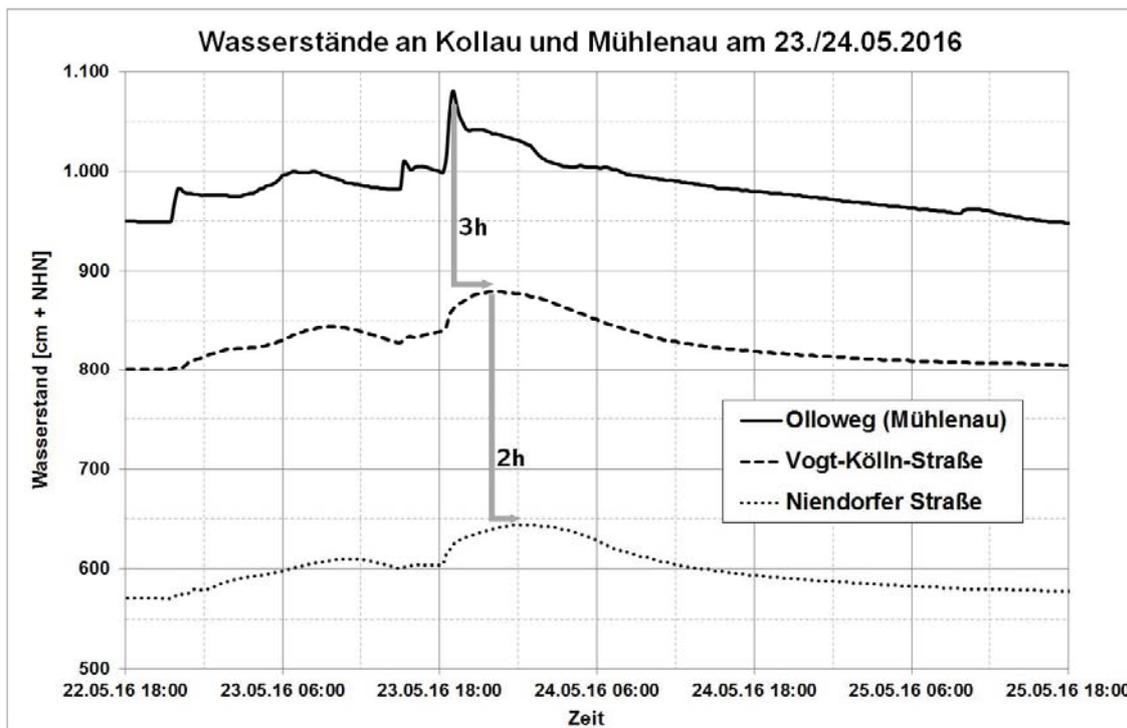


Abb. 1: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Mühlenau und Kollau während des Hochwassers vom 23. und 24.05.2016

2.2 Vegetation

Von der Angewandten Pflanzenökologie (UHH, Biozentrum Klein Flottbek) werden Artenzusammensetzung und -vielfalt der Vegetation in den Modellregionen erfasst. Insbesondere die Auen entlang von Kollau und Dove-Elbe sowie trockene und dauergestaute HRB im Einzugsgebiet der Kollau werden untersucht. Weiterhin werden die Biomasse der Vegetation und ihre chemische Zusammensetzung in unterschiedlichen Ökosystemen in den Flussauen ermittelt. In Mesokosmosexperimenten sollen Effekte eines veränderten Gewässermanagements auf die Vegetation untersucht werden.

In der Modellregion Kollau wird beispielhaft die Vegetationsentwicklung nach der Wiederherstellung eines vorher weitgehend verlandeten HRB dokumentiert. Anhand mehrfacher Kartierungen wird der Verlauf der Wiederbesiedlung untersucht.

Für die Modellregion Dove-Elbe liegen Vegetationsuntersuchungen aus dem Jahr 1954 vor (Meyer, 1954), die den Zustand vor und nach der Eindeichung des Bereiches und damit auch der Beendigung des direkten Tideeinflusses dokumentieren. Im Rahmen von

Stück werden die damals untersuchten Flächen erneut vegetationskundlich aufgenommen und mit den damaligen Ergebnissen verglichen.

2.3 Boden

Vom Institut für Bodenkunde (UHH, CEN) wurden die charakteristischen Böden der Modellregionen kartiert. Dabei handelt es sich sowohl um naturnahe, als auch um anthropogene Böden auf unterschiedlichen Substraten. Es dominieren entlang der Kollau grundwasserbeeinflusste Böden, wie Kolluvisol-Gley und Anmoorgley. In der Modellregion Dove- Elbe finden sich in erster Linie Marschenböden in Form von Flussmarschen.

