

RainAhead

Integriertes Planungs- und Warnungstool für Starkregen in urbanen Räumen

-

Schlussbericht



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



hydro & meteo GmbH & Co. KG
Wetter + Wasser



Hansestadt LÜBECK 

Inhaltsverzeichnis

1	Kurze Darstellung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik.....	7
1.4.1	Starkregen und urbane Sturzfluten	7
1.4.2	Simulation von Überflutungen	7
1.4.3	Maßnahmen zur Reduktion von Schäden / Planungshilfen	8
1.4.4	Stadtplanung im Kontext von Starkregen	9
1.4.5	Sensitivitätsuntersuchungen und Gefahrenkarten	10
1.4.6	Kleinräumige Klimaprojektionen.....	11
1.4.7	bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	12
1.4.8	verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste	12
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
2	Eingehende Darstellung.....	14
2.1	Erzielte Ergebnisse	14
2.1.1	Literaturübersicht und Festlegung der zu verwendenden Klimaszenarien	15
2.1.2	Vulnerabilitätsübersicht und Warn- und Katastrophenmanagement	17
2.1.3	Detailuntersuchung: topografische Detailaufnahme und Modellierung der Pilotgebiete / Konkretisierung Gefahrenpotenzial.....	31
2.1.4	Maßnahmenalternativen zur Gefahrenreduzierung	40
2.1.5	GIS-gestützter Werkzeugkasten für Planung und Warnung	51
2.1.6	Öffentlichkeitsarbeit, Vernetzung und Übertragbarkeit	58
3	Quellen	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kommentierte Literaturübersicht (Ausschnitt)	16
Abbildung 2: GIS-Übersicht der Senken und Fließwege (Ausschnitt)	23
Abbildung 3: Gefährdungsklassen nach DWA-M 119 (Dr. Pecher AG, 2014)	24
Abbildung 4: Zufahrt im Hochschulstadtteil. Foto (T. Einfalt) und Vergleich der Senkendarstellung (Klassifizierung nach DWA-M 119, siehe Abbildung 3). 1D-2D-Modellierung (links) und GIS-Übersicht (rechts).	25
Abbildung 5: Risiko im Wirkungsgefüge von Gefährdungen, Verwundbarkeit und Exposition unter Einwirkung von klimatischen und anthropogenen Einflüssen (IPCC, 2014).....	27
Abbildung 6: Risiko für Wohngebäude mit Öltanks (Ausschnitt). Klassifizierung der Gebäude mit Ölheizung und Senkenlage nach M-119 (siehe Abb. 3).	28
Abbildung 7: Risikokarte für Gewerbebetrieb mit wassergefährdenden Stoffen. Klassifizierung der Senkenlage nach M-119 (siehe Abb. 3).	29
Abbildung 8: Klimafunktionskarte (Ausschnitt). Bioklimatische Situation (Farbe Baublock), sensible Einrichtungen (Häuser), hohe Einwohnerdichte (schwarze Schraffur) und hoher Anteil sehr alter Menschen (blaue Schraffur).	31
Abbildung 9: Übersicht der angelegten Festpunkte in St. Lorenz Süd (links), Detailansicht des Lunaparks in St. Lorenz Süd mit den dort angelegten Festpunkten (rechts) Hintergrund Orthophotos (EBL).....	32
Abbildung 10: Fälschlich berechnete Senke an einem Gebäude durch eine mittlerweile abgeschlossene Baumaßnahme.....	33
Abbildung 11: Hofdurchfahrt im Stadtteil St. Lorenz Süd (Foto: S. Schlauß)	34
Abbildung 12: Modellkopplung 1D-2D in MIKE FLOOD (nach Kühnel, 2015)	36
Abbildung 13: Kontrollpunkt für die Prüfung der Modellkopplung. Laser-Scan-Daten (links, Landesamt für Vermessung und Geoinformation SH) und Orthophoto (rechts, EBL).....	37
Abbildung 14: Niederschlagsmesser (links) und Sonde (rechts) an der Regenwasserhaltung in St. Lorenz Süd (Fotos: S. Schlauß)	37
Abbildung 15: Vergleich von Messung und Simulation von Wasserstand (links) und Fließgeschwindigkeit (rechts) am 15.4.2016.....	38
Abbildung 16: Pilotgebiet St. Lorenz Süd. Feuerwehreinsätze am 01.08.2002 durch starkregenbedingte Überflutungen (Castro et al., 2008: Kreise) und modellierter Überstau aus dem Kanalnetz (Punkte)	39
Abbildung 17: Überflutungssituation im Stadtteil St. Lorenz Süd (Ausschnitt). Maximaler Wasserstand an der Oberfläche nach DWA-M 119 (2016).....	40

Abbildung 18: Maßnahmenkarte des Hochschulstadtteils (Nummerierung nach Tabelle 6).....	43
Abbildung 19: Maßnahmenkarte des Stadtteils St. Lorenz Süd (Nummerierung nach Tabelle 6)	44
Abbildung 20: Maßnahmenvariante 1. Simulierter Wasserstand nach Implementierung von Graben und 0,5 m Geländeerhöhung (Kühnel, 2015).....	46
Abbildung 21: Maßnahmenvariante 2: Geländehöhengestaltung (nach Heinz et al. 2008).	47
Abbildung 22: Vester-Analyse. Einflussmatrix der Variablen.....	48
Abbildung 23: Vester-Analyse. Rollenverteilung der Variablen.....	49
Abbildung 24: Niederschlagsportal HydroNET-SCOUT. Tagessumme des 25.6.2016, Stadtgebiet (a), Stadtteil (b).	53
Abbildung 25: Aufteilung des Lübecker Stadtgebietes in 1 x 1 km-Niederschlagspixel.....	54
Abbildung 26: Automatisch generierte Email an die Feuerwehrleitstelle	55
Abbildung 27: Radarniederschlag über 60 Minuten. Dargestellt ohne (links) und mit zeitlicher Interpolation (rechts).....	57
Abbildung 28: Von RainAhead initiiertes Interkommunales Vernetzungstreffen am 2.3.2016 in Lübeck (Fotos: I. Frerk).....	62

Titelseite: Fotos T. Einfalt

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertung Datensegment Bevölkerung	20
Tabelle 2: Bewertung Datensegment Gefahrenquellen	21
Tabelle 3: Bewertung Datensegment Schutzgüter	22
Tabelle 4: Bewertung Datensegment Umwelt- und Bodendaten.....	22
Tabelle 5: Datensegment Kleinklima / Gesundheitsschutz.....	30
Tabelle 6: Im Modell umgesetzte Maßnahmen und deren Effekt auf die Höhe der Überflutung hU. Kategorien nach BMVBS (2013) und KISS (2011): D = Dezentral, OB = Objektschutz, KA = klassische Entwässerungsplanung, ST = Stadtplanung, R = Retention, Ü = Überflutungsvorsorge.	42
Tabelle 7: Warnungen in 2015 und tatsächliche Einsätze der Feuerwehr.....	56
Tabelle 8: Warnungen in 2016 und tatsächliche Einsätze der Feuerwehr.....	57

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Urbane Sturzfluten treten als Folge von Starkregenereignissen auf, wenn die zu bewältigende Wassermenge die Kapazität der städtischen Entwässerungseinrichtungen übersteigt. Sturzfluten sind im Vergleich zu Flusshochwassern schwer vorherzusagen und ihr Auftreten ist nicht an Flusstäler und Flussauen gebunden. Im Zuge des Klimawandels und den damit zunehmenden Intensitäten der Niederschläge ist sehr wahrscheinlich mit einer Häufung dieser Ereignisse zu rechnen (IPCC, 2014 und Lehmann et al., 2015), so dass vermehrt auch Schäden auftreten können. Das Projekt RainAhead hatte die Aufgabe, die Verwaltung der Hansestadt Lübeck darin zu unterstützen, dem entgegen zu treten. Dazu wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Arbeiten durchgeführt, die im Folgenden vorgestellt werden und in ihrer Gesamtheit einen Werkzeugkasten für die handelnden Akteure darstellen. So wurden unter anderem innerkommunal die verschiedenen Fachleute zusammengebracht und im Rahmen des Projektes thematisch weitergebildet, vorhandene Geodaten in ein gemeinsames GIS überführt und deren Bezug zum Thema Starkregen verdeutlicht. Für zwei Pilotgebiete wurde eine genaue Vermessung vorgenommen, eine gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodellierung Klimawandel-bedingt hoher Niederschläge durchgeführt, im Modell Maßnahmenvorschläge implementiert und bewertet. Es wurden Informationen zu Gebäudeschutz-Maßnahmen zusammengestellt und beworben, eine Abschätzung der Senken und Fließwege für das gesamte Stadtgebiet erstellt und ein Onlineportal zur Niederschlagsvorhersage und stadtteilgenauen Warnung vor Starkregen aufgebaut. Zur Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung wurden inner- und interkommunale Treffen durchgeführt, der Austausch mit der Bevölkerung gesucht und diverse Vorträge vor ganz unterschiedlichem Publikum gehalten.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

In der Lübecker Stadtverwaltung hatte sich auf Initiative des damaligen Fachbereichs Umwelt, Sicherheit und Ordnung bereits im Jahr 2006 eine fachbereichsübergreifende Arbeitsgruppe der Bereiche Umweltschutz, Feuerwehr, Naturschutz, Stadtplanung, Entsorgungsbetriebe Lübeck und den Stadtwerken Lübeck GmbH konstituiert. Ziel war es, vorsorgende Anpassungsmöglichkeiten zum sich vollziehenden Klimawandel aufzuzeigen und anzustoßen. Eine breitangelegte Befragung innerhalb der Stadtverwaltung ergab, dass die prognostizierte Häufung von Starkregenereignissen und die allgemeinen Hochwassergefahren für die Stadt Lübeck als vorerst größte Herausforderungen angesehen wurden. Da mit dem Wasserhaushalts- und dem Landeswassergesetz zwar der Hochwasserschutz, nicht aber der Überflutungsschutz (Starkregen) unterstützt wird, wurde der größte Handlungsbedarf beim Thema Starkregen gesehen: Dessen schadlose Ableitung gehört zum Komplex der Niederschlagswasserbeseitigung und muss im Zusammenhang der kommunalen Abwasserbeseitigung auf lokaler Ebene bewältigt werden.

Zu den Aktivitäten der Arbeitsgruppe gehörte u. a. die Erstellung einer Checkliste für die Bauleitplanung, die Förderung der Versickerung vor Ort durch Änderungen von Satzungen bzw. Gebührenkalkulationen (z.B. Regenwassergebührensatzung) oder durch regelmäßige Anpassungen des Hochwasseralarmplans für Notfalleinsätze der Feuerwehr. Um weitere Handlungsoptionen zu erschließen und den vorbeugenden Überflutungsschutz ganzheitlich zu planen, wurde der Projektantrag RainAhead mitentwickelt und unterstützt.

Ansatzpunkte für die behördliche Arbeit wurden zum einen in einer Intensivierung der Öffentlichkeitsarbeit und zum anderen in der Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen für Planungen und Bescheide der Stadtverwaltung gesehen. Ziel der Öffentlichkeitsarbeit sollte die Förderung der Eigenvorsorge zum Überflutungsschutz durch fundierte, raumgenaue Informationen sein. Für die Stadtplanung sollten kleinräumige Daten zur Überflutungsgefahr als Planungsgrundlage zusammengestellt werden. Weiterhin sollten die Auswirkungen baulichen Maßnahmen auf die Überflutungsgefahr im Planungsstadium simuliert und so der vorsorgende Überflutungsschutz gestärkt werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Als Projektpartner kooperieren die Hansestadt Lübeck (Bereich Umwelt, Natur und Verbraucherschutz), die Fachhochschule Lübeck (Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik) und das Ingenieurbüro hydro & meteo GmbH & Co. KG.

Um die vielfältigen und sehr unterschiedlichen Aufgaben von RainAhead umzusetzen, wurden diese in sechs Arbeitspakete unterteilt. Zur Sicherstellung eines guten Informationsflusses und zur allgemeinen Koordination gab es neben monatlichen Planungstreffen der Projektpartner auch viele kleinere Fachtreffen, z.T. auch mit weiteren Akteuren wie den Entsorgungsbetrieben, der Stadtplanung, der für die Entwicklung eines der beiden im Detail untersuchten Gebiete, eines ehemaligen Güterbahnhofgeländes, zuständigen Entwicklungsgesellschaft aurelis Real Estate Management, mehreren Wasser- und Bodenverbänden sowie der Unteren Wasserbehörde Kiel. Am von RainAhead organisierten innerkommunalen Erfahrungsaustausch waren außerdem Teilnehmende von der Unteren Wasser- und Naturschutzbehörde, dem Controlling und der Port Authority der Hansestadt Lübeck anwesend. Bei den interkommunalen Treffen zum Erfahrungsaustausch reisten Gäste aus Aachen, Berlin, Bremen, Bützow, Dithmarschen, Essen, Flintbek, Hannover, Kiel, Herzogtum Lauenburg, Rendsburg, Rostock, Bad Segeberg, Stormarn und Wuppertal an.

Arbeitspaket 1: Literaturübersicht und Festlegung der zu verwendenden Klimaszenarien

(hydro & meteo GmbH & Co. KG, Verwendung von Daten aus dem BAST Forschungsprojekt FE-Nr. 05.0168/2011/GRB; BAST, 2014)

Eine Übersicht zu Projekten, die das Thema Klimawandel und Starkregen / Überflutung betreffen, wurde erstellt, aktualisiert und auf der RainAhead-Homepage veröffentlicht. Die Ergebnisse der aus dem BAST-Projekt übernommenen Klimaszenarien-Berechnungen des regionalen Klimamodells CLM für die Region Lübeck wurden mit Bemessungsregen (DWD, 1973) verglichen. Für die Modellierung der Pilotgebiete (siehe Arbeitspakete 3 und 4) wurden die Daten aus dem Gutachten des DWD verwendet, da

diese höhere Intensitäten für kurze Dauerstufen aufweisen, als das 2100-Szenario und zudem für die Dimensionierung des Kanalnetzes und der entwässerungstechnischen Einrichtungen durch die EBL herangezogen werden.

Arbeitspaket 2: Vulnerabilitätsübersicht und Warn- und Katastrophenmanagement

(Hansestadt Lübeck in Zusammenarbeit mit dem Vermessungsbüro Holst und Helten, den Entsorgungsbetrieben Lübeck, der Feuerwehr und der hydro & meteo GmbH & Co. KG und der Fachhochschule Lübeck, Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik)

Zur Ermittlung des Schadenspotenzials der Stadtfläche wurden Daten zu Nutzungen, Gefahrenquellen, Naturgütern und Objekten, die empfindlich gegenüber Überflutung sind, in einem Geographischen Informationssystem (GIS) zusammengetragen. Mittels einer GIS-Analyse wurden stadtgebietsweite Karten zu Mulden und Fließwegen erstellt und diese in Gefahrenklassen eingeteilt. Diese Gefährdungskarten wurden mit den Ergebnissen zur Überflutungsgefahr in den Pilotgebieten (siehe Arbeitspaket 3) verglichen und in ihrer Aussagekraft bewertet. Die zusammengestellten Daten zur Empfindlichkeit der Stadtfläche, die Analysen zu Überflutungsgefahr (aus Arbeitspaketen 2 und 3) sowie zu Klimafunktionen wurden kombiniert und Risikokarten mit Darstellung auf der Objektebene abgeleitet.

Es hat sich im Laufe des Projektes herausgestellt, dass das Warnwerkzeug (Arbeitspaket 5) keine Angaben zu gefährdeter Infrastruktur benötigt, um für die Feuerwehr von Nutzen zu sein. Daher wurde dort auf die Integration dieser Daten verzichtet. Die ursprüngliche Zielsetzung der Erstellung einer Vulnerabilitätskarte wurde hin zu einer Risikokarte angepasst, da die Begrifflichkeit „Vulnerabilität“ seit Antragstellung so komplex definiert wurde (zB. Die Bundesregierung, 2015), dass deren umfassende Darstellung im Projekt nicht geleistet werden konnte. Die Erarbeitung der stadtgebietsweiten GIS-Abschätzungen war zeitlich umfangreicher als geplant. Neben der Überflutungsproblematik wurde durch Ergänzung einer Klimaanalyse auch das Thema Hitze/Gesundheitsschutz im Zusammenhang mit Klimawandelanpassung

bearbeitet, um sich so der Betrachtung der Robustheit der Stadtfläche insgesamt zu nähern.

Arbeitspaket 3: Detailuntersuchung: topografische Detailaufnahme und Modellierung der Pilotgebiete / Konkretisierung Gefahrenpotenzial

(Fachhochschule Lübeck, Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Verwendung von Daten der Entsorgungsbetriebe Lübeck)

Für zwei Pilotgebiete, den Hochschulstadtteil (moderner Bestand) und St. Lorenz-Süd (alter Bestand, Teilbereich in der Planung befindlich), wurden die Auswirkungen von Starkregen auf die Kanalisation sowie die oberirdisch abfließenden Regenwassermengen mit Hilfe eines gekoppelten Kanalnetz-Oberflächen-Modells berechnet. Die Fließwege des überschüssigen Regenwassers zum nächsten Gewässer oder einer Senke sowie die Gebiete, in denen Sach- oder Personenschäden entstehen können, wurden bestimmt. Zur Bewertung und Verbesserung der Genauigkeit des zugrunde liegenden Geländemodells wurden zahlreiche Detailvermessungen vorgenommen, die mehr Zeit als veranschlagt benötigten. Da die relativen Höhen der Laser-Scan-Daten als plausibel bewertet wurden, wurde dieser Datensatz verwendet und lediglich in Bereichen von Hofdurchfahrten, Baustellengruben und anderen Falschinformationen höhenkorrigiert.

Arbeitspaket 4: Maßnahmenalternativen zur Gefahrenreduzierung

(Fachhochschule Lübeck, Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik)

Aufbauend auf dem in Arbeitspaket 3 ermittelten Wissen um die Abfluss-Situation in den beiden Pilotgebieten wurden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Überflutung modelltechnisch implementiert und in ihrer Wirksamkeit bewertet. Maßnahmen-Alternativen in der Planung wurden mit verschiedenen Akteuren wie Bevölkerung, Entsorgungsbetrieben, Planern und weiteren Fachkollegen diskutiert, unter anderem mit Hilfe des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester (Vester, 2007). Auch

zur Förderung der Vorsorge vor Überflutungsschäden auf der Objektebene durch die Bevölkerung wurden Aktivitäten durchgeführt.

Arbeitspaket 5: GIS-gestützter Werkzeugkasten für Planung und Warnung

(hydro & meteo GmbH & Co. KG, Mitarbeit der Hansestadt Lübeck und der Feuerwehr Lübeck)

Das Warnwerkzeug kombiniert die Informationen aus aktuellen Radar-Niederschlagsmessungen und Kurzzeitvorhersagen mit Stadtbezirk-individuellen Warnschwellen. Diese wurden durch eine Analyse vergangener Starkregen-bezogener Feuerwehreinsätze ermittelt. Wird eine dieser Warnschwellen überschritten, so wird der Leitstelle der Feuerwehr Lübeck eine Warnung über Email geschickt. Für eine weitere Optimierung des Warnsystems fehlten im Jahr 2015 relevante Starkregenereignisse. Um eine weitere Starkregensaison im Sommer 2016 auswerten zu können, wurde der Projektzeitraum um drei Monate verlängert.

Wegen rechtlicher Bedenken und unterschiedlicher Einschätzungen zu Datenschutz und Weitergabe von Daten, aus Daten abgeleiteten Informationen und Nutzung von GIS-Software war ein gemeinsames Webportal mit allen Tools und Informationen in verknüpfter („Werkzeugkasten“) und öffentlicher Form nicht möglich. Deshalb stehen die Tools, Karten und Informationen bis auf weiteres nur einzeln und z. T. nur verwaltungsintern zur Verfügung. Ein ursprünglich geplantes Entscheidungshilfemodul mit dem die Auswirkungen vorher berechneter Maßnahmen zum Überflutungsschutz auf einer Karte dargestellt und mit Fachleuten, Bürgern oder anderen Betroffenen erörtert werden sollte, konnte deshalb nicht realisiert werden.

Arbeitspaket 6: Öffentlichkeitsarbeit, Vernetzung und Übertragbarkeit

(hydro & meteo GmbH & Co. KG mit Mitarbeit aller Projektpartner)

Die Projektergebnisse wurden der Öffentlichkeit über das Internet, die lokale Presse und das Regionalfernsehen präsentiert. Zudem wurden zahlreiche Vorträge vor unterschiedlichen Zielgruppen gehalten sowie Workshops und Info-Stände ausgerichtet.

Deutlich wurde das große Interesse an einem regelmäßigen Erfahrungsaustausch innerhalb der Hansestadt Lübeck, das in Form eines „Starkregen-Forums“ über das Projektende hinaus fortgeführt werden wird.

Auch mit thematisch verwandten Projekten in anderen Städten (z.B. Bremen, Wuppertal, Rostock, Köln, Hamburg) erfolgte ein reger Austausch. Die bereits beschriebene Problematik der unklaren Rechtslage bzgl. der Veröffentlichung und Weitergabe von Daten und Informationen hat sich auch im Zusammenhang mit den Zielen der Öffentlichkeitswirksamkeit, Vernetzung und Übertragbarkeit als hemmend erwiesen.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

1.4.1 Starkregen und urbane Sturzfluten

Starkregenereignisse sind Niederschläge, die in festgelegten Zeiträumen höhere Mengen erreichen, als statistisch im Normalfall zu erwarten ist. Nach DIN-4049-3 sind Starkregenereignisse Regen, die im Verhältnis zu ihrer Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweisen und daher selten auftreten (DIN-4049-3, 1994). Es gibt verschiedene Grenzwerte für diese Mengen – im vorliegenden Projekt sind außergewöhnliche Niederschläge mit Eintrittshäufigkeiten von einmal in 10 Jahren oder seltener Untersuchungsgegenstand, da diese häufig zu Schäden führen können (Einfalt et al., 2012). Die damit verbundenen Abflüsse werden im Schadensfalle als urbane Sturzfluten bezeichnet (Castro et al., 2008): „(konvektive) Niederschlagsereignisse und daraus entstandene Abflüsse, die zu Schäden in bebauten Gebieten geführt haben“. Diese Ereignisse sind kleinräumig ($< 50 \text{ km}^2$), relativ kurz (meist < 1 Stunde), gehen meist mit Gewittern einher und finden im Sommer statt (Oertel, 2012).

