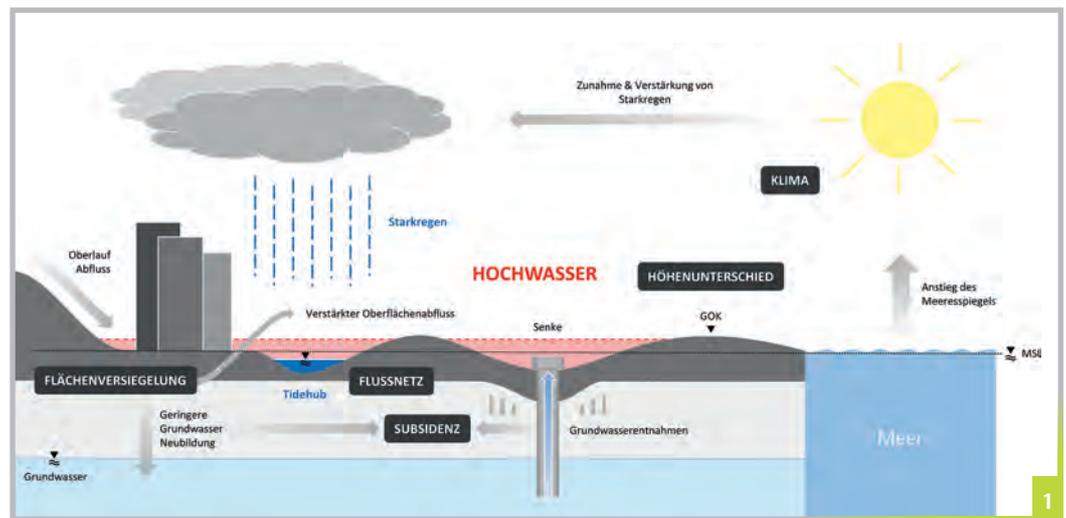


# Küstenstädte unter Wasser

Rückblick, Vorschau und Vorbereitung auf Extremereignisse im Klimawandel

Überschwemmungen sind für küstennahe Städte eine große Herausforderung.

Wissenschaftler\*innen vom Ludwig-Franzius-Institut erklären beispielhaft, wie die Risiken von Hochwasser in Ho-Chi-Minh-Stadt in Vietnam und der Pauliner Marsch in Bremen eingeschätzt, bewertet und in einem weiteren Schritt eingedämmt werden können.



Zwischen 1980 und 2009 verursachten Überschwemmungen mehr als eine halbe Million Todesfälle und betrafen weitere 2,8 Milliarden Menschen weltweit. Diese Zahlen werden weiter anwachsen, da der mittlere Meeresspiegel infolge des Klimawandels global weiter steigt und mehr als die Hälfte aller städtischen Ballungsräume (>100.000 Einwohner) näher als 100 Kilometer an der Küste liegen. In niedrig gelegenen Küstenzonen kommen zusätzlich zu Starkregen und Binnenhochwassern auch häufigere und stärkere Sturmfluten sowie Landabsenkung als Ursachen von Überschwemmungen hinzu (s. Abb. 1).

Um das Hochwasserrisiko einer Region grundsätzlich einzuschätzen, vergleichbar zu machen und Anpassungsmaß-

nahmen zu entwickeln, hat sich das Risiko-Modell des Weltklimarats (IPCC) bewährt, nach dem Risiko aus den drei Hauptkomponenten Gefährdung („hazard“), Exposition („exposure“) und Verwundbarkeit („vulnerability“) besteht. Tabelle 1 veranschaulicht diese Komponenten anhand praktischer Beispiele und möglicher Anpassungsoptionen. Nach Aussagen im IPCC-Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima (SROCC) gibt es im Allgemeinen fünf Kategorien von möglichen Anpassungsoptionen an heutige und künftige Risiken: Rückzug, Schutz, Anpassung, Landgewinnung und ökosystembasierte Anpassung. Diese Optionen, die sicherlich nicht unabhängig voneinander wirksam werden, müssen in Kombination

gedacht und implementiert werden. Diese Strategien können wiederum in klassische „graue“ Infrastruktur und naturbasierte „grüne“ Lösungen unterschieden werden.