In die Böden installierte Messgeräte erfassen im Einzugsgebiet der Kollau den Bodenwasserhaushalt und das Wasserretentionsvermögen an Standorten unterschiedlicher Nutzung. Es erfolgt die Aufnahme bodenhydrologischer Parameter und die In-Situ-Erfassung von Bodenwassergehalt und Bodenwasserspannung. Daraus werden die Wasserspeicherung und die Bodenwasserbewegung ermittelt.

Neben der Biomasse in der Vegetation wird auch der Kohlenstoffpool des Bodens hinsichtlich Menge und Art untersucht. Dies geschieht an charakteristischen Leitprofilen in den Überschwemmungsgebieten der Modellregionen. Um die Steuerungsfaktoren des Kohlenstoffabbaus zu identifizieren werden Labor- und In-Situ-Versuche in Kombination (Abb. 23) durchgeführt.

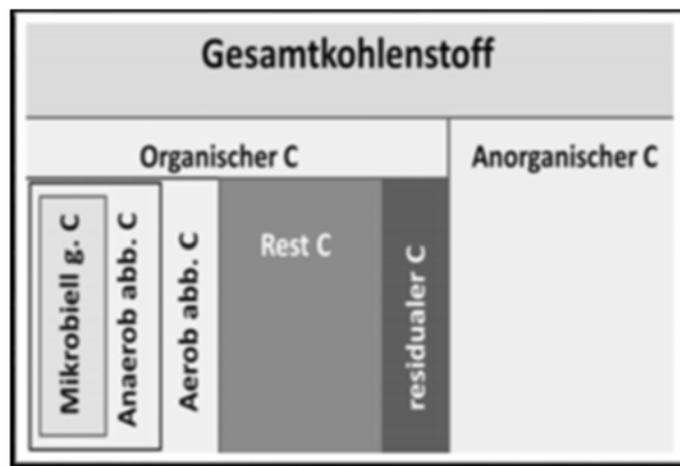


Abb. 2: Ansatz zur Erfassung der unterschiedlichen Kohlenstoff-Pools im Boden

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind Schadstoffe, die mit dem Fließgewässer transportiert und in Auen, Überschwemmungsgebieten und HRB abgelagert werden. Das Schadstoffinventar (PAK, MKW, PCB, Spurenmetalle etc.) dieser Flächen wurde erfasst. Weiterhin wurde versucht Einflussfaktoren zu identifizieren, die Art und Konzentration einzelner Schadstoffe steuern. Dazu gehören die Nutzung, die Lage im Einzugsgebiet oder Sedi- und Bodeneigenschaften.

2.4 Flächenentwicklung und Nutzungskonkurrenzen

Das HWWI recherchiert die Entwicklung der einzelnen Flächennutzungsarten in den Bezirken Eimsbüttel (entspricht ungefähr der Modellregion Kollau) und Bergedorf (entspricht ungefähr der Modellregion Dove-Elbe) sowie für die gesamte Freie und Hansestadt Hamburg zwischen 2000 und 2014 (Abb. 34). Die Daten basieren auf Angaben des Statistikamts Nord. An den Verlauf der Entwicklung wird sowohl ein linearer Trend angepasst, als auch ein Regressionsverfahren auf die Entwicklung von 2000 bis 2014 angewendet. Aus der bisherigen Entwicklung, zusammen mit der Prognose der Einwohnerzahl, können künftige Entwicklungen der Flächennutzung abgeleitet werden. Ziel ist die Angabe der Flächennutzung in den Modellregionen für das Jahr 2035, zur Ableitung einer entsprechenden Bodenversiegelung.