1.4.2 Simulation von Überflutungen

Die Erstellung eines gekoppelten, hydrodynamischen 1D-Kanalnetz- und 2D-Oberflächenmodells zur Abbildung der Überflutungssituation bei Starkregenereignissen war noch 2013 Stand der Forschung (Henonin et al., 2013), da sie flächendeckend für

ganze Stadtgebiete sehr rechenintensiv sind und viel Aufwand in der Datenvorbereitung erfordern (Schmitt & Worreschk, 2011). Inzwischen ist dieses Verfahren aber Standard bei Ingenieurbüros und Hochschulen (z.B. DHI, 2016; Hydrotec, 2015). Die langen Berechnungsdauern konnten durch Softwarefortschritte (v.a. Verwendung der GPU statt CPU) um den Faktor 100 verringert werden. Zudem kann die Rechenzeit durch die Verwendung eines Rechen-Netzes (Mesh) mit variierender räumlicher Auflösung verringert werden (DHI, 2015).

Andere Projekte und Untersuchungen haben ebenfalls Modelle für die Analyse von Starkregenereignissen bzw. urbanen Sturzfluten herangezogen. Im Projekt KLAS wurde für die Stadt Bremen ein 2D-Oberflächenmodell mit MIKE 21 erstellt (Koch et al., 2015). Lediglich für einzelne Straßenzüge wurde ein gekoppeltes 1D-2D-Modell mit Hystem-Extran herangezogen. Für die stadtgebietsweite Analyse wurden die Überstauvolumina aus der Kanalnetzrechnung als Punktquellen für die 2D-Oberflächensimulation eingefügt, allerdings kein Abfließen des Oberflächenwassers ins Kanalnetz. Daher sind zum Teil deutliche Abweichungen zwischen beiden Ansätzen beobachtet worden (Gatke et al., 2015).

Im Hinblick auf die genauere Bestimmung von Modellparametern wurden Untersuchungen im Feld und an physikalischen Modellen für Straßenabläufe durchgeführt (z.B. Kemper et al., 2015) und Abweichungen zu den Werten aus der Richtlinie für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung (Ras-Ew) (FGSV, 2005) in Bezug auf die Einlaufkapazitäten von Straßenabläufen festgestellt.

Petersheim (2012) stellte fest, dass ein Berechnungsgitter mit einer Raster-Auflösung von 1-2 m ausreichend genau ist, um Bordsteinkanten in Form von Bruchkanten gut abzubilden.

1.4.3 Maßnahmen zur Reduktion von Schäden / Planungshilfen

In diesem Abschnitt werden vorangegangene Arbeiten benannt, die die Grundlagen für die Maßnahmenauswahl in RainAhead waren.

Das Projekt KISS des Landes Nordrhein-Westfalen gibt einen Überblick über verschiedene Modellansätze und strukturierte und bewertete Maßnahmen zur Reduzierung von Überflutungen bzw. ihrer Schäden (Hoppe et al., 2011).

Das BMBF-Projekt KRISMa stellt Neuausrichtung der kommunalen Überflutungsvorsorge nach den Prinzipien des Hochwasserrisikomanagements vor (Schmitt & Worreschk, 2011; Raphael, 2015).

Urbane Sturzfluten wurden auch von (Oertel et al., 2009) detailliert untersucht. Unter anderem mit Fragebögen wurden das Bewusstsein und die damit einhergehende Sensibilisierung der Bevölkerung bzgl. Maßnahmenimplementierungen analysiert. Es wurde festgestellt, dass es erhebliche Defizite bezüglich der Begrifflichkeit urbaner Sturzfluten, sowie effektiver Maßnahmen gab. Der Begriff Urbaner Sturzfluten ist seitdem aber in den Medien viel präsenter geworden – zu der Bekanntheit von Maßnahmen wird im Anhang eingegangen.

Der Hochwasserpass (HKC, 2016) dient dem Objektschutz für Eigentümer und sensibilisiert für die Gefährdungsanalyse und Maßnahmenumsetzung.

In Hamburg werden im kommunalen Projekt RiSa Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser erarbeitet und im Bereich der multifunktionalen Flächennutzung beispielhaft implementiert und analysiert (z.B. Wasserspielplatz (Krieger, 2015)).

Das EU FP7 Projekt SUDPLAN befasste sich mit dem Thema Stadtplanung und einem Entscheidungstool zur langfristigen Planung urbaner Räume im Hinblick auf Sturzfluten und Klimawandel (SUDPLAN, 2016; Arnold et al., 2014) unter anderem in Wuppertal.

Das BMBF-Projekt SaMuWa zielte auf die Beratung städtischer Entwässerungsbetriebe, wie über die konventionelle Stadtentwässerungsplanung hinaus zu ganzheitlichen Konzepten unter Berücksichtigung sich ändernder hydrologischer Randbedingungen gelangt werden kann (SaMuWa, 2016).

Das KLIMZUG-Projekt dynaklim befasste sich mit pluvialen Hochwasserereignissen und hat Kennzahlen zur Bewertung von Kanalnetzen erarbeitet (Zohlen, 2015).

1.4.4 Stadtplanung im Kontext von Starkregen

Seit dem BMBF-Projekt URBAS (Castro et al., 2008) ist bekannt, dass es Planungsmöglichkeiten im Bereich der Stadtplanung gibt, um Schäden durch urbane Sturzfluten zu verringern. Ein erstes Beispiel war der Notwasserweg im Hochschulstadtteil Lübeck.

Inzwischen haben sich Stadtplaner in Zusammenarbeit mit Entwässerungsspezialisten mit dem Thema eingehender befasst, z.B. in Projekten wie KLAS oder der Wasserstadt Rotterdam (z.B. Benden, 2015), und beispielhafte Konzepte zur Mehrfachnutzung von Flächen (Wasserplätze, Notwasserwege, etc.) entwickelt. Weitere Ansatzpunkte in der Stadtplanung für das Management von Sturzfluten und die Nutzung von Synergien zwischen Überflutungs- und Hitzevorsorge nennt auch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, 2016).

1.4.5 Sensitivitätsuntersuchungen und Gefahrenkarten

Die Beschreibung der Empfindlichkeit einer Stadtfläche (Sensitivitätsuntersuchung) ist eine wichtige Eingangsgröße für Risikokarten und Vulnerabilitätsanalysen. Das Netzwerk Vulnerabilität Deutschland hat nach der Auswertung von 285 Vulnerabilitätsanalysen für Deutschland festgestellt, dass die Studien von großer Heterogenität gekennzeichnet sind, was auch für die Ermittlung der Empfindlichkeit zutrifft. Es empfiehlt u. a. die Verwendung von einem oder mehreren Sensitivitätsindikatoren für jede Klimawirkung und die Kartendarstellungen für räumliche Analysen (adelphi/PRC/EURAC, 2015).

Die Auswahl der Eingangsdaten ist abhängig von den betrachteten Klimasignalen und Fragestellungen. Im Modellvorhaben KlimaMORO (BMVBS, 2011) wurden verschiedene Ansatzpunkte zur Ermittlung der Sensitivität verwendet: Neben der naturräumlichen Sensitivität (möglicher Indikator z.B. Durchlüftung) wurde auch die soziographische Sensitivität (möglicher Indikator Einwohner älter 65 Jahre) ermittelt.

Die Sensitivität gegenüber Hochwasser wird u.a. in Hochwasserrisikokarten ermittelt. Dabei fließen Daten zur Flächennutzung, zur Wohnnutzung, zur Art der Gewerbenutzung, zu sensiblen Einrichtungen und zur Versorgungsinfrastruktur ein. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK, 2011) wählt für die Beurteilung der Empfindlichkeit gegenüber Hochwasser die Sektoren kritische Infrastruktur, Bevölkerung und Umwelt/Landwirtschaft.

Im Rahmen des Forschungsprojektes Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt) hat sich die Stadt Saarbrücken mit urbanen Strategien zum Klimawandel befasst (Damm, 2012). Neben der Lage sensibler Nutzungen und kritischer

Infrastrukturen hat die Stadt einen Fokus auf Industrie- und Gewerbegebiete gelegt, die wassergefährdende Stoffe verarbeiten.

Gefahrenkarten: Zur Ermittlung der Überflutungsgefährdung hat sich eine dreistufige Analyse aus vereinfachter Abschätzung, topografischer GIS-Analyse und einer hydraulischen Detailanalyse einzelner Bereiche etabliert (z.B. DWA-T1 (2013), DWA-M 119 (2016), Dr. Pecher AG (2014)). Viele Kommunen haben sie mittlerweile in unterschiedlichem Umfang und unterschiedlicher Schwerpunktsetzung durchgeführt (z.B. Solingen (Müller, 2014), Wuppertal (Arnold et al., 2014), Bremen (Koch et al., 2015)).

1.4.6 Kleinräumige Klimaprojektionen

Es gibt eine große Anzahl von Projekten, in denen in den vergangenen Jahren Klimaänderungen in Deutschland und damit einhergehende Temperatur- und Niederschlagstrends untersucht wurden. Die Datenbasis der Projekte kommt aus den EU- Projekten PRUDENCE und ENSEMBLES, im Zuge derer eine Reihe von Simulationen von regionalen Klimamodellen für Europa erstellt wurden (Christensen et al., 2009). In der Nachfolge des Projekts ENSEMBLES steht EURO-CORDEX zur Koordination diverser Downscaling-Projekte.

Die Studien weisen trotz Unterschieden in Zielsetzung, Wahl der Klimaszenarien, räumlich erzielter Auflösung und untersuchter Kennwerte von extremen Niederschlägen gemeinsame Ergebnisse auf:

Das Bild für Niederschlag ist uneinheitlich. So werden für den mittleren Winterniederschlag Zunahmen erwartet, während im Sommer auch gleichbleibende oder abnehmende Niederschläge projiziert werden. Mehrere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass im Winter mit einem erhöhten Risiko für Hochwasser an Flüssen zu rechnen ist (z.B. Gørgen et al., 2010; KLIWA, 2016).

Unabhängig von einer Abnahme der mittleren Niederschläge werden überwiegend positive Trends der Starkniederschläge im Sommer projiziert. Die Änderungen von kleinräumigen, konvektiven Starkregenereignissen sind jedoch noch relativ wenig untersucht und die Ergebnisse zumeist wenig robust.

1.4.7 bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Mit Ausnahme der verwendeten und entsprechend lizenzierten Softwarepakete MIKE Urban (Kanalnetz- und Oberflächenmodellierung), SCOUT (Radardatenverarbeitung), ArcGIS (Geografisches Informationssystem) und dem Malik Sensitivitätsmodell® Prof. Vester (Planungs-, Analyse- und Mediationswerkzeug für komplexe Systeme) wurden keine Schutzrechte berührt. Alle verwendeten Daten hatten für die Nutzung im Projekt eine entsprechende Freigabe.

1.4.8 verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Die Liste der wesentlichen verwendeten Literaturstellen findet sich im Anhang. Die wichtigsten Quellen sind auch im Hauptteil des Berichtes benannt. Informations- und Dokumentationsdienste wurden im Projekt nicht genutzt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche kommunale Akteure wie Stadtplanung, Entsorgungsbetriebe, Feuerwehr, Lübeck-Port-Authority, Untere Wasserbehörde, Untere Naturschutzbehörde, Untere Bodenschutzbehörde und die Klimaschutzleitstelle (Teil des Bereiches Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz), waren von Beginn an als assoziierte „Projektbeteiligte“ eingebunden und haben so das Projekt mitgestaltet. Neben direkten Gesprächen und Ortsbegehungen gab es dazu die in 2.1.6.2 beschriebenen innerkommunalen Vernetzungstreffen.

Außerdem fanden zahlreiche Gespräche mit der Entwicklungsgesellschaft aurelis Real Estate Management statt, die für die Neugestaltung des Güterbahnhof-Geländes im Stadtteil St. Lorenz Süd zuständig ist. Basierend auf den in 2.1.3 und 2.1.4 beschriebenen Untersuchungen wurde eine Handreichung mit dem Titel *„Empfehlungen der Geländehöhengestaltung und der Maßnahmenplanung des Güterbahnhofsgeländes*

Lübeck im Hinblick auf Überflutungsschutz durch Starkregenereignisse“ (siehe 2.4) erarbeitet und im April 2015 überreicht.

Das Vermessungsbüro Holst und Helten war als Dienstleister für die Bearbeitung der städtischen Geodaten und die Firma HydroLogic als Dienstleister für die Bereitstellung des HydroNET-Portals für die Darstellung der Radardaten eingebunden. Diese Daten wurden freundlicherweise durch das LLUR zur Verfügung gestellt.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen ermöglichte es dem Projektteam, Ergebnisse und Daten aus dem Projekt „Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen nach RAS-Ew und RiStWag vor dem Hintergrund veränderter Temperatur- und Niederschlagsereignisse durch den Klimawandel in Deutschland bis zum Jahr 2100“ zu verwenden (BASt 2014).

Auch mit dem Labor für Städtebau und Ortsplanung der Fachhochschule wurden Anknüpfungspunkte, u.a. in Form einer Masterarbeit gefunden, in der die Ansätze aus RainAhead in die Planung überführt wurden.

Die Aktivitäten zur Vernetzung mit Kommunen aus Schleswig-Holstein und ganz Deutschland werden ebenfalls in Abschnitt 2.1.6.2 beschrieben.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

Das Projekt RainAhead fußte auf drei Säulen: Dem Verknüpfen und Auswerten vorhandener Informationen auf der praktischen kommunalen Ebene, der Ergänzung dieses Datenschatzes um überflutungsbezogene Informationen und der **Kommunikation** der Ergebnisse.

Die **gemeinsame Geodatenbank**, die als Grundlage für alle weiteren Arbeiten zur Entwicklung der Risikokarten diente, ist nützlich für die Planung von Anpassungsmaßnahmen und soll weitergeführt, erweitert und jährlich aktualisiert werden. Sie wurde dem städtischen Bereich Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz als Arbeitsgrundlage für behördliche Arbeiten (Erlaubnisse, Stellungnahmen, Überwachungsaufgaben) zur Verfügung gestellt. Der überwiegende Teil der Daten steht auch anderen Fachbereichen der Stadtverwaltung zur Verfügung und wurde bereits angefragt.

Die **Risikobewertung** umfasste verschiedene Aspekte städtischer Infrastruktur und kann für weitere Datensätze und Fragestellungen erweitert werden.

Die Karten zu **Senken und Fließwegen aus der GIS-Fließweganalyse** sowie die Karten zu **Überflutungshöhen aus der 1D-2D-Modellierung** geben für sich betrachtet viele wertvolle Hinweise für Planer, Stadtverwaltung und Bevölkerung. Sie flossen ebenfalls als Eingangsgrößen in die Risikokarten ein und werden in der Stadtverwaltung weiter verwendet, ebenso wie die im Modell **getesteten Maßnahmenvorschläge** für die Verbesserung der Abflusssituation im Bestand.

Das **Warnsystem für die Feuerwehr** basiert ebenfalls zum Teil auf GIS-Analysen, stellt aber auch das Ergebnis zahlreicher Besprechungen dar, die den Bedarf für die Praxis ausgelotet und für Lübeck festgelegt haben.

Um Zugang zu allen Daten zu bekommen (und die Hansestadt so gleichzeitig auf dem Weg zu einer gemeinsamen Geodateninfrastruktur ein Stück weiter zu bringen), sie so auszuwerten, dass die verschiedenen Praktiker diese direkt anwenden können, und die Ergebnisse so weit wie möglich zu verbreiten, hat eine **große Zahl an Gesprächen** innerhalb und außerhalb der Kreise der Projektpartner und Projektbeteiligten

stattgefunden. Die zentrale **Bedeutung einer fachbereichsübergreifenden, interdisziplinären Zusammenarbeit** als Schlüssel zum Erfolg bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel wurde auch beim Vester-Seminar herausgearbeitet.

2.1.1 Literaturübersicht und Festlegung der zu verwendenden Klimaszenarien

2.1.1.1 Literaturübersicht

Zu folgenden Themen wurde allen Projektbeteiligten eine kommentierte Übersicht zur Verfügung gestellt (Abbildung 1):

- Projektübersicht national und international
- Anpassungsstrategien an Klimawandelfolgen
- Bevölkerungsinformation
- Starkregenrisiken und -gefahren
- Vulnerabilitätsuntersuchungen
- Niederschlagsradar
- multifunktionale Flächennutzung

T) Copenhagen Climate Adaption Plan

- **Themen:** Angewandte Maßnahmen gegen Starkregen-Ereignisse in Kopenhagen; Ableitung von Regenwasser ins Meer; Regenwasserspeicher; Risikoabschätzung; Einteilung der Stadt in Wassereinzugsgebiete und Priorisierung; Verbesserungsvorschläge; Methoden der Finanzierung
- **Informationen:** <http://en.klimatilpasning.dk/>
- **Literatur:** THE CITY OF COPENHAGEN (2012): The City of Copenhagen-Cloudburst Management Plan 2012 [URL: http://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph_-_cloudburst_management_plan.pdf]

U) Malmö – Sustainable City Development

- **Themen:** weg von traditioneller städtischen Drainage mit unterirdischen Leitungen hin zu nachhaltigen städtischen Drainagen in offenen Systemen seit 1980; Teiche und Auen; multifunktionale regionale Öko-Korridore, Beispiele verschiedener Einrichtungen/Anlagen für Drainagen
- **Informationen:** <http://www.malmö.se/English/Sustainable-City-Development/Green-and-Blue.html>
- **Literatur:**
STAHR, P. (2008): Blue-Green Fingerprints in the City of Malmö, Sweden: Malmö's way towards a sustainable urban drainage. [URL: <http://waterbucket.ca/rm/2009/03/23/sustainable-urban-drainage-blue-green-fingerprints-in-the-city-of-malm/>]

Abbildung 1: Kommentierte Literaturübersicht (Ausschnitt).

2.1.1.2 Klimaszenarien

Für das Projekt RainAhead konnten Ergebnisse und Daten aus dem Projekt „Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen nach RAS-Ew und RiStWag vor dem Hintergrund veränderter Temperatur- und Niederschlagsereignisse durch den Klimawandel in Deutschland bis zum Jahr 2100“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt 2014) verwendet werden.

Darin wurden detaillierte Auswertungen zum Starkregenrisiko für vier Untersuchungsgebiete in Deutschland durchgeführt, von denen eines (Großbereich der Autobahn A1 Hamburg - Puttgarden) auch das Stadtgebiet Lübeck beinhaltet.

Die Basis bilden die CLM-Läufe CLM-C20_1,2 und CLM-A1B_1,2 für den Referenzzeitraum 1961-1990, sowie für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100. Die Läufe verwenden Antriebsdaten aus dem Globalmodell ECHAM5-MPIOM mit dem SRES-Emissionsszenario A1B und wurden mit einer Gitterweite von 0.165° (~ 18 km)

gerechnet (Lautenschlager et al., 2009; Keuler et al., 2009a,b,c). Ausgehend von den täglichen CLM-Daten zu Temperatur und Niederschlägen wurde eine Bias-Korrektur der täglichen Niederschlagssummen und ein statistisches Downscaling durchgeführt, um Informationen über zeitlich und räumlich hochaufgelöste Niederschläge abzuleiten. Dafür wurden Messungen vom DWD seit 1950 genutzt: Stationsdaten von Regenschreiberstationen (zeitliche Auflösung 5 min), Klimastationen (Tageswerte Temperatur und Niederschlag) und REGNIE-Daten (tägliche Niederschlagssummen, interpoliert auf einem 1x1-km Gitter von 1951-2010, DWD, 2011). Mithilfe der kontinuierlichen Regenschreiberdaten wurde untersucht, wie sich die projizierten Änderungen im Mittel auf die lokale Starkregenstatistik auswirken.

Als Ergebnis dieser Auswertung nehmen die Anzahl und die Intensität von Starkregenereignissen zu. Danach ist statistisch signifikant damit zu rechnen, dass die Niederschlagsintensität bei einem extremen Starkregenereignis (mit einer Dauer von 15 min bis 1 h und einer statistischen Wiederkehrzeit 5 Jahre) im Zeitraum 2071-2100 um ca. 20% höher ausfällt als im Referenzzeitraum.

Die Ergebnisse der Stationszeitreihen und der Starkregentrends bis 2100 wurden mit Bemessungsregen (DWD, 1973) verglichen. Diese fallen für die Region Lübeck sehr hoch aus, was sich damit erklären lässt, dass es damals weniger und kürzere Messreihen im Vergleich zu heute gab und die Auswertungen dementsprechend wenig robust waren. Da der hundertjährige Bemessungsregen sogar über dem 2100-Scenario liegt und darüber hinaus eine in der Praxis verwendete Größe darstellt, wurde dieser für die Modellierung der Pilotgebiete in Arbeitspaket 3 verwendet.