Ein Paradebeispiel für die komplexen physikalischen und sozio-ökonomischen Wechselwirkungen, die das Hochwasserrisiko in vielen Küstenstädten bereits heute ausmachen und in Zukunft verschärfen werden, ist Ho-Chi-Minh-Stadt (HCMC) in Vietnam. Als bevölkerungsreichste Stadt und wichtigste wirtschaftliche Drehscheibe Vietnams, ist HCMC einer unkontrollierten Urbanisierung und Zersiedelung ausgesetzt, was wiederum die Risiken für eine wachsende und teilweise sehr vulnerable Bevölkerung steigen lässt. Die Gefährdung einzelner Stadtteile in HCMC

Abbildung 1  
Schematische Darstellung der Hochwasserproblematik in einer Stadt. Neben der Zunahme von natürlichen Gefährdungen („hazards“) aufgrund des Klimawandels wird das Schadensrisiko zusätzlich durch die Steigerung von Gebäudewerten und Bevölkerungszahlen in den betroffenen Gebieten („exposure“) erhöht und kann schließlich auch durch die lokale Anfälligkeit („vulnerability“) beeinflusst werden.  
Quelle: eigene Darstellung

ergibt sich in diesem Zusammenhang aus der steigenden Anzahl von Siedlungen in niedrig gelegenen Gebieten und nimmt durch anhaltende Landabsenkungen infolge der Entnahme von Grundwasser sowie anhaltende Bodenverdichtung stetig zu. In Verbindung mit dem weltweit steigenden Meeresspiegel und einem erhöhten Tidenhub des angrenzenden Saigon-Flusses erlebt das veraltete und inzwischen stark unterbemessene

ren und der Hochwasserschutz nicht mehr nur darauf abzielt, Todesfälle durch einzelne Extremereignisse zu vermeiden, sind geeignete Anpassungsstrategien erforderlich, um vor allem die wiederkehrenden finanziellen Verluste durch die regelmäßigen Überschwemmungen zu reduzieren. Hierfür stehen verschiedene Optionen zur Auswahl, darunter groß angelegte „graue“ Hochwasserschutzmaßnahmen sowie kleinere

ein schematisches Niederschlag-Abfluss-Modell für HCMC entwickelt. Mit diesem Modell konnten die zu erwartenden Überschwemmungen unter Berücksichtigung verschiedener Anpassungsoptionen und ihrer Kombination simuliert werden. Zudem wurden auf Grundlage von Haushaltsbefragungen zu den wichtigsten Schadensursachen Risikokarten erstellt, um Gebiete mit besonders hohen Wasserständen und Über-

Tabelle 1  
Die drei Hauptkomponenten des Schadensrisikos gemäß SROCC-IPCC, veranschaulicht durch praktische Beispiele, rechnerische Einheiten und mögliche Gegenmaßnahmen zum Erreichen eines definierten Schutzniveaus.  
Quelle: eigene Darstellung

	Gefährdung	Exposition	Verwundbarkeit
Beispiel	Überschwemmung durch "Jahrhunderthochwasser"	Flächendichte von Menschen oder Vermögen im Gefährdungsgebiet	Anteile der Bevölkerung und Vermögenswerte, die durch das Ereignis betroffen sind
Rechnerische Einheit	Schädigende Einwirkung (z.B. Überflutungsdauer) mit Eintrittswahrscheinlichkeit (1/100a)	Absolute Anzahl betroffener Personen oder Vermögenswerte in €	Relativer Schaden in %
Gegenmaßnahme zum Erreichen des Schutzniveaus	Hochwasserschutz allgemein, naturbasierte Maßnahmen	Evakuierung bzw. permanenter Rückzug aus Küstengebieten	Hochwasserfeste Gebäude, Versicherungen

Entwässerungssystem der Stadt regelmäßig Rückstau-effekte, was zu einer Behinderung des Abflusses führt und somit zu weitreichenden Überschwemmungen führt (siehe Abb. 2). Abgesehen von den immanenten sozialen Folgen, führen derartige Überschwemmungen zu häufigen und teilweise erheblichen Beeinträchtigungen und Schäden in der lokalen Wirtschaft. Bereits im Jahr 2015 zeigten Studien, dass mehr als 15 Prozent der Produktionsbetriebe in HCMC in aktuellen oder zukünftigen Überschwemmungsgebieten lagen. Viele davon waren kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die etwa 37 Prozent aller nationalen Arbeitskräfte beschäftigen.

