

A large indoor water tunnel with a high, vaulted ceiling. Water is being pumped through a narrow channel, creating a powerful spray of white water droplets that fills the air. People are standing on a walkway on the right side, looking at the water. The structure is made of metal and concrete.

# Wütende Wasser

Die Klimakrise verursacht immer mehr Starkregen, Hochwasser und Sturmfluten. Diese erfordern vielschichtige Antworten – von Künstlicher Intelligenz bis zu künstlichen Riffen. – Klaus Sieg

Nils Goseberg ist gerade aus Japan zurück. Am 1. Januar 2024 hatte ein Erdbeben der Stärke 7,5 vor der Halbinsel Noto einen Tsunami ausgelöst. „Dieses hat eine Flutwelle von vier bis sechs Metern Höhe verursacht, die in flachen Küstenabschnitten mehrere Hundert Meter ins Landesinnere vordringen konnte“, sagt der Professor am Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig. Ganze Siedlungen wurden weggespült. Gebäude stürzten ein. Häuser gingen in Flammen auf. Die Fluten rissen Brücken und Straßen weg, zerstörten nahezu die gesamte Infrastruktur. Goseberg hat die Schäden vor Ort für sein Forschungsprojekt aufgenommen.

Im Juli beginnt sein Forschungsprojekt Angry Waters („Wütende Wasser“). Es beschäftigt sich mit extremen Strömungsereignissen. Die können durch Tsunamis verursacht werden, aber auch durch Dammbürche, wie im vergangenen Jahr im libyschen Derna, als zwei Staudämme brachen und eine sieben Meter hohe Flutwelle die Stadt traf. Oder durch Hochwasser wie bei der Katastrophe 2021 im Ahrtal oder am 29. Mai 2016 im Baden-Württembergischen Braunsbach, als eine verheerende Flutwelle den gesamten Ortskern unter Schlamm, Geröll und Trümmern begrub.

Sturmfluten, Unwetter und Hochwasser sind komplexe Ereignisse. Um Mensch und Natur zu schützen, müssen Forschende aller Disziplinen zusammenarbeiten – Meteorologen, Ingenieure, Informatiker. Sie entwickeln zuverlässige Vorhersagen, robustere Bauwerke, neue Strategien gegen das Wasser. Die Bausteine dafür sind beispielsweise bundesweit einheitliche, offene Datenprotokolle der von den Bundesländern ermittelten Pegel; preiswerte Messtechnik für Frühwarnsysteme; die Erforschung von Sedimentbewegungen in Elbe und Weser zum Schutz der Hafenwirtschaft; die Untersuchung von Algenplagen oder Fischsterben oder ein vom THW entwickeltes Virtual-Reality-Training für Katastrophenhelfer.

Durch die Klimakrise nehmen solche Wetterextreme zu. Die erwärmte Atmosphäre nimmt mehr Wasser auf. Während andere Teile der Welt unter Dürre leiden, werden West- und Mitteleuropa immer häufiger von Starkregen betroffen, der auf nasse Böden fällt. Flüsse können das Wasser aufgrund des Drucks durch den steigenden Meeresspiegel schlechter abtransportieren, wie beim Weihnachtshochwasser 2023.

**Die bisherige Forschung basiert auf der Annahme, dass die Bauwerke stehen bleiben. Tun sie aber häufig nicht.**

Zwar hat es erdgeschichtlich schon weitaus höhere Meeresspiegel gegeben. Nie aber ist das Meer so schnell angestiegen wie in den letzten Jahrzehnten. Jahrhundertsturmfluten treten alle paar Jahrzehnte auf – zuletzt im Oktober 2023 an der Ostsee. Gleichzeitig haben noch nie so viele Menschen im Küstenraum gelebt. Heute sind es 600 Millionen, 2060 werden es 1,5 Milliarden sein. Alleine 14 Prozent der Niedersachsen leben am Meer.

**EINSTÜRZENDE BAUTEN**

Goseberg will vor allem den Einsturzprozess von Gebäuden besser verstehen. Sie sollen robuster werden, in erster Linie aber will er die Prognosen von Flutwellen verbessern: „Die bisherige Forschung konzentriert sich vor allem auf die Wechselwirkung zwischen Strömung und Bauwerken unter der Annahme, dass die Bauwerke stehen bleiben“, sagt er. Tun sie aber häufig nicht. In der Folge können sich Mauerreste, Holzbalken oder sonstiges Treibgut etwa unter Brücken zu einem unheilvollen Knäuel verflechten und das Wasser aufstauen. Brückenpfeiler stürzen ein. Eine weitere Welle in der Flutwelle entsteht.