2.1.2 Vulnerabilitätsübersicht und Warn- und Katastrophenmanagement

Gemeinsame Geodatenbank als Datengrundlage

Als Grundlage für die in diesem Arbeitspaket durchgeführten Arbeiten wurden zunächst die bei der Lübecker Stadtverwaltung (insbesondere dem Bereich Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz) und verschiedenen weiteren kommunalen Stellen vorliegenden Geodatenätze gesichtet, die Daten mit Relevanz zum Thema zusammengestellt und in eine gemeinsame Geodatenbank überführt. Dies umfasste Grundlagendaten zu Topographie und Infrastruktur sowie zu Nutzungen und Naturgütern, die empfindlich

gegenüber Überflutung sind, ebenso wie solche zu Objekten mit Gefährdungspotential (z.B. Lagerung wassergefährdender Stoffe oder Energieversorgungseinrichtungen). Da sie in unterschiedlichen Formaten und unterschiedlichen räumlichen Bezügen (Koordinaten/Grundstücke/Baublöcke, verschiedene Koordinatensysteme, z.T. analoge Daten) vorlagen, mussten sie zunächst aufwändig aufbereitet (geprüft und in kompatible Formate umgewandelt) werden.

Häufig standen Daten mit Raumbezug an Adressen/Grundstücke geknüpft in unterschiedlichen Datenbanken zur Verfügung, die lediglich für eine spezielle Fachanwendung erhoben bzw. verwertet (Beispiel Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) wurden. Deren Wert für Querschnittsaufgaben konnte durch dieses Projekt erfolgreich verbessert werden, indem der Ortsbezug vereinheitlicht wurde. Eine Schwierigkeit stellen zum Teil rechtliche Einschränkungen dar, wenn etwa die Nutzung solcher Daten nur für den erhobenen Zweck erlaubt ist (z.B. Altlastenbereich).

Durch das Kombinieren bislang nur in den einzelnen Fachbereichen vorliegender Daten konnten viele Synergien/Schnittmengen aufgetan werden, wie z.B. die Relevanz von Bevölkerungsdaten oder Informationen zu Versiegelung und Begrünung.

Für die kommunale Planung wurden Aspekte herausgearbeitet, die unabhängig vom Projekt direkt für Stellungnahmen im Rahmen von Bebauungsplänen genutzt werden konnten.

2.1.2.1 Sensitivitätsanalysen

In diesem Abschnitt werden die Sensitivitätsanalysen im Themenbereich Gefahren/Empfindlichkeiten der Stadtinfrastruktur im Rahmen der GIS-gestützten Risikountersuchung beschrieben. Das mit dem Planungs-, Analyse- und Mediationswerkzeug Malik Sensitivitätsmodell® Prof. Vester durchgeführte Seminar mit verschiedenen Akteuren wird in Abschnitt 2.1.4 erläutert.

Zur Auswahl der Eingangsdaten der Sensitivitätsanalyse wurde mit einer intensiven Internetrecherche zu ähnlichen Aufgabenstellungen gestartet (siehe Abschnitt 1.4). Diese sollte der Aufdeckung von nicht intuitiv auf der Hand liegenden Zusammenhängen dienen und zeigte, dass weitgehend ähnliche Parameter genutzt, durch verschiedene Blickwinkel der Akteure aber jeweils auch unterschiedliche Aspekte einbezogen werden. Da die Ermittlung von Sensitivitäten eine fachübergreifende Tätigkeit (Querschnittsthema) ist, sind Faktoren wie die Struktur der Verwaltung (Einbettung des Themas in welche Fachzuständigkeit) oder das Netzwerk der Beteiligten vermutlich ebenfalls mit ausschlaggebend für das jeweilige Vorgehen.

Im Projekt RainAhead sollten im Wesentlichen bereits vorhandene Daten genutzt werden, deshalb war ein weiteres Entscheidungskriterium für die Aufnahme von Eingangsdaten in die Sensitivitätsbetrachtung deren Vorliegen in raumbezogener Form. Verschiedenste kommunale Daten wurden angefragt, priorisiert und reduziert: Daraus entstanden die vier Datensegmente Bevölkerung, Gefahrenquellen, Schutzgüter / Infrastruktur und Umwelt- und Bodendaten.

Diesen wurde in Anlehnung an DWA-M 119 (2016) Schadenspotenziale zugeordnet. Weiterhin wurden potenzielle Schadensbewertungen für ausgewählte Objekte definiert, die nicht im Merkblatt erfasst sind, z.B. Mischwasserschächte, Heizöltanks, Badestellen, Regenrückhaltebecken und Erdwärmesonden. Einigen Daten – vor allem denen aus dem Segment Umweltdaten – wurde aufgrund eines nicht eindeutigen Zusammenhangs zum Starkregenereignis keine Bewertung zugeordnet. Diese sind für andere Untersuchungen, etwa zum Stadtklima, allerdings sehr hilfreich.

Bevölkerungsdaten

Die Auswahl an Daten für die Bevölkerung sollte zum einen die Orte, an denen viele Menschen wohnen (Hinweis auf Schadenspotenzial) und solche, an denen sich – im Falle von Extremereignissen – besonders hilfsbedürftige Personen aufhalten, aufzeigen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertung Datensegment Bevölkerung

Daten	Schadenspotenzial
Anzahl Personen <6 Jahre (Raumbezug Baublock)	nicht bewertet
Anzahl Personen > 84 Jahre (Raumbezug Baublock)	nicht bewertet
Wohngebäude	mäßig
Alten- und Pflegeeinrichtungen	sehr hoch
Schulen	hoch
Krankenhäuser	sehr hoch
KiTas	sehr hoch

Gefahrenquellen

Die Auswahl an Daten für Gefahrenquellen orientierte sich hauptsächlich an der Überwachung der wassergefährdenden Stoffe, die im Schadensfall zu Verunreinigungen der Umwelt führen können (siehe Tabelle 2). Das Datensegment umfasst Daten privater Hausbesitzer, gewerbliche Nutzungen, Altstandorte und Altlasten (auch Verdachtsfälle). Dies ist für die Maßnahmenplanung relevant, z.B. wenn versiegelte Flächen mit dem Ziel der Versickerungsförderung entsiegelt werden sollen. Eine weitere Gefahrenquelle stellen Mischwasserhaltungen und deren Schächte dar, die in Lübeck noch in großer Anzahl existieren und im Fall von Kanalüberlastung Schmutzwasser in die Straße bringen. Die hier gruppierten Daten unterliegen dem Datenschutz und können nur intern verwendet werden.

Tabelle 2: Bewertung Datensegment Gefahrenquellen

Daten	Schadenspotenzial
Heizöl	mäßig
Altöl	hoch
Benzin	hoch
Biodiesel	hoch
Diesel	hoch
organische Verbindungen	hoch
Schwermetallverbindungen	hoch
Getriebeöl	hoch
Mineralöl	hoch
wassergefährdende Stoffe: giftige Stoffe	hoch
wassergefährdende Stoffe: Schmieröl	hoch
Altlasten - Prüfdatei	nicht bewertet
Altlasten - Kataster	nicht bewertet
Schnittpunkte der Fließwege	mittel
Mischwasserschächte	mäßig

Schutzgüter / Infrastruktur

Diejenigen Schutzgüter sind relevant, die durch eindringendes Wasser Schaden nehmen können, insbesondere also unterhalb des Straßenniveaus liegen. Unterführungen an Straßenläufen gibt es in Lübeck kaum, sodass diese hier nicht gesondert Erwähnung finden. Erdwärmesonden wurden aufgenommen, da die Bohrungen wasserundurchlässige Schichten durchdringen und in der örtlichen Wasserbehörde Besorgnis herrscht, dass bei unsachgemäßer Durchführung Eintrittspforten von Oberflächenwasser in das Grundwasser geschaffen werden. Für Regenrückhaltebecken und Badestellen wird Verkeimungsgefahr bei hohem Abwassereintrag gesehen. Die Zusammenstellung der ausgewählten Datensätze sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Bewertung Datensegment Schutzgüter

Daten	Schadenspotenzial
Tiefgaragen	sehr hoch
ALKIS alles mit Lage unter Grund	hoch
Erdwärmesonden	mäßig
Regenrückhaltebecken	mäßig
Badestellen	mäßig

Umwelt- und Bodendaten

Die bisher aufgelisteten Daten beschreiben hauptsächlich die Empfindlichkeit der Siedlungsfläche. Um im Zuge von Planverfahren auch die nicht besiedelten Flächen bezüglich ihrer Empfindlichkeit bzw. ihrer Bedeutung bewerten zu können, sind weitere Daten aufgenommen worden. Dabei kann einerseits die Eignung eines Gebietes für eine Bebauung betrachtet werden und andererseits der Wert der jeweiligen Fläche für das umgrenzende Stadtgebiet (z.B. als Zwischenspeicher für die Nachbarschaft) in den Fokus gerückt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Bewertung Datensegment Umwelt- und Bodendaten

Daten	Schadenspotenzial
Biotop-Wert	nicht bewertet
Landnutzung	nicht bewertet
Versickerungseignung (2 Meter Tiefe)	nicht bewertet
Einteilung feuchte/nasse/sehr nasse Böden	nicht bewertet
versiegelte Fläche	nicht bewertet

2.1.2.2 GIS-Übersicht über Senken und Fließwege

Um eine Übersicht zur Überflutungsgefährdung des gesamten Stadtgebietes zu ermöglichen, wurde eine GIS-basierte Abschätzung der Senken und Hauptfließwege des Oberflächenwassers vorgenommen (Abbildung 2). Diese ermöglicht aufgrund der starken Vereinfachung und hoher Unsicherheiten ausschließlich eine sehr grobe

Betrachtung, die allerdings bereits wertvolle Anhaltspunkte für die Flächennutzungsplanung (Maßstab Stadt), die Bauleitplanung (Maßstab Quartier), für Baugenehmigungen (Maßstab Flurstück) und weitere Genehmigungen wie z.B. Veranstaltungsgenehmigungen liefern kann.

Verwendet wurde neben der GIS-Software ArcMap die kostenlose Erweiterung ArcHydro (Fa. ESRI). Die Grundlage für die Erstellung der Senken- und Fließwegekarten bildete ein auf Basis eines Laserscan-Datensatzes aus dem Jahr 2006 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation) erstelltes Digitales Geländemodell mit der Auflösung von 1x1 m.

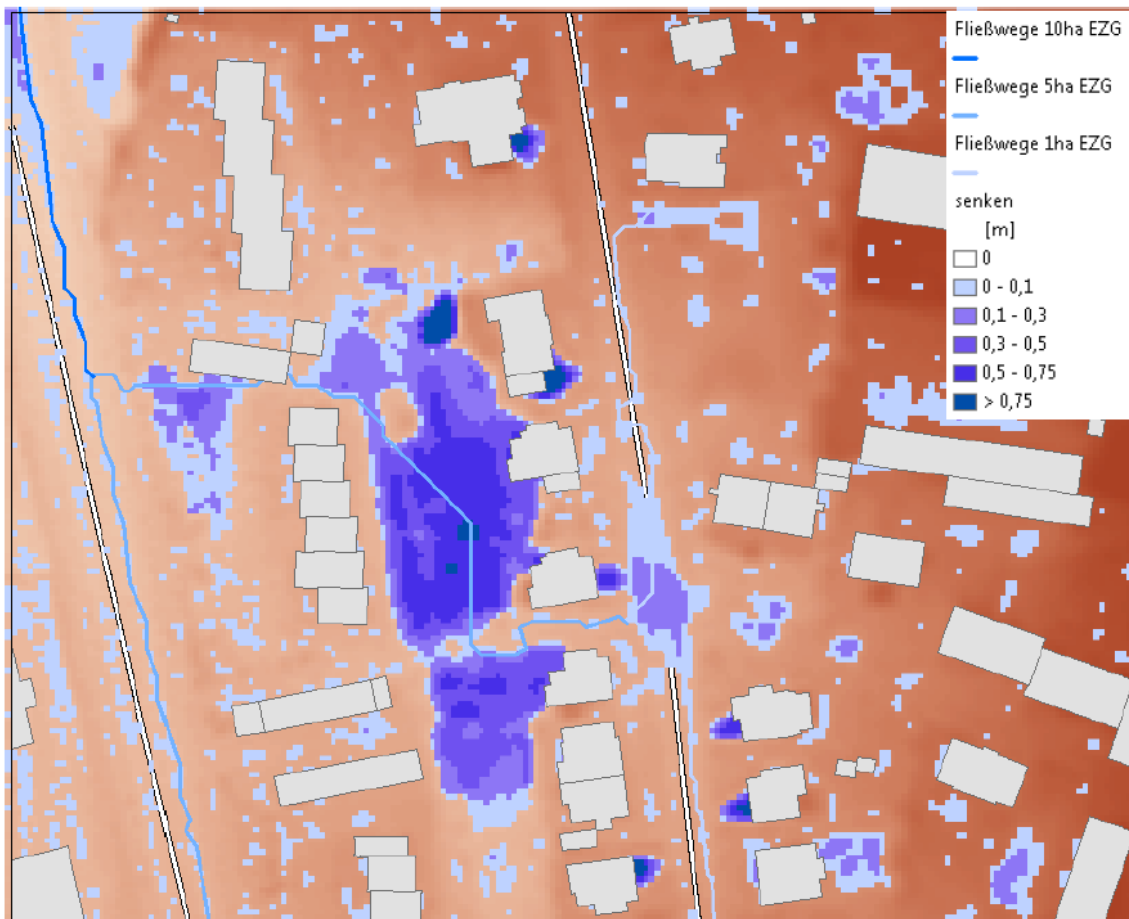


Abbildung 2: GIS-Übersicht der Senken und Fließwege (Ausschnitt)

Die Klassifizierung und Gefährdungsbewertung wurde entsprechend DWA-M 119 (2016) nach der Tiefe und, für die Feuerwehr, zusätzlich nach dem Volumen vorgenommen (Abbildung 3).

Information		Gefährdungsklasse				
		0	1	2	3	4
Mulde	Tiefe [m]	≤ 0,10	0,11 – 0,30	0,31 – 0,50	0,51 – 0,75	≥ 0,75
	Volumen [m³]	≤ 5,00	5,10 – 10,00	10,10 – 25,00	25,10 – 50,00	≥ 50,00
Oberflächenabfluss	max. Wasserstand [m]	≤ 0,10	0,11 – 0,30	0,31 – 0,50	0,51 – 0,75	≥ 0,75
Kanalnetz	Überstauvolumen [m³]	≤ 5,00	5,10 – 10,00	10,10 – 25,00	25,10 – 50,00	≥ 50,00

Abbildung 3: Gefährdungsklassen nach DWA-M 119 (Dr. Pecher AG, 2014)

Die nach Tiefe bzw. Volumen klassifizierten Senken dienen als Input für die Risikobewertung (siehe 2.1.2.3). Die Hauptfließwege wurden in Anlehnung an DWA-M 119 (2016) nach 1, 5 und 10 ha Einzugsgebiet klassifiziert. Für die Risikobewertung relevant sind auch die Schnittpunkte (Konzentrationspunkte) der Hauptfließwege, da in diesen Bereichen im Starkregenfall häufig mit Überflutungen gerechnet werden kann (Czickus, 2014).

2.1.2.2.1 Exkurs zur Aussagekraft

Eine umfassende Untersuchung und Quantifizierung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus Detail-Untersuchung (siehe 2.1.3) und GIS-Analyse konnte im Rahmen von RainAhead nicht durchgeführt werden. Diese Thematik ist aber Gegenstand aktueller Projekte, z.B. im Bremer DBU-Projekt "Entwicklung einer neuen Methodik zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Überflutungsprüfung mit GIS-basierter Darstellung der Analyseergebnisse am Beispiel der Starkregenvorsorge und Klimaanpassung (KLAS) in Bremen" (Koch et al., 2016).

Ein stichprobenartiger Vergleich der einfachen stadtgebietsweiten GIS-Übersicht mit den in 2.1.3 beschriebenen Detail-Untersuchungen ergab, dass es sowohl Bereiche guter als auch schlechter Übereinstimmungen (Tiefe bzw. maximaler Wasserstand) gab. Die Abbildung der Senken durch die GIS-Analyse ist zufriedenstellend in der Lage, Hinweise

zu Lage und Form von Senken zu geben. Bezüglich ihrer Ausdehnung und absoluten Tiefe ist Aussagekraft durch hohe Unsicherheiten eingeschränkt. Zum einen wohnt der Datengrundlage (Laserscandaten) bereits eine Unsicherheit von ± 15 cm inne (Metadatenportal SH,, 2016), zum anderen ist es für eine belastbare Einschätzung der tatsächlichen und aktuellen Gegebenheiten unabdingbar, sich durch Vor-Ort-Begehungen und 1D- und/oder 2D-Modellierungen ein genaueres Bild zu verschaffen (siehe auch 2.1.3 zur Vermessung). Sinnvoll ist auch die Berücksichtigung von weiteren Informationen z.B. zu Gebäuden, Gewässern, Brücken, Unterführungen und Kanalschächten.

Die Grenzen der einzelnen Informationsquellen werden im Folgenden beispielhaft anhand einer Zufahrt/Senke im Hochschulstadtteil erläutert (Abbildung 4).

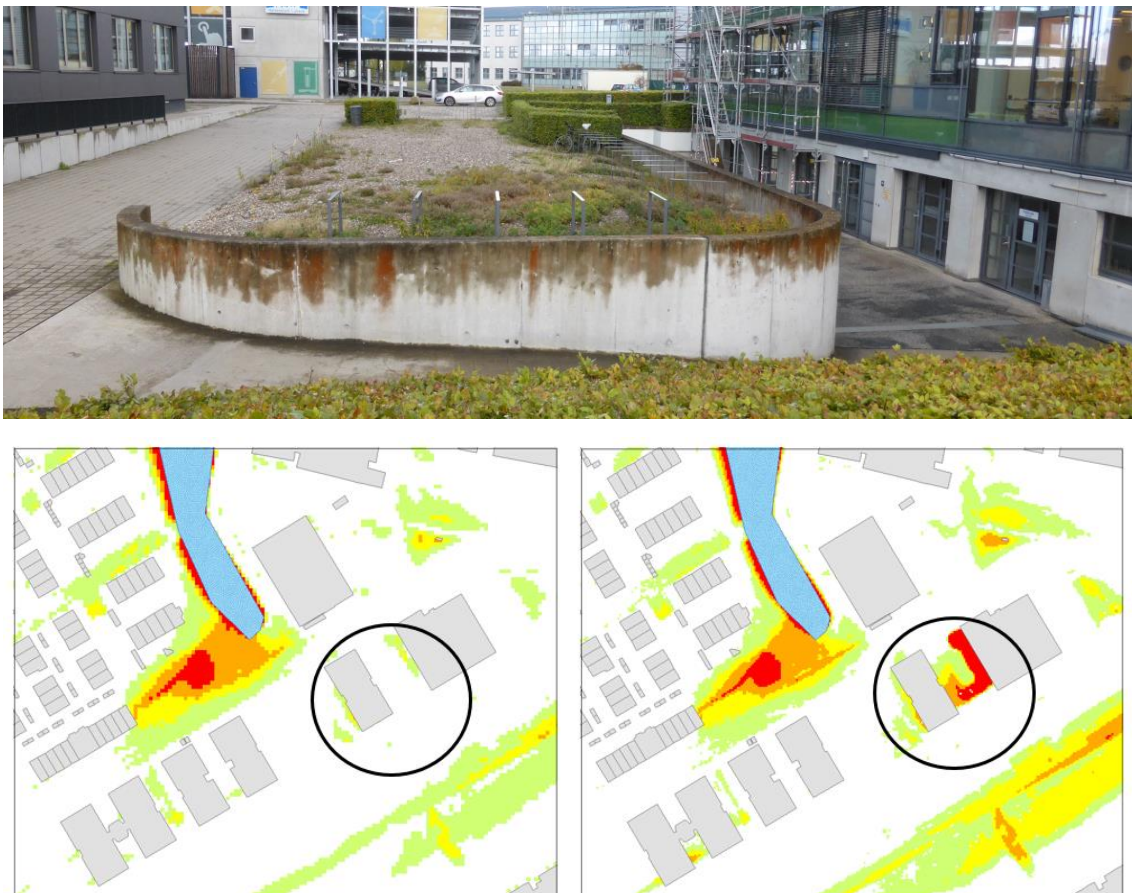


Abbildung 4: Zufahrt im Hochschulstadtteil. Foto (T. Einfalt) und Vergleich der Senkendarstellung (Klassifizierung nach DWA-M 119, siehe Abbildung 3). 1D-2D-Modellierung (links) und GIS-Übersicht (rechts).

Im Vergleich mit der 1D-2D-Modellierungen zeigen sich neben einer grundsätzlich guten Übereinstimmung und der Tendenz der GIS-Übersicht, die Werte zu überschätzen (Tiefe bzw. maximaler Wasserstand) auch die unterschiedlichen Möglichkeiten zur rechnerischen Anpassung an die tatsächlichen lokalen Begebenheiten: Die oben abgebildete Zufahrt wurde im hydro-dynamischen Modell mit einer Entwässerung versehen, weshalb es dort lediglich zu Wasserständen von maximal 37 cm kam. Diese führte zu einer scheinbar präziseren Wiedergabe der örtlichen Begebenheiten, real kann die ausreichende Kapazität der Entwässerung allerdings infrage gestellt werden, da dort in der Vergangenheit laut Entsorgungsbetrieben bereits Wasser abgepumpt werden musste.

2.1.2.3 Risikokarten

Zur Ermittlung und Darstellung des Risikos in Bezug auf Starkregen-bedingte Schäden wurden die Überflutungsgefährdung aus GIS-Analyse bzw. 1D-2D-Modell sowie das Schadenspotenzial (Sensitivitätsanalyse) kombiniert betrachtet (Abbildung 5). Dabei wurde sich an der Hochwasser-Risikokarte gemäß HWRM-RL 2007/60/EG orientiert, aber abweichend eine modulare Darstellung für verschiedene Objektkategorien gewählt, um eine Grundlage für die Sensibilisierung von Zielgruppen zu schaffen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die grafische Darstellung nicht überfrachtet wird, und kann zukünftig unkompliziert auf weitere Geodaten ausgeweitet werden.