„grüne“ Lösungen wie dezentral angelegte Rückhaltebecken und Gründächer. Um die Auswirkungen dieser technisch gegensätzlichen Ansätze vergleichen zu können, wurde

schwemmungsdauern hervorzuheben. Diese Methode ermöglicht einen visuellen und quantitativen Vergleich der verschiedenen Strategien zur Anpassung an den Klimawan-

Abbildung 2  
Überflutung von Straßen im Bezirk Binh Tan, HCMC, Vietnam.  
Quelle: Bem photography, CC BY 2.0 via Wikimedia Commons



Obwohl die lokale Wirtschaft und der Lebensstandard seit vielen Jahrzehnten prosperie-

del, um schließlich fundierte Handlungsempfehlungen für die Zukunft liefern zu können.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie Risikobewertungen sowohl Entscheidungsfindung unterstützen als auch Resilienz stärken können, ist die direkt im tidebeeinflussten Bereich der Weser gelegene Pauliner Marsch im Stadtgebiet Bremens. Dieses von einem niedrigen Sommerdeich ge-

Überflutung der Pauliner Marsch aus der Beobachtung fehlen. Zudem existieren wenige Kenntnisse darüber, wie wirksam die im Retentionsraum vorhandenen Entwässerungssysteme nach Abklingen eines Hochwassers sind. Um die oben genannten Punkte aufzuklären, wurden mögliche Überflutungsszenarien mittels hydrodynamischer Simulationen untersucht. Diese verdeutlichten, dass der Re-

zu einem Bruch des Schutzsystems führen könnten. Die Ergebnisse wurden in weiteren Projekten und Initiativen aufgegriffen und vor Ort mit Bürgerinitiativen, der Nutzergemeinschaft der Pauliner Marsch und städtischen Entscheidungsträger\*innen diskutiert, um zum Beispiel im Rahmen einer Sturmflutpartnerschaft zwischen den nutzenden Vereinen und der Umweltbehörde die Hochwasservorsorge zu verbessern und Schäden vorzubeugen. Dieses Beispiel zeigt, dass unter geeigneten Annahmen selbst Gebiete ohne detaillierte Datengrundlage von numerischen Simulationen profitieren können, wenn es darum geht, mögliche Gefahren durch Überflutungen zu erkennen und die Wirkung von Gegenmaßnahmen zu analysieren.

Die vorgestellten Forschungsarbeiten in HCMC und Bremen sind anschauliche Beispiele für das beschriebene Spannungsfeld zwischen den Effekten des Klimawandels und einer parallel damit einhergehenden Urbanisierung. Naturgefahren wie Hochwasser, auf die wir uns über Jahrzehnte hinweg eingestellt und gegen die wir Schutzmaßnahmen entwickelt haben, werden zukünftig häufiger und mit gravierenderen Folgen als bisher auftreten. Gleichzeitig verdichten sich städtische Gebiete und werden mit teureren Gebäuden oder kritischen Infrastrukturen bebaut. Dabei spielen wirtschaftliche Interessen eine zunehmende Rolle und beeinflussen die Möglichkeiten städtebaulicher Anpassungen.

Entscheidungsträger\*innen suchen daher schon heute nach Lösungsansätzen, welche zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten bieten. Sowohl „graue“ als auch „grüne“ Anpassungsstrategien sollten zudem das Ziel haben, auch in Zukunft möglichst wenig Bedauern



Abbildung 3  
Satellitenaufnahme der Pauliner Marsch mit den mithilfe der Software HEC-RAS errechneten maximalen Wassertiefen nach einer schweren Sturmflut mit 6,00 m Höchstwasserstand.  
Quelle: eigene Darstellung

schützte Gebiet stellt einen typischen Retentionsraum vor dem Hauptdeich der Hansestadt dar, der im Hochwasserfall bewusst überflutet werden soll, um die Höchstwasserstände im Stadtgebiet zu vermindern. Gleichzeitig bietet es erhebliche Naherholungs- und Freizeitwerte durch Freiräume und Kleingärten sowie durch das Weserstadion und weitere Sportanlagen. Der Sommerdeich hat als Überflutungsschutz bisher auch bei schweren Sturmfluten, wie zuletzt beim Orkan Xaver 2013, gerade noch ausgereicht, weshalb Erfahrungswerte zu den Prozessen und Wirkungen einer

tentionsraum der Pauliner Marsch je nach Szenario bereits nach 30 Minuten vollständig gefüllt sein kann (siehe Abb. 3). Im Gegensatz dazu konnte festgestellt werden, dass die vorhandenen Entwässerungssysteme etwa 50 Stunden für die Entleerung benötigen und dass große Teile der Pauliner Marsch aufgrund von fehlendem Bodengefälle überhaupt nicht natürlich entwässern können; quasi nach einer Sturmflut dauerhaft geflutet sind. Darüber hinaus wurden hohe Fließgeschwindigkeiten während der Überströmung der Krone des Sommerdeichs ermittelt, die