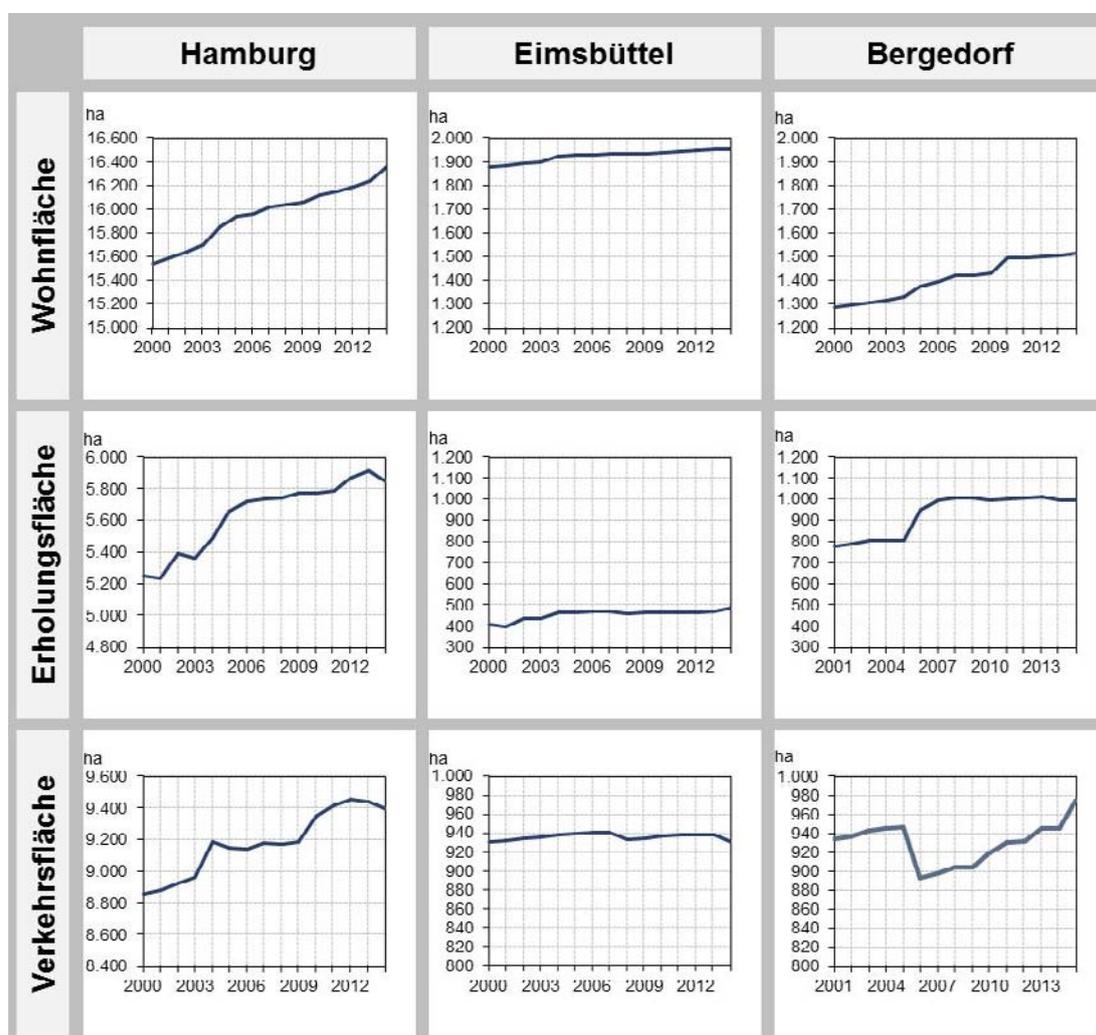


Abb. 3: Flächennutzungsentwicklung für Hamburg sowie für die Bezirke Eimsbüttel und Bergedorf, in denen die Modellregionen verortet sind (Quelle: Statistik Nord, HWWI)

3 Aufbau numerischer Modelle als Werkzeuge in Stuck

Um nachhaltige und allgemeingültige Lösungsansätze für die Gewässerbewirtschaftung zu finden, ist die Verwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen (N-A-Modelle) notwendig. Mit ihnen können komplexe Zusammenhänge im Computer abgebildet werden. Neben dem IST-Zustand, für den das Modell kalibriert wird, können die Randbedingungen und die Art der Steuerung von wasserbaulichen Anlagen verändert werden (Szenarien). Das ermöglicht es, Optimierungsansätze im Bereich des Flächenmanagements oder der Steuerung von Anlagen hinsichtlich ihrer hydraulischen Wirkung zu überprüfen. Zusätzlich werden im Rahmen von Stuck auch klimatische und städtebauliche Veränderungen, wie sie für das Jahr 2035 erwartet werden, im Modell realisiert, um das Hochwassermanagement auf seine Funktion unter künftigen erschwerten Bedingungen zu testen. Für die Kollau wird ein entsprechendes semi-distributives Modell mit dem Programm KalypsoHydrology (z. B. Hellmers, 2010) erstellt (Abb. 45). Für die Dove-Elbe sind die wichtigsten Arbeiten zur Modellrealisierung abgeschlossen. Hier sind noch Erweiterungen nötig, um die Steuerung wasserbaulicher Anlagen und den Tidewasserstand als Randbedingung zu berücksichtigen.