Alternativ zur Überflutungsgefährdung kann auch die Hochwassergefährdung gemäß EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie als Exposition in die Risikobetrachtung einfließen. Stadtgebietsweite Übersichten zum 20-jährlichen, 100-jährlichen und 200-jährlichen Küstenhochwasser wurden dem Projekt vom Landesamt für Küstenschutz, Nationalpark- und Meeresschutz Schleswig-Holstein freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

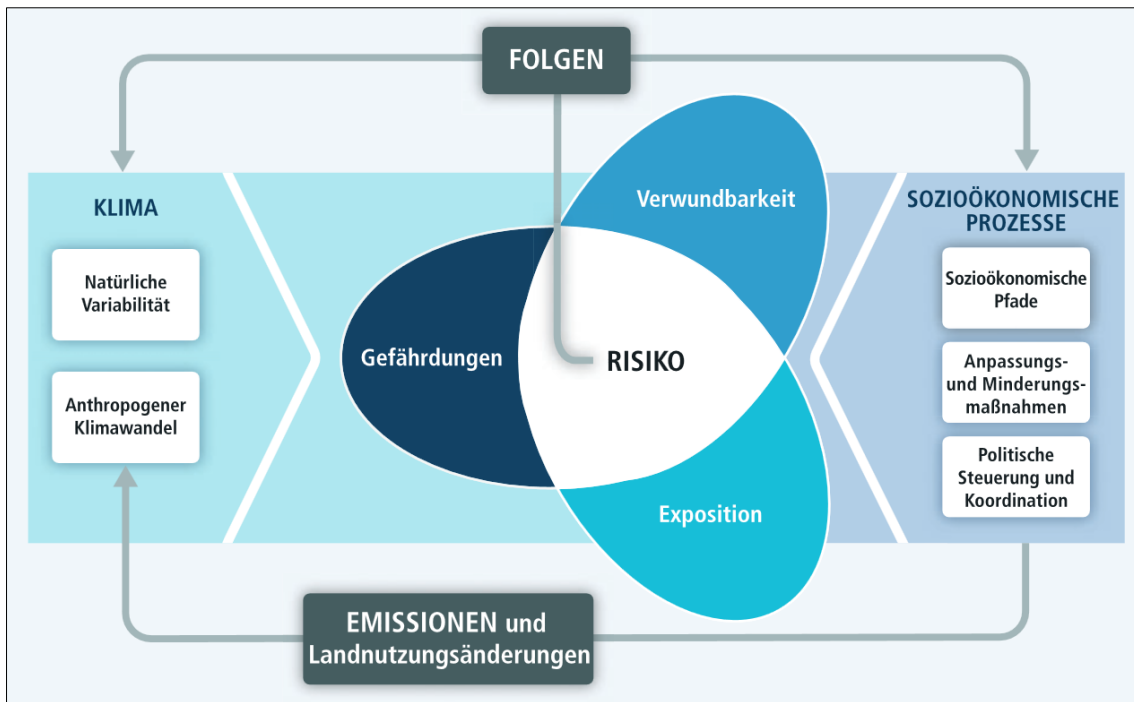


Abbildung 5: Risiko im Wirkungsgefüge von Gefährdungen, Verwundbarkeit und Exposition unter Einwirkung von klimatischen und anthropogenen Einflüssen (IPCC, 2014)

Risikodarstellung im Bestand

Bei Wohngebäuden mit einer Ölheizung im Keller könnten, wenn sie laut Gefahrenkarte in einer Senke / einem Fließweg liegen, im Rahmen der regelmäßigen Überwachung der Anlagen die jeweiligen Hauseigentümer über das ermittelte Risiko für Ölschäden und Möglichkeiten zur Bauvorsorge (z.B. Auftriebsicherung, wasserdichte Wannen) informiert werden (Abbildung 6).

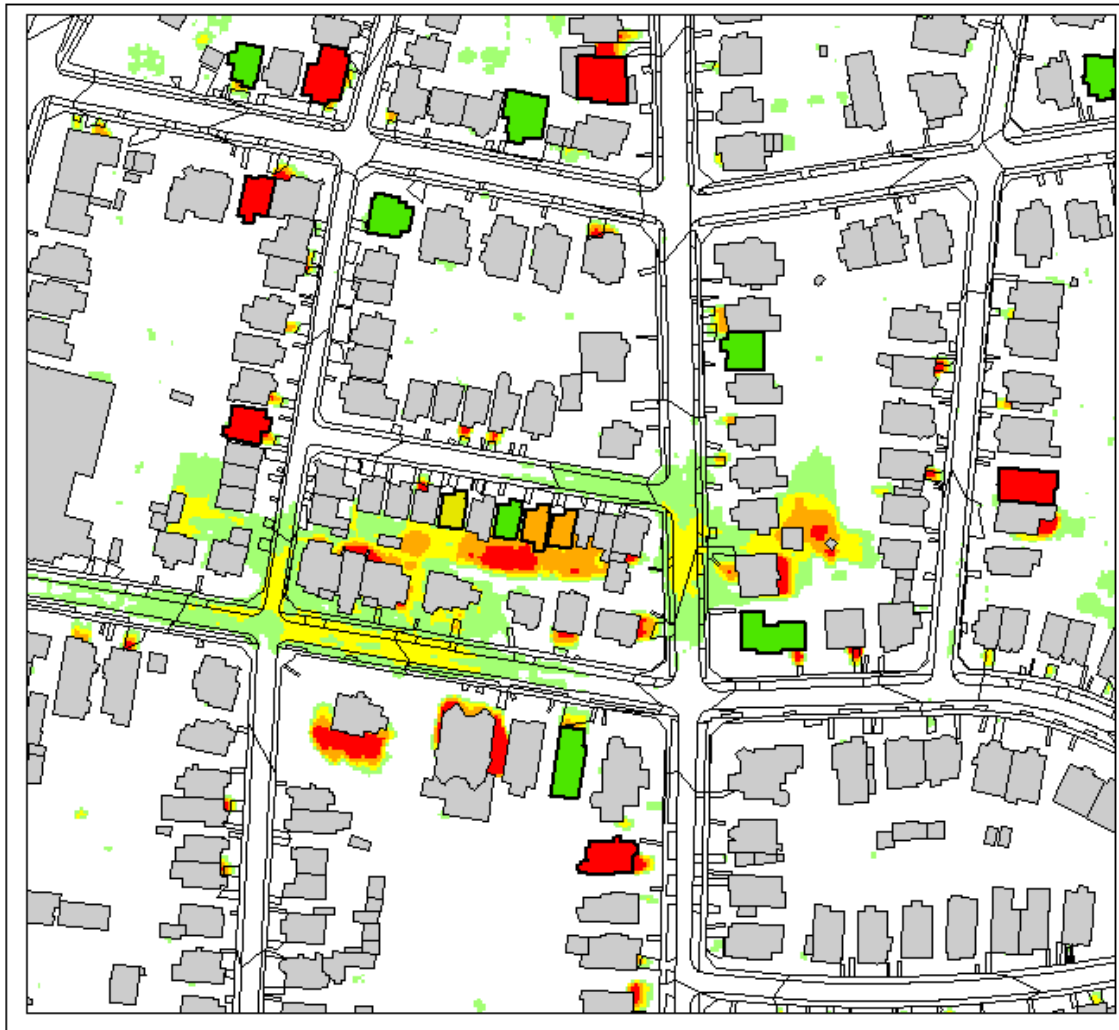


Abbildung 6: Risiko für Wohngebäude mit Öltanks (Ausschnitt). Klassifizierung der Gebäude mit Ölheizung und Senkenlage nach M-119 (siehe Abb. 3).

Betreiber von Gewerbebetrieben, die mit wassergefährdenden Stoffen umgehen, könnten auf der Grundlage einer kombinierten Abfrage von Schadenspotenzial mit Zusatzinformationen (z.B. Behälterart, Behältermaterial des wassergefährdenden Stoffes) und der Überflutungsgefährdung (Lage in überflutungsgefährdetem Areal bzw. Fließweg) eine individuelle Beratung zum Überflutungsschutz im Rahmen der Überwachung gemäß der Landesverordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (Schleswig-Holstein, 1996) erhalten (Abbildung 7).



Abbildung 7: Risikokarte für Gewerbebetrieb mit wassergefährdenden Stoffen. Klassifizierung der Senkenlage nach M-119 (siehe Abb. 3).

Während diese Gewerbedaten dem Datenschutz unterliegen und lediglich im direkten Kontakt mit den Anlagenbetreibern Verwendung finden dürfen, kann die Risikoermittlung anderer Daten als Kommunikationsmittel für die breite Öffentlichkeit genutzt werden, zum Beispiel die Risikoermittlung für sensible Nutzungen wie Schulen, Kindertagesstätten oder Seniorenheime.

Risikodarstellung für Planverfahren

Neben der Darstellung des Überflutungsrisikos für vorhandene Objekte im Siedlungsgebiet können die Informationen zur Überflutungsgefahr auch für Planverfahren genutzt werden. Dafür werden diese mit anderen Umweltdaten kombiniert, z.B. der Versickerungseignung der Böden (Datensegment Umwelt- und Bodendaten): Sind in einem Plangebiet Senken oder Fließwege über Böden mit schlechten Versickerungseigenschaften ausgebildet und liegen ggf. weitere Hinweise auf vorhandene Staunässe vor, müssen für so ermittelte, potenzielle Überflutungsrisiken in einem wasserwirtschaftlichen Begleitplan Möglichkeiten eines schadlosen Regenwasserabflusses geschaffen oder die Planungen an die Verhältnisse vor Ort (Flächenvorsorge, Bauvorsorge) angepasst werden.

2.1.2.3.1 Exkurs Klimaanalyse / Klimafunktionskarte

Auch wenn im Projekt RainAhead der Schwerpunkt der Untersuchungen beim Thema Starkregen lag, müssen bei der Entwicklung von spezifischen Anpassungsmaßnahmen die Effekte auf andere Wirkungsgefüge mitberücksichtigt werden, um eine realistische Chance auf Umsetzung zu erhalten. Um diese „Nebeneffekte“ mit zu bedenken, wurde die Sensitivitätsanalyse um den Aspekt Kleinklima / Gesundheitsschutz erweitert (Tabelle 5). So können bei der Maßnahmenplanung zum einen Synergien sichtbar werden, wenn z.B. die Entsiegelungsmaßnahme in einem bioklimatisch stark belasteten Quartier mehr Versickerungsfläche für Regenwasser und mehr Kühlungseffekte durch Verdunstung bewirkt. Andererseits könnte eine Planung zur Regenwasserableitung in einem bioklimatisch belasteten Quartier die Chance auf Kühlungseffekte durch Regenwassernutzung vor Ort schmälern.

Tabelle 5: Datensegment Kleinklima / Gesundheitsschutz

Windgeschwindigkeiten (modelliertes Strömungsfeld)
Kaltluftentstehung und Einwirkungsbereich
Modelliertes Temperaturfeld
Bioklimatische Situation Siedlungsflächen
Bioklimatische Bedeutung Grün- und Freiflächen

Über einen externen Auftrag wurde eine Klimaanalyse unter Einbezug der klimatischen Rahmenbedingungen erstellt, die detailliert Aufschluss über die klimaökologischen Funktionen im Stadtgebiet Lübecks gibt. Diese zeigt, analog zur Vorgehensweise für die Überflutungsgefahr, eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber dem Klimasignal Hitze für die Stadtfläche an.

Kombinierte Kartendarstellungen liefern wichtige Hintergrundinformationen für die Maßnahmenplanung (siehe Arbeitspaket 5), insbesondere wenn es um Ansätze nicht-technischer Art geht (Abbildung 8).

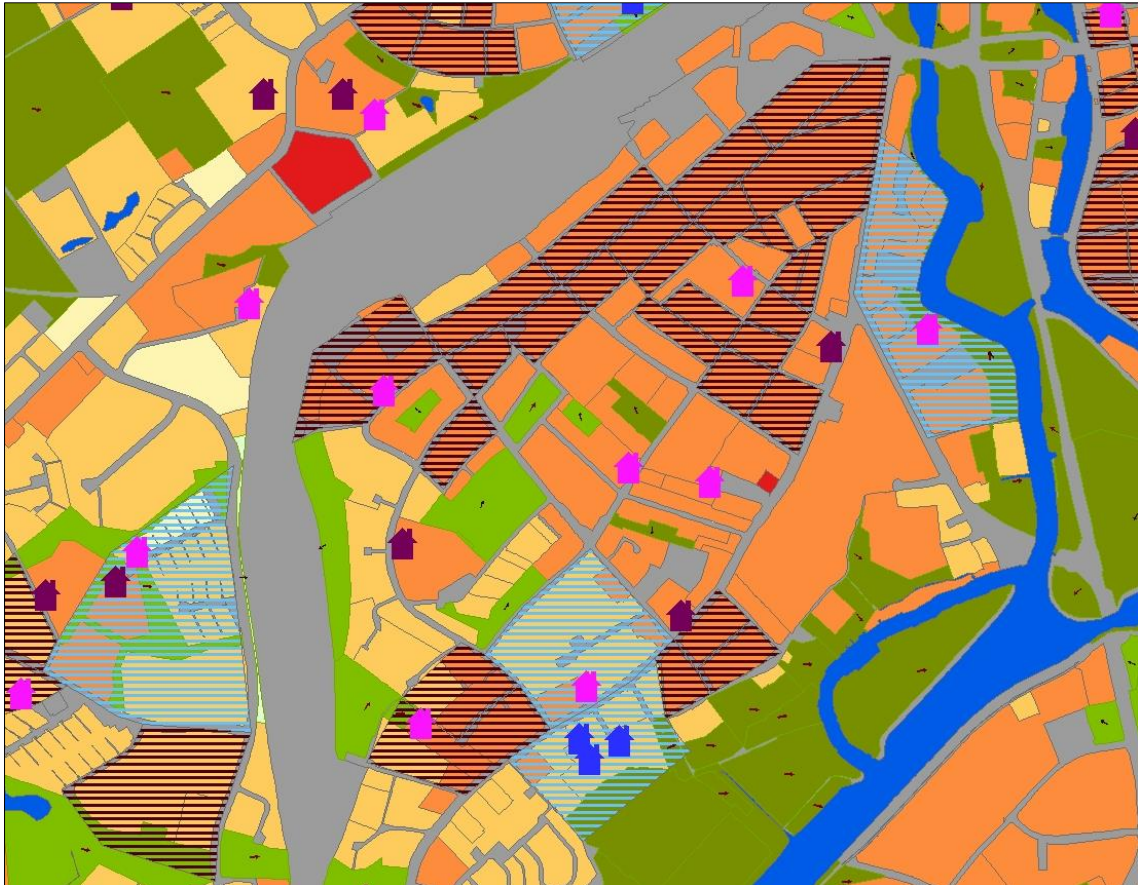


Abbildung 8: Klimafunktionskarte (Ausschnitt). Bioklimatische Situation (Farbe Baublock), sensible Einrichtungen (Häuser), hohe Einwohnerdichte (schwarze Schraffur) und hoher Anteil sehr alter Menschen (blaue Schraffur).

2.1.3 Detailuntersuchung: topografische Detailaufnahme und Modellierung der Pilotgebiete / Konkretisierung Gefahrenpotenzial

Dieses Arbeitspaket umfasste die genaue Untersuchung der beiden Pilotgebiete St. Lorenz Süd und Hochschulstadtteil. Zunächst fand eine Aufnahme und Bewertung detaillierter topographischer Daten statt, auf deren Basis dann eine gekoppelte hydro-numerische 1D-Kanalnetz-2D-Oberflächen-Modellierung durchgeführt wurde, um zum einen die Ist-Situation zu erfassen und zum anderen für ausgewählte kritische Bereiche aufzuzeigen, welche Verbesserungen durch die Implementierung verschiedener Maßnahmen erreicht werden können bzw. in welchem Umfang wassersensible Planung umgesetzt wurde.

Die Pilotgebiete unterscheiden sich in ihren Charakteristika deutlich: Bei St. Lorenz Süd handelt es sich um einen überwiegend dicht besiedeltes Bestandsgebiet mit einer EZG-Größe von 2,5 km². Lediglich ein kleiner Teil von 10 ha (ehem. Güterbahnhofsgelände) wird aktuell neu geplant. Das Kanalnetz ist zum Großteil als Mischkanalisation ausgeführt, nur einzelne Bereiche sind bereits als Trennsystem ausgebaut. Die Planungen gehen zur Trennung des gesamten Gebietes. Der Hochschulstadtteil ist ein neues Wohngebiet (Baubeginn ca. 2000) mit einer EZG-Größe von 0,8 km² und einem flächendeckenden Trennsystem. Im Zuge der Planung wurden Aspekte einer wassersensiblen Entwicklung im Hinblick auf Hochwasserschutz durch Sturzfluten beachtet.

2.1.3.1 Vermessung und Datenüberprüfung

Zur Durchführung der Geländehöhenerfassung in den Pilotgebieten St. Lorenz Süd und Hochschulstadtteil wurde zunächst mit dem Vermessungsbüro Holst und Helten ein Messkonzept erarbeitet, um die Genauigkeit der Laser-Scan-Daten zu bewerten und die räumliche Auflösung mit Hilfe eigener Messungen punktuell zu erhöhen.

Im Anschluss wurden mehrere Messkampagnen durchgeführt, die selbst festgelegte Festpunkte als auch Bereiche besonderen Interesses umfassten. Es wurde dabei von den amtlichen Festpunkten im Gebiet ausgegangen und die Höhen und Lagen übertragen (Abbildung 9).

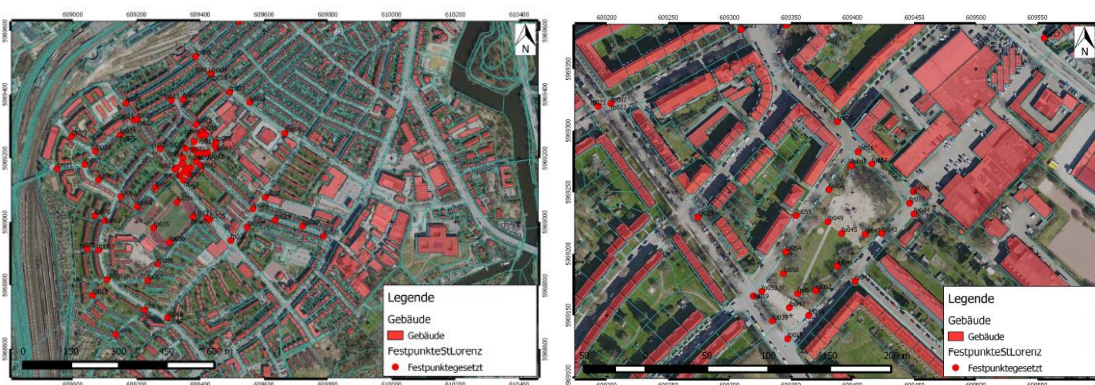


Abbildung 9: Übersicht der angelegten Festpunkte in St. Lorenz Süd (links), Detailansicht des Lunaparks in St. Lorenz Süd mit den dort angelegten Festpunkten (rechts) Hintergrund Orthophotos (EBL)

Der Abgleich mit den Laserscan-Daten ergab eine flächendeckende Abweichung der Geländehöhen von + 8 cm. Zudem wurden in ersten Überflutungssimulationen abgebildete erhöhte Wasserstände in unmittelbarer Nähe von einzelnen Gebäuden (siehe Abbildung 10) durch Begehungen gemeinsam mit den EBL auf Plausibilität geprüft und die Daten daraufhin bereinigt und korrigiert.

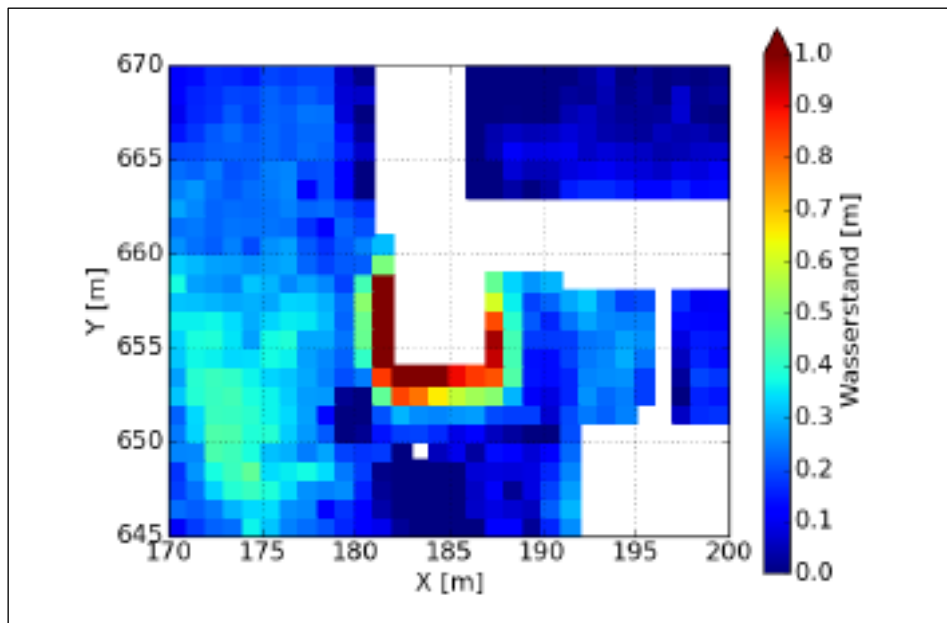


Abbildung 10: Fälschlich berechnete Senke an einem Gebäude durch eine mittlerweile abgeschlossene Baumaßnahme

So konnten einerseits Tiefgaragen in den Laserscan-Daten korrekt wiedergefunden werden, aber auch mittlerweile vollendete Baumaßnahmen waren noch immer als Senke vorhanden, wenn zum Zeitpunkt der Überfliegung der Boden dort ausgehoben war. Zudem besteht die Möglichkeit, dass bei der rechnerischen Entfernung der Gebäude aus den Laserscandaten bei der Bearbeitung durch das Landesamt für Vermessung und Geoinformation SH eine fehlerhafte Oberfläche erstellt wurde. Auch Hofdurchfahrten (Abbildung 11) wurden in ihrer Breite vermessen, so dass die abflusswirksamen Querschnitte mit berücksichtigt wurden. In diesen Fällen wurden die topographischen Daten im Berechnungsgitter korrigiert.



