

**Hochwassermanagement an Hamburger Binnengewässern -
Eine wasserwirtschaftliche, ökologische und ökonomische Optimierung im
Forschungsprojekt StucK
(Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels)**

Dieter Ackermann, Heiko Westphal, Fred Hesser, Gabriele Gönnert

Zusammenfassung

Dem Hochwassermanagement kommt in urbanen Gebieten aufgrund des hohen Schadenspotentials eine besondere Bedeutung zu. Im Projekt StucK wird untersucht, wie das Hochwassermanagement optimiert werden kann, einen Schwerpunkt bildet dabei eine präzisere Hochwasservorhersage. Hierfür werden sowohl ein Modell mit zeitlich und räumlich hoher Auflösung als auch ein vereinfachter Ansatz über einen Vorfeuchteindex verwendet. Beides sind Grundlagen einer Bewirtschaftung von Retentionsräumen wie Hochwasserrückhaltebecken. Für Bereiche, deren Binnenentwässerung zudem von der Tideelbe abhängig ist, wird zusätzlich die Vorhersage des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie herangezogen.

1. Einleitung

Am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg werden im Verbundprojekt StucK 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. Dabei findet die Übertragbarkeit von Methodik und Ergebnissen auf andere Regionen und die Implementierung in die Praxis besondere Beachtung. Der interdisziplinäre Ansatz von StucK bezieht die ökologische und die ökonomische Bewertung ein und stellt somit einen innovativen Aspekt in der Gewässerbewirtschaftung dar. Geleistet wird diese interdisziplinäre Arbeit in insgesamt acht Arbeitspaketen (AP) von vier Projektpartnern unter der Projektleitung des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) (siehe Abbildung 1).

2. Modellregionen

Die Erarbeitung von ganzheitlichen Hochwassermanagement-Maßnahmen erfolgt im Projekt StucK innerhalb des Hamburger Stadtgebiets in den Modellregionen Kollau und Dove-Elbe, die sich hinsichtlich ihrer hydrologischen Randbedingungen unterscheiden. Beide repräsentieren eine Gewässercharakteristik, die sich in der Freien und Hansestadt Hamburg jeweils verbreitet wiederfindet. Die Gewässer Hamburgs lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen. Zum einen sind dies, wie die Kollau, auf Niederschläge schnell reagierende Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten, die zudem oft einen hohen Versiegelungsgrad aufweisen. Zum anderen gibt es Gewässer, deren größere, weniger versiegelte Einzugsgebiete weit in das Umland Hamburgs hineinreichen und die dementsprechend langsamer auf Niederschläge reagieren. Für diese Kategorie steht die Dove-Elbe, deren Abfluss zudem durch den Vorfluter Tideelbe beeinflusst wird.

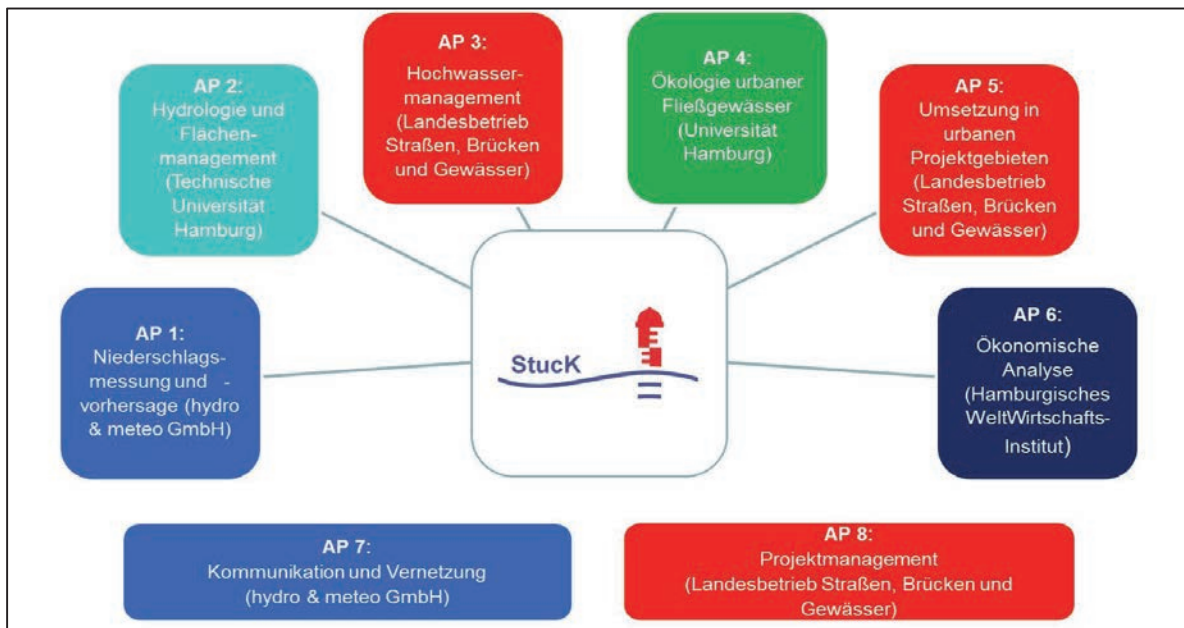


Abb. 1: Struktur des Projektes Stuck mit Arbeitspaketen und Projektpartnern.

Die Modellregion Kollau im Nordwesten Hamburgs (siehe Abbildung 2) ist mit einer Größe von 32 km² ein kleines Einzugsgebiet auf der Geest und zeichnet sich durch eine Vielzahl von Steuerungselementen (u. a. 23 Hochwasserrückhaltebecken (HRB)) aus. Im Unterlauf der Kollau finden sich Bereiche mit Wohnbebauung, die stark hochwassergefährdet sind.

Die Modellregion Dove-Elbe im Südosten Hamburgs stellt mit 160 km² den Hamburger Teil des gesamten Einzugsgebiets der Dove-Elbe (rund 507 km²) dar (siehe Abbildung 4). Die Modellregion, im Flussmarschbereich der Tideelbe gelegen, besitzt eine sehr komplexe Entwässerungsstruktur mit zahlreichen Gräben, Wehren, Schleusen und Schöpfwerken. Eine dichte urbane Bebauung wechselt sich hier mit dörflichen Siedlungsstrukturen und landwirtschaftlicher Nutzung ab.

Entlang der Kollau und der Dove- und Gose-Elbe in der Modellregion Dove-Elbe sind Risikogebiete nach der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie bestimmt worden. Im Abschnitt der Dove-Elbe zwischen der Krapphofschleuse und der Tatenberger Schleuse besteht bereits seit 1966 ein Überschwemmungsgebiet, für die Bereiche, in denen es noch keine Überschwemmungsgebiete gibt, läuft derzeit das Festsetzungsverfahren.