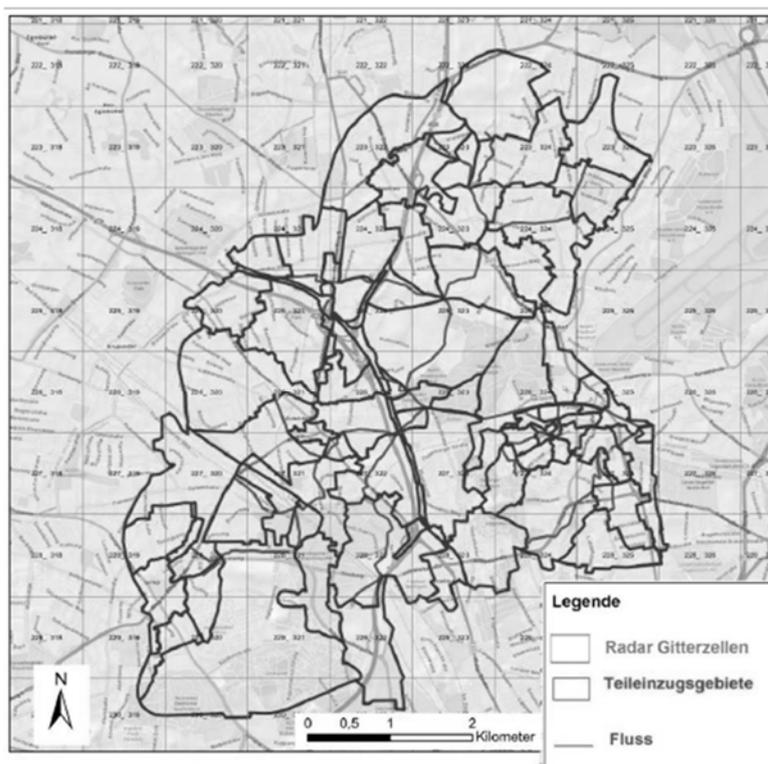


Abb. 4: Niederschlag-Abfluss-Modell (KalypsoHydrology) der Kollau mit seinen Teileinzugsgebieten und den einzelnen Radar Gitterzellen (1x1 km) (Quelle: TUHH)

Die im Rahmen von Stuck durch die TUHH erstellten Modelle sollen über diese Verwendung hinaus auch operationell, im vom LSBG betriebenen Warndienst Binnenhochwasser Hamburg, zur Kurzzeitvorhersage von Abflüssen und Wasserständen eingesetzt

werden. Die Güte solcher Vorhersagen hängt, vor allem im Hochwasserfall, im Wesentlichen von der Genauigkeit der prognostizierten Niederschläge und deren zeitlicher und räumlicher Auflösung ab. Die Firma hydro & meteo entwickelt dazu im Rahmen von Stuck eine Kombination von kurzfristigen Niederschlagsvorhersagen auf Basis von Radarmessungen und längerfristigen numerischen Ensemblevorhersagen (COSMO-DE-EPS). Im operationellen Betrieb werden alle fünf Minuten Niederschlagsprognosen für ein 1x1 km-Raster generiert und automatisiert für das Modell KalypsoHydrology bereitgestellt.

Seitens hydro + meteo werden im Rahmen von Stuck zur Qualitätsverbesserung der Radarvorhersage (Nowcast) vier Radarstationen des DWD zu einem Komposit vereint und Verbesserungen bei der Auswertung und der Vorhersage implementiert. Hier ist das Ziel, die im Projekt bereits erzielte Radarvorhersage von einer Stunde auf zwei Stunden auszudehnen. Die Unsicherheiten in der Prognose werden in Form von zehn verschiedenen Ensembles des Radar Nowcasts wiedergegeben, die alle von KalypsoHydrology operationell berechnet werden. So kann eine Bandbreite der möglichen Abflüsse und Wasserstände vorhergesagt werden (Abb. 56).