Abbildung 11: Hofdurchfahrt im Stadtteil St. Lorenz Süd (Foto: S. Schlauß)

Die Laser-Scan-Daten als Rasterdaten wurden als in sich plausibel, sehr detailliert und in der Lage, Senken und topographischen Gegebenheiten gerade an Gebäuden ausreichend genau zu repräsentieren, bewertet. Eine Verdichtung der räumlichen Auflösung hätte es erforderlich gemacht, statt eines Rasters ein ungleichmäßiges Dreiecksnetz (Mesh) zu erstellen. Dieses wurde aufgrund der bereits bestehenden Datenqualität und des abgeschätzten Zusatzaufwandes als nicht verhältnismäßig angesehen und nicht weiter verfolgt. Deshalb wurde der Fokus auf die Plausibilitätsprüfung und ggf. örtliche Korrektur gelegt und der Datensatz nur punktuell angepasst und aktualisiert.

2.1.3.1 Abbildung der Überflutungssituation

Die Simulationen wurden mit der Software MIKE FLOOD (Fa. DHI) durchgeführt, die die Komponenten MIKE URBAN und MIKE 21 koppelt. Das 1D-Kanalnetzmodell MIKE URBAN berechnet das Kanalnetz mit Hilfe numerischer Algorithmen, die die Saint-Venant-Gleichungen lösen. Dabei wird die Geschwindigkeit lediglich in eine Richtung

tiefengemittelt errechnet (1D). Das 2D-Oberflächenmodell MIKE 21 löst die Flachwassergleichungen numerisch, wodurch die Geschwindigkeit in zwei Richtungen tiefengemittelt nach der Finite-Differenzen-Methode berechnet wird (DHI, 2015).

2.1.3.1.1 Eingangsdaten und Modellkopplung

Die erforderlichen Daten zur Modellerstellung wurden von den Entsorgungsbetrieben Lübeck, sowie vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation SH zur Verfügung gestellt. Dies umfasst Orthophotos zur Beurteilung der versiegelten und unversiegelten Flächenanteile in den Pilotgebieten, Laserscan-Daten aus einer Überfliegung, Kanalnetzdaten, ALKIS-Daten zur Bestimmung der Gebäudeflächen sowie die digitale Stadtgrundkarte für die Straßenabläufe.

Die Niederschlagsbelastung wurde als Blockregen auf das Modell gegeben. Dabei wurden die Regenspenden mit dem ($r(15,1) = 106 \text{ [l/(s ha)]}$) aus dem DWD Gutachten von 1973 (DWD 1973) verwendet, die auch von den Entsorgungsbetrieben zur Dimensionierung der entwässerungstechnischen Einrichtungen sowohl im Bestand als auch bei der Neuplanung genutzt werden. Sie übertreffen die in Arbeitspaket 1 beschriebenen downgescalten Klimaprojektions-Daten (siehe Abschnitt 2.1.1).

Die Kopplung im Modell erfolgt über die Schächte und Straßeneinläufe im Einzugsgebiet. Die Knoten ermöglichen den bidirektionalen Wasseraustausch zwischen Kanalnetz und Oberfläche (Abbildung 12).

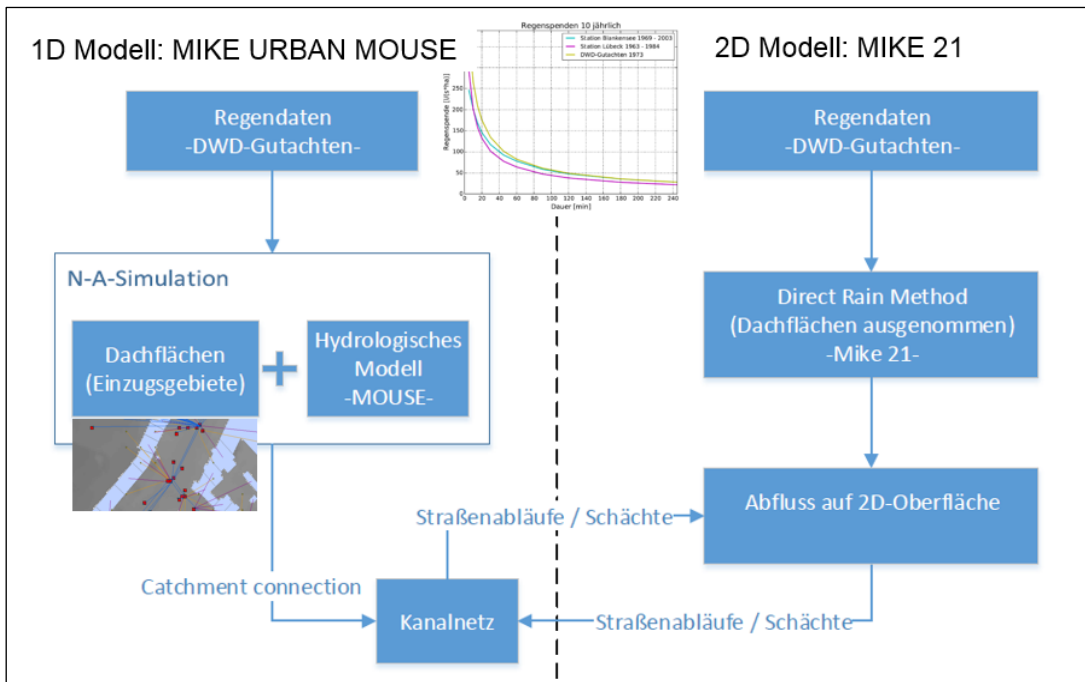


Abbildung 12: Modellkopplung 1D-2D in MIKE FLOOD (nach Kühnel, 2015)

Aus dem auf den Laserscan-Daten basierenden 2D-Berechnungsgitter wurden die Gebäude ausgestanzt. Während das Gitter in der 1-m-Auflösung 5,1 Mio. Zellen hat, sind es bei 2-m-Auflösung lediglich noch 1,2 Mio.

Die Modelle wurden zunächst getrennt voneinander aufgestellt und die jeweiligen Berechnungs-Ergebnisse verglichen, um auf dieser Basis den Kopplungsansatz zu überprüfen bzw. zu verifizieren. Dazu wurden im Berechnungsgitter Kontrollpunkte (Abbildung 13) definiert, an denen beispielsweise der Wasserstandsverlauf über den Simulationszeitraum ausgegeben wurde.



Abbildung 13: Kontrollpunkt für die Prüfung der Modellkopplung. Laser-Scan-Daten (links, Landesamt für Vermessung und Geoinformation SH) und Orthophoto (rechts, EBL)

2.1.3.1.2 Bewertung des Modells

Zur Bewertung der Modellgenauigkeit wurden zum einen Messungen mit Sonde und Niederschlagsmesser sowie eine Auswertung vergangener Feuerwehreinsätze durchgeführt. Die Sonde (Dopplermaus 2150 AVS, Genauigkeit +/- 0,03 m/s für den Bereich bis 1,5 m/s) wurde in einer Regenwasserhaltung platziert, um Wasserstand und Fließgeschwindigkeit an diesem Punkt im Kanalnetz zu messen und gleichzeitig dort der Niederschlag mittels Niederschlagsmesser (Typ Isco 674, 0,1 mm pro Kippimpuls und einer Kapazität von 380 mm/h) und Radar (HydroNET-SCOUT) ermittelt (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Niederschlagsmesser (links) und Sonde (rechts) an der Regenwasserhaltung in St. Lorenz Süd (Fotos: S. Schlauß)

Es zeigten sich gute Übereinstimmungen (Bestimmtheitsmaß von 0.9 für den Wasserstand und 0.8 für die Fließgeschwindigkeiten) zwischen den gemessenen und den simulierten Werten (Abbildung 15).

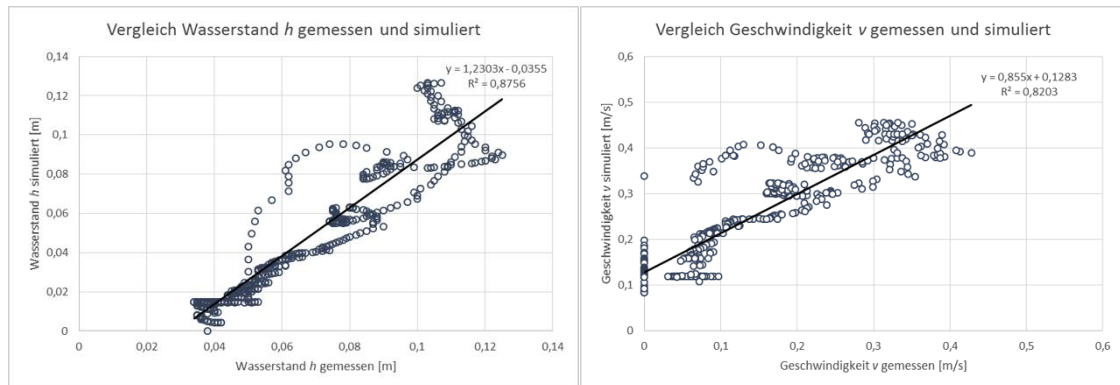


Abbildung 15: Vergleich von Messung und Simulation von Wasserstand (links) und Fließgeschwindigkeit (rechts) am 15.4.2016

Beim Vergleich vorliegender Daten zu zurückliegenden Starkregen-bedingten Feuerwehreinsätzen (Castro et al, 2008) mit den Modellergebnissen zeigte sich eine gute Übereinstimmung: Die Orte der Einsätze befinden sich in Gebieten, die durch die Simulation als überflutungsgefährdete Bereiche identifiziert wurden (Abbildung 16).

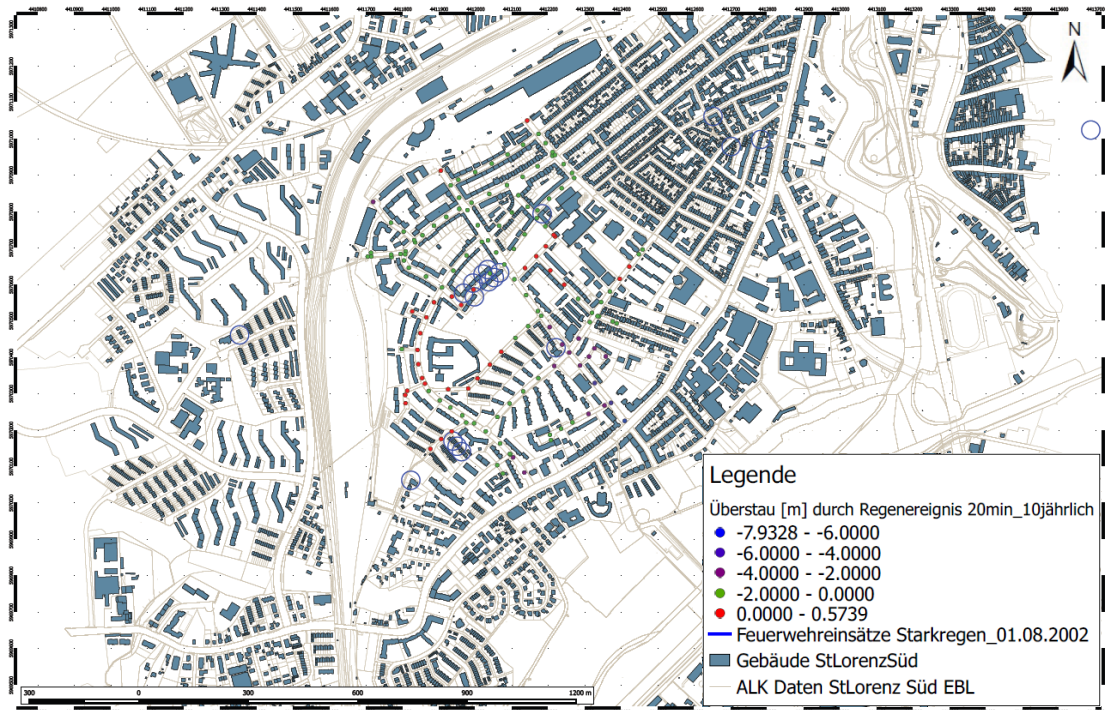


Abbildung 16: Pilotgebiet St. Lorenz Süd. Feuerwehreinsätze am 01.08.2002 durch starkregenbedingte Überflutungen (Castro et al., 2008: Kreise) und modellierter Überstau aus dem Kanalnetz (Punkte)

2.1.3.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Überflutungssimulation durch Starkregen für die Stadtteile St. Lorenz Süd und den Hochschulstadtteil zeigen die überflutungsgefährdeten Bereiche und lassen eine Abschätzung der Situation u.a. bei extremen Niederschlägen zu (Abbildung 17).

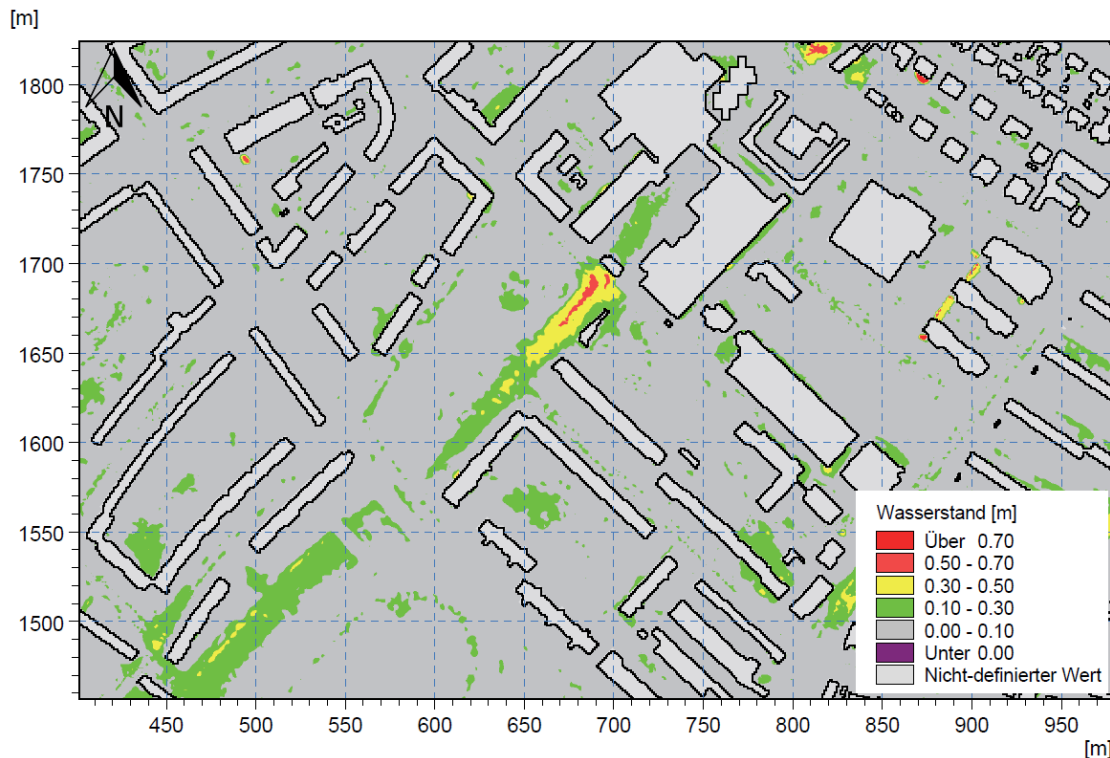


Abbildung 17: Überflutungssituation im Stadtteil St. Lorenz Süd (Ausschnitt). Maximaler Wasserstand an der Oberfläche nach DWA-M 119 (2016).

2.1.4 Maßnahmenalternativen zur Gefahrenreduzierung

In der langfristigen Planung und der Steigerung der Robustheit des Stadtraumes in Bezug auf Überflutungen durch Starkregenereignisse und den daraus resultierenden Sturzfluten ist die fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit der Verwaltung die Grundvoraussetzung für eine umfassende Planung. Dabei kommt dem Bereich Stadtplanung eine Schlüsselrolle zu. Die in den Bebauungsplänen bzw. in wasserwirtschaftlichen Begleitplänen gemachten Angaben und Anforderungen müssen dabei eingehalten werden und dürfen nicht wirtschaftlichen Interessen untergeordnet werden.

Zur umfassenderen Ermittlung und Quantifizierung relevanter Aspekte wurde ein Vester-Seminar durchgeführt (siehe 2.1.4.3).

Die konventionelle Herangehensweise in der Planung der Entwässerungssituation nach DIN 752 und DIN 1986-100 sieht zwar eine Gebäude-Notentwässerung vor, nicht aber Grundstücks- oder Stadtteil-Notentwässerung (DIN-EN-752, 2008; DIN 1986-100, 2008).

Die im Projekt RainAhead in den Modellen implementierten Maßnahmen stellen eine Auswahl möglicher Handlungsansätze dar. Hierfür wurde auch auf andere Arbeiten wie z.B. das Projekt KISS (Hoppe et al., 2011) und die Ergebnisse des Landschaftsplans Klimawandel (Kühn et al., 2011) zurückgegriffen, der für verschiedene Flächen in Lübeck Empfehlungen zu Nutzungen bzw. Nutzungseinschränkungen gibt.

Maßnahmen zur Vorbeugung von Schäden durch Überflutungen können nach BMVBS (2013) in verschiedene Gruppen sortiert werden:

- Technische Maßnahmen im gesamten Entwässerungssystem (TM)
- Dezentrale Maßnahmen (D)
- Nutzung eines Warnsystems (NW)
- Objektschutz (OB)
- Bürgerinformation (BI)
- Information und Weiterbildung für Schulen und für Bewohner der untersuchten Gebiete (IW).

Der Vergleich der hier angewendeten Maßnahmen mit den im Lübecker Landschaftsplan Klimawandel aufgelisteten Vorsorgemaßnahmen zeigt folgende Überschneidungen:

- Klimawandelangepasste Bauweise von Gebäuden in hochwasser- und überschwemmungsgefährdeten Gebieten sowie in Gebieten mit schlechtem Wasserabfluss
- Ermittlung und Freihaltung definierter Wasserabflussbahnen in Siedlungsgebieten
- Zusätzlich Anlage von „Niederschlagszwischen Speichern“ in Siedlungsgebieten
- Förderung der Versickerungsmöglichkeiten und Teilversiegelungen in Siedlungsgebieten.

In den Modellen implementierten Maßnahmen und Maßnahmen-Kombinationen (Tabelle 6) wurden analysiert und unter Verwendung der Parameter maximaler Wasserstand hU , Einstau-Dauer (tE) und Volumen an der Oberfläche sowie deren Änderungen auf ihre Wirksamkeit geprüft.

Tabelle 6: Im Modell umgesetzte Maßnahmen und deren Effekt auf die Höhe der Überflutung h_U . Kategorien nach BMVBS (2013) und KISS (2011): D = Dezentral, OB = Objektschutz, KA = klassische Entwässerungsplanung, ST = Stadtplanung, R = Retention, Ü = Überflutungsvorsorge.

Nr.	Implementierte Maßnahme	h_U vorher [m]	h_U nachher [m]	Maßnahmen-Kategorisierung	Bewertung der Maßnahme
1	Gehweg und Parkflächen um 0,15 m erhöht, Auffahrt 0,05 m, Schwelle um 0,3 m erhöht	0,60	0,10	D, OB, Ü	gut
2	Speicherbecken von 730 m ³ angelegt mit Abfluss und Anschluss an Kanalisation zum verzögerten Abfluss	0,64	0,32	D, KA, ST, R, Ü	gut
3	Grünfläche um 0,5 m abgesenkt und als Versickerungsmulde ausgeführt. Gehweg als Notwasserweg abgesenkt	0,56	0,35	D, R, KA	gut
4	Parkbuchten abgesenkt und als Zwischenspeicher genutzt	0,26	0,60	D, Ü, S	gut
5	Gehwegserhöhung und Absenken der Grünfläche als Mulde	0,40	0,15	D, R, KA, Ü	gut
6	Notwasserweg am Gebäude vorbei auf die Grünfläche bzw. den Sportplatz und Grünfläche als Mulde	0,38	0,28	D, OB, KA, Ü, R	mittel
7	Grünfläche vor der Schule als Mulde ausgebildet, Tiefe 0,7 m	0,40	0,20	D, OB, R	gut
8	Notwasserweg vom Gebäude weg in die Grünfläche, zusätzlicher Schacht und Haltung eingefügt	1,30	0,84	D, ST, R, KA	gut
9	Graben angelegt, Haltung und Schächte und Einlauf zur Ableitung des Wassers und Geländehöhen so vorsehen, dass oberirdische Einzugsgebiete entstehen	--	--	D, KA, Ü, R, OB	gut
10	Graben angelegt zur Ableitung des Wassers von der Straße über den vorgesehenen Notwasserweg in Richtung Carlebach Park	0,62	0,5	D, KA, Ü, ST	mittel
11	zusätzliche Haltung mit Schacht eingefügt zur Ableitung des Wassers in den Carlebach Park	0,62	0,45	D, KA, Ü, ST	gut
12	Schwelle bzw. Erhöhung	0,85	0,58	O, OB	mittel
13	Schwelle bzw. Erhöhung	0,55	--	O, OB	mittel

Mit den in den Modellen analysierten Maßnahmen konnte schlüssig dargelegt werden, wie die kritischen Bereiche in den Stadtteilen bezogen auf urbane Sturzfluten potentiell entschärft und die Überflutungssicherheit gesteigert werden können.