Wo finden die Menschen dann Schutz? Was müssen die Rettungskräfte wissen? Antworten auf diese Fragen sucht Goseberg im Großen Wellenkanal (GWK+) des Forschungszentrums Küste der Uni Hannover und der TU Braunschweig. Mit 300 Metern Länge, fünf Metern Breite und sieben Metern Tiefe zählt er zu den größten weltweit. Gerade erst im Sommer 2023 wurde die Erweiterung eingeweiht. In Kürze lassen sich hier drei Meter hohe Wellen erzeugen, verschiedene Wasserstände und Strömungen simulieren. In einem 28 Meter langen Tiefteil können die Forschenden bis zu zwei Meter Sand aufschütten, um Seeboden zu imitieren. Durch den großen Maßstab verhalten sich Wellen, Bauwerke und Sand ähnlich wie in der Natur.

Nils Goseberg wird im GWK+ mit Messinstrumenten ausgestattete Hausmodelle im Maßstab bis zu 1:2 aufbauen. Weltweit einmalig wird die Dammbuchklappe sein, die ab 2025 für die Dauer seiner Versuche installiert wird. Hinter der Klappe staut sich das Wasser bis zu drei Meter hoch und wird schlagartig wieder abgelassen. „Die Wirkung ist wie bei einer Badewanne, aus der man die kurze Seite herausschlägt, wodurch schwallartig das ganze Badezimmer überflutet wird“, sagt Goseberg. Die so entstehende Wasserwand ist vergleichbar mit der eines Tsunamis.

**DIVEN DES MEERES**

Seit vielen Jahren erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Wellenkanal, wie wir uns besser vor Hochwasser schützen können. Bereits seit zehn Jahren legen sie dort immer wieder Seegraswiesen an. Sie testen unter anderem, wie Seegras aus biologisch abbaubarem Kunststoff na-

türlichem Seegras beim Anwuchs hilft, oder quantifizieren die dämpfende Wirkung von Salzwiesen auf Wellen und Strömungen. Ab Herbst 2024 läuft ein Versuch zur Stabilisierung von Dünen durch das Wurzelwerk von Pflanzungen. „Seegras zählt zu den Diven des Meeres“, sagt Torsten Schlurmann vom Ludwig-Franzius-Institut der Uni Hannover. Er ist Ingenieur, will den bestehenden Küstenschutz aber nicht allein durch Ingenieurbauten, sondern durch die Natur erweitern. Anpflanzungen binden zudem Kohlendioxid, tragen zur Biodiversität bei und halten Sedimente fest, sodass Deiche und andere Schutzbauten trotz des steigenden Meeresspiegels weniger durch brechende Wellen belastet werden.

Auch Nachbildungen der Natur wie künstliche Riffe hält er für sinnvoll. Wie etwa die jüngst am MIT in Massachusetts entwickelten Riffe aus Zement. Sie sollen 95 Prozent der ankommenden Wellenenergie ableiten. Dafür entwickelten die Wissenschaftler eine Struktur aus Zylindern und Lamellen, die die Wellen bricht und die daraus resultierende Strömung zu den Seiten fließen lässt. Hohlräume und poröse Materialien erlauben nicht nur den Einsatz von verhältnismäßig wenig Material, sondern schaffen auch Rückzugsgebiete für Fische und andere Meeresbewohner. Die Kosten für ein fünf Meter hohes Riff von 1,6 Kilometern Länge schätzen die Wissenschaftler auf sechs Millionen Dollar. Damit wäre so ein Riff fast so kostspielig wie ein Deich, der auf dieser Länge zwischen 5 und 16 Millionen Dollar kosten würde, je nach Bauart und Anforderung.

Eine wichtige Säule für den Schutz der Menschen sind zuverlässige Vorhersagen. Mit seinem Projekt Sinfony arbeitet beispielsweise der Deutsche Wetterdienst (DWD) an besseren Gewitterpro-