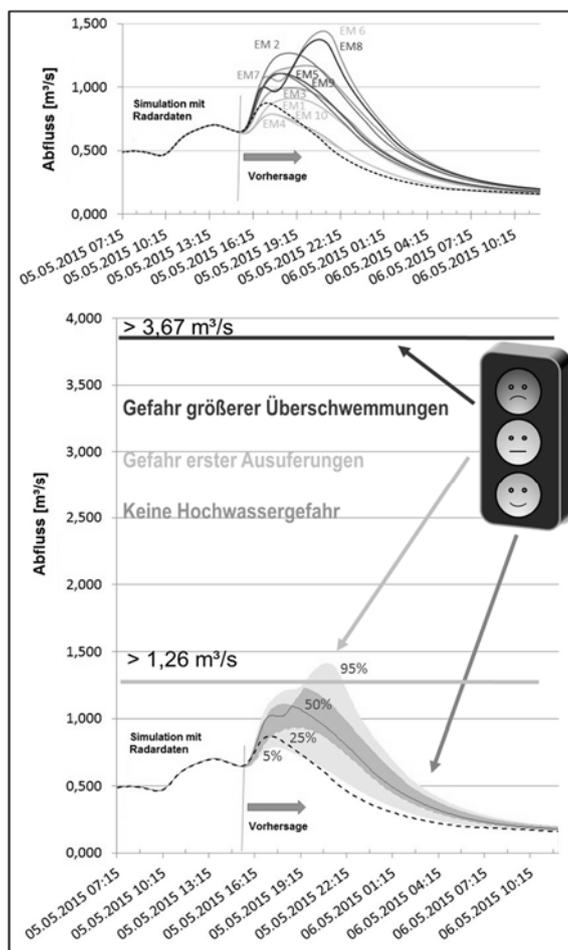


Abb. 5: Optimierte Niederschlag-Abflussmodellierung durch den Einsatz von Ensemble Radar Nowcasts und deren Bewertung mit einem Ampelsystem in drei Warnstufen (Quelle: TUHH)

Die Bewertung dieser Vorhersagen erfolgt durch ein einfaches Ampelsystem. Bei grüner Stufe droht keine Hochwassergefahr, bei gelber Stufe besteht die Gefahr erster Ausuferungen der Gewässer, bei roter Stufe die Gefahr größerer Überschwemmungen. Diese einfache und klare Benennung erlaubt das schnelle Erkennen einer Gefahrensituation. Die entsprechenden Grenzwerte der Stufen sind bereits pegelindividuell festgelegt und dienen als Grundlage für die Einschätzung von Hochwassersituationen im Warndienst Binnenhochwasser Hamburg (www.WaBiHa.de). Die Kopplung der operationellen Arbeiten von hydro + meteo mit der TUHH dient als Testplattform zur Erweiterung des Warndienstes.

Durch die Abdeckung des gesamten Küstenbereichs ist es möglich, die Radardaten auch dem ReWaM-Projekt KOGGE (Rostock) fortlaufend zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist die Übertragbarkeit der Vorhersage auf andere norddeutsche Städte, wie beispielsweise Bremen, die auch assoziierter Projektpartner in Stuck sind, sichergestellt.

4 Szenarienerstellung

Zur Identifizierung geeigneter Maßnahmen in den Bereichen Flächenmanagement und Steuerung von wasserbaulichen Anlagen werden realitätsnahe Szenarien entworfen und im Modell auf ihre Wirkung geprüft. Mit Worst-Case-Szenarien werden die maximal möglichen negativen Folgen abgeschätzt und die Wirkung bereits bestehender Hochwasserschutzsysteme ermittelt. Im Rahmen von Stuck werden die Ergebnisse der Szenarien mit dem IST-Zustand im Jahr 2015 verglichen. Veränderungen der Flächennutzung und der hydrologischen Randbedingungen werden für das Jahr 2035 projiziert. Im N-A-Modell werden, entsprechend den in Tabelle 2 genannten Szenarien, verschiedene Randbedingungen und Flächennutzungen vorgegeben, um deren Auswirkungen auf Abflussgeschehen und Wasserstände zu berechnen.

Tab. 2: Szenarienmatrix (0 = keine Veränderung, 1 = Änderung, - = Abnahme, + = Zunahme).