Die simulierten Maßnahmen wurden auf eine Maßnahmenkarte übertragen. Aus dieser lassen sich sowohl langfristige Planungsgrundlagen, die das Entwässerungssystem robuster werden lassen, als auch kurzfristige Schutzmaßnahmen für Überflutungsfälle im aktuellen Ist-Zustand ableiten. Die Maßnahmenkarten sind in Abbildung 18 und Abbildung 19 dargestellt.

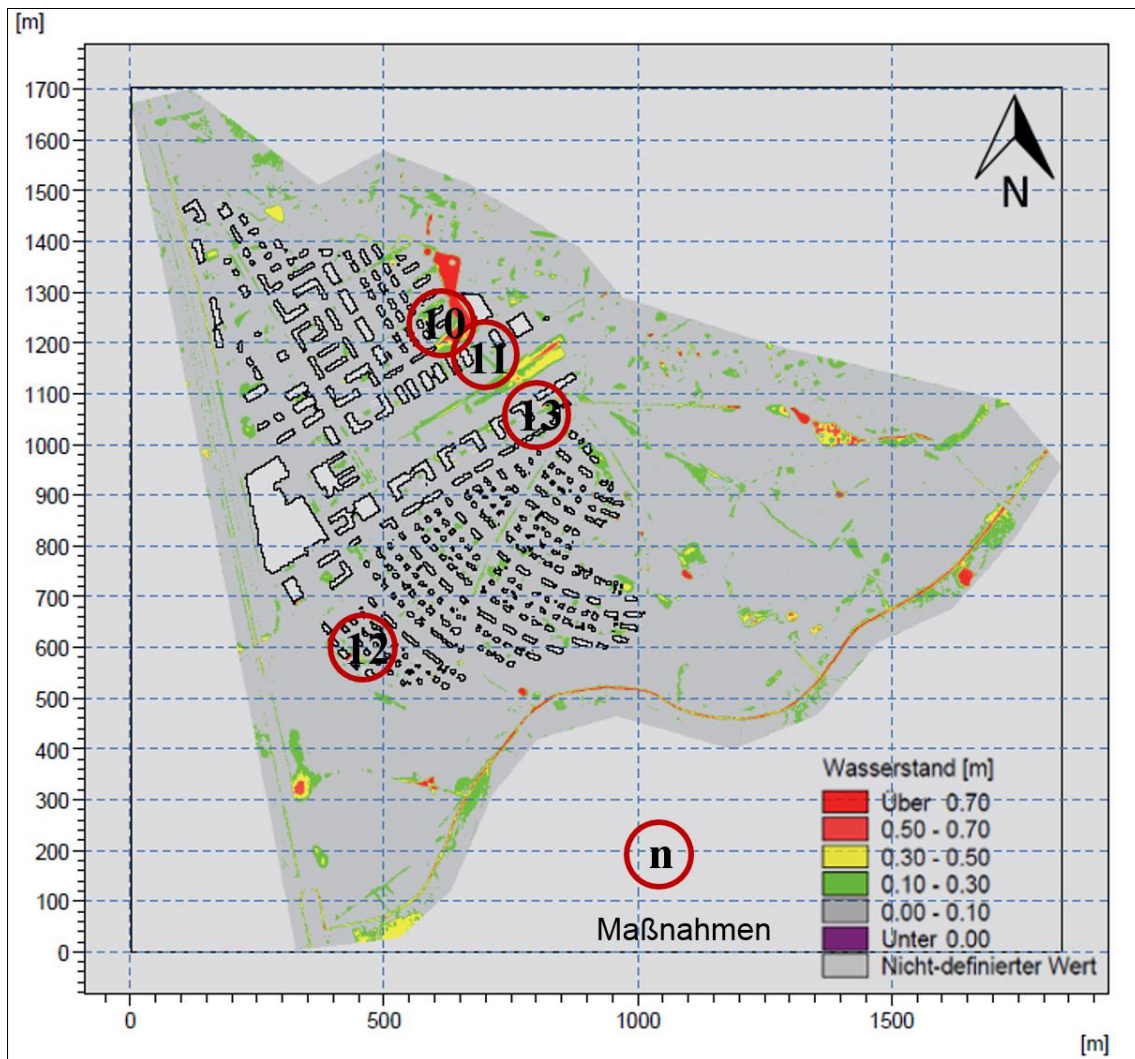


Abbildung 18: Maßnahmenkarte des Hochschulstadtteils (Nummerierung nach Tabelle 6).



Abbildung 19: Maßnahmenkarte des Stadtteils St. Lorenz Süd (Nummerierung nach Tabelle 6)

2.1.4.1 Exkurs: Untersuchung Güterbahnhofsgelände

Die Untersuchungen für das Güterbahnhofsgelände im Stadtteil St. Lorenz Süd wurden als „*Empfehlungen der Geländehöhengestaltung und der Maßnahmenplanung des Güterbahnhofsgeländes Lübeck im Hinblick auf Überflutungsschutz durch Starkregenereignisse*“ (siehe 2.4) an die Stadtplanung und die Entwicklungsgesellschaft aurelis Real Estate Management übergeben, so dass sie für die konkrete Planung und etwaige Festsetzungen von Anforderungen im Bebauungsplan dienen können.

Die Erstellung eines Konzeptes für das Gelände wurde in das Projekt RainAhead aufgenommen, damit die Vermeidung von Schäden durch Überflutungen direkt in die Planungen einfließen kann. Aufgrund der geringen Geländehöhe kommt es bei einem Überstau der Kanalisation im Töpferweg zu einem Abfließen des Wassers auf das Güterbahnhofsgelände. Es kann außerdem zu einem Abfließen von Regenwasser auf das Gelände von den benachbarten Grundstücken kommen. Für das Güterbahnhofsgelände wurden zwei Konzepte mit Simulationen überprüft. Zur Erstellung der Konzepte wurden in die Modellierung aufgrund der unsicheren Bebauung keine geplanten Gebäude einbezogen, sondern lediglich ein Teil eines bestehenden Güterschuppens eingebunden, von dem feststeht, dass er erhalten werden soll.

Als eine Variante zur Vermeidung von Überflutungen auf dem Gelände wurde vorgeschlagen, das gesamte Gelände um 0,50 m aufzufüllen und entlang der Grenze zu den Nachbargrundstücken einen Graben auf dem Güterbahnhofsgelände zu erstellen (Abbildung 20). So ist es möglich, das im Grenzbereich sowie das auf dem Güterbahnhofsgelände anfallende Regenwasser zu fassen und abzuleiten. Auch aus der Kanalisation am Töpferweg austretendes Wasser kann aufgenommen und daran gehindert werden, auf das Gelände zu fließen. Der Graben wird an den Regenwasserkanal angeschlossen.

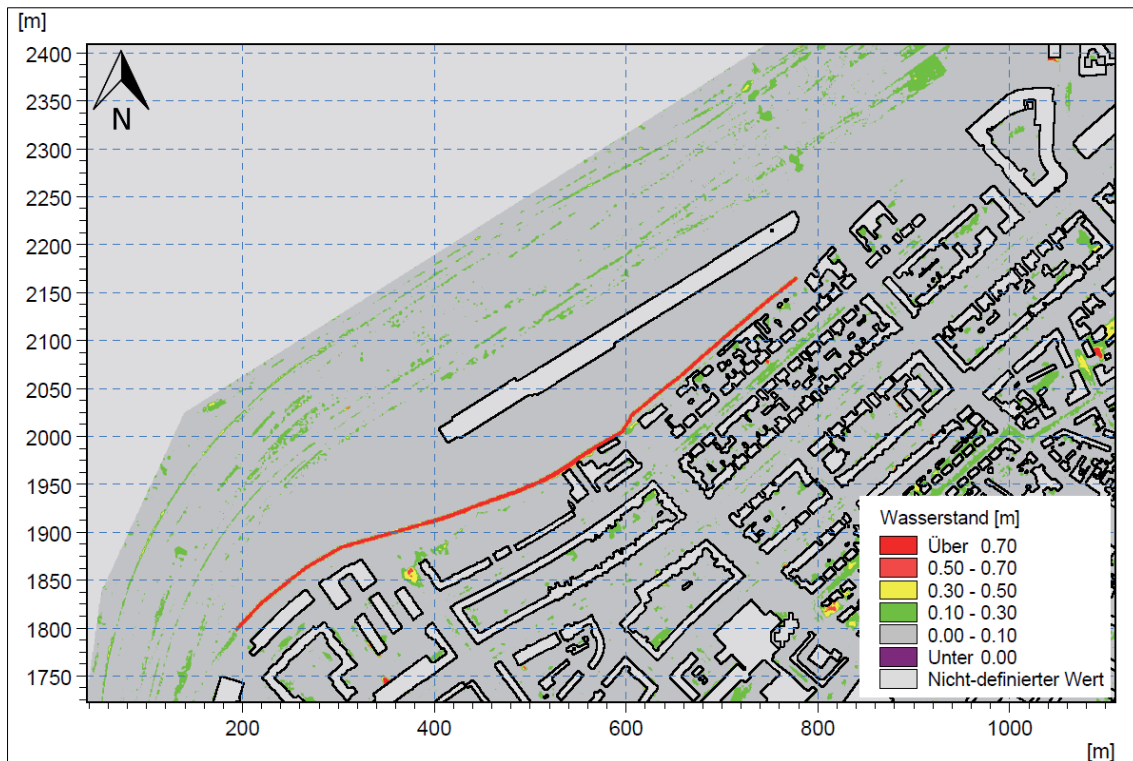


Abbildung 20: Maßnahmenvariante 1. Simulierter Wasserstand nach Implementierung von Gräben und 0,5 m Geländeerhöhung (Kühnel, 2015).

Eine Versickerung des Regenwassers wird hier zunächst nicht vorgesehen. Laut Hansestadt Lübeck (2007) ist die Versickerungseignung der anstehenden Böden zwar gut, der Grundwasserspiegel jedoch sehr hoch. Weiter ist davon auszugehen, dass in diesem Bereich Altlasten aus der früheren Nutzung des Bahngeländes vorhanden sind. Die Berechnungsergebnisse des Bemessungsereignisses (Dauer = 10 Minuten, Wiederkehrzeit = 100 Jahre) ergeben einen Einstau im aufnehmenden Schacht. Um eine Überlastung der Kanalisation auszuschließen, wird das anfallende Regenwasser im Graben zwischengespeichert.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass eine Anhebung des Geländes um 0,50 m in Verbindung mit der Einrichtung eines Grabens zur Aufnahme des am Töpferweg austretenden Wassers zum Schutz vor Überflutungen ausreichend wäre.

Als zweite Variante wurde untersucht, das Gelände nicht flächendeckend um 0,50 m anzuheben, sondern mit Gefälle hin zur Grünfläche und zum Graben auszubilden (Abbildung 21). Durch die Bildung von Senken in der Grünfläche und am Rand des

Geländes lassen sich künstliche Einzugsgebiete erzeugen, die es ermöglichen, die Grünfläche mit den Retentionsräumen als Notwasserweg umzusetzen. Ein Vorteil wäre hier die geringere Menge an notwendigem Schüttgut. Ein Graben ist hier nicht mehr unbedingt notwendig, da das Gelände zur Grundstückskante abfällt. Trotzdem wird er nach wie vor empfohlen.

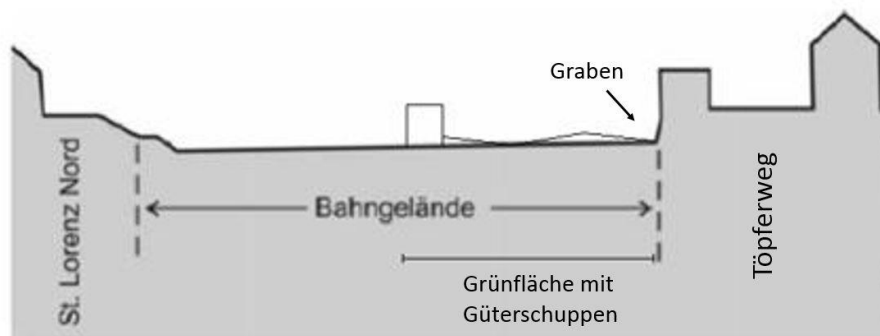


Abbildung 21: Maßnahmenvariante 2: Geländehöhengestaltung (nach Heinz et al. 2008).

Die Wahl seltener Regenereignisse für die Simulation steht im Widerspruch zur üblichen Bemessung zum Nachweis der Überflutungssicherheit (nach DWA A-118 und DIN EN 752). Hier wird der Graben jedoch nicht nur als Element des Entwässerungssystems bemessen, sondern in erster Linie auf seine Funktion als Notwasserweg und Speicherraum für extreme Ereignisse dimensioniert.

2.1.4.2 Sensitivitätsanalyse nach Frederic Vester

In diesem Abschnitt wird das mit dem Planungs-, Analyse- und Mediationswerkzeug Malik Sensitivitätsmodell[®] Prof. Vester durchgeführte Seminar beschrieben. Die Sensitivitätsanalysen im Themenbereich Gefahren/Empfindlichkeiten der Stadtinfrastruktur im Rahmen der GIS-gestützten Risikountersuchung werden in Abschnitt 2.1.2.1 erläutert.

Das Malik Sensitivitätsmodell® Prof. Vester ist ein Planungs-, Analyse- und Mediationswerkzeug für komplexe Systeme, das entwickelt wurde, um vielschichtige, komplexe Fragestellungen zu bewerten und dabei nicht nur technische, sondern auch sonst schwer quantifizierbare nicht-technische Aspekte zu erfassen und in die Bewertung einfließen zu lassen (Vester, 2007). Im Rahmen von RainAhead wurde eine Analyse unter der Fragestellung: „Wie lassen sich negative Folgewirkungen von Starkregenereignissen in St. Lorenz Süd minimieren?“ durchgeführt. Das Ziel des dreitägigen Seminars war, die verschiedenen Beteiligten zusammen zu bringen und alle Seiten und Argumente der Fragestellung zu berücksichtigen. Teilnehmende kamen aus den Bereichen Stadtplanung und Feuerwehr der Hansestadt Lübeck, von den Entsorgungsbetrieben, der lokalen Bevölkerung und dem Projektteam selber. Es wurde eine Einflussmatrix erarbeitet (Abbildung 22), die zeigt, welche Einflussvariablen auf die Fragestellung von den Teilnehmenden als wesentlich erachtet wurden und wie stark die Variablen sich untereinander beeinflussen.

Wirkung von Variable ↓ auf Variable →		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	AS
1	Pufferkap. Wasserhaushalt*	X	1	2	2	2	1	2	2	2	1	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	1	21
2	Sicherheit von Menschenans.*	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	3	0	6
3	Ausmaß von Umweltschäden*	0	1	X	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	7
4	Gefahrenpotenzial*	0	2	3	X	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	14
5	Ausmaß von Sachschäden*	0	2	2	2	X	0	2	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	13
6	Exposition soz. Einrichtungen*	0	1	0	1	1	X	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0	8
7	Mobilitätseinschränkung*	0	3	0	1	0	0	X	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	1	9
8	Robustheit Stadtraum*	2	2	2	2	2	1	2	X	2	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	1	2	26
9	Leistungf. dezent. EntwäS.*	1	1	2	2	2	1	1	2	X	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	18
10	Leistungf. zentrales EntwäS.*	1	2	2	2	2	1	2	2	1	X	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	19
11	Güte der Überflutungsprognose*	0	1	1	1	1	0	0	0	0	X	2	2	1	1	0	0	0	1	2	1	14	
12	Effizienz des Warnsystems*	0	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	X	2	1	2	0	1	0	1	2	1	18
13	Ausmaß der Selbsthilfe*	0	2	1	2	2	1	0	0	1	0	0	0	X	0	2	0	0	0	1	2	1	15
14	Wirksamkeit Öffentl.arbeit*	0	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	3	X	0	0	2	0	3	1	1	19
15	Anzahl der Fremdhilfeinsätze*	0	2	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	X	0	0	0	0	1	0	9
16	Qualität d Präventionsplanung*	2	2	2	2	2	2	1	3	2	1	0	1	1	0	2	X	0	2	1	2	2	30
17	Handlungskomp. Bevölkerung*	0	2	1	2	1	1	0	0	1	0	0	1	3	1	1	0	X	0	2	2	1	19
18	Versiegelung pro Einwohner*	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	0	0	0	0	1	0	0	X	0	1	1	16
19	Effektive lokal Kommunikation*	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2	1	2	2	0	X	2	0	19
20	Ausmaß von Personenschäden*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	X	0	3
21	Exposition wirt. Einrichtungen*	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	1	0	1	0	1	X	11
Konsens																							
Vergleich mit PS		8	30	22	27	27	14	18	12	12	9	1	7	21	5	31	6	5	6	9	30	14	

Abbildung 22: Vester-Analyse. Einflussmatrix der Variablen.

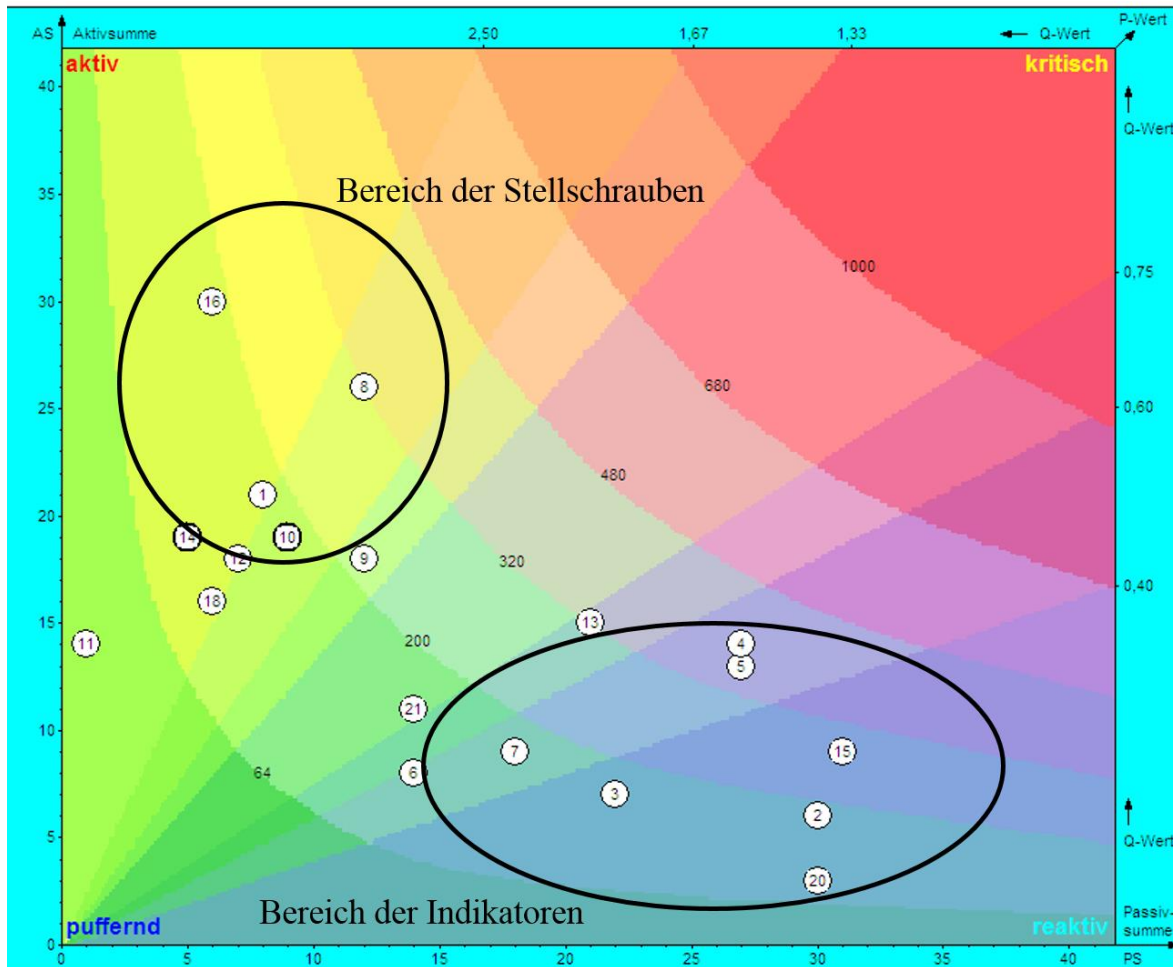


Abbildung 23: Vester-Analyse. Rollenverteilung der Variablen.

Die Variablen wurden gegeneinander aufgetragen und eine Rollenverteilung als aktiv, reaktiv, puffernd und kritisch abgeleitet (Abbildung 23), um die Wirkungsbeziehungen im System zu erkennen, sowie Stellschrauben und mögliche Indikatoren zu identifizieren, die den Zustand des Systems widerspiegeln. Die wichtigsten Parameter für das Systemverhalten sind dabei die Stellschrauben, die Indikatoren, die Anzahl der positiv und negativ rückgekoppelten Regelkreise und der Vernetzungsgrad.

Variablen mit einer hohen Aktivsumme (d. h. sie beeinflussen viele andere Variablen und sind deshalb als Stellschraube geeignet) waren die Pufferkapazität des Wasserhaushalts (1), die Robustheit des Stadtraums (8) und die Qualität der Präventionsplanung (16). Indikatoren (d.h. die beeinflussten Variablen) Sicherheit von Menschenansammlungen (2), Ausmaß von Umweltschäden (3), Anzahl der Fremdhilfeinsätze (15) und Ausmaß von Personenschäden (20).

Untermuert wurden die Aussagen über die Kernvariablen des Systems zudem durch den Abgleich mit den Ergebnissen verschiedener Studierendengruppen des Bereiches Bauwesen der Fachhochschule Lübeck, die mit der gleichen Fragestellung betraut wurden.