**Künftig errechnet der Computer bis zu 40 verschiedene Szenarien mit jeweils kleinen Varianzen.**

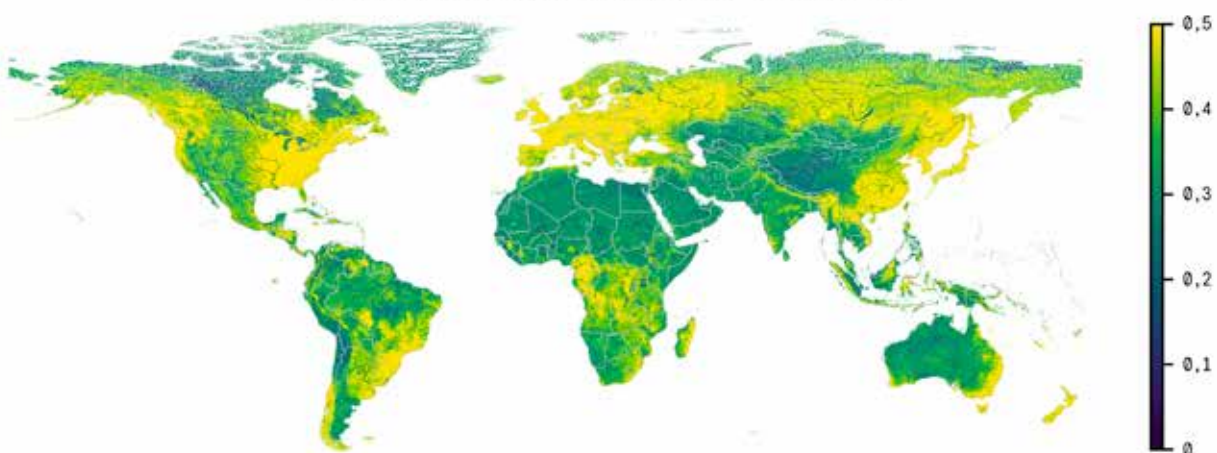
gnosen. Sturzfluten auf kleinem Raum, wie die in Braunsbach, werden meist von Gewittern verursacht, von denen schwierig vorzusagen ist, wo sie genau niedergehen. Es sei wie in einem Topf, in dem Wasser zum Kochen gebracht wird, sagt Julia Keller von der Forschung und Entwicklung beim DWD. „Wir wissen zwar, dass es anfängt zu blubbern, aber nicht, wo genau die Blasen aufsteigen.“

### NOWCASTING UND NUMERIK

Das will der DWD durch die Verzahnung von „Nowcasting“ und „Numerischer Wettervorhersage“ ändern. Nowcasting sagt auf der Basis von Radarbeobachtungen die Zugbahn von Gewittern für die nächsten zwei Stunden voraus; es wird alle fünf Minuten neu gerechnet. Künftig errechnet der Computer bis zu 40 verschiedene Szenarien mit jeweils kleinen Varianzen und bezieht auch den typischen Lebenszyklus von Gewittern in die Berechnung mit ein. „So kommen wir dem chaotischen System der Atmosphäre näher“, so Keller weiter.

Das Modell bezieht bisher jedoch nicht das Bodenrelief mit ein. Gewitter aber bleiben etwa häufig an Gebirgen hängen oder bilden sich dort. Dies berücksichtigt die Numerische Vorhersage, für die aufwändigere Berechnungen auf einem Großrechner erforderlich sind. Daher wird sie bislang nur alle drei Stunden neu gerechnet und verpasst dadurch häufig lokale Gewitter, die sich innerhalb kurzer Zeit bilden können. Bis Ende des Jahres will der DWD Numerische Wettervorhersagen stündlich neu rechnen. Die verzahnte Vorhersage beider Systeme soll bis dahin punktgenauer und im 15-Minuten-Takt funktionieren, um Gemeinden, Katastrophenschutz und Privatpersonen früher zu warnen.

### Zuverlässigkeit von Hochwasser-Prognosen



Die Karte zeigt das Mittel aus Präzision und Trefferquote eines KI-Modells, das extreme Hochwasser voraussagt. Je höher der Wert, desto besser die Vorhersage. Teile Afrikas erreichen die gleiche Prognosequalität wie Europa, obwohl es von dort deutlich weniger Daten gibt.

Die Modelle profitieren auch davon, dass immer mehr Daten zur Verfügung stehen. „Vor allem die Datenmenge von Satelliten und Radarsystemen ist in den letzten zehn Jahren stark angewachsen“, sagt Julia Keller. Gutes Futter für Big Data und KI. Mit neuronalen Netzen entwickelt etwa das Institut für Informatik der Uni Kiel gemeinsam mit dem Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein Vorhersagen von Flusspegeln, um etwa gefährdete Deichabschnitte besser schützen zu können. In einem nächsten Schritt sollen aus diesen Vorhersagen Modelle entwickelt werden, die auch in anderen Regionen anwendbar sind. Trainiert wird das Netz mit historischen Pegelständen sowie Wetterdaten der umliegenden Stationen. Den Scheitelpunkt eines Hochwassers in der Treene im Januar 2024 hat die KI erfolgreich vorausgesagt. „Die Vorhersage lag in der Höhe sehr gut, zeitlich war sie etwas zu spät, aber noch im Rahmen dessen, was wir uns erhofft hatten“, sagt Ralf Hach vom Landesamt.