	Flächennutzung	Klimawandel	Hochwasser-management
IST-Zustand	0	0	0
Szenario 1	0	0	+
Szenario 2	+	0	0
Szenario 3	-	0	0
Szenario 4	0	1	0
Szenario 5	+	1	0
Szenario 6	-	1	+
Szenario 7	+	1	+

4.1 Flächenentwicklung

Als IST-Zustand für die Flächenentwicklung wird die Flächennutzung des Jahres 2015 mit möglichen künftigen Zuständen verglichen. Von den in Kap. 2.4 genannten Verfahren des HWWI zur Prognose der Flächenentwicklung wird im Rahmen von StucK das Regressionsverfahren eingesetzt. Es berücksichtigt eine Reihe von Indikatoren, die eine Rolle in der Entwicklung spielen. Mittels Bevölkerungsprognosen wird die Flächenentwicklung bis 2035 auf Bezirksebene fortgeschrieben und daraus ein Versiegelungsgrad bestimmt (Eimsbüttel: Abb. 67).

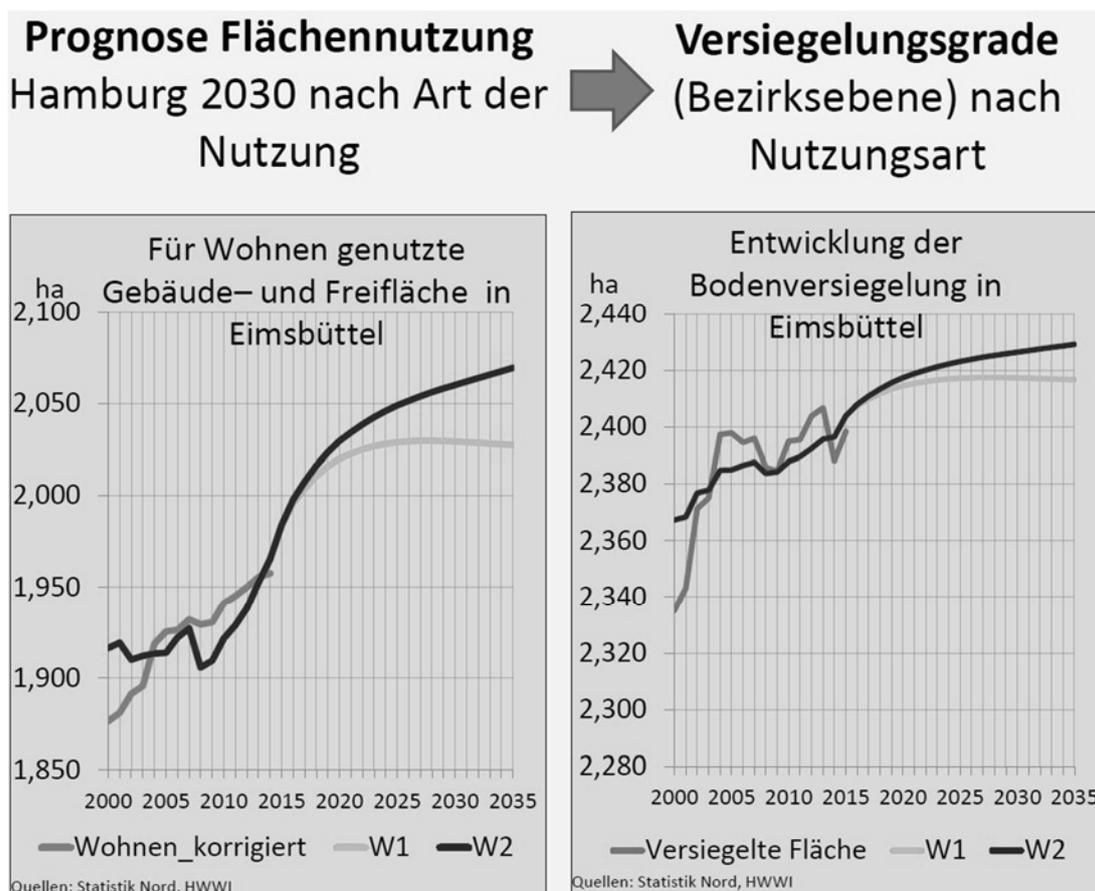


Abb. 6: Bisherige und prognostizierte Entwicklung der für Wohnen genutzten Gebäude- und Freiflächen in Eimsbüttel und die daraus resultierende Entwicklung der Bodenversiegelung. W1 und W2 stellen unterschiedliche Prognosen der Bevölkerungsentwicklung Hamburgs dar (Quelle: HWWI).