3. Hydrologie

3.1 Modellregion Kollau

Der Abgrenzung der Modellregion Kollau (siehe Abbildung 2) beruht auf dem Einzugsgebiet (EZG) der Kollau. Die teilweise dichte Bebauung im kleinen EZG der Kollau führt zu hoher Bodenversiegelung, folglich reagieren die Kollau und ihre Zuflüsse auf Starkniederschläge sehr schnell, so ist z. B. am Pegel Olloweg ein Anstieg des Wasserspiegels um 1,50 m innerhalb von 30 Minuten möglich. Die Kollau zeigt somit das klassische Abflussverhalten urbaner Fließgewässer.

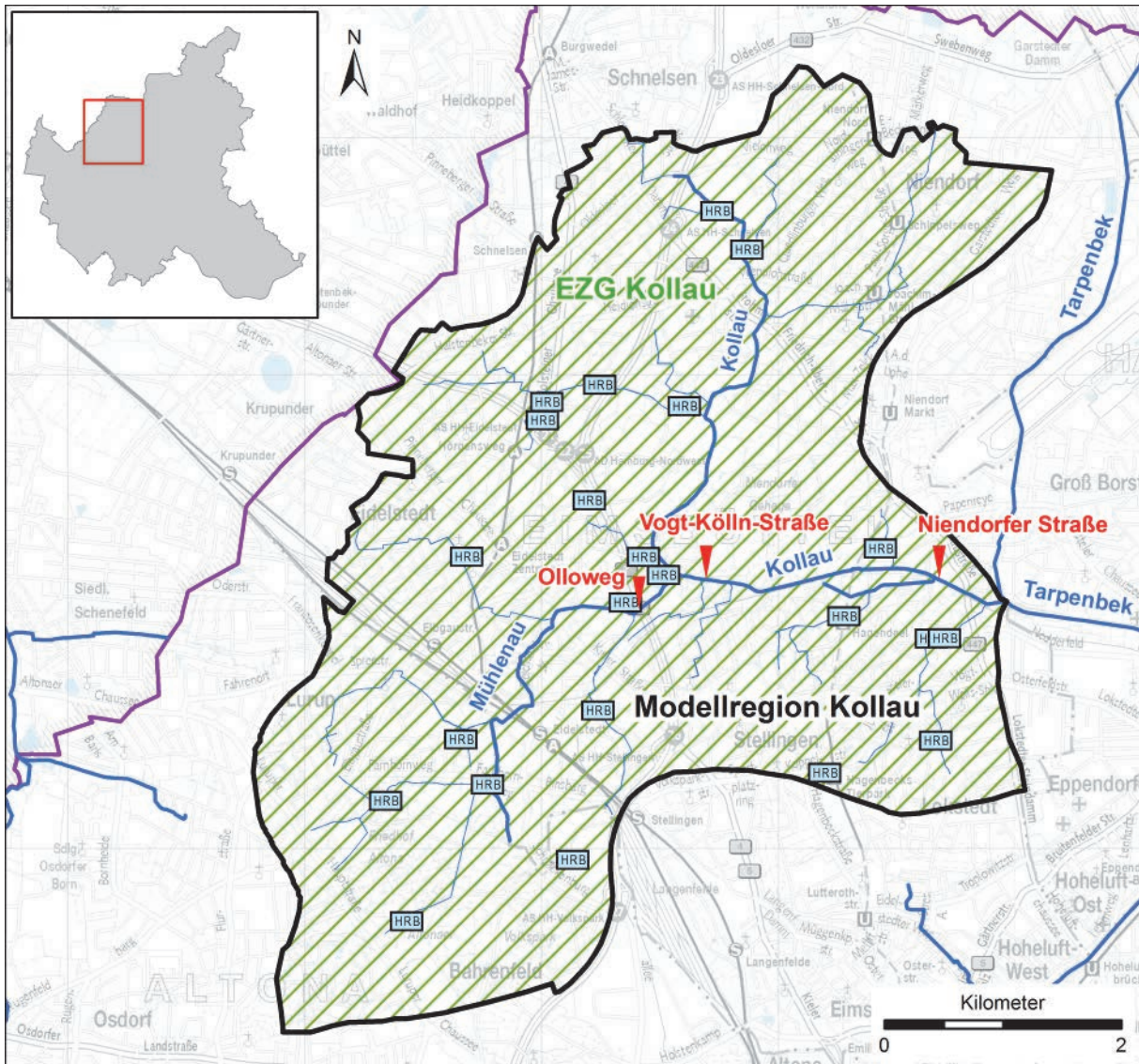


Abb. 2: Modellregion und EZG Kollau mit HRB und gewässerkundlichen Pegeln.

Da die Laufzeit einer Hochwasserwelle in der Kollau für das Hochwassermanagement von Bedeutung ist (siehe Kap. 4.1.) werden im Rahmen des Projektes kontinuierlich die Laufzeiten bei Hochwasserereignissen ausgewertet. Seit November 2015 ist der Pegel Vogt-Kölln-Straße in Betrieb. An bisher sechs aufgetretenen Ereignissen lässt sich eine Laufzeit des Hochwasserscheitels vom Pegel Olloweg bis zum Pegel Niendorfer Straße (Fließstrecke: 2,8 km) von ca. 5 Stunden ermitteln. Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Hochwasserereignis vom 23./24. Mai 2016.