Kernaussagen der für St. Lorenz-Süd durchgeführten Systemanalyse sind:

- St. Lorenz-Süd ist unter der vorgegebenen Fragestellung ein instabiles System (mehr positiv- als negativ rückgekoppelte Regelkreise)
- Entfernt man alle sozialen Komponenten im System, gibt es keine stabilisierenden Regelkreise mehr
- Stellschrauben sind Stadtplanung, Robustheit Stadtraum (z.B. hohe Speicherkapazität von Oberflächenwasser, guter Objektschutz; nur über Planung langfristig realisierbar)
- Einbindung der Entwässerungsplanung in den Prozess der Stadtplanung erforderlich
- Festlegung Entwässerungssituation (z.B. Notwasserwege für 100jährliches Regenereignis) in Grundbuch (privatrechtlich) und Bebauungsplan (öffentlich-rechtlich) erforderlich.
- Situation unübersichtlich durch Trennung von Entwässerungs- und Baugenehmigungen (Bauordnung) und nicht eindeutig geregelte Zuständigkeiten für Hochwasser (sowohl Flusshochwasser als auch urbane Sturzfluten) bzw. Planung und Umsetzung von Maßnahmen, allerdings Verschlechterungsverbote.

Hieraus wird deutlich, dass die fachbereichsübergreifende, interdisziplinäre Zusammenarbeit als Schlüssel zum Erfolg der Umsetzung einzelner Maßnahmen erforderlich ist.

Als mögliche Ansatzpunkte auf Verwaltungsebene zur Umsetzung von Maßnahmen wurden einige Verwaltungsinstrumente genannt (nach Kühn et al., 2011):

- Bauleitplanung (Sicherung der Flächennutzung in der vorbereitenden Bauleitplanung – Flächennutzungsplan (FNP), Festsetzung von Maßnahmen in der verbindlichen Bauleitplanung -Bebauungspläne)
- Flächenankauf und Flächenverpachtung mit Klimaschutzauflagen
- Naturschutzrechtliche Eingriffs-/Ausgleichsregelung
- Gewässerunterhaltung und -ausbau
- Umsetzung von Fachplanungen, Landschaftsplanungen und Managementplänen
- Vertragsnaturschutz
- Erstellung einer Weißflächenkartierung zur Feststellung von Eignungsflächen für erneuerbare Energien, insbesondere Photovoltaikanlagen.

2.1.5 GIS-gestützter Werkzeugkasten für Planung und Warnung

2.1.5.1 Werkzeugkasten

Wegen rechtlicher Bedenken zur Zulässigkeit der Weitergabe von Einzelinformationen konnte kein für planende Stellen allgemein verfügbares Webportal aufgebaut werden, das für die Planung benötigte Details in genügendem Umfang enthält. Die einzelnen Tools und Ergebnisse des Projektes wurden deshalb soweit möglich ihren vorgesehenen Empfängern ohne das Werkzeugkasten-Portal als „gemeinsame Klammer“ zur Verfügung gestellt: Warnsystem für die Feuerwehr, Niederschlagsportal HydroNET-Scout für alle Projektbeteiligten, Maßnahmenkataloge zum Objektschutz für Planer und Bevölkerung, vereinheitlichter Geodaten-Fundus in Geodatenbank für Projektpartner und Stadtverwaltung sowie allgemeine und im Projekt erarbeitete Informationen für Projektbeteiligte (und z.T. Bevölkerung).

Ein ArcGIS-Online-Portal, um rechtlich unkritische Karten und Maßnahmen allgemein zugänglich zu machen, befindet sich seitens der Hansestadt Lübeck zurzeit im Aufbau.

2.1.5.2 Warnsystem

Verlässliche und räumlich hochaufgelöste Informationen über Umfang und Intensität von sich nähernden Niederschlägen erleichtern die Einsatzplanung der Feuerwehr, da diese vorab ihre Leitstelle ausreichend besetzen und so optimale Informationsflüsse gewährleisten kann.

Für die Entsorgungsbetriebe Lübeck, den Bereich Umwelt, Natur-, und Verbraucherschutz, die Untere Wasserbehörde und die Lübeck Port Authority sind räumlich hochaufgelöste Daten zurückliegender Ereignisse für verschiedene Auswertungszwecke wertvoll.

Beides stellt das für RainAhead entwickelte Warnsystem auf Basis des Niederschlagsportals HydroNET-SCOUT bereit. Es nutzt Echtzeit-Messungen des DWD-Radars Boostedt, die alle 5 Minuten aktualisiert werden und in einem 1 x 1 km-Raster vorliegen.

2.1.5.2.1 Niederschlagsportal HydroNET-SCOUT

Die Niederschlagsinformationen werden über das System HydroNET-SCOUT bereitgestellt. Dieses besteht aus dem Webportal HydroNET mit hinterliegender Datenbank für Radardaten und Stationsdaten und dem Programmsystem SCOUT, welches die Radardaten und die Stationsdaten empfängt, prüft, Fehler- und (mit Hilfe von Bodenmessungen der DWD-Niederschlagsstationen) Mengenkorrekturen durchführt und das Ergebnis mit der Vorhersage an die Datenbank von HydroNET schickt. Nähere Informationen zu dem Verfahren sind in Einfalt & Behnken (2013) dargestellt.

HydroNET ist eine Entwicklung der HydroLogic B.V., Amersfoort, Niederlande.

SCOUT ist eine Entwicklung der hydro & meteo GmbH & Co. KG, Lübeck.

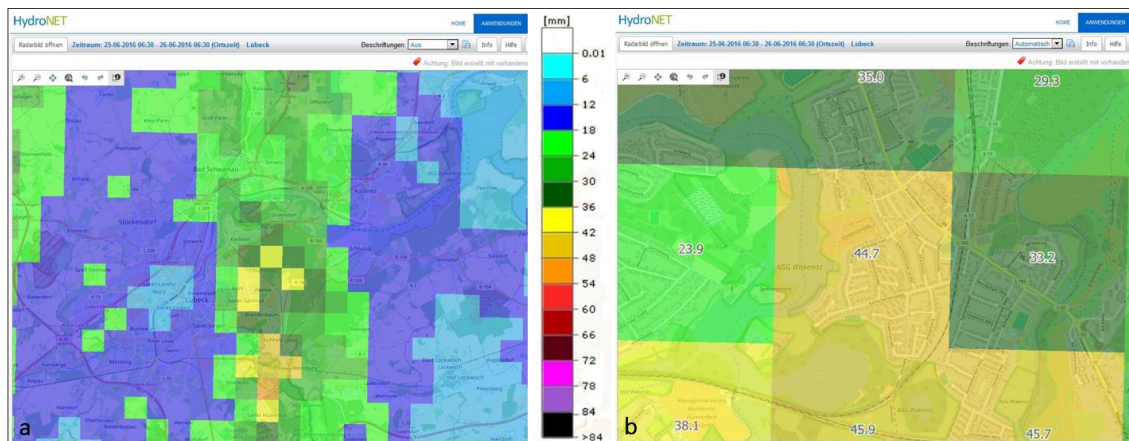


Abbildung 24: Niederschlagsportal HydroNET-SCOUT. Tagessumme des 25.6.2016, Stadtgebiet (a), Stadtteil (b).

Das Niederschlagsportal stellt den Niederschlag, der über Lübeck gefallen ist, dar (siehe Abbildung 24). Neben den aktuellen Informationen (Echtzeit und Kurzfristvorhersage) können auch zurückliegende Zeiträume gewählt werden. Neben der Ausgabe als „Radarfilm“ kann auch für jedes 1 x 1 km-Pixel eine Zeitreihengrafik abgerufen werden, die die jeweilige zeitliche Abfolge des gemessenen Niederschlages darstellt. Dies ermöglicht eine detaillierte Analyse abgelaufener Niederschlagsereignisse.

Die Niederschlagsvorhersage wird durch das Radardatenverarbeitungssystem SCOUT (Einfalt et al., 1990; hydro & meteo GmbH & Co. KG, 2012) in Form eines Nowcast (1-Stunden-Vorhersage) berechnet. Dabei wird die kleinräumige Struktur der gemessenen Niederschläge analysiert und mit den Strukturen auf den Vorgängerbildern verglichen. Durch die Verlagerung der Niederschlagsfelder und die Größen- und Intensitätsänderungen lassen sich dann Zugrichtung, Zuggeschwindigkeit und die zugehörigen Unsicherheiten berechnen und für als Vorhersage verwenden (Jasper-Tönnies et al., 2014).

2.1.5.2.2 Feuerwehrwarnung

Auf der Basis der radarbasierten Vorhersage wünschte sich die Feuerwehr Lübeck eine stadtteilgenaue Warninformation, um frühzeitig die Präsenz in der Leitzentrale personell aufstocken zu können. Hierfür sollte mindestens 30 Minuten vor einem eintreffenden Starkregen gewarnt werden.

Für die Berechnung der Warnung wurde Lübeck in 239 nummerierte Pixel von jeweils 1 km² Größe aufgeteilt (siehe Abbildung 25).

Da Vorhersagen immer mit Unsicherheiten verknüpft sind, werden einmal versendete Warnungen in den folgenden Zeitschritten überprüft, und es wird wieder entwarnt, wenn die Gefahr nicht mehr vorliegt.

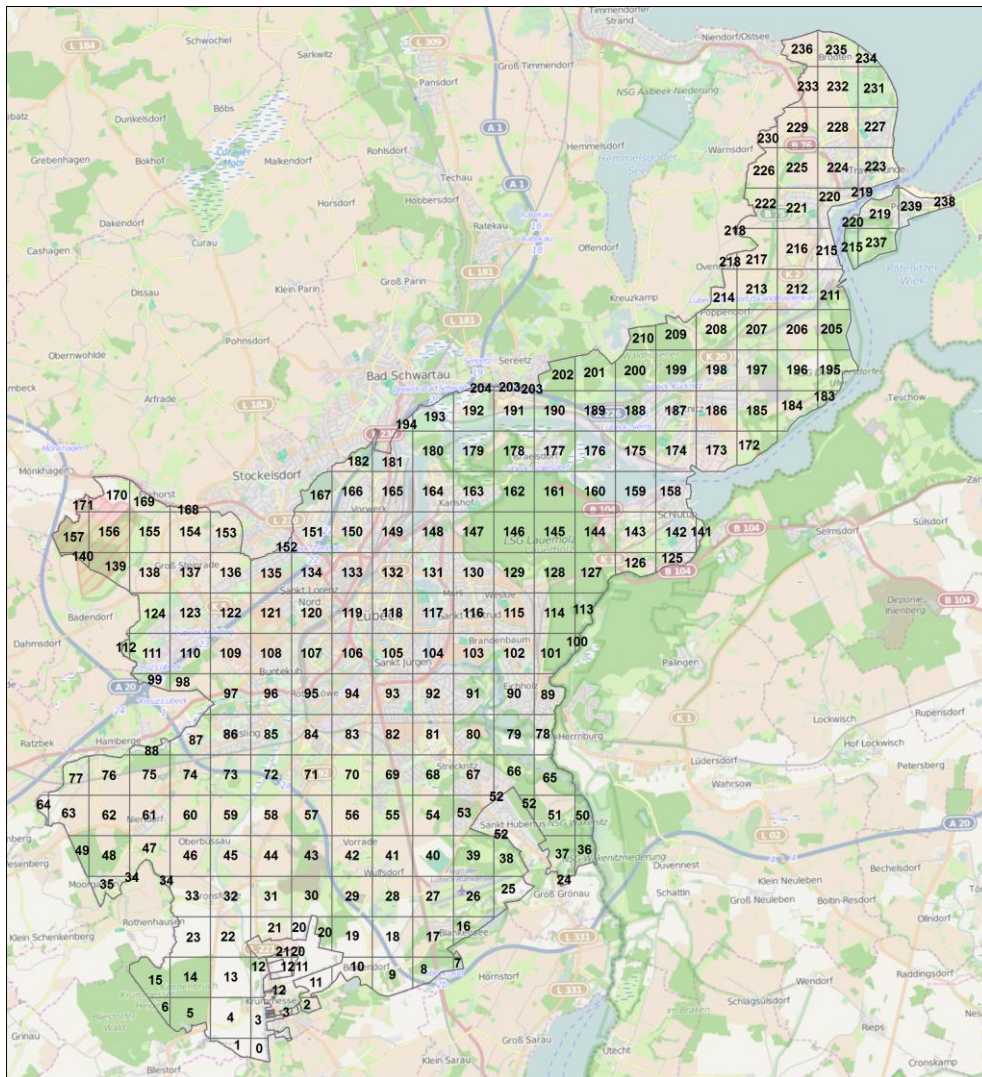
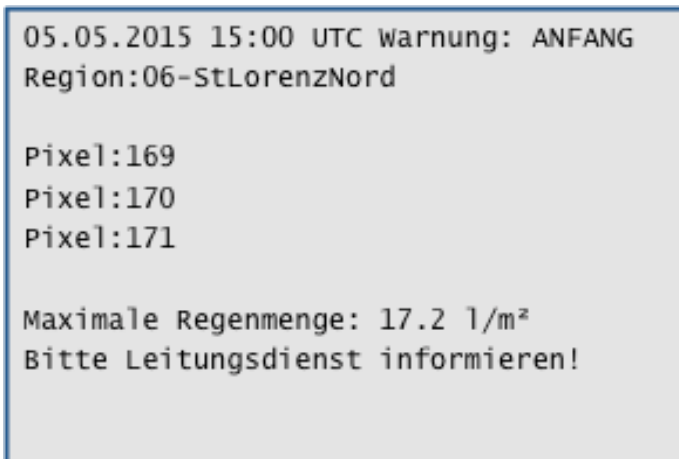


Abbildung 25: Aufteilung des Lübecker Stadtgebietes in 1 x 1 km-Niederschlagspixel

Um so präzise wie möglich warnen zu können, wurde für jedes Pixel ein Schwellenwert festgelegt. Dazu wurden alle in den Jahren 2010 bis 2013 in Lübeck erfolgten Feuerwehreinsätze mit Starkregen-Bezug ausgewertet und festgestellt, wo welche

Niederschlagsmenge erforderlich war, damit Feuerwehreinsätze angefordert wurden. Daraus wurden dann für die zugehörigen Pixel die Warnschwellen festgelegt. Für Pixel, bei denen keine Erfahrungen aus Feuerwehreinsätzen vorlagen, wurde ein höherer Standardwert angesetzt. Tritt eine Überschreitung einer Warnschwelle an einem Pixel auf, so wird eine Warnung für den zugehörigen Stadtbezirk erzeugt und per Email an die Feuerwehr gesandt (Abbildung 26).



```
05.05.2015 15:00 UTC Warnung: ANFANG
Region:06-StLorenzNord

Pixel:169
Pixel:170
Pixel:171

Maximale Regenmenge: 17.2 l/m²
Bitte Leitungsdienst informieren!
```

Abbildung 26: Automatisch generierte Email an die Feuerwehrleitstelle

2.1.5.2.3 Erfahrungen in den Jahren 2015 und 2016

Das Warnsystem wurde am 7. Mai 2015 in Betrieb genommen. Es folgte eine Testphase mit Anpassungen und Verfeinerungen. Eine Übersicht über die bislang erzeugten Warnungen ist Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Warnungen in 2015 und tatsächliche Einsätze der Feuerwehr

Warnungen 2015				
Datum	Uhrzeit [UTC]	Bemerkungen	Einsatz Feuerwehr	Warnung mit Vorhersage Version 2016 (1-min-Basis)
12.05.	11:40 - 11:45	Testbetrieb, Zelle ändert die Zugrichtung	nein	nein
28.05.	12:30 + 13:00	Testbetrieb	nein	nein
30.05.	9:25 + 9:35 - 9:40 + 11:25	Testbetrieb, Zelle zieht nördlicher als der mittlere Strom, kleine intensive Zelle mit kurzer Lebensdauer	nein	nein
04.07.	19:40	Gewitterfront, intensivste Bereiche ziehen vorbei, sind räumlich klein und stark veränderlich	nein	nein
14.07.	18:25	kleine Zelle zu stark vergrößert bei Vorhersage: Anpassung der Zellwachstums-Algorithmen	nein	nein
04.08.	16:35	Überflutung Bad Schwartau (Nachbargemeinde), mehrere intensive Zellen, sehr veränderlich	nein	nein
07.08.	08:00		nein	nein
08.08.	02:00	nur sehr kleine intensive Bereiche, Zelle zieht vorbei	nein	nein
11.08.	0:35 + 1:00 + 1:15 + 1:30 + 1:45	aus zwei Richtungen, die eine Zelle zieht über Lübeck, die andere schwächt sich vorher ab	nein	nein
14.08.	22:45	kleine Zelle, schwächt sich ab	nein	nein
17.08.	0:40 + 1:55	größere Zelle, aber keine ganz hohe Intensität, Abschwächung	nein	nein
14.09.	20:50	kleinere Zelle, schwächt sich ab	nein	nein
15.09.	15:15	zwei kleine intensive Zellen, die vorbeiziehen bzw sich abschwächen	nein	nein

Bei den 5-Minuten-Radarbildern, die vom Deutschen Wetterdienst geliefert werden, handelt es sich um Momentaufnahmen. Um die Niederschläge realistischer abbilden zu können, wurde eine zeitliche Interpolation auf 1-Minuten-Bilder implementiert. Durch diese werden künstliche Intensitätsspitzen (in Abbildung 27 links als gelbe Pixel in der Stundensumme), die fälschlich Warnungen auslösen können, vermieden (Abbildung 27 rechts).

Aufgrund ausgebliebener Starkregen in Lübeck in 2015 wurde eine kostenneutrale Projektverlängerung um drei Monate beantragt und auch bewilligt. Dadurch konnten zusätzlich die Niederschlagsereignisse bis Ende August 2016 ausgewertet werden.

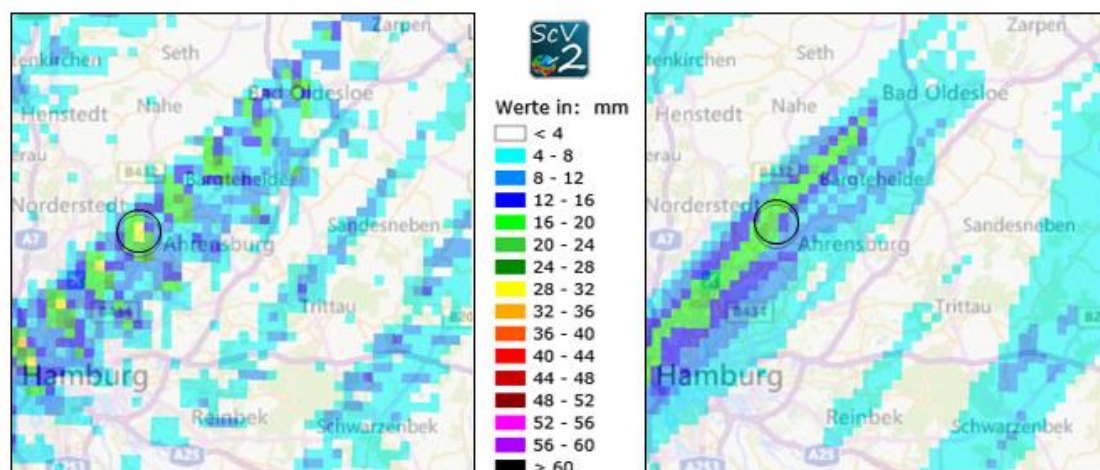


Abbildung 27: Radarniederschlag über 60 Minuten. Dargestellt ohne (links) und mit zeitlicher Interpolation (rechts).

Tabelle 8: Warnungen in 2016 und tatsächliche Einsätze der Feuerwehr

Warnungen 2016			
Datum	Uhrzeit [UTC]	Bemerkungen	Einsatz Feuerwehr
07.06.	18:00 - 18:10	Zelle schwächt sich ab und ändert die Zugrichtung: Überflutung von Bad Schwartau (Nachbargemeinde)	nein
16.06.	15:30 - 15:40	Zelle schwächt sich ab und ändert die Zugrichtung: Entwarnung nach 10 Minuten	nein
17.06.	11:35 - 11:50	Ein Teil der Zelle löst sich auf, der andere ändert die Zugrichtung: Entwarnung nach 15 Minuten	nein
25.06.	15:40	korrekte Warnung	ja

Im Jahr 2016 wurden vier Warnungen erzeugt (Tabelle 8). Damit ergaben sich in 2016 deutlich weniger Warnungen als in 2015 und das einzige Ereignis, das erhöhte Feuerwehreinsätze verursachte, wurde erkannt. Die beiden Maßnahmen, die Erstellung der Vorhersage auf Basis von 1-Minuten-Schritten und die Erstellung von Entwarnungen haben das System verbessert. Für die Feuerwehr ist das System in dieser Ausbaustufe sehr nützlich.

2.1.5.2.4 Exkurs: weitere Anwendung Badegewässer-Beprobung

Eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Niederschlagsinformation bietet nützliche Informationen für die Probenahme und ihre Bewertung nach der EU-Badegewässerrichtlinie:

- Es kann auch für Badestellen abseits von Niederschlagsstationen festgestellt werden, ob eine Probe niederschlagsbeeinflusst ist.
- Eine Vorhersage kann zu einer gezielten Beprobung bei Regenwetter oder bei Trockenheit an Badestellen führen.

Für die Stadt Lübeck wurde eine Zusatzuntersuchung auf Basis der Auswertung der Badegewässer-Beprobungen der Jahre 2013 und 2014 in Lübeck durchgeführt. Ein weiteres Ergebnis war, dass eine direkte Beziehung zwischen Niederschlagsmenge und Badegewässerqualität nur selten hergestellt werden kann, da die Prozesse vielfältig sind und zudem wesentlich vom Badegewässerprofil (der hydrologischen Charakteristik des Einzugsgebietes der Badestelle) abhängen.

Diese Ergebnisse wurden am 18.11.2015 dem Gesundheitsministerium Schleswig-Holstein auf der Wasserhygienesitzung 2015 vorgestellt und mit viel Interesse zur Kenntnis genommen.