Die bereits in den Modellregionen bestehenden Bauvorhaben, wie z. B. die Wohnbebauung der ehemaligen Trabrennbahn im Stadtteil Bahrenfeld, und bis 2035 geplante Bauvorhaben (laut Bebauungsplänen) werden berücksichtigt, ebenso wie neue Bauvorschriften hinsichtlich dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen. Solche konkreten Kenntnisse werden im N-A-Modell als erster Schritt umgesetzt. Danach erfolgt ein Abgleich des sich daraus ergebenden Versiegelungsgrades mit den Prognosen des HWWI.

Werden diese Prognosen noch nicht erreicht, erfolgt in einem zweiten Schritt im N-A-Modell eine entsprechende Nachverdichtung der bestehenden Wohnbebauung.

4.2 Hochwassermanagement

Das Arbeitspaket Hochwassermanagement hat zum Ziel, Vorschläge zum Management der Binnenentwässerung zu entwickeln, die hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und ökologischen Wirksamkeit geprüft werden. Für die Modellregion Kollau werden zunächst folgende Szenarien geprüft:

- keine 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
- naturnaher Gewässerausbau

In der Modellregion Dove-Elbe steht die Steuerung des Wasserstandes der Dove-Elbe im Sinne einer Vorabsenkung und auch eines zeitweise höheren Wasserstandes im Vordergrund. Darüber hinaus gibt es auch Ansätze von naturnahem Gewässerausbau, wie z. B. eine Auenrevitalisierung.

4.3 Klimawandel

Bis zum Zeithorizont 2035 werden sich im Zuge des Klimawandels auch die hydrologischen Randbedingungen in den Modellregionen verändern. Um dies im N-A-Modell zu berücksichtigen werden die gerechneten Niederschlagsereignisse in ihrer Intensität erhöht. Auf Grundlage einer Zusammenstellung der Ergebnisse aus Jacob et al. (2014), Hellmers (2010) und Nehlsen (2016) für die Veränderungen der Starkniederschläge in der Metropol-Region Hamburg wurde eine Zunahme der Starkniederschlagsintensitäten um 15 % angenommen. Modelliert werden zwei 30-jährliche Ereignisse mit den Dauerstufen 1 h und 1 d, das Bemessungsereignis das zu einem 5-jährlichen Abflussereignis führt und, nur in der Modellregion Kollau, das Hochwasserereignis vom Mai 2013, das zu den höchsten dort bisher gemessenen Abflüssen geführt hat.

Zusätzlich zur Intensivierung der Niederschläge wird in der Modellregion Dove-Elbe auch der Anstieg des Meeresspiegels als Außenwasserstand berücksichtigt. Bis 2035 können, durch einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg, 20 cm in der Nordsee erwartet werden (vgl. Pegel Ijmuiden in Schrum et al., 2016). Durch die Deformierung der Tidekurve in der Elbe werden in Hamburg das Tidehochwasser stärker und das Tideniedrigwasser schwächer ansteigen (Seiffert et al., 2014; Hein et al., 2014). Entscheidend für

die Entwässerung der Dove-Elbe ist die Tideniedrigwasserphase. Wieviel häufiger eine Tnw-Kette auftreten würde, wenn das heutige mittlere Tideniedrigwasser um 15 cm höher läge, zeigt der Vergleich von Tabelle 3 mit Tabelle 1. Demnach würde die Häufigkeit der Tnw-Ketten, bezogen auf den Soll-Wasserstand der Dove-Elbe von 90 cm NHN, um knapp ein Viertel zunehmen. Auch die Wahrscheinlichkeit von Tnw-Ketten 2x würde sich entsprechend erhöhen.

Tab. 3: Anzahl der Tnw-Ketten am Pegel Schöpfstelle, die für die hydrologischen Jahre 1991 bis 2016 mit einem Aufschlag von 15 cm, die genannten Tnw-Höhen übersteigen. An der Dove-Elbe wird binnenseitig ein IST-Wasserstand von 90 cm NHN eingestellt (grau hinterlegt). Sowohl bei den Tnw-Höhen als auch bei der Anzahl an Wiederholungen erfolgt eine Mehrfachnennung der Ereignisse.