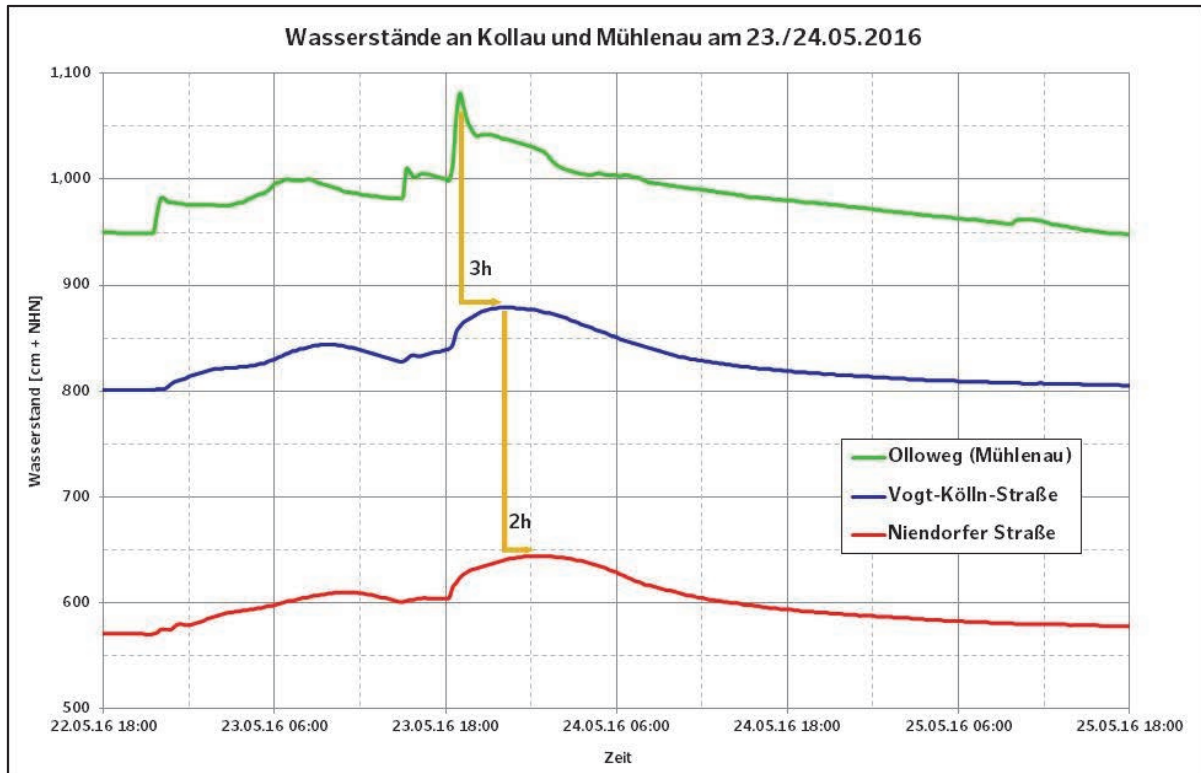


Abb. 3: Laufzeit der Hochwasserscheitel an den Pegeln der Mühlenau und Kollau während des Hochwassers vom 23. und 24.05.2016.

3.2 Modellregion Dove-Elbe

Die Besonderheit in der Modellregion Dove-Elbe ist die Abhängigkeit der Entwässerung von den Tidewasserständen der Elbe. In Abbildung 4, die die Modellregion und das EZG Obere Bille/Dove-Elbe zeigt, sind die Bereiche der Modellregion dargestellt, die ohne den Schutz durch Deiche bei mittlerem Tidehochwasser (MThw) zweimal täglich überflutet würden. Die Binnenentwässerung des Gebietes erfolgt derzeit einzig über das Deichsiel Tatenberg am Unterlauf der Dove-Elbe.

Im Rahmen des Projektes werden statistische Untersuchungen zur Häufigkeit von Sperrtiden durchgeführt, also erhöhte Tideniedrigwasserstände der Elbe, die keine Entwässerung der Dove-Elbe zulassen, weil der Außenwasserstand über dem Binnenwasserstand liegt. Bei gleichzeitigem Hochwasser in der Bille als Hauptzufluss kann es während Sperrtiden zu Hochwasser in der Modellregion Dove-Elbe kommen. Diese Situation ist in Abbildung 5 am Beispiel eines Hochwasserereignisses im Februar 2002 dargestellt. An der Ganglinie des Pegels Schöpfstelle am 27.02.2002 lässt sich erkennen, dass das Tideniedrigwasser (Tnw) so hoch ausfällt, dass keine Binnenentwässerung möglich ist. Folglich steigt der Wasserstand in der Dove-Elbe (Pegel Allermöher Deich) an.