Mit maschinellem Lernen haben Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung herausgefunden, welche Faktoren extreme Überschwemmungen befördern. Dazu haben sie alle Hochwasser zwischen 1981 und 2020 in über 3500 Flusseinzugsgebieten weltweit untersucht – insgesamt 125 000 Ereignisse. „Unsere Studie leistet einen Beitrag, besonders extreme Hochwasser besser abschätzen zu können“, sagt Jakob Zscheischler, einer der beteiligten Klimaforscher. Bislang erfolge diese Abschätzung, indem man weniger extreme Werte extrapolierte. Weil aber bei sehr extremen Hochwassern die einzelnen Faktoren einen anderen Einfluss bekommen könnten, sei das zu ungenau.

Wie sich solche Erkenntnisse auch auf Entwicklungs- und Schwellenländer übertragen lassen, hat eine kürzlich in der Zeitschrift *Nature* erschienene Studie untersucht ([heise.de/s/1ZZPp](https://heise.de/s/1ZZPp)). „Obwohl die hydrologische Modellierung ein relativ ausgereiftes Forschungsgebiet ist, mangelt es in den Gebieten der Welt, die am stärksten von Überschwemmungsrisiken betroffen sind, oft an zuverlässigen Prognosen und Frühwarnsystemen“, schreiben die Autorinnen und Autoren, die größtenteils bei Google Research arbeiten. Die Forschungsabteilung des Suchmaschinenkonzerns unterhält ein eigenes „Flood Forecasting Team“. Mit KI konnte es nach eigenen Angaben die Genauigkeit von Vorhersa-



Halle in der Saale (Juni 2013). Die Saale zählt zu den Flüssen mit einer hohen „Hochwasserkomplexität“ – ihre Pegel sind also besonders schwer vorherzusagen.

gen für Afrika so verbessern, dass sie mit den derzeit in Europa verfügbaren vergleichbar sind. Ihre Vorhersagen stellen die Wissenschaftler in Echtzeit zur Verfügung, kostenlos und ohne Zugangsbeschränkung.

#### RAUS AUS DER SICHERHEITSBLASE

Doch eine ausreichende Vorwarnzeit ist nicht alles. „Wissen die Menschen auch, was sie dann zu tun haben?“, fragt Beate Ratter, Professorin am Institut für Geographie der Uni Hamburg. In Japan wissen zwei Drittel der Bevölkerung, dass sie bei Erdbebenwarnung nicht zu Hause noch einen Kaffee kochen sollten. Im Ahrtal sind viele Menschen nach den Warnungen noch einmal in ihre Keller gegangen, um Vorräte zu holen. „Wir müssen die Menschen aus ihrer Sicherheitsblase herausholen“, sagt Beate Ratter. Sie ist wie Schlurmann Sprecherin des im Januar 2024 gestarteten Verbundforschungsprojekts MareXtreme der Deutschen Allianz Meeresforschung. 150 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus 29 Organisationen sind an dem auf mindestens acht Jahre angelegten Großforschungsverbund beteiligt. Im Rahmen von MareXtreme will sie in zwei kleinen Küstengemeinden gemeinsam mit Feuerwehr, Katastrophenschutz, Krankenhäusern, Sozialstationen, loka-

len Politikern und Bürgern Schutz- und Evakuierungspläne erarbeiten, die anderen Gemeinden nützen sollen.

Manchmal hilft aber nur der Rückzug. Aufwändigen Küstenschutz mögen wir uns in Deutschland und Europa oder in Japan und den USA noch leisten können. In den Ländern des Globalen Südens ist er kaum zu realisieren. Im indonesischen Jakarta etwa ist schon jetzt ein Viertel der Stadtoberfläche dauerhaft überflutet. „Wir müssen uns besser anpassen“, sagt Torsten Schlurmann. Dazu gehöre auch der kontrollierte Rückzug von Siedlungen aus exponierten Regionen. Die indonesische Regierung lässt etwa gleich eine ganz neue Hauptstadt namens Nusantara bauen – ungefähr 1000 Kilometer von Jakarta entfernt, auf der Insel Borneo. Und selbst die Niederlande, die so viel Erfahrung im Deichbau haben wie wohl keine andere Nation, setzen nicht mehr auf immer höhere Dämme. Am Overdijpe Polder nahe s’-Hertogenbosch haben sie die Deiche zur Maas abgesenkt, damit der Polder als Überflutungsfläche dienen kann. Die Bauernhöfe in diesem Gebiet wurden abgerissen und auf künstlichen Hügeln („Warften“) wieder aufgebaut. Auch Deutschland verwandelt eingedeichte Auen zunehmend zurück in Überschwemmungsgebiete. Nicht nur im fernen Asien werden bestimmte Areale also unbesiedelbar, auch bei uns vor der Haustür. ●