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

5 Bewertung der Szenarien

Die Wirksamkeit bestimmter Maßnahmen im Hochwassermanagement kann anhand der modellierten Scheitelabflüsse und Scheitelwasserstände direkt abgelesen werden. Für eine monetäre Bewertung der Szenarien ist es notwendig, eine Risikobetrachtung mit der Berechnung von Schadenspotenzialen durch Überschwemmungen vorzunehmen. Im Rahmen von StuCK soll die Monetarisierung über die reine Risikobetrachtung von Hochwasser hinausgehen. Dazu wird die Bewertung von Ökosystemleistungen (ÖSL) in die Risikobetrachtung integriert. Die UHH liefert Daten zu den ÖSL Wasser-Retentionsvermögen von Böden, Kohlenstoffspeicherung der Vegetation und der Böden, Schadstoffretention sowie zur Biodiversität für den IST-Zustand und für bestimmte Szenarien. Das HWWI wird diese und weitere ÖSL, wie Naherholung mittels Literaturangaben (z. B. TEEB, 2011) bewerten. Diese interdisziplinäre Betrachtung der Hochwasser- und Flächenmanagementmaßnahmen soll die optimale Vorgehensweise in der heutigen und zukünftigen Gewässerbewirtschaftung aufzeigen.

6 Ausblick

Im Laufe des Jahres 2017 werden die Modelle mit den Randbedingungen gemäß den Szenarien gerechnet und deren Ergebnisse bewertet. Abgeleitet werden geeignete Strategien im Bereich Flächen- und Hochwassermanagement aus hydrologischer, ökologischer und ökonomischer Sicht. Diese Strategien sind auf andere Gebiete mit vergleichbarer Struktur und hydrologischen Randbedingungen übertragbar.

Zudem werden die N-A-Modelle in den operationellen Betrieb gehen und in Kombination mit den optimierten Niederschlagsprognosen das Hochwasserwarnsystem Hamburgs verbessern. Aufgrund der großräumigen Datenprozessierung über ein Komposit der DWD-Regenradare Emden, Hannover, Boostedt und Rostock/Warnemünde können die Niederschlagsprognosen für weitere Einzugsgebiete Norddeutschlands zur Verfügung gestellt werden. Auch das im Rahmen von Stuck erweiterte N-A-Modell KalypsoHydrology kann in weiteren Einzugsgebieten in Kombination mit der Schnittstelle zur Niederschlagsprognose eingesetzt werden.

Das HWWI wird aus den Erfahrungen von Stuck Leitfäden

- zur Berechnung erwarteter Schäden durch Überschwemmungen in den Modellregionen auf Basis von Flächennutzungsarten und
- zur grundsätzlichen Bewertung von ÖSL urbaner Fließgewässer

erstellen und somit die Übertragbarkeit der monetären Bewertung auf andere Gebiete gewährleisten.

7 Literatur

Hein, H, Mai, S., Barjenbruch, U. (2014): Klimabedingt veränderte Tidekennwerte und Seegangstatistik in den Küstengewässern. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.03. KLIWAS-33/2014. BfG, Koblenz. DOI: 10.5675/Kliwas_33/2014_2.03

Hellmers, S. (2010): Hydrological Impacts of Climate Change on Flood Probability in Small Urban Catchments and Possibilities of Flood Risk Mitigation. Master's Thesis. Hamburger Wasserbau-Schriften, 13. 260 S. Hamburg.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B. et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change 14, pp. 563-578. doi:10.1007/s10113-013-0499-2

Jensen, J., Frank, T. & Wahl, Th. (2011): Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste (AMSeL). Die Küste 78, pp. 59-163.

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (2016): Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels - BMBF-Projekt Stuck -. Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 7/2016. Online verfügbar unter www.stuck-hh.de.

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

Nehlsen, Edgar (2016): Wasserbauliche Systemanalyse als Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels für tidebeeinflusste Nebengewässer am Beispiel von Este und Krückau. Dissertation, TUHH.

Seiffert, R., Hesser, F., 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-36/2014. DOI: 10.5675/Kliwas_36/2014_3.02

TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011): TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. Online verfügbar unter www.teebweb.org.

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Gabriele Gönnert
Dipl.-Geol. Fred Hesser
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG)
Gewässer und Hochwasserschutz
Sachsenfeld 3–5
20097 Hamburg

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

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

Prof. Dr. Annette Eschenbach
Universität Hamburg (UHH)
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)
Institut für Bodenkunde
Allendeplatz 2
20146 Hamburg

Prof. Dr. Kai Jensen
Universität Hamburg (UHH)
Biozentrum Klein Flottbek
Abteilung Angewandte Pflanzenökologie
Ohnhorststraße 18
22609 Hamburg

Dipl.-Math. Malte Jahn
Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)
Baumwall 7
20459 Hamburg