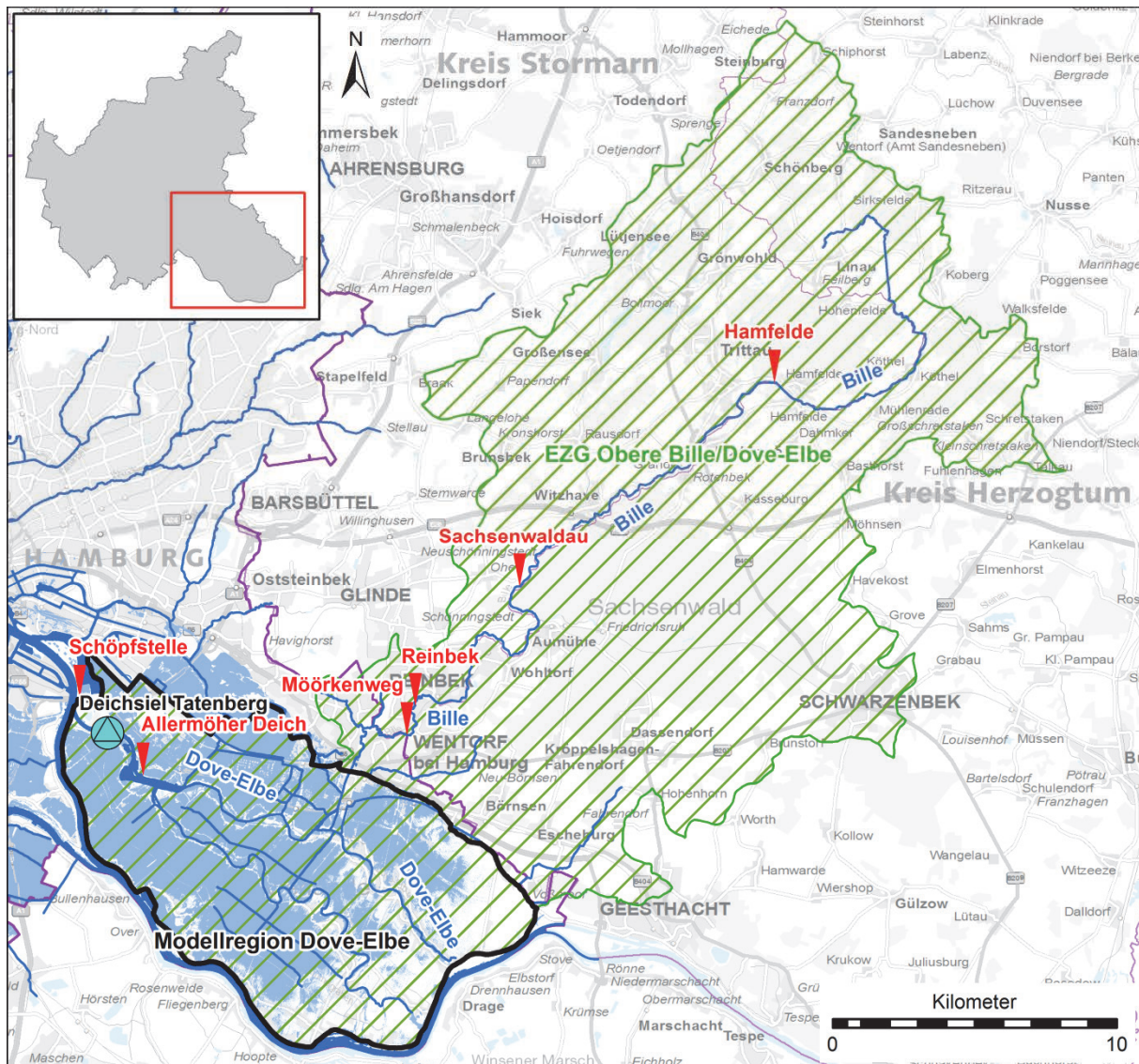


Abb. 4: Modellregion Dove-Elbe mit EZG Obere Bille/Dove-Elbe (grün schraffiert), Flächen unterhalb MThw (blau dargestellt), gewässerkundlichen Pegeln und Deichsiel Tatenberg.

Eine vergleichende statistische Auswertung der Binnen- und Außenwasserstände zeigt, dass das ganzjährige arithmetische Tnw der Elbe bei -145 cm NHN liegt. In Zeiträumen mit Hochwasser an der Bille (Pegel Möörkenweg) ist auch das arithmetische Mittel des Tnw gegenüber dem mittleren Tnw um ca. 55 cm erhöht. Die Ursachen dafür werden im Projekt Stuck eingehend untersucht. Eine statistische Auswertung der Laufzeiten von Hochwasserscheiteln in der Bille zeigt eine große Varianz von 15 bis 46 Stunden für die Fließstrecke vom Pegel Hamfelde bis zum Pegel Möörkenweg (28 km) bei bisher 16 betrachteten Hochwasserereignissen. Abbildung 5 zeigt am Beispiel des Hochwasserereignisses im Februar 2002 das vergleichsweise langsame Reaktionsverhalten des Gewässers und eine dadurch entsprechend beeinflusste Interaktion mit den Tidewasserständen. Im vorliegenden Beispiel erreicht der Hochwasserscheitel das Deichsiel Tatenberg zu einem Zeitpunkt, an dem das Tnw wieder eine Binnenentwässerung zulässt. Allerdings zeigen die größeren Hochwasserereignisse in

der Tendenz geringere Laufzeiten, was die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens beider Phänomene wiederum erhöht.

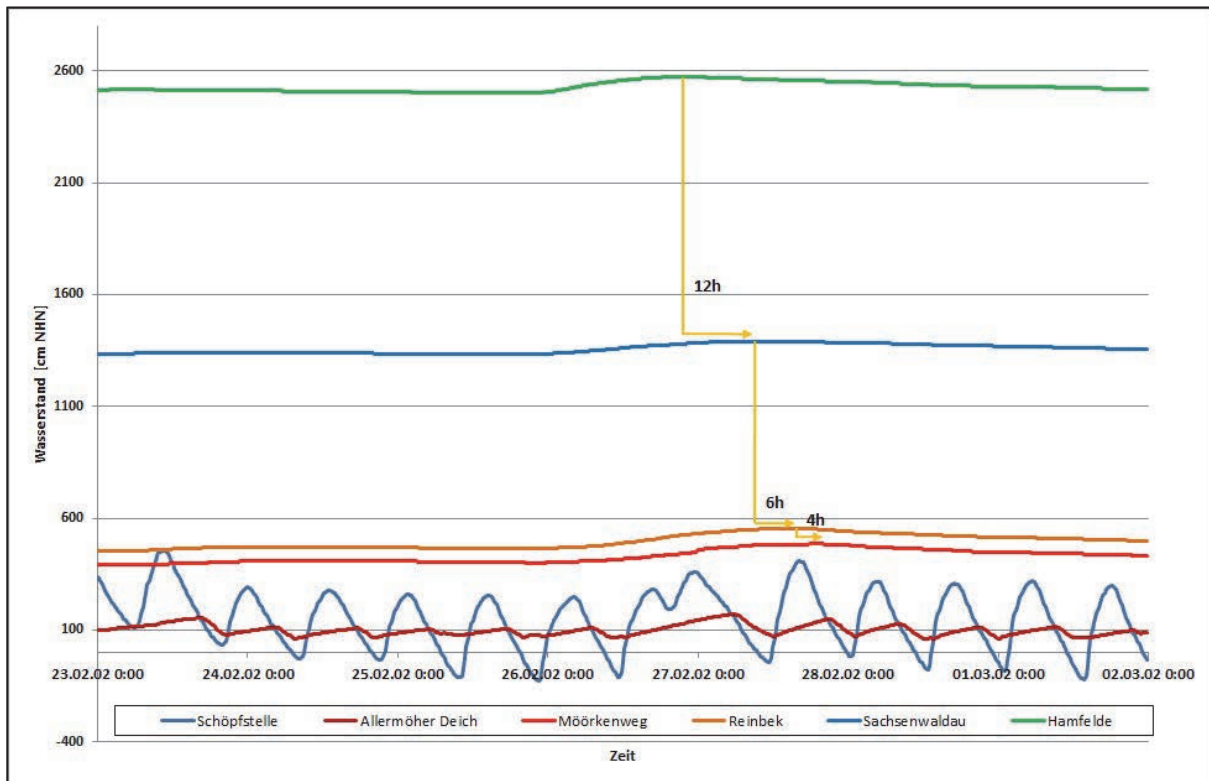


Abb. 5: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Bille, Dove-Elbe und der Tideelbe während des Hochwasserereignisses vom 27.02.2002.