2.1.6 Öffentlichkeitsarbeit, Vernetzung und Übertragbarkeit

Alle Aufgaben, die auf unterschiedliche Weise der Verbreitung von Projektinhalten dienen, wurden im Arbeitspaket 6 zusammengefasst. Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden gesondert unter 2.4 aufgeführt.

2.1.6.1 Öffentlichkeitsarbeit

Durch die in den vergangenen Jahren erfolgten Starkregen-bedingten Überflutungen in anderen Städten und die breite Medienberichterstattung über die z.T. katastrophalen Folgen (z.B. Spiegel, 2014; THW, 2016) wächst in der Bevölkerung das Bewusstsein für die Gefahren und in den Kommunalverwaltungen der Handlungsdruck, im Rahmen der

Daseinsvorsorge praktische Vorsorge zu betreiben. RainAhead hat auf verschiedenen Ebenen hier angesetzt:

Bevölkerung informieren und Unsicherheiten abbauen

Bei den Bemühungen, eine Kommune sicherer gegen Starkregen zu machen, ist die Bevölkerung ein wichtiger Ansprechpartner. Es gilt, Wissen und Bewusstheit zu vergrößern um Akzeptanz für Baumaßnahmen durch Infrastrukturträger und Eigeninitiative in Bezug auf den Schutz von (Wohn-)Gebäuden und das sichere Verhalten im akuten Starkregenfall zu erreichen.

Dazu wurde der Dialog gesucht: Bei Veranstaltungen wie dem Tag der Wissenschaft und dem mehrtägigen Vester-Seminar (siehe 2.1.4.3) fand ein intensiver Austausch statt: Das RainAhead-Projektteam erfuhr vieles über Wissensstand, Ängste und Vorbehalte zu Maßnahmenalternativen in der Lübecker Bevölkerung (u. a. Poster „*Überflutung durch Starkregen – es gibt viele Möglichkeiten zum Schutz von Gebäuden, Bitte bewerten Sie*“) und informierte seinerseits mit dem „*Maßnahmenkatalog des Objektschutzes vor urbanen Sturzfluten im Projekt RainAhead*“, Karten zu Überflutungen und Hitze, einer Station zum Anfassen und Vorträgen über die verschiedenen Aspekte der Thematik.

Weitere Aktivitäten zur Information der Bevölkerung waren ein Vortrag über Starkregenvorsorge beim Festival Klimale "Küste Klima Kunst" vom Klimabündnis Kieler Bucht eV. am Eckernförder Strand und der Artikel „*Die Hansestadt Lübeck schützt sich vor Starkregen*“ im Entsorgungsmagazin der Entsorgungsbetriebe Lübeck (siehe Anhang).

Allgemeine Medienarbeit

Eine Übersicht über die Projekthinhalte, aktuelle Ereignisse und im projektinternen Bereich Zugang zu weitergehenden Informationen und dem Niederschlagsportal HydroNET-SCOUT wurden unter der Domain www.rainahead.de bereitgestellt. Im Fernsehen war RainAhead im Juli 2015 mit einem Beitrag im NDR Schleswig-Holstein-

Magazin vertreten. Im Radio berichtete R.SH. Regional. In Lübeck gab es mehrere Artikel in den Lübecker Nachrichten (2013, 2015, 2016) und online auf HL-live.de.

Beiträge zu Fachveranstaltungen

Dem Austausch mit Fachleuten verschiedener Disziplinen wurde viel Raum gegeben. Bei zahlreichen Veranstaltungen wurden Projektinhalte und Projekt im Rahmen von Vorträgen, Diskussionen und Handreichungen vorgestellt und diskutiert. Es waren dies u.a. Vorträge bei

- 20. Jahreskongress des BWK-LV Brandenburg und Berlin Cottbus, 31.5.2013
- DHI-Hochwassertagung in Syke, 22.7.2013
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Urbane Sturzfluten“, Bonn, 12.-13.9. 2013
- Bildungszentrum für Entsorgungs- und Wasserwirtschaft in Essen, 11.9.2013
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Urbane Sturzfluten“, Oberhausen, 28.11.2013
- Kolloquium Aalborg University, Dänemark, 20.12.2013
- Tagung „Regenwasserbewirtschaftung“, Rehau Akademie, München, 18.2.2014
- Tagung „Regenwasserbewirtschaftung“, Rehau Akademie, Eltersdorf, 25.2.2014
- Tagung „Regenwasserbewirtschaftung“, Rehau Akademie, Dessau, 24.3.2014
- Workshop „Das atmosphärische Konvektionspotential über Thüringen“, TLUG Jena, 3.6.2014
- 3. Regionalkonferenz des Bundes zur Klimaanpassung Küstenregion, Lübeck, 5.06.2014
- Ausschuss für Umwelt, Natur, Energie und Bauen der Gemeinde Ratekau, 4.9.2014
- 4. Vortragsveranstaltung der Kommunalen Interessensgemeinschaft für privatisierte Abwasserentsorgung in Schleswig-Holstein, Neumünster, 6.10.2014
- 14. Kommunale Klimakonferenz, Lübeck, 3.-4.11.2014
- Nutzerworkshop Radarklimatologie, BBK, Bonn, 5.2.2015

- Vortrag vor einer italienischen Delegation im Rahmen des Projektes „Centrality of European Territories: a Network of ‘s-Low’ Cities“, 25.2.2015
- Tag der Geodateninfrastruktur Schleswig-Holstein "GDI-SH - aber sicher!", Kiel, 5.3.2015
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Urbane Sturzfluten“, Würzburg, 7.5.2015
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Generalentwässerungsplanung“, Hannover, 20.5.2015
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Urbane Sturzfluten“, Heidelberg, 11.6.2015
- BWK in Hamburg, 19.06.15
- NordBau, Neumünster, 9.9.2015
- Technische Akademie Hannover, Veranstaltung „Generalentwässerungsplanung“, Heidelberg, 16.9.2015
- DWA Seminar, Umgang mit Niederschlagswasser, Rendsburg, 10.11.2015
- Time Now Kompetenzbereich Wasser & Umwelt, Lübeck, 15.01.2016
- DHI-Veranstaltung „Grundhochwasser und Starkregen“, Bremen, 27.4.2016
- Seminar Nr. 2016-47 „Anpassung an den Klimawandel – Was können die Kommunen leisten?“ Bildungszentrum für Natur, Umwelt und ländliche Räume, Flintbek, 12.7.2016
- IBAK-Veranstaltung „Wunsch und Wirklichkeit“, Kiel, 6.10.2016
- BMBF-Statusseminar „Frühwarnsysteme“, Bonn, 20.10.2016
- Stadtdialog Flensburg (Stadtplanung und Klimaanpassung), Flensburg, 11.11.2015
- Radarkooperation der Wasserverbände NRW, Essen, 17.11.2016

Vorträge bei wissenschaftlichen Tagungen

RainAhead war bei diversen Tagungen vertreten, siehe dazu Abschnitt 2.4 zu Veröffentlichungen.

2.1.6.2 Vernetzung

Innerkommunal

Es war ein wesentliches Ziel von RainAhead, die verschiedenen Akteure innerhalb der Lübecker Verwaltung und der angegliederten Dienste zum Querschnittsthema Vorsorge vor Starkregen-bedingten Überflutungen zusammen zu bringen. Daten wurden ausgetauscht und zusammengeführt und die Inhalte des Projektes wurden in vielen fachlichen Gesprächsrunden zu den unterschiedlichsten Themen eingebracht und für Planverfahren berücksichtigt. Weiterhin gab es regelmäßige Projektbeteiligungstreffen, bei denen das Projektteam über den aktuellen Stand berichten und einen Rahmen für die bereichsübergreifende Diskussion schaffen konnte. Da dieser Austausch sehr positiv aufgenommen wurde, ist geplant, ihn in Form eines Informations- und Diskussionsforums („Starkregenforum Lübeck“) weiter zu etablieren und zu verstetigen.

Interkommunal

Zur Vernetzung mit anderen Kommunen hat das RainAhead-Projektteam zwei Veranstaltungen zum Interkommunalen Erfahrungsaustausch in Lübeck durchgeführt (Abbildung 28) und an diversen regionalen und überregionalen Veranstaltungen teilgenommen (siehe 2.1.6.1 Abschnitt Beiträge zu Fachveranstaltungen und 2.4 zu Tagungen).



Abbildung 28: Von RainAhead initiiertes Interkommunales Vernetzungstreffen am 2.3.2016 in Lübeck (Fotos: I. Frerk)

2.1.6.3 Übertragbarkeit

Das Starkregen-Warnsystem, basierend auf dem Niederschlagsportal HydroNET-SCOUT wird über das Projektende hinaus weitergeführt und befindet sich in mehreren größeren und kleineren Kommunen und auch Schleswig-Holstein-weit in Diskussion.

Ein derzeitiger Hindernispunkt bzgl. des Aufbaus weiterer Niederschlags- und Warnsysteme ist dabei die bisherige Datenpolitik des Deutschen Wetterdienstes, die die Nutzung von radarnahen Produkten wie dem DX-Produkt für den Katastrophenschutz in Kommunen mit Datenkosten belegt, die für den Katastrophenschutz der Länder nicht erhoben werden.

Das methodische Vorgehen zur Ermittlung von überflutungsgefährdeten Flächen und der Konzipierung von Maßnahmen unter Einbeziehung der Bevölkerung kann von anderen Kommunen übernommen werden.

Ein wichtiger weiterer Punkt ist die angestrebte Weitergabe von Erfahrungen und Strategien zur Verbesserung von Kommunikation und Datenaustausch innerhalb einer Kommune. Die dazu gefundenen Ansatzpunkte sind auch in einen beim BMUB gestellten Nachfolgeantrag eingeflossen.

3 Quellen

adelphi consult GmbH (2016): Netzwerk Vulnerabilität. <http://www.netzwerk-vulnerabilitaet.de/tiki-index.php>, besucht am 4.11.2016.

Adelphi / PRC / EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015, Umweltbundesamt (Hrsg), Dessau-Rosslau.

Arnold, B., Massing, C., Sander, S., Czickus, S., Bach, C., Hoppe, H. (2014): Strategien zur Klimaanpassung der Stadt Wuppertal – Überflutungsvorsorge, Informationsmanagement und Öffentlichkeitsarbeit. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2014(7), Nr. 5, S. 285 – 291.

BASSt (2014): Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen nach RAS-Ew und RiStWag vor dem Hintergrund veränderter Temperatur- und Niederschlagsereignisse durch den Klimawandel in Deutschland bis zum Jahr 2100. Bericht, 40 Seiten.

BBK (2011): Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.

BBSR (2016): Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region. Bericht. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.

Behnken, U., Einfalt, T., Hempenius, J. (2013): Echtzeit-Abschätzung der Gefährdung durch Starkregen. Proceedings Tag der Hydrologie 2013, Bern, Schweiz.

Benden, J. (2015): Überflutungsvorsorge in der Stadt- und Freiraumplanung. Seminar Urbane Sturzfluten, Vortrag am 7.5.2015, Technische Akademie Hannover e.V., Hannover. http://www.ta-hannover.de/seminare/2015/programm_USF2015.html, besucht am 28.10.2016.

BMVBS (2011): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis – Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten. Bericht. Bundesministerium für Verkehr, Bau, und Stadtentwicklung, BMVBS-online-Publikation 21/2011.

Castro, D., Einfalt, T., Frerichs, S., Friedeheim, K., Hatzfeld, F., Kubik, A., Mittelstädt, R., Müller, M., Seltmann, J., Wagner, A. (2008): Vorhersage und Management von urbanen Sturzflutereignissen (URBAS) - Abschlussbericht des vom BMBF geförderten Vorhabens. Hydrotec GmbH, Aachen.

Christensen, J.H., Rummukainen, M., Lenderink, G. (2009): Formulation of very-high-resolution regional climate model ensembles for Europe. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.

Czickus, S., Schäfer, D., Wietbüscher, M., Riedel, W. (2015): Neuartige Berechnungsansätze zur Überflutungsprüfung im urbanen Raum. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft Nr.3, März 2015.

Czickus, S. (2014): Starkregen im urbanen Raum – Wie kann man Risiken vor dem Schadensfall erkennen? Abwasserreport 3.14 der Kommunalagentur NRW, S. 4-8.

Damm, G.-R. (2012): Klimaanpassung in der Regional- und Stadtentwicklung. Dokumentation des 5. Regionalpark-Forums. Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes, Abteilung Landes- und Stadtentwicklung.

DHI (2015): MIKE Zero - User Manual, The common DHI user interface for project oriented water modelling. DHI. Hörsholm, Denmark.

DHI (2016): Grundhochwasser und Starkregenworkshop. Vorträge am 27.4.2016. Hochschule Bremen. <http://worldwide.dhigroup.com/de/veranstaltungen/ghw-bremen-2016>, besucht am 28.10.2016.

Die Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: Anhang 2 – Vulnerabilitätsanalyse (Stand 09.11.2015).

DIN 4049-3:1994-10 (1994): Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

DIN-1986-100 (2008): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

DIN-EN-752 (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

DKKV (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbgebiet. Schriftenreihe des DKKV 29, Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V., Bonn.

Dr. Pecher AG (2014): Expertise urbane Gefahrenkarten zur Ermittlung des Überflutungsrisikos. 31 S., Erkrath.
http://www.bgmr.de/downloads/Expertise_Urbane_Gefahrenkarten_BBSR_Ueberflutungsvorsorge.pdf, besucht am 12.11.2016.

DWA-A 118 (2006): DWA-A 118 Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hrsg. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Fraunhofer IRB Verlag, Hennef.

DWA-M 119 (2016): Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Technische Regel.

DWA-T1 (2013): DWA-Themen Starkregen und urbane Sturzfluten-Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. Hrsg. von Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Fraunhofer IRB Verlag, Hennef.

DWD (1973) Gutachten über Niederschlagshöhen und Niederschlagsspenden in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer und der Überschreitungshäufigkeit Lübeck, Gutachten, Offenbach am Main.

DWD (2011): REGNIE (REGionalisierte NIEederschläge): Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung. Abteilung Hydrometeorologie, interner Bericht im Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main.

Einfalt, T., Hatzfeld, F., Wagner, A., Seltmann, J., Castro, D., Frerichs, S. (2009): URBAS: forecasting and management of flash floods in urban areas. Urban Water Journal, 6(5), 369-374.

Einfalt, T., Pfeifer, S., Burghoff, O. (2012): Feasibility of deriving damage functions from radar measurements. 9th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, ISBN 978-3-906031-21-7, St. Moritz, Schweiz.

FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Entwässerung (RAS-Ew), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

Gatke, D., Thielking, K., Hoppe, H., Kirschner, N., Koch, M., Behnken, K. (2015): Extreme Regen im urbanen Raum-Stadtgebietsweite Überflutungsbetrachtungen und Detailanalysen in Bremen. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2015 (62) Nr.2.

GDV (2015): Naturgefahrenreport 2015 - Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer in Zahlen, Stimmen und Ereignissen. Bericht. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.

Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C., Volken, D. (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project, CHR report, I-23, 229 pp., ISBN 978-90-70980-35-1, Lelystad, Niederlande.

Hansestadt Lübeck (2007): Versickerungseignung. Bericht des Bereichs Naturschutz, Lübeck.

Heinz, H., Pflüger, F., Eaton, A., Rücker, J., Stratmann, A., Tiemann zu Klampen, J., Müller C., Wehlberg, J., Hagenhoff, T., Wehberg, J., (2008): Vorbereitende Untersuchungen Bahnfläche St. Lorenz Süd. Bericht im Auftrag des Fachbereichs Bauen und Planen, Lübeck.

Henonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P. (2013): Real-time urban flood forecasting and modelling - a state of the art. Journal of Hydroinformatics 15.3, S. 717 - 736.

HKC (2016): Hochwasserpass – eine Initiative des HKC. <http://hochwasser-pass.com/>, besucht am 28.10.2016.

Hoppe, H., Einfalt, T., Schmitt T. (2011): Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung. Methoden und Konzepte – KISS - Projekt des Klima-Innovationsfonds IF-37. Bericht. TU Kaiserslautern, Dr. pecher AG und hydro & meteo GmbH & CO KG für das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW.

Hydrotec (2015): Hydrothemen Nr. 29. <https://www.hydrotec.de/wp-content/uploads/2015/11/Hydrothemen29.pdf>, besucht am 28.10.2016.

IPCC (2014): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2014: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2015.

Kemper, S., Mayer, A., Schlenkhoff, A. (2015): Modellversuche zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen bei Starkregenereignissen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft Nr.2 Februar 2015.

Keuler, K., Lautenschlager, M., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., Rockel, B., Boehm, U. (2009a): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDCC/CLM_C20_2_D2.

Keuler, K., Lautenschlager, M., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., Rockel, B., Boehm, U. (2009b): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDCC/CLM_A1B_1_D2.

Keuler, K., Lautenschlager, M., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., Rockel, B., Boehm, U. (2009c): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDCC/CLM_A1B_2_D2.

KLIWA (2016): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt und Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. www.kliwa.de, besucht am 23.11.2016.

Koch, M., Behnken, K., Schneider, B., Gatke, D., Thielking, K., Wurthmann, J., Hoppe, H., Kirschner, N., Benden, J., Gerdes, D. (2015): KlimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse (KLAS) Schlussbericht des Projektes „Umgang mit Starkregenereignissen in der Stadtgemeinde Bremen“. Techn. Ber. Stadt Bremen (SUBV).

Koch, M., Behnken, K., Hoppe, H., Jeskulke, M., Gatke, D., Thielking, K., Horn, J. von (2016): Weiterentwicklung der KLimaAnpassungsStrategie Extreme Regen in Bremen: KLAS II. Projektergebnisse, Modellbetrachtungen und Entwicklung eines Auskunft- und Informationssystems Starkregenvorsorge. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr.7.

Kühn, U., Hillebrandt, U., Niehus, O., Nagel, W. (2013): Entwurf des thematischen Landschaftsplans Klimawandel in Lübeck – Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen für die Landnutzungen 2013. Bereich Umwelt-, Natur und Verbraucherschutz der Hansestadt Lübeck, Lübeck.

Lautenschlager, M., Keuler, K., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., Rockel, B., Boehm, U. (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI:10.1594/WDCC/CLM_C20_1_D2.

Lehmann, J., Coumou, D., Frieler, K. (2015): Increased record-breaking precipitation events under global warming. Climatic Change, 132, S. 501-515. DOI 10.1007/s10584-015-1434-y.

Metadatenportal SH (2016):

<http://portal.digitaleratlasnord.de/viewer/resources/apps/SHMIS/index.html?lang=de>, besucht am 9.11.2016.

Müller, M. (2014): Umdenken im Umgang mit Starkregenereignissen. Vortrag beim Workshop „Überflutungsvorsorge“, 15.5.2014, Wuppertal.

https://www.wuppertal.de/rathausbuergerservice/medien/dokumente/Manfred_Mueller_Solingen-Umdenken_im_Umgang_mit_Starkregenereignissen.pdf, besucht am 12.11.2016.

Oertel, M. (2012): Starkregenereignisse und resultierende Sturmflutereignisse - Habilitationsvortrag. LuFG Wasserbau, Bergische Universität Wuppertal.

Oertel, M., Bung, D. B., Schlenkhoff, A. (2009): Flash Flood awareness and prevention. Proceedings - International Association of Hydraulic Engineering & Research (IAHR).

Petersheim, S. (2012): Numerische hydrodynamische Simulation von Sturzflutereignissen in urbanen Gebieten. Masterarbeit. LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau, Bergische Universität Wuppertal.

Raphael, D. (Hrsg) (2015): Starkregen und Sturzfluten in Städten - Eine Arbeitshilfe. Deutscher Städtetag, Berlin, Köln.

SaMuWa (2016): Die Stadt als hydrologisches System im Wandel – Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts. www.samuwa.de, besucht am 11.11.2016.

Schleswig-Holstein (1996): Landesverordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, erlassen auf Grundlage des § 5 Abs. 1 und § 111 Abs. 3 des Landeswassergesetzes (LWG).

Schmitt, T.G., Worreschk, S. (2011): KRisMa – Kommunales Risikomanagement Überflutungsschutz. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz und der WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung. Karlsruhe, Kaiserslautern.

Spiegel (2014): Zweites Todesopfer bei heftigem Unwetter in Münster. <http://www.spiegel.de/panorama/muenster-zwei-tote-bei-unwetter-mit-gewitter-und-starkregen-a-983412.html>, besucht am 11.11.2016.

Städtetag (2012): Deutscher Städtetag: Positionspapier Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. 15 Seiten, Köln.

Städtetag (2015): Deutscher Städtetag: Positionspapier Hochwasservorsorge und Hochwasserrisikomanagement. 13 Seiten, Berlin und Köln.

Stadt Münster (2014): V/0839/2014 - Bericht zum Unwetter am 28.07.2014. https://www.stadt-muenster.de/sessionnet/sessionnetbi/vo0050.php?__kvonr=2004037925, besucht am 24.11.2017.

SUDPLAN (2016): www.sudplan.eu, besucht am 11.11.2016

Tessendorf A., Einfalt T. (2011): Ensemble radar nowcasts – a multi-method approach. In: Moore J.R., Cole S.J. and Illingworth A.J. (eds.), Weather Radar and Hydrology. IAHS press 2012, UK, pp. 311-316.

THW (2016): Bilanz eines Dauereinsatzes: Starkregenfälle im Juni 2016. https://www.thw.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Einsaetze/national/2016/07/meldung_002_bilanz_unwetter.html, besucht am 11.11.2016.

UBA (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel – Climate Change 24/15. Umweltbundesamt (Hrsg), Dessau-Rosslau.

Vester, F. (2007): The Art of interconnected Thinking-Tools and concepts for a new approach to tackling complexity. MCB Verlag, München.

Zohlen, M. (2015): Modellierung von pluvialen Überstau- und Überflutungsereignissen – Bewertungsverfahren zur Gefährdungsanalyse von urbanen Räumen unter Berücksichtigung des Klimawandels. dynaklim Publikation Nr. 62. Masterarbeit RWTH Aachen.