(„Low-Regret“) zu verursachen. Der Begriff „Low-Regret“ bezieht sich dabei nicht nur auf finanzielle Aspekte, sondern zielt auf Lösungen ab, die es ermöglichen, aktuelle Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu bewältigen, ohne sich dabei unumkehrbar auf zukünftige Anpassungsoptionen auszuwirken. Angesichts der großen Bandbreite von Klimawandelprognosen ist es wichtig, dass geeignete Anpassungsmaßnahmen auf quantitativen Prognosen ihrer Wirksamkeit in der Gegenwart und in verschiedenen Zukunftsszenarien basieren. Numerische Modelle, wie sie in den dargestellten Fallbeispielen angewendet wurden, sind dabei ein hilfreiches Werkzeug zur Planung robuster Klimawandelanpassung im Einklang mit dem „Low-Regret“-Paradigma. Neben traditionellen Schutzstrukturen sollten zudem auch dezentrale Lösungen mit modularer Flexibilität einbezogen werden, um vielseitig nutzbar zu sein. Das Bau- und Umweltingenieurwesen, und insbesondere das Küsteningenieurwesen, können in diesem Zusammenhang einen wesentlichen Beitrag leisten, um Maßnahmen zur Reduzierung zukünftiger Naturgefahren zu konzeptionieren, zu analysieren und zu bewerten. In Zusammenarbeit mit Entscheidungsträger\*innen können zudem Strategien zur bewussten Steuerung von Verwundbarkeit und Exposition entwickelt werden, um den bevorstehenden Herausforderungen effektiv zu begegnen und Küstenstädte widerstandsfähiger und somit überhaupt zukunftsfähig zu gestalten.

→ Weiterführende Informationen:



**Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann**

ist seit 2007 Geschäftsführender Leiter des Ludwig-Franzius-Instituts für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen. Zeitgleich leitet er geschäftsführend das Forschungszentrum Küste (FZK) mit dem Großen Wellenströmungskanal (GWK+). Seine Forschungsschwerpunkte liegen unter anderem im Küsteningenieurwesen (Küstenschutz), in der Offshore Windenergie sowie im Risiko- und Hochwassermanagement. Kontakt: [schlurmann@lufi.uni-hannover.de](mailto:schlurmann@lufi.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Christian Jordan**

arbeitet seit 2014 am Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen und ist dort seit 2022 als Postdoktorand tätig. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Küsten- und Ästuardynamik sowie in der Erforschung der Umweltauswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen. Kontakt: [jordan@lufi.uni-hannover.de](mailto:jordan@lufi.uni-hannover.de)

**Leon Scheiber M.Sc.**

arbeitet seit 2019 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 2021 als Lehrstuhlassistent am Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsten-

ingenieurwesen. Neben einem vertieften Interesse an geomorphologischen Themen liegt sein Arbeitsschwerpunkt in der Bewertung von Anpassungsoptionen für Metropolregionen im Spannungsfeld zwischen klimatischen Veränderungen und Urbanisierung. Kontakt: [scheiber@lufi.uni-hannover.de](mailto:scheiber@lufi.uni-hannover.de)

**Mazen Hoballah Jalloul M.Sc.**

arbeitet als Doktorand seit 2021 am Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen. Seine Arbeitsschwerpunkte sind in den Bereichen der hydrodynamischen Modellierung von Hochwasserschutzmaßnahmen sowie in der Erforschung der Kolkbildung an Offshore-Megastrukturen. Kontakt: [hoballah@lufi.uni-hannover.de](mailto:hoballah@lufi.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Jan Visscher**

ist seit 2014 Oberingenieur am Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen und leitet die Arbeitsgruppe Hochwasserschutz, Küsten- und Ästuardynamik. Dazu arbeitet er in der Koordination der Feldmessungen und des Forschungsverbands „Gute Küste Niedersachsen“. Kontakt: [visscher@lufi.uni-hannover.de](mailto:visscher@lufi.uni-hannover.de)

*V. l. n. r.: Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann, Dr.-Ing. Christian Jordan, Leon Scheiber M.Sc., Mazen Hoballah Jalloul M.Sc. und Dr.-Ing. Jan Visscher*  
Foto: Lukas Fröhling