4. Hochwassermanagement

Das Hochwassermanagement in einer urbanen Region wie der Freien und Hansestadt Hamburg ist, wie aufgezeigt, durch eine wesentliche Randbedingung, der kurzen Reaktionszeiten der Gewässer auf Niederschläge, geprägt. Nach einem Niederschlagsereignis verbleibt oft nur wenig Zeit auf die nachfolgende Hochwasserwelle zu reagieren. Im Warndienst Binnenhochwasser Hamburg, der eine bedeutende Säule des Binnenhochwasserschutzes Hamburgs darstellt, wird daher die Niederschlagsvorhersage als wichtige Information in den Hochwasserwarnstufen integriert. Derzeit erfolgt dies auf der Grundlage des COSMO-DE-Modells des DWD (Deutscher Wetterdienst, 2013). Im Rahmen des Projektes Stuck wird die Niederschlagsvorhersage deutlich verbessert. Die Firma hydro & meteo entwickelt dazu eine Kombination von kurzfristigen Niederschlagsvorhersagen auf Basis von Radarmessungen und längerfristigen numerischen Ensemblevorhersagen auf der Grundlage des COSMO-DE-EPS-Modells des DWD (Deutscher Wetterdienst, 2015). Untersuchungen an Flüssen in Rheinland-Pfalz haben gezeigt, dass die Nutzung der Ensemble-Vorhersagen die Hochwasservorhersage verbessert (Bartels et al. 2016). Die dort betrachteten Gewässer haben deutlich größere Einzugsgebiete als die hamburgischen Gewässer, im Projekt Stuck wird anhand der Modellregion Kollau untersucht, wie gut sich die Ensemblevorhersagen des DWD für

kleine Einzugsgebiete eignen (Strehz et al. 2017). Für die Modellregion Dove-Elbe wird für den Zufluss der Bille ein vereinfachtes Verfahren auf der Grundlage eines Vorfeuchteindex (siehe Kap. 4.2) angewendet, die Vorhersage des Tidewasserstandes als Randbedingung basiert auf den Daten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie.

4.1 Modellregion Kollau

Im urban geprägten Einzugsgebiet der Kollau mit entsprechendem Schadenspotential kommt dem Hochwassermanagement eine besondere Bedeutung zu. Das Hochwassermanagement basiert in erster Linie auf 23 HRB, in denen ein Rückhaltevolumen von insgesamt 115.000 m³ zur Verfügung steht. Eine Steuerung der HRB findet nur in eingeschränktem Maß statt. Untersuchungen der Technischen Universität Hamburg haben gezeigt, dass an vielen dieser HRB die Scheitelabminderung bei Hochwasser nur gering ist (Petersen 2003). Im Rahmen von Stuck wurde für ein HRB untersucht, welche Effekte eine Steuerung auf der Grundlage von Hochwasserprognosen haben kann. Es zeigt sich, dass Scheitelabminderungen von 23 bis 38 % für starke Abflussbelastungen (N mit Jährlichkeit $a=100$, Dauerstufen $d=6h$ und $1d$) erreicht werden können (Caspari 2016).

Grundlage für die Hochwasservorhersage ist ein semi-distributives Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) für das Kollau-Einzugsgebiet, welches mit dem Programm KalypsoHydrology (Hellmers 2010) erstellt wurde. Die Güte solcher Modellvorhersagen hängt, vor allem im Hochwasserfall, im Wesentlichen von der Genauigkeit der prognostizierten Niederschläge und deren zeitlicher und räumlicher Auflösung ab. Im operationellen Betrieb werden in festgelegten Zeitintervallen Niederschlagsprognosen für ein 1x1 km-Raster generiert und automatisiert für das operationelle Kollau-Modell bereitgestellt. Abbildung 6 zeigt das Modellgebiet und das darübergelegte Raster der Radarniederschlagsmessungen und -vorhersagen. Das Modell rechnet derzeit einmal täglich eine Langzeit- und eine Kurzzeitsimulation für das EZG der Kollau mit einer Abflussvorhersage für die folgenden zwei Stunden auf Basis der gemessenen Niederschläge und der Niederschlagsvorhersage. Im Hochwasserfall oder der Gefahr höherer Niederschläge werden die Rechenintervalle auf bis zu 15 Minuten verkürzt, um für die Wasserbehörden eine aktuelle, dem Verlauf des Hochwasserereignisses angepasste Vorhersage bereitzustellen. Im weiteren Projektverlauf werden diese Kurzfristvorhersagen um Ensemblevorhersagen von COSMO-DE-EPS ergänzt, um für einen Zeitraum von 27 Stunden Niederschlagsprognosen und Abflussvorhersagen zu liefern. Im Übergangszeitraum sollen die beiden Vorhersagen kombiniert werden (sog. 'blending').

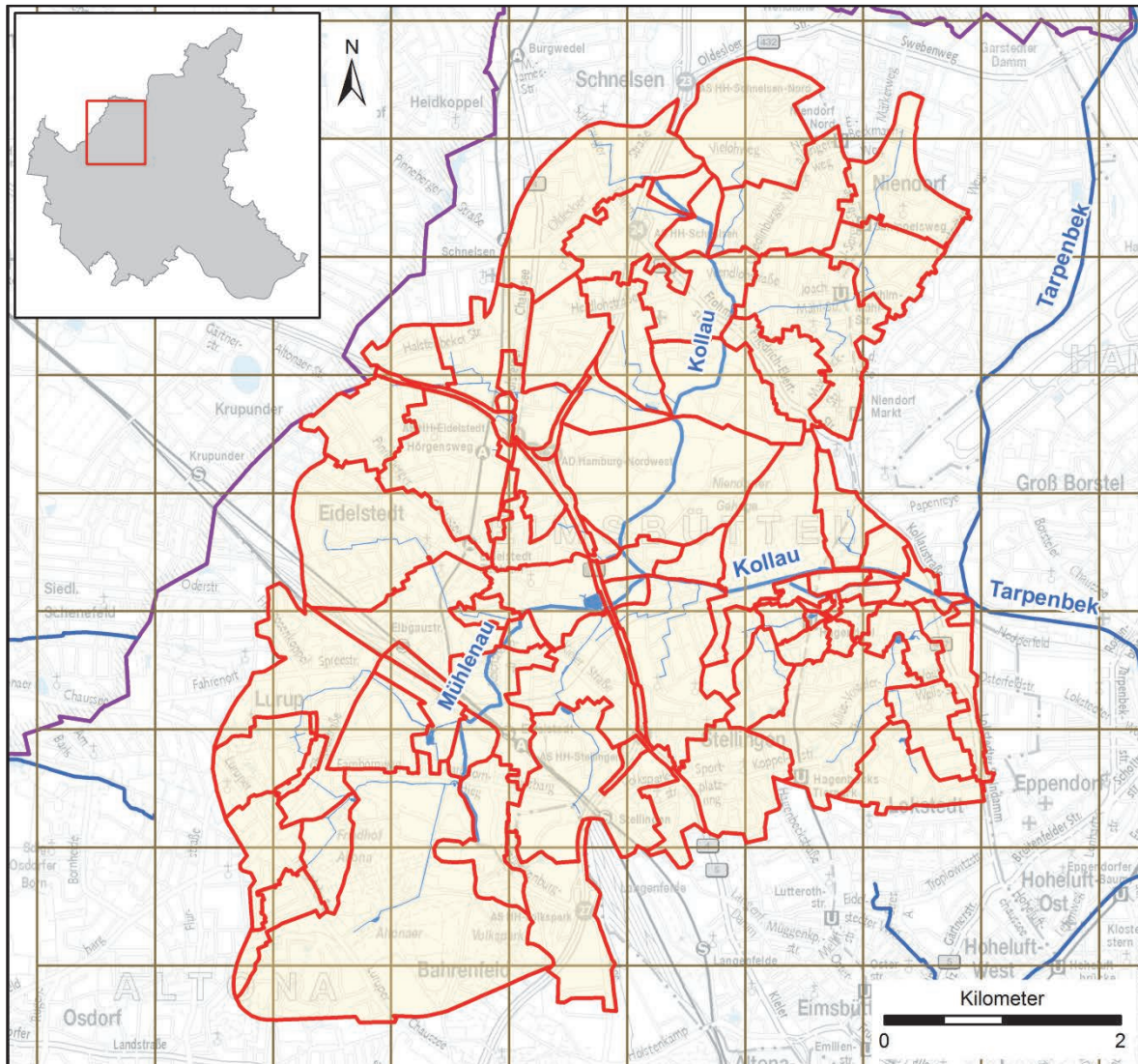


Abb. 6: Niederschlag-Abfluss-Modell (KalypsoHydrology) der Kollau mit Teileinzugsgebieten (rote Linien) und Radar-Gitterzellen (1x1 km, hellbraunes Raster) (Quelle: TUHH)

4.2 Modellregion Dove-Elbe

Wie in Kap. 3.2 beschrieben, ist die Binnenentwässerung der Modellregion in hohem Maße von den Tidewasserständen in der Elbe abhängig. Die Dove-Elbe selbst und die angrenzenden Gräben können bei Auftreten einer Sperrtide Wasser speichern, was in der Regel problemlos möglich ist. Kritisch kann die Situation jedoch werden, wenn gleichzeitig Niederschläge im EZG zu Hochwasser in der Bille und fortlaufend in der Dove-Elbe führen. Es erfolgt ein Rückstau des Wassers bis Bergedorf, wo die geringsten Deichhöhen und damit die größte Gefährdung vorliegen. Eine der Zielsetzungen des Projektes für die Region der Dove-Elbe ist, ein N-A-Modell zu erstellen. Dabei muss der Tidewasserstand als bedeutsame Randbedingung in die Berechnung mit einbezogen werden. Dies wird bisher bei hydrologischen Modellen nicht oder kaum berücksichtigt. Der Zufluss aus der Bille kann derzeit nur anhand der am Pegel Reinbek gemessenen Abflüsse abgeschätzt werden. Ein N-A-Modell für das EZG des Pegels Reinbek existiert nicht, dementsprechend gibt es auch keine Hoch-

wasservorhersage. Im Rahmen des Projektes wird daher untersucht, ob eine vereinfachte Hochwasservorhersage für die Bille durch die Verwendung eines Vorfeuchteindex für das EZG möglich wäre. Hierzu wurde der Antecedent Precipitation Index (API) herangezogen, dessen Eignung für die Hochwasservorhersage größerer Einzugsgebiete in Deutschland von Schröter et al. (2015) nach den Hochwasserereignissen 2013 untersucht wurde. Grundlage für die Abschätzung des Hochwasserscheitels auf Basis des API sind die täglich vom DWD veröffentlichten Daten der regionalen Niederschläge von Deutschland (REGNIE) für ein Gitternetz von 1 km² (Deutscher Wetterdienst, 2013). Für die Betrachtung wurde das EZG der Bille bis zum Pegel Reinbek herangezogen. Dieses wird mit 327 Rasterpunkten des REGNIE-Netzes abgedeckt (siehe Abbildung 7). Für jeden Punkt wird rückwirkend für einen Zeitraum von 21 Tagen der Vorfeuchteindex API berechnet und anschließend für jedes untersuchte Teileinzugsgebiet ein gemittelter Wert des API verwendet.

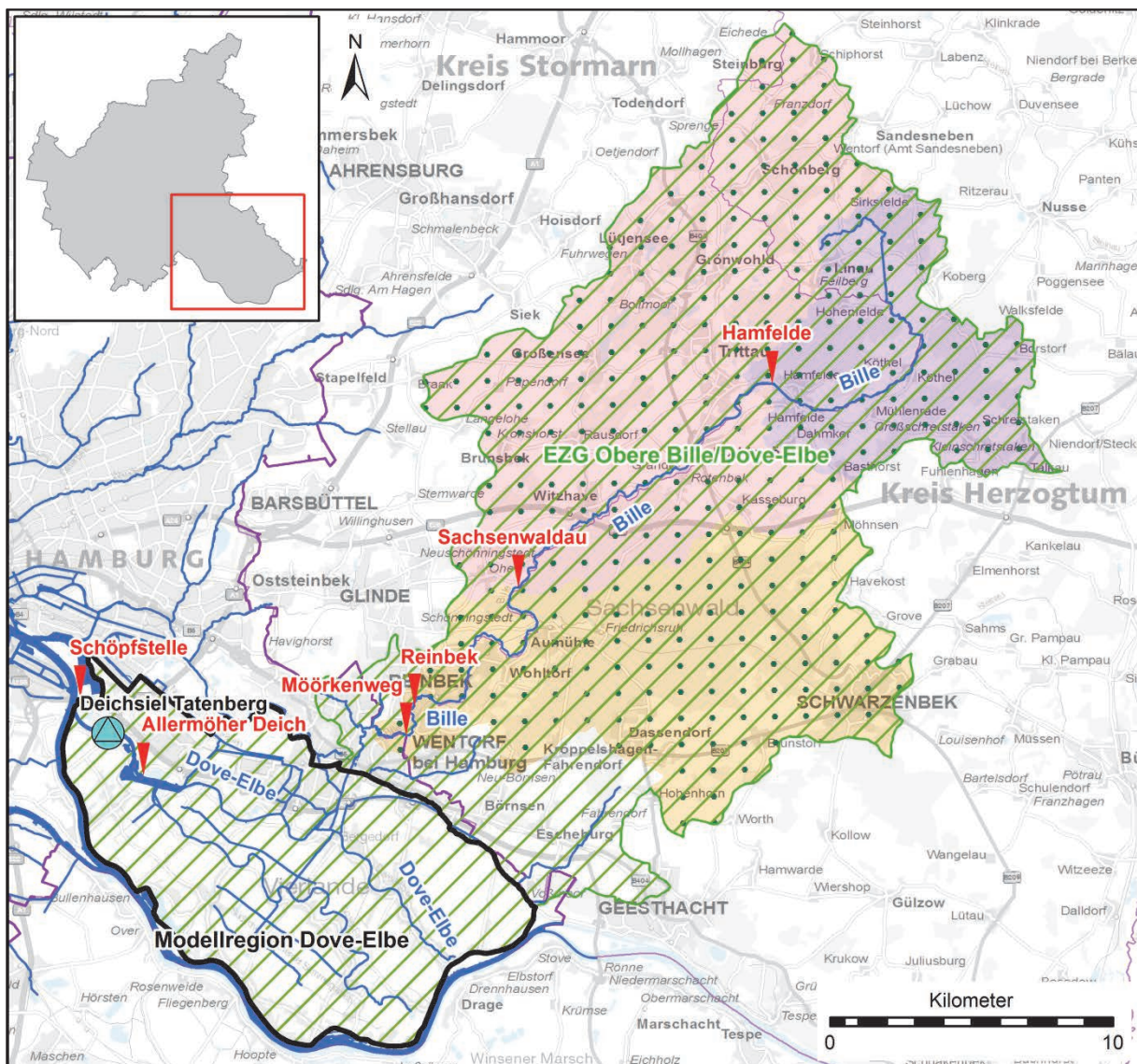


Abb. 7: Einzugsgebiet Obere Bille/Dove-Elbe mit den Teileinzugsgebieten der untersuchten Pegel und Gitterpunkten der Regionalisierten Gebietsniederschläge (REGNIE) des DWD (Quelle: Gennis 2017)

In Abbildung 8. ist für eine Stichprobenauswahl aus 13 Hochwasserereignissen der Jahre 1993 bis 2015 die aus dem API abgeleitete Vorhersage des Hochwasserscheitels den gemessenen Scheitelwerten gegenüber gestellt. Es zeigt sich, dass das Verfahren für das EZG der Bille Ergebnisse liefert, welche eine Vorhersage des Hochwasserscheitels im gewissen Rahmen ermöglichen. Dies erscheint angesichts der relativ langen Laufzeiten des Hochwasserscheitels möglich, auch unter Berücksichtigung der Spannweite der Berechnungsergebnisse. Im Rahmen des Projektes wird untersucht, inwieweit eine Vorabsenkung des Wasserstandes der Dove-Elbe auf der Grundlage der Abflussvorhersage in Kombination mit den Wasserstandsvorhersagen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie für die Tideelbe möglich ist.

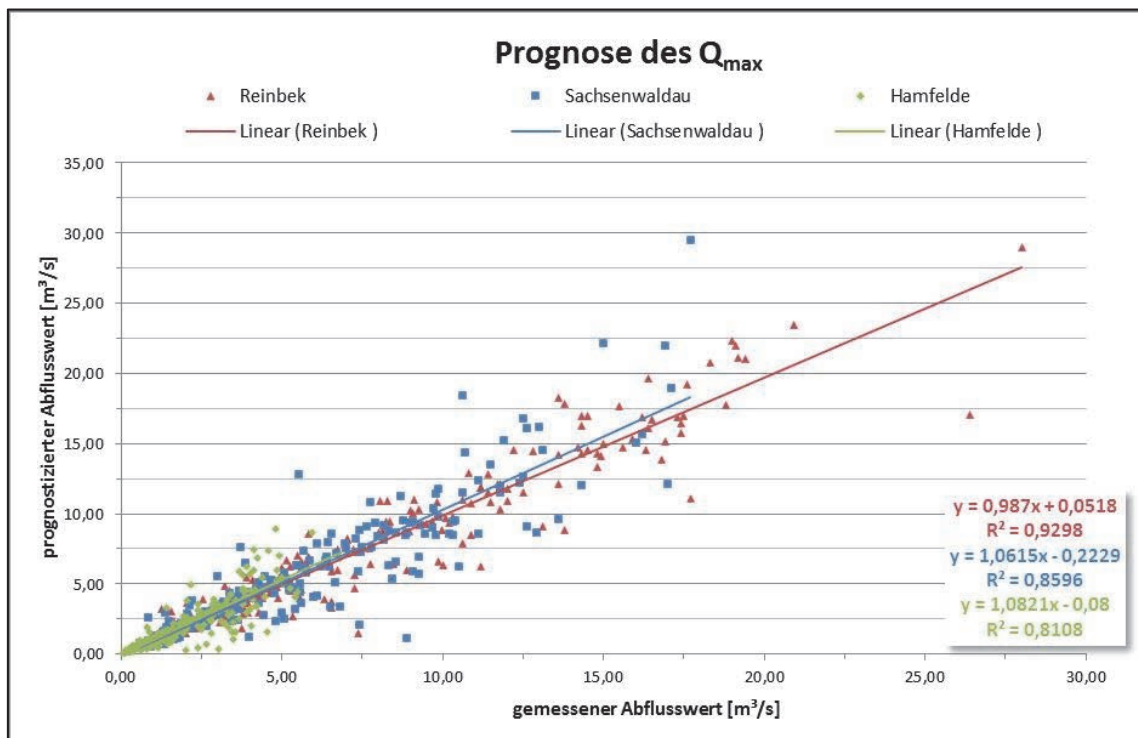


Abb. 8: Prognose des Scheitelabflusses auf der Grundlage des API und gemessene Abflussscheitel für drei Pegel im EZG Dove-Elbe/Obere Bille (Quelle: Gennis 2017).

Im Projekt Stuck soll das Verfahren des API automatisiert mitgeführt werden und somit die tägliche Vorhersage des Spitzenabflusses an der Bille unterstützen.

5. Zukünftige Entwicklung

Die für das Projekt relevante Kombination der Parameter „Klimawandel“, „Flächenentwicklung“ und „Hochwassermanagement“ und deren mögliche zukünftige Entwicklung werden zunächst in einer Matrix entwickelt (Westphal et al. 2016). Insgesamt werden, neben dem IST-Zustand, sieben Szenarien mit einer variierenden zukünftigen Entwicklung der drei genannten Parameter untersucht. 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 Maß-

nahmen abzuschätzen. 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. 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 und Ertel 2015) des DWD herangezogen. Es werden Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von $a=30$ und den Dauerstufen 1h und 1d 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.

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

6. Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Projekt Stuck werden umfangreiche Untersuchungen der Böden und der Vegetation in den Modellregionen durchgeführt. Dabei werden die Ökosystemleistungen (ÖSL), die mit dem Hochwassermanagement verbunden sind (z.B. Schadstoff- und Kohlenstoffrückhalt in HRB) quantifiziert. Dies beschränkt sich nicht nur auf ökologische ÖSL, es werden auch sozio-kulturelle Aspekte, wie z.B. Naherholung als ÖSL berücksichtigt. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die ökologische Optimierung von Maßnahmen des Hochwassermanagements, z.B. hinsichtlich der Biodiversität. Dies ist in urbanen Regionen von besonderer Bedeutung.

Die Szenarien des IST-Zustandes, der zukünftigen Entwicklung und die daraus abgeleiteten Maßnahmen des Hochwassermanagements werden hinsichtlich ihrer ökologischen Auswir-

kungen betrachtet, genauso wie diese Gesichtspunkte auch Bestandteil des Hochwassermanagements sind. So wird versucht, ein Optimum an ÖSL zu erreichen, welche durch den Projektpartner HWWI volkswirtschaftlich bewertet werden.

7. Fazit und Ausblick

Im Projekt Stuck werden zurzeit Maßnahmen des Hochwassermanagements für die Modellregionen entwickelt. Eine wichtige Basis dafür sind die bisher gewonnenen Erkenntnisse über das Abflussverhalten der Gewässer. Statistische Auswertungen zeigen die Charakteristika der beiden betrachteten Gewässer im Hochwasserfall. Für das Hochwassermanagement ist in Stuck durch die modellgestützte Abflussvorhersage auf der Grundlage von Radarniederschlägen und meteorologischen Modellberechnungen ein wichtiger Baustein entstanden, der in den Warndienst Binnenhochwasser Hamburg implementiert wird. Auch das vereinfachte Verfahren der Abflussvorhersage auf Grundlage des Antecedent Precipitation Index, wird auf seine Praxistauglichkeit untersucht und findet seine Anwendung dort, wo kein N-A-Modell vorliegt.

Nach der erfolgten Implementierung der modellgestützten Vorhersagen werden der Klimawandel und die ökonomische Entwicklung des Raumes berücksichtigt, die auch die Zunahme der Versiegelung einbezieht, dem die Gewässer der Modellregionen unterliegen. Die Modellierung der angesetzten Szenarien wird zeigen, wie zukunftsfähig die Gewässer der Modellregionen sind und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um ihre Funktion auch über den jetzigen Zeitpunkt hinaus zu sichern.

Die Ergebnisse lassen sich sehr gut auf andere norddeutsche Gebiete übertragen. So ist es beispielsweise möglich, N-A-Modelle für andere Flusseinzugsgebiete mit den gemessenen Niederschlägen und Niederschlagsvorhersagen zu betreiben. Das aus vier Niederschlagsgraden des DWD prozessierte Komposit reicht über die Metropolregion Hamburg hinaus und deckt auch den Küstenraum Norddeutschlands ab. Ebenso werden die im Projekt entwickelten Maßnahmen zur Optimierung der Binnenentwässerung übertragbar sein auf andere Regionen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Forschungsprojekts Stuck. Dieses Projekt (Förderkennzeichen 033W031) wird unterstützt durch die Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) und ist Teil des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ im Aktionsfeld „Nachhaltiges Wirtschaften und Ressourcen“ des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)“.

Literatur

Bartels, J., Bliefernicht, J., Seidel, J., 2016: Evaluation ensemble-basierter Abflussvorhersagen für ausgewählte Pegel in Rheinland-Pfalz. Abschlussbericht. Hg. v. Universität Stuttgart und Universität Augsburg. Stuttgart.

- Caspari, O., 2016. Analyse der Wirksamkeit von unterschiedlichen Steuerungsstrategien für Hochwasserrückhaltebecken. Projektarbeit, Technische Universität Hamburg, unveröffentlicht, Hamburg.
- Deutscher Wetterdienst, 2013: REGNIE: Verfahrensbeschreibung und Nutzeranleitung. http://www.dwd.de/DE/leistungen/regnie/download/regnie_beschreibung_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Deutscher Wetterdienst, 2015: Beschreibung des COSMO-DE-EPS und seiner Ausgabe in die Datenbanken des DWD. Version 2.0. http://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/cosmo_de_eps/cosmo_de_eps_dbbeschr_20150922.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Deutscher Wetterdienst, 2017: Regionalmodell COSMO-DE. Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Numerische Vorhersagemodelle - Regionalmodell COSMO-DE, zuletzt geprüft am 06.02.2017.
- Gennis, S., 2017: Anwendung und Evaluierung eines Vorfeuchteindex zur Ermittlung des Abflussverhaltens am Beispiel der Bille. Bachelorarbeit, Universität Hamburg, unveröffentlicht, Hamburg.
- Gönnert G., J. Jensen, H. v. Storch, S. Thumm, T. Wahl, R. Weisse, 2009: Der Meeresspiegelanstieg Ursachen, Tendenzen und Risikobewertungen, in: Die Küste 76 2009, S. 225-256.
- 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. Hamburg.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer (Hrsg.), Geneva, S. 151.
- Malitz, G., Ertel, H., 2015: KOSTRA-DWD-2010: Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Bezugszeitraum 1951 bis 2010. DWD, Abteilung Hydrometeorologie. Offenbach. Online verfügbar unter: http://www.dwd.de/DE/leistungen/starkniederschlagsgutachten/download/kostra_dwd_2010_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt geprüft am 06.02.2017.
- Petersen, N., 2003: Entwicklung eines ganzheitlichen Hochwasserschutzkonzeptes für das Einzugsgebiet der Kollau mit besonderer Betrachtung der Retentionsmöglichkeiten im Mündungsbereich der Mühlenau. Diplomarbeit, Technische Universität Hamburg, unveröffentlicht, 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. In: Hydrol. Earth Syst. Sci. 19, S.309-327.
- Schrum, C., Lowe, J. A., Meier, H. E. M., Grabemann, I., Holt, J., Mathis, M. et al. 2016: Projected Change—North Sea. In: Markus Quante und Franciscus Colijn (Hg.): North Sea Region Climate Change Assessment. Cham: Springer International Publishing (Regional Climate Studies), S. 175–217.

- Strehz, A., Jasper-Tönnies, A., Einfalt, T., Hellmers, S., 2017: Radarkomposit und Hochwasserwarnungen mit Radarensembles und COSMO-DE-EPS im Projekt Stuck. Posterbeitrag zum Tag der Hydrologie 2017, Trier.
- Westphal, H., Ackermann, D., Hesser, F., Gönnert, G., 2016: Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – Stuck. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 37, 